

Drylands Research Working Paper 14

RÉGION DE DIOURBEL : GESTION DES EAUX

**Aminata Niane Badiane
Mamadou Kouma
Modou Sène**

2000

Drylands Research
Crewkerne
Somerset TA18 8BJ
Royaume-Uni

Ce document a été présenté pour la première fois à l'Atelier sur les rapports entre politiques gouvernementales et investissements paysans dans les régions semi-arides, tenu à Bambey et Dakar (Sénégal) du 12 au 14 janvier 2000.

Les recherches présentées dans le présent document de travail s'inscrivent dans le cadre d'une étude sur les **Rapports entre les politiques gouvernementales et les investissements paysans en Afrique semi-aride**, financée par le Programme de recherche sur les politiques en matière de ressources naturelles du Department for International Development (DFID), ministère britannique du développement (Projet R 7072 CA). Les informations fournies et opinions exprimées n'engagent en aucune manière le DFID.

ISSN 1470-9384

© Drylands Research 2000

Mise en page: Drylands Research. Impression: Press-tige Print, Crewkerne.

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, stockée dans un système de recherche documentaire ni transmise sous une forme ou par un moyen quelconque (électronique, mécanique, photocopie, enregistrement ou autre) sans l'autorisation préalable et écrite de l'éditeur.

Préface

Les documents de travail du groupe Recherche sur les zones semi-arides présentent en version préliminaire les résultats d'études entreprises en association avec des chercheurs et institutions partenaires.

Le présent document de travail s'inscrit dans le cadre d'une étude visant à établir les liens entre modifications à long terme de l'environnement, croissance démographique et évolutions technologiques, et à repérer les politiques et les institutions aptes à favoriser un développement durable. Cette étude se situe dans le prolongement d'un projet entrepris par l'Overseas Development Institute (ODI) dans le district de Machakos, au Kenya, dont les résultats préliminaires ont été publiés par l'ODI en 1990-1991 dans une série de documents de travail. Ces travaux ont également donné lieu à un ouvrage (Mary Tiffen, Michael Mortimore et Francis Gichuki, *More people, less erosion: environmental recovery in Kenya*, John Wiley, 1994), présentant une synthèse et une interprétation de la dynamique du développement physique et social à Machakos. Cet ouvrage fait état d'un ensemble d'hypothèses et de recommandations en matière de politiques qu'il est nécessaire de tester dans d'autres milieux semi-arides de l'Afrique. A l'aide de méthodologies compatibles, quatre études ont été parallèlement menées dans les pays suivants:

Kenya	District de Makueni	
Sénégal	Région de Diourbel	(en association avec l'ISRA et le CSE)
Niger	Département de Maradi	(en association avec l'ODI)
Nigeria	Région de Kano	(en association avec l'ODI)

Une série de documents de travail et une synthèse seront produites pour chaque étude et passées en revue dans le cadre d'ateliers nationaux. La synthèse générale sera examinée à l'occasion d'un atelier international organisé à Londres en l'an 2001.

Dans la série consacrée au Sénégal, les auteurs se sont penchés sur les évolutions à long terme de l'agriculture et du monde rural pour établir des liens entre celles-ci et les investissements consentis par les petits exploitants dans la région de Diourbel au cours de la période 1960-1999.

M. Michael Mortimore est Responsable des recherches. Il est assisté par son collègue Mme Mary Tiffen. Le Chef de l'équipe sénégalaise est M. Abdou Fall, de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). Ils peuvent être contactés aux adresses suivantes:

Michael Mortimore
Cutters Cottage, Glovers Close, Milborne Port
Somerset DT9 5ER, UNITED KINGDOM

Mary Tiffen
Orchard House, Tower Hill Road,
Crewkerne, Somerset TA18 6BJ,
UNITED KINGDOM

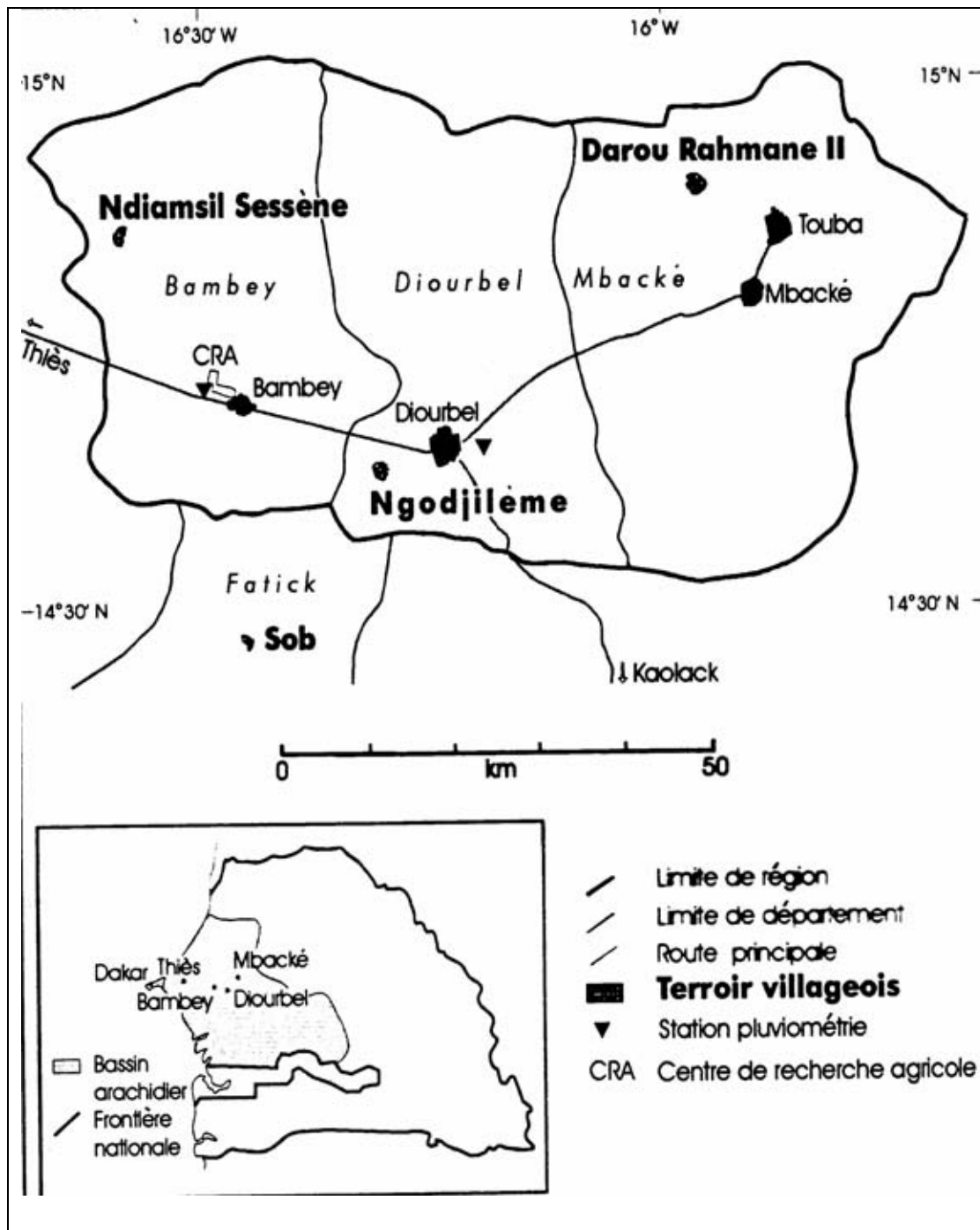
Courrier électronique:
mikemortimore@compuserve.com
mary@marytiff.demon.co.uk

Site web:
www.drylandsresearch.org.uk

Abdou Fall
ISRA
BP 3120
Dakar
SENEGAL

Courrier électronique :
abdoufal@isra.refer.sn

Carte



Résumé

Depuis 1960, le caractère dominant du régime pluviométrique dans le nord du bassin arachide a été sa grande variabilité, avec des périodes de sécheresses fréquentes. Entre 1968 et 1986, la moyenne annuelle a baissé de 185 mm et reste à 478 mm entre 1987 et 1998, causant le glissement des isohyètes vers le sud. Cependant, cette zone (qui n'a pas de cours d'eau en surface) possède plusieurs nappes hydrogéologiques et deux cours d'eau fossiles. L'eau de surface a diminuée, comme l'indique la diminution du diamètre et de la profondeur des mares saisonnières dans les villages. La construction de puits a augmenté après 1974 grâce au financement des communautés rurales, ce qui a permis d'améliorer l'accès à l'eau et, pour les femmes, d'alléger la corvée pour l'eau. Ces puits captent les nappes superficielles du Continental terminal et de l'Eocène. A partir de 1991, des actions ont été entreprises dans le cadre du Projet Agroforestier de Diourbel en vue d'identifier les nappes profondes du Paléocène et du Maestrichtien pour assurer le développement de petits périmètres irrigués et favoriser ainsi l'investissement dans ce secteur, ce qui permet d'augmenter les revenus des paysans.

Abstract

High variability of annual rainfall is a dominant characteristic of the rainfall pattern in the northern Groundnut Basin. Since 1960, severe droughts (less than 400 mm per year) have occurred in 1968, 1973, 1977, 1980-83, 1986, 1991, 1996 and 1998. Between 1968 and 1986, rainfall has consistently declined. Average annual rainfall stayed at 478 mm between 1987 and 1998, a reduction of 185 mm. The 450 mm isohyet, which was 200 km north between 1950 and 1959, was in the middle of the study area in 1980, and was 100 km south 15 years later.

Most parts of the study area are underlain by mid and lower Eocene formations. The geological formations which have hydrogeological significance are:

- *Continental terminal/Quaternary* (sandy loams and fine sand): an aquifer at 10-30 m depth, it occurs in the fossil Car-Car and Sine valleys.
- *Lower Eocene* (calcareous clays with a karstic layer): invaded by salty water.
- *Paleocene* (marls, clays, marly limestones and karstic limestones alternating): its depth varies between 100 m in the north and 40 m in the east (usually bad water).
- *Maestrichtian* (sand, loamy sands, sandstone with calcareous cement and loamy intercalations): this is the deepest aquifer (200 m in the south, 350 m in the north).
- Two drainage axes corresponding to two fossil rivers: The Car-Car in the north and the Sine in the south-east, both carrying rainwater.

There are seasonal lagoons along the two drainage axes and in the inter-dunes. These lagoons are now reduced to ponds with underground flow. The study carried out at the four villages has revealed how important a role these ponds play in the present production systems, and how this role has evolved. For each village, reductions in the average diameters and depths have occurred over time.

Since 1950, the changes in access to water for users has been closely linked to rainfall. The precariousness of surface water reserves has led to the increased use of underground resources. At present the main village resources are traditional wells catching superficial ground water off the Continental terminal and/or Eocene. These

works have insufficient flow to supply either human use, or agricultural activities and cattle farming. Before the formation of a national decentralisation policy in 1974, which saw the advent of *communautés rurales*, the construction of wells by the government administration usually focused only on village centres. For the women of satellite villages, this meant that collecting water was a heavy household chore. Since the setting up of these local administrations with autonomous financial management, priority has been given to digging wells in all the villages, financed by rural community budgets.

Since independence, the national boreholes policy focused on human and animal drinking water and not the promotion of small irrigated fields. From 1991 actions were taken through the Diourbel agroforestry project, to identify zones whose underground resources have the quantitative and qualitative characteristics allowing for the development of small fields cultivated with fruit trees and vegetables. Use of the deep resources of the Paleocene and Maestrichtian is necessary if the goal is to secure agricultural production and encourage investment, in order to increase farmers' income.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
2	CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES	1
2.1	Contexte géologique	1
2.2	Les différents faciès du Maestrichtien	2
2.3	L'importance des aquifères au Sénégal	2
2.4	Les eaux souterraines	3
2.5	Les eaux de surfaces	4
3	LES RESSOURCES EN EAU DE LA RÉGION DE DIOURBEL	5
3.1	Evolution de la pluviométrie	5
3.2	Aperçu hydrogéologique	6
3.3	Eaux de surface	8
3.4	Les eaux souterraines: les aquifères phréatiques	9
3.5	Les nappes profondes	11
4	L'IMPLANTATION DES FORAGES	14
5	IMPLICATION DE L'ETAT DES RESSOURCES EN EAU POUR L'AGRICULTURE	15
5.1	Les eaux de surfaces	16
5.2	Les eaux souterraines	16
6	CONCLUSION	17
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	17

Les auteurs

Dr. Aminata Niane Badiane : Ingénieur Agro-pédologue, Docteur en Sciences Agronomiques, travaille à l'ISRA depuis 1980, successivement sur l'amélioration des sols sulfatés acides en Basse Casamance, sur la fixation biologique de l'azote des légumineuses à graines et sur la gestion et l'utilisation de la matière organique sur les sols sableux de la zone centre-nord du Bassin arachidier. Actuellement elle est Chargé de Mission pour les recherches sur les productions végétales de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA).

Adresse : Direction Générale ISRA-Route des hydrocarbures, Bel-Air, BP 3120, Dakar Sénégal. Tel (221) 832 24 31/832 24 28
E-mail : aminiane@ns.arc.sn

Dr. Mamadou Khouma : Ingénieur Agro-pédologue, Docteur en Sciences Agronomiques, travaille depuis 1978 en Afrique de l'Ouest. Il a débuté sa carrière de chercheur dans l'étude et l'amélioration de sols sulfatés acides de Casamance. Il fut directeur du Centre de Recherches Agricoles de Richard-Toll (Nord Sénégal de 1981 à 1983. De 1983 à 1990 il occupa les fonctions de Chef de la Division de l'Agriculture au sein de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie. Il a également dirigé le Centre de Recherches de Djibélor de 1995 à 1998.

Actuellement Chercheur à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles et chef du Centre National de Recherches Agricoles de Bambey.
Adress : ISRA BP 3120, Dakar, Sénégal
E-mail : douma@isra.refer.sn.
mkhouma@isra.sn

Dr Modou Sene : Chercheur à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles: Docteur en Sciences Agronomiques Option Agro-pédologie. Responsable du Service Physique des Sols au Centre National de Recherche Agricoles, Bambey.

Adresse : CNRA de Bambey, BP 53, Bambey, Sénégal.
Tel (221) 973 60 51
E-mail : modousen@isra.refer.sn

Sigles et acronymes

CT : Continental terminal
PDRG : Programme de Développement de la Rive Gauche du fleuve Sénégal
ONG : Organisation non-gouvernementale

1 INTRODUCTION

Malgré la précarité des conditions climatiques (pluviométrie faible et variable et forte évaporation), le Sénégal dispose de ressources en eau relativement importantes. On y distingue les eaux de surface et souterraines qui offrent, en dépit de leur mauvaise répartition dans l'espace, des possibilités de compenser localement les insuffisances pluviométriques, pour régénérer certains milieux et favoriser leur mise en valeur.

Pour une zone donnée, les ressources en eau doivent s'analyser compte tenu des besoins et l'utilisation qu'on en fait. Dans le Sahel, l'eau est le facteur limitant majeur aussi bien pour l'alimentation humaine que pour les différents systèmes de production (productions végétale et animale). Cela résulte essentiellement de conditions climatiques défavorables. Les apports pluviométriques au cours de la seule saison des pluies d'une durée de 3 à 4 mois sont de plus en plus insuffisants pour satisfaire les besoins d'une population humaine sans cesse croissante. Les sécheresses fréquentes au cours des 4 dernières décennies ont causé le glissement des isohyètes vers le sud. En conséquence, même si on admet une recharge des aquifères correspondant aux nappes profondes à partir des réseaux hydrographiques fonctionnels (fleuves Sénégal, Gambie et Casamance), la satisfaction des besoins en eau tant sur le plan quantitatif que qualitatif est de plus en plus aléatoire.

Compte tenu des caractéristiques hydrogéologiques, mais aussi des conditions pluviométriques, on distinguera les eaux continentales et les eaux souterraines.

2 CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

2.1 Contexte géologique

Afin de cerner au mieux la constitution de l'aquifère et ses limites, il convient de décrire les terrains qui composent le bassin sédimentaire sénégalais, d'âge secondaire et tertiaire et dont le substratum est formé de roches anciennes plissées (Primaire, Antécambrien) affleurant en bordure du bassin dans l'est et le sud-est du pays. Les limites du bassin sédimentaire au Sénégal sont à hauteur de Bakel, puis à ~100 km à l'est de Tamba, et à la limite orientale de la frontière de la Gambie.

On distingue stratigraphiquement les ensembles suivants :

- Substratum : Antécambrien et Primaire.
- Crétacé inférieur.
- Crétacé moyen.
- Maestrichtien du Secondaire, qui affleure uniquement au niveau du massif de Diass.
- Paléocène : le recouvrement est observé entre celui constitué par l'Eocène inférieur à l'est et celui constitué par le Maestrichtien à l'ouest au niveau du plateau de N'Diass.
- Eocène inférieur, en affleurement à cheval sur les régions de Thiès, Diourbel et Fatick.

- Eocène moyen ou Lutétien, en affleurement dans la presque totalité de la région de Diourbel, le nord de la région de Thiès, et le sud de la région de Louga.
- Continental terminal : le recouvrement s'étend sur la presque totalité du pays. Il disparaît cependant vers l'ouest. Son épaisseur est variable, de l'ordre de quelques dizaines de mètres et atteint un maximum de 150 m dans la région de Tamba.
- Quaternaire : le recouvrement de dunes anciennes de couleur rouge et de dunes récentes de couleur blanche. Quelques petits bancs de calcaires lacustres apparaissent dans la région du Lac de Guiers. En Basse Casamance, des sables marins, des vases, sont considérés comme quaternaire récent. Le Quaternaire ancien sur la plus grande partie du territoire ne peut être dissocié du Continental terminal.

La rareté des affleurements crétacés et tertiaires est en relation avec la faible amplitude des mouvements des couches et l'absence de relief. Il n'en existe que dans la presque île du Cap Vert. Partout ailleurs un manteau de formations appartenant au Quaternaire et au CT masque les terrains plus anciens.

2.2 Les différents faciès du Maestrichtien

Trois faciès à distinguer d'ouest en est :

- Dans la presque île du Cap Vert : essentiellement argileux avec de très rares passées gréseuses ; ce faciès correspondrait aux dépôts sur talus continental de la mer maestrichtienne.
- A l'est de cette limite, sous forme de sables et de grès à ciment argilo-calcaire, intercalés de bancs plus ou moins épais d'argiles souvent sableuses et de couleur noire. Il affleure sous cet aspect dans le massif de Ndiass. La partie sableuse est très hétérométrique.
- Dans le reste du bassin, le Maestrichtien n'est plus représenté que par des sables souvent pyriteux, parfois de grès tendres.

2.3 L'importance des aquifères au Sénégal

Trois fleuves pérennes (Sénégal, Gambie et Casamance) présentent une particularité plutôt gênante. En effet, du fait de leur très faible pente, ils sont très fortement influencés par les marées qui provoque donc une sursalure jusqu'à 100 ou 150 km en amont de leur embouchure. Ce phénomène dure pendant 5 à 7 mois par an. L'exploitation des ressources en eau de surface reste encore limitée ; ce sont plutôt les réservoirs qui font l'objet d'une exploitation répandue.

D'une surface totale d'environ 150.000 km², l'aquifère qui couvre une grande partie du territoire national a une puissance moyenne estimée à 200 m et contient un volume d'eau douce de 30 milliards de m³ (Audibert, 1966).

La nappe phréatique est la première nappe rencontrée lorsqu'on fore un puits. Celle-ci est exploitée dans des conditions normales dans les régions où son alimentation par les pluies est assurée, où sa profondeur est faible et sa perméabilité suffisante ; c'est-à-dire le long de la côte atlantique et en Casamance.

Partout ailleurs, la nappe phréatique se situe à des profondeurs prohibitives (jusqu'à 120 m) et fournit des débits souvent dérisoires (~1 m³/h).

Fort heureusement, le Sénégal possède une nappe profonde (~200 m en moyenne) captive et ascendante sur toute la partie sédimentaire de son territoire et dont les réserves immenses peuvent donner des débits allant jusqu'à 150 ou 200 m³/h et dont la qualité est généralement suffisante.

Cette nappe est appelée par raison de commodité «nappe maestrichtienne», car l'aquifère est principalement formé de sables d'âge maestrichtien. Les limites à l'est et au sud correspondent approximativement à la limite d'affleurement des terrains anciens, formant le «substratum» du bassin secondaire-tertiaire sénégal-mauritanien. Vers l'Ouest, elle s'étend à peu près jusqu'à la côte atlantique, mais présente alors une teneur en sels dissous élevée. Son épaisseur, variable, est en moyenne de 200 m.

2.4 Les eaux souterraines

Le potentiel aquifère du Sénégal est très important. Les différents aquifères et leur niveau moyen d'utilisation sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau 1 : Ressources en eau souterraine au plan national : potentialité et niveau d'utilisation

Aquifères	Capacité (m ³ /j)	Prélevé (m ³ /j)	Disponible
<i>Aquifères majeurs :</i>			
Fleuve Sénégal	140 000	faible	100 000
Cayar à St Louis	115 000	70 000	45 000
Cayar à Dakar	45 000	45 000	0
Nappe infrabasaltique	15 000	18 000	0
Lentilles Saloum	4 000	faible	4 000
Lentilles Casamance	5 000	faible	5 000
Miocène en Casamance	105 000	5 000	100 000
Eocène Louga Bambey	14 000	faible	14 000
Paléocène	58 000	59 000	0
Pout/Sébikotane/Mbour			
<i>Maestrichien :</i>			
Nappe profonde	700 000	70 000	630 000
Zone d'alimentation	420 000	faible	400 000
<i>Aquifères mineurs :</i>			
Socle (Arène, fissure)	50 000	faible	50 000
Eocène Est Louga Bambey	50 000	faible	faible
Paléocène Est Cayar	20 000	faible	faible
Diverses formations supérieures	très faible	très faible	très faible

Source : Sénégal, MH, 1994.

m³/j = mètres cubiques par jour

Comme les ressources en eaux de surface, les ressources en eaux souterraines sont très abondantes et sont estimées à 2 000 000 m³/j mais les potentialités accessibles sont très inégales, selon les régions et varient en raison de la capacité, de la profondeur et des niveaux de minéralisation des nappes.

Les principales contraintes à leur exploitation peuvent se résumer ainsi :

- une connaissance insuffisante de certaines nappes qui constitue un facteur limitant pour une bonne planification de leur exploitation ;
- la profondeur de certaines nappes comme le Maestrichtien (150-400 m) entraîne des coûts d'exploitation et de charges récurrentes importantes ;
- la minéralisation des eaux ;
- la faible capacité de recharge et le tarissement périodique ; et
- la surexploitation des nappes avec des prélèvements dépassant leurs capacités réelles.

2.5 Les eaux de surfaces

Les ressources en eaux de surface sont constituées essentiellement par :

- les grands fleuves : Sénégal, Gambie et Casamance ;
- le lac de Guiers ;
- les eaux d'accumulation dans les vallées mortes : Sine, Saloum et Ferlo ; et
- les divers marigots et les bas-fonds.

Le potentiel des ressources en eau de surface annuellement exploitables est estimé à 7 milliards m³ dont l'essentiel provient du fleuve Sénégal qui dispose d'un débit moyen annuel de 23 milliards m³. Le fleuve Casamance, situé au Sud du Sénégal, offre des potentialités relativement faibles avec des débits médiocres de 3-4 m³/s à Kolda. Le débit moyen du fleuve Gambie est de 172 m³/s à Goulombo (environ 10 milliards m³ de débit total annuel). Seule une partie du cours de la Gambie se trouve en territoire sénégalais (environ 300-400 km sur 1050 km). Le lac de Guiers, importante réserve d'eau douce permanente, constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable de Dakar et de la plupart des agglomérations du Nord-Ouest du pays. Son potentiel est de 0,6 à 1,2 millions m³/j. Dans la zone centre du pays, on retrouve le complexe de vallées et mares du Sine Saloum qui offrent des disponibilités saisonnières d'importance marginale et connaissent à l'étiage une remontée des eaux de mer loin à l'intérieur. Plus au Sud, le bassin de l'Anambé (dont une partie seulement du bassin versant se trouve sur le territoire national) offre des ressources en eau permettant le développement de l'irrigation et de la pisciculture.

Il est important de noter que les fortes variations saisonnières et inter-annuelles, la pente très faible des cours d'eau, la pollution chimique (pesticides, fongicides et engrais) et l'invasion des eaux marines dans les basses vallées (Sine, Saloum, Casamance) constituent des facteurs de dégradation et des contraintes majeures à l'utilisation optimale de ces ressources en eaux de surface. Ces différentes contraintes imposent des investissements élevés pour l'amélioration de l'état des ressources en eau ou la protection des sols contre l'hydromorphie, la salinisation et l'acidification.

En résumé, les ressources en eaux du Sénégal, mal distribuées dans l'espace et dans le temps sont menacées qualitativement et quantitativement par l'accroissement des

prélèvements dont l'essentiel se fait sur la zone littorale et au niveau du bassin arachidier alors que plus de 80% des réserves d'eau exploitables sont localisées hors de ces zones. Dans un contexte de sécheresse et de rareté des ressources en eau, le gouvernement du Sénégal a développé une politique hydraulique tournée de plus en plus vers l'exploitation des eaux de surface. La mission a été assignée au Ministère de l'Hydraulique et comprend la réalisation de grands aménagements hydrauliques, l'alimentation en eau potable des populations et du cheptel, l'irrigation des terres aménagées, la réalisation et l'entretien des forages ainsi que le traitement des eaux usées en milieu urbain, semi-urbain et rural. Parmi les grands projets hydrauliques initiés par l'Etat, on peut citer la construction du Canal du Cayor destiné à l'alimentation en eau de l'agglomération dakaroise et à l'irrigation de 8500 ha de terre dans la zone traversée, la remise en eau des vallées fossiles destinée à améliorer la disponibilité en eau de surface pérenne et le Programme de Développement de la Rive Gauche du fleuve Sénégal (PDRG) prévoyant l'irrigation de 240 000 ha de terre. Ces projets majeurs sont complétés par un important programme d'hydraulique rurale initié pour améliorer la disponibilité en eau des populations et du bétail.

Dans le cadre de cette présente étude, la zone concernée, centrée dans le Bassin Arachidier du Sénégal concerne l'ensemble de la région de Diourbel (un site dans chacun de ses trois départements) et la partie la plus septentrionale de la région de Fatick (un site dans le département de Fatick).

L'analyse des ressources en eau pour cette zone porte sur les potentialités et leur évolution aussi bien quantitativement que qualitativement. Il s'agit en dernier lieu de mettre en évidence les atouts et les contraintes en vue d'un investissement dans les activités agricoles. Dans quelle mesure l'état actuel de la ressource permet-il de promouvoir l'intensification des productions agricoles qui passe nécessairement par la maîtrise de l'eau ? Dans un contexte de déficit hydrique chronique, l'état de la ressource permet-il envisager une irrigation de complément ?

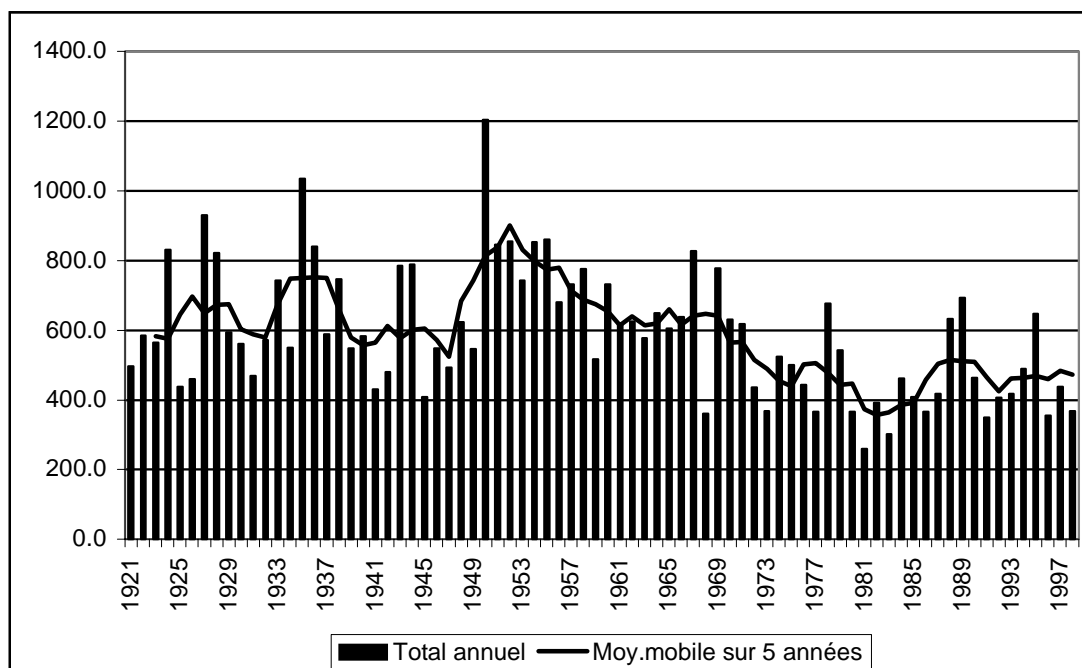
3 LES RESSOURCES EN EAU DE LA RÉGION DE DIOURBEL

La zone d'étude prend en compte les vallées actuellement fossilisées du Car-Car au nord et du Sine au sud-est. La non-fonctionnalité de ces deux réseaux hydrographiques principaux traduit surtout la péjoration des conditions pluviométriques au cours des dernières décennies. L'évolution de la pluviométrie annuelle à Bambey et à Diourbel constitue une bonne illustration de ce phénomène.

3.1 Evolution de la pluviométrie

La grande variabilité inter-annuelle a été un caractère dominant du régime pluviométrique (Figure 1). Depuis 1960, des périodes de sévères sécheresses (moins de 400mm par an) ont sévi aux cours des années 1968, 1973, 1977, 1980-83, 1986, 1991, 1996 et 1998. L'évolution de la hauteur d'eau tombée par année est marquée par une tendance à la baisse par rapport à la période 1960-1967 pendant laquelle la moyenne annuelle est de 659 mm. Entre 1968 et 1986, la pluviométrie a régulièrement baissé atteignant une moyenne annuelle de 475 mm. La moyenne annuelle reste à 478 mm de 1987 à 1998, une réduction de 185 mm (Faye *et al.*, 2000).

Figure 1 : Evolution de la pluviométrie, 1921-1998 (en mm)



Source : Stations de ISRA Bambey et de Diourbel.

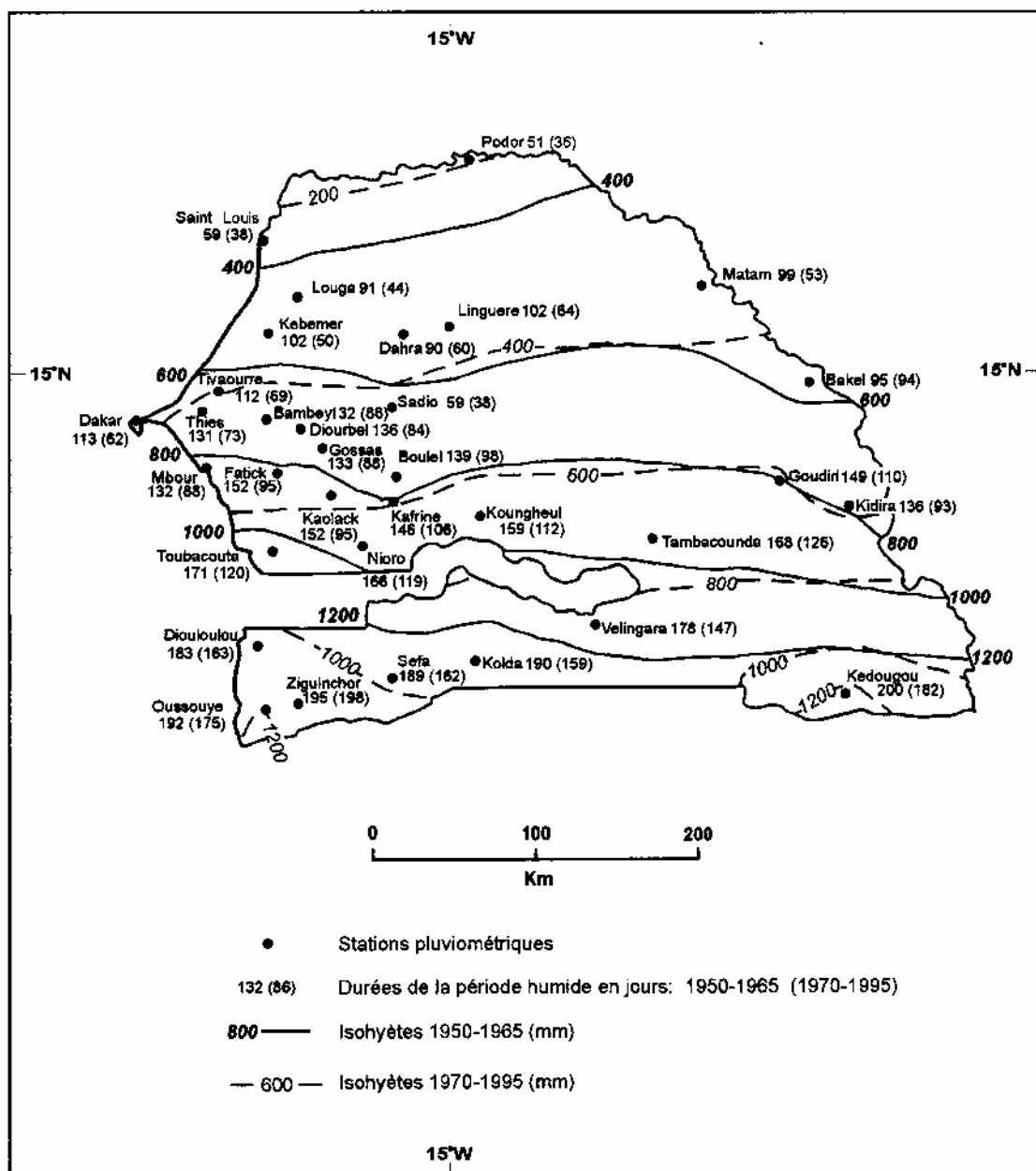
En 1968, toute la zone sahélienne est passée d'une période humide à pluviométrie excédentaire à une période sèche caractérisée par une sécheresse sans précédent. Les incidences de ce phénomène ont été non seulement observées sur l'alimentation hydrique des cultures, mais aussi sur la recharge des aquifères pour les besoins de l'homme et du bétail. En fait un glissement important des isohyètes a été observé du nord vers le sud. Ainsi l'isohyète de 450 mm qui se trouvait à 200 km au nord entre 1950 et 1959 s'est retrouvé au centre de la zone d'étude en 1980, et 15 ans après à 100 km au sud (Figure 2).

3.2 Aperçu hydrogéologique

La configuration actuelle de la pluviométrie non seulement affecte l'alimentation des cultures, mais n'est pas favorable à la recharge des nappes phréatiques. La forte pression sur ces ressources par une population sans cesse croissante a entraîné un abaissement de ces nappes, mais aussi une exploitation de plus en plus poussée des nappes profondes.

La zone étudiée est constituée pour une grande partie par des formations de l'Eocène moyen et de l'Eocène inférieur. En plus des alluvions sableuses anciennes qui constituent plus de 80% des recouvrements, le matériau originel inclut les alluvions sableuses récentes, les alluvions et colluvions sablo-argileuses, les calcaires, marnes et marno-calcaires, et la cuirasse ferrallitique phosphatée.

Figure 2: Situation de la pluviométrie durant la période humide (1950-65) et la période sèche (1970-95)



Source : ISRA, 1999

Les formations géologiques qui présentent un intérêt hydrogéologique sont connues et ont les caractéristiques suivantes :

- le Continental terminal / Quaternaire: constitué d'argiles sableuses ou de sables fins, il recouvre l'Eocène sur des épaisseurs de 10 à 30 m et remplit les vallées fossiles creusés (Vallées du Car-Car et du Sine). Il constitue un aquifère intéressant d'eau douce.

- L'Eocène inférieur (Yprésien): il est constitué de séries argilo-calcaires avec un compartiment karstifié. Cet aquifère est aussi intéressant mais est envahi par endroit par les eaux saumâtres.
- Le Paléocène: il met en évidence une alternance de marnes, d'argiles, de marno-calcaires et des calcaires karstifiés. Son épaisseur passe de 100 m au nord à 40m à l'Est. La qualité de la nappe est en général mauvaise.
- Le Maestrichtien: c'est l'aquifère le plus profond dont le toit se trouve à une profondeur variable : 200 m au Sud à 350 m au nord. D'une puissance moyenne de 250 m, il est constitué de sables francs, de sables argileux, de grès à ciment calcaire et d'intercalations argileuses.

La morphologie des aquifères et leur répartition sont fortement influencées par la tectonique post-éocène dont les effets sont surtout marqués sur les aquifères de l'Eocène et du Maestrichtien.

Deux axes de drainages principaux répertoriés dans la zone correspondent aux cours d'eau fossiles du Car-Car au nord et du Sine au Sud-est drainent les eaux pluviales. Ces talwegs dont les berges de sables sont dénudées par le déboisement ont tendance à s'ensabler.

Les ressources en eau, aussi bien de surface que souterraines sont analysées tant du point de vue de la quantité que sur celui de la qualité. Pour les eaux souterraines, l'analyse distingue deux systèmes d'aquifères : les aquifères phréatiques et les aquifères profonds.

3.3 Eaux de surface

Le long de ces deux axes de drainage ou dans des espaces interdunaires, se trouvent plusieurs marigots intermittents. Ces marigots à présent à débit souterrain sont actuellement réduits à des mares. Malgré l'absence de relief sur l'ensemble de la zone (altitude variant seulement entre 10 et 30 m) qui rend difficile la matérialisation des lignes de partage des eaux, on rencontre dans les interdunes des mares temporaires de tailles variables. L'enquête réalisée au niveau de quatre villages représentatifs a permis de faire une idée de l'évolution de rôle et de la place de ces mares dans les systèmes de production actuels.

Résultats d'enquête sur l'évolution des mares temporaires

Au niveau de chacun des quatre villages, l'enquête a ciblé les trois plus grosses mares identifiées dans le terroir villageois. Pour chacune des mares, les informations recueillies portent essentiellement sur la taille (superficie et profondeur moyenne) estimée en 1960 et en 1998 ; ceci en vue d'en mettre en évidence l'évolution.

Tableau 2: Evolution des mares dans les 4 villages au cours des 5 dernières décennies.

Village	Dimension (m) : Saisons des pluies :	Diamètre		Profondeur	
		1960	1998	1960	1998
Ndiamsil	Mare 1	40	15	1,2	0,7
	Mare 2	30	10	0,9	0,6
	Mare 3	25	10	1,0	0,6
Darou Rahmane II	Mare 1	30	20	1,1	0,6
	Mare 2	20	15	1,0	0,6
Ngodjilème	Mare 1	80	65	1,2	1,0
	Mare 2	70	60	2,2	2,0
	Mare 3	70	60	2,0	1,8
Sob	Mare 1	100	100	0,7	0,5
	Mare 2	40	40	0,8	0,6
	Mare 3	30	30	1,0	0,8

Source : Enquêtes villageoises, février, 1999.

Pour chaque village, le diamètre moyen et la profondeur au centre de la mare à ces deux dates sont présentés (Tableau 2). Les mares qui donnent souvent leur nom au sous-terroirs villageois ont vu leurs superficies et leurs volumes diminuer au cours du temps. La taille des mares augmente du nord au sud. En 1960, en pleine période humide (pluviométrie moyenne annuelle > 700 mm), la quantité importante d'eau stockée comme en 1998 permettait des stagnations prolongées dans la saison sèche, mais aussi favorisait le développement de la faune aquatique sauvage ; l'enquête ayant révélé la présence de caïmans dans le terroir de Darou Rahmane II. A la faveur des couloirs dépressionnaires, ces mares dans certains cas forment un réseau de cours d'eau temporaire de longueur pouvant atteindre 1 km (cas des deux grandes mares à Darou Rahmane II).

Environ cinq décennies après cette date, ces mares ont fortement régressé du fait de la diminution de la pluviosité résultant de la sécheresse. De plus, la disparition de la couverture végétale constituée des espèces arborées hydrophile a favorisé l'ensablement de ces mares. En conséquences les potentialités d'abreuvement du bétail ou de cultures maraîchères de décrue ont fortement diminué.

L'enquête a en outre révélé la disparition des plus petites mares sur ces terroirs villageois. Les engorgements temporaires observés dans ces zones à sols hydromorphes sont actuellement mis en cultures (sorgho).

3.4 Les eaux souterraines: les aquifères phréatiques

A l'intérieur des vallées

Ces aquifères sont constitués par le complexe Eocène – Continental terminal (CT) – Quaternaire. Ils sont contenus dans les sables, les calcaires, les marno calcaires ou les calcaires marneux. Dans la vallée du Car-Car le substratum de la nappe d'eau douce est constitué par les marnes éocènes bien localisées dans la vallée fossile.

Dans la vallée du Sine, l'aquifère est constitué par l'ensemble sableux du CT et calcaréo-marneux de l'Eocène. La profondeur de la nappe croît d'aval en amont passant de moins de 10 m au sud-ouest de Diourbel à plus de 40 m au nord-est de N'Doulo.

La nappe libre favorise la recharge pendant les années à pluviosité excédentaire. Durant la période humide, les nappes sub-affleurantes d'eaux douces ou « séanes » ont favorisé la production maraîchère aussi bien en campagne qu'autour des villes comme Diourbel. Mais présentement du fait d'une pluviosité déficitaire, ces nappes se sont beaucoup approfondies si elles ne sont pas taries. Les résultats des enquêtes indiquent que d'une profondeur de moins de 2 m à Darou Rahmane dans la vallée du Sine et à Ndiamsil (vallée du Car-Car) dans les années 1960, la profondeur de ces nappes est actuellement descendue à plus de 5 m.

Sur le plan de la productivité, les débits supérieurs à 50 m³ pour des rabattements inférieurs à 1 m peuvent être obtenus dans le secteur sud de la zone de la vallée du Car-car avec des forages de profondeur moyenne de 50 m. En ce qui concerne la vallée du Sine où l'épaisseur de la tranche d'eau dans les nappes du CT est faible (<5 m) mais relativement importante dans celle des marno-calcaires (> 20 m), la morphologie de la nappe d'eau douce est assez mouvementée. Les débits des puits captants les sables sont compris entre – 5 et 10 m – alors que ceux des forages captant les marno-calcaires sont très variables (de 120 m³) avec un rabattement de 11,7 m à Diourbel à 12 m³/h pour 0,20 de rabattement à K. Gane).

Les puits en dehors des vallées

Avant la mise en oeuvre au niveau national de la politique de décentralisation en 1974 qui a vu l'avènement des communautés rurales, la construction de puits par les pouvoirs publics concernait généralement les villages centres. Pour les femmes des villages satellites, cela se traduisait par une très lourde corvée pour l'eau. Les puits dans les petits villages ont été souvent des ouvrages collectifs réalisés par les habitants eux-mêmes sous formes d'investissement humain.

A partir de la mise en place de ces collectivités locales dotées d'une autonomie de gestion financière, un accent particulier a été mis sur l'équipement en puits de l'ensemble des villages. Financés par le budget des communautés rurales, de très nombreux chantiers de construction de puits ont été ouverts. Les problèmes de gestion de ces fonds par des équipes d'élus locaux peu formés à leurs nouvelles tâches ont causé le non-achèvement de certains de ces projets. Par ailleurs, les forages avec château d'eau construits au niveau de chaque chef-lieu de communauté rurale ont relégué au second plan ces puits, du fait des branchements d'eau par canalisation au niveau des villages satellites.

Caractéristiques des puits

La grande majorité des puits captent l'aquifère des calcaires du Lutétien dont le toit se situe entre 27 et 30 m au nord de la vallée du Car-Car où l'eau est bonne (résidu sec généralement inférieur à 1g/l). Par contre au sud de cette vallée, la qualité des eaux de pluies des puits de profondeur de l'ordre de 20 à 25 m est souvent médiocre du fait de l'avancée du biseau salé.

Au nord ou au sud de la vallée du Sine, l'aquifère trouvé dans les marno-calcaires est constitué d'eau saumâtre avec des résidus secs supérieurs à 2 g/l, et donc généralement peu exploitable pour des besoins d'alimentation humaine.

Les enquêtes menées au niveau des quatre villages de l'échantillon de cette étude (trois dans la vallée du Sine et un dans la vallée du Car-Car) confirme bien les tendances décrites plus hauts (Tableau 3). En général, on compte plus d'un puits par village. Ceci traduit la stratégie mise en oeuvre pour pallier leur tarissement au cours du temps mais aussi pour augmenter les chances de disposer de points d'eau douce.

Ainsi, dans les petits villages qui constituent la grande majorité des localités du monde rural, l'eau des puits a été et demeure dans certains cas la seule source pour satisfaire les besoins en eau aussi bien pour la consommation humaine que pour l'abreuvement du bétail. Il y a lieu de noter en particulier que pour une localité donnée, qualité et quantité de l'eau des puits sont mutuellement exclusives. En effet, alors qu'au nord dans la zone d'étude la quantité est le facteur limitant principal (tarissement des puits et profondeur importante), par contre au sud la qualité est souvent médiocre (eau saumâtre).

Il est par conséquent aisé de mettre en évidence une insuffisance notoire de la maîtrise de l'eau dans cette partie du bassin arachidier. Ceci empêche d'envisager une intensification et/ou une diversification des productions aussi bien végétales qu'animales. Il s'agit là d'une contrainte majeure pour l'activité maraîchère souvent entreprise par les organisations féminines.

Tableau 3 : Principales caractéristiques des puits des villages enquêtés

Village	Ndiansil	DRII	Ngodjilème	Sob
<i>Puit 1</i>				
Profondeur (m)	40	70	10	12
Qualité	Bonne	Bonne	Bonne	Saumâtre
Quantité	Suffisante	Suffisante	Insuffisante	Suffisante
<i>Puit 2</i>				
Profondeur (m)	45	52	14	13
Qualité	Bonne	Saumâtre	Bonne	Saumâtre
Quantité	Insuffisante	Suffisante	Insuffisante	Suffisante
<i>Puit 3</i>				
Profondeur (m)			31	
Qualité			Bonne	
Quantité			Suffisante	

Source : Enquêtes villageoises, février, 1999.

3.5 Les nappes profondes

Il faut rappeler qu'il s'agit d'aquifère captant le Paléocène et le Maestrichtien. L'exploitation de ces nappes profondes beaucoup plus abondantes est nécessaire en vue de la satisfaction des besoins croissants en eau des populations. L'analyse des nappes s'inspirent des travaux d'étude hydrogéologique disponibles (Audibert, 1966 ; Projet Agroforestier de Diourbel, 1991). Pour ces nappes, les résultats obtenus portent sur leur comportement hydraulique, les surfaces piézométriques, la perméabilité des aquifères, la qualité des eaux. Pour cette dernière, la variation dans l'espace et dans le temps est analysée.

Le Paléocène

La profondeur du toit de la nappe du Paléocène augmente du sud-ouest au nord-est de la zone d'étude passant de 80 m à 250 m ; son épaisseur moyenne est de 100 m environ. Le niveau piézométrique passe de moins 20 m à l'est à 45 m au nord vers Ndindy, et à 30 m au sud de Bambey, respectivement.

Sur le plan de la productivité, les débits des forages captant la nappe du paléocène sont généralement faibles (< 10 m³/h) dans les secteurs des vallées du Car-Car et du Sine. Les débits les plus intéressants s'observent au sud de l'axe Bambey-Ndangalma avec des valeurs pouvant atteindre 60 m³/h.

La qualité de cette nappe est variable, mais de façon systématique décroît du sud-ouest (résidu sec < 1g/l) au nord-est (résidu sec < 2 g/l). La carte des résidus secs permet de distinguer 3 zones (Tableau 4).

Dans le sud-ouest de la zone, des indices d'une dégradation de la qualité de la nappe existent. Les forages creusés par la Caritas en 1982 et 1983 dans le département de Bambey (Communauté Rurale de Dangalma et de Ndondol). Ces forages dont les caractéristiques hydrauliques sont présentées (Tableau 5) ont été exploités depuis ces dates par des groupements de producteurs maraîchers. Au bout de 15 ans d'exploitation, le niveau de salinité a fortement augmenté pour certains forages au point de rendre impossible la poursuite des cultures maraîchères.

Tableau 4 : Qualité des eaux de la nappe du Paléocène (g/l)

Zone	Résidu sec (g/l)	Profondeur du toit	Qualité eau de boisson	Qualité eau d'irrigation
Sud-ouest Bambey	< 1	100 à 150 m	Bonne à passable	Bonne
Couloir orienté nord /nord-ouest à centre	1-1 à 5	100 à 200 m	Passable à médiocre	Médiocre
Nord-est vers Ndindy	1,5 à 3	100 à 250 m	Médiocre à mauvaise	Médiocre à mauvaise

Source : Projet Agroforestier de Diourbel, 1991.

Tableau 5 : Caractéristiques hydrauliques de quelques forages captant la nappe du Paléocène

	Profondeur (m)	Niveau statique (m)	Débit (m ³ /h)	Niveau de rabattement (m)	Résidu sec (g/l)
Tallagne *	153	15,5	39,6	19,0	0,73
Mbellkhaou 1	111	14,7	37,7	11,4	1,63
Mboboye	143	13,7	33,0	3,6	1,32
Ndiédieng	143	18,1	37,7	7,7	1,19
Ndondol 1	142	13,7	20,2	4,5	1,26

Ndondol 2 *	153	15,7	37,7	13,3	1,17
Ngueme Issa	153	11,7	36,3	11,3	1,27

Source : Sénégal, MH, 1994.

*Les villages pour lesquels la qualité de l'eau est devenue mauvaise.

Il semble que le niveau de rabattement est le facteur explicatif de l'évolution constatée. En effet, les forages dont la qualité des eaux s'est dégradée correspondent aux niveaux de rabattement les plus élevés.

La nappe maestrichtienne:

Au Sénégal, l'adaptation de technique pétrolière de sondage au rotary aux forages hydrauliques a favorisé l'exploitation de la nappe maestrichtienne, la plus abondante, découverte dans les environs de Kaolack au Sénégal en 1938 (Audibert, 1966). Les forages en dessous de 250 m permirent de découvrir des sables aquifères dont l'eau était artésienne. Les sables maestrichtiens constituent deux aquifères dont celui du sommet est à eau douce. La profondeur du toit des sables aquifères doux augmente progressivement du sud vers le nord, passant de 200 m à 350 m. L'épaisseur de l'aquifère à eau douce est considérable puisqu'elle varie entre 200 et 300 m. Pour cette captive, la profondeur du niveau statique est maximale au centre de la zone d'étude avec des valeurs entre 30 et 40 m, et est minimale en zone périphérique (moins de 10 m au sud d'une ligne N'Doulo- Diourbel – N'Dondol).

Les débits des forages au Maestrichtien ne sont limités que par le dimensionnement des ouvrages ; ils s'étalent entre 20 et 150 m³/h (Tableau 6). Ces débits sont en général intéressants partout dans la zone sauf peut-être dans la partie nord-ouest.

Les forages les plus importants captant la nappe du Maestrichtien datent de 1955 (cas des forages de Diourbel et de Bambey). Le niveau de rabattement de nappe élevé pour un bon nombre de ces forages fait peser la menace de la dégradation de la qualité de la nappe ; ceci compte tenu du fait que cet aquifère est salé à sa base (projet Agroforesterie de Diourbel, 1991).

En ce qui concerne la potabilité de l'eau de cette nappe, la carte des résidus secs permet de définir trois zones caractéristiques :

- zone I où la salinité (exprimée par la teneur en résidu sec) est inférieure à 1500 mg/l ; elle est constituée par la partie à l'ouest du méridien de Bambey ;
- zone II circonscrite autour de Diourbel avec une salinité comprise entre 1000 à 1500 mg/l. La potabilité y est médiocre ;
- zone III comprise entre les deux zones précédentes, caractérisée par une teneur en résidu sec variant entre 1500 et 3000 mg/l.

Tableau 6 : Caractéristiques des forages captant le Maestrichtien dans la zone d'étude

Zone	Année de réception	Profondeur (m)	Niveau statique (m)	Débit (m ³ /h)	Niveau de rabattement (m)	Résidu sec (g/l)
Ouest (Thiatou)	1986	397	25	54,4	23	1,51
Ouest (Réfane)	-	383,3	25,6	58	23,6	0,50
Sud-ouest (Ndiémane)	1979	300	9	45	21,7	1,08
Sud (Sob Niakhar)	1988	276	4,3	38	11,3	2,19
Nord-est (D.Rahmane)	1986	312	46,9	38,3	8,4	2,26
Nord (Taïba Moutoupha)	1986	450	27,5	70	19,6	1,83
Centre (Diourbel)	1955	306	14,9	119	5	1,30
Centre (Ngodjilème)	1990	321,4	10,6	83	31,4	1,40

Source : Sénégal, MH, 1994.

4 L'IMPLANTATION DES FORAGES

Depuis 1950, l'évolution de l'accès à l'eau pour les différents utilisateurs dans la zone d'étude est étroitement liée au régime pluviométrique. La précarité des réserves en eau de surfaces a entraîné la nécessité de faire de plus en plus appel aux ressources souterraines. Les ressources actuelles des villages sont constituées principalement de puits traditionnels captant les nappes superficielles du Continental terminal et/ou de l'Eocène. Ces ouvrages ont des débits insuffisants pour subvenir aux besoins de l'alimentation humaine mais aussi aux besoins pour les spéculations agricoles ou de l'élevage. A 70 pour cent, ces puits tarissent dès le mois de janvier (PAGF, 1998). Par ailleurs, dans cette zone à climat sahélien la recharge de la nappe par infiltration directe est nulle (IEMVT, 1989).

Dans l'ensemble la ressource en eau a connu d'importantes baisses aux plans quantitatif et qualitatif pour la période considérée (baisse de la pluviométrie, tarissement des mares et des puits, augmentation de salinité).

Depuis l'indépendance, la politique d'implantation de forages a, entre autres effets, favorisé une forte concentration des troupeaux autour de ces forages, en particulier dans la zone sylvopastorale. Le mode d'exploitation du bétail en a été modifié dans la mesure où les déplacements des animaux se faisaient en tenant compte des impératifs de retour régulier pour permettre l'abreuvement des animaux. Ceci s'est traduit par une certaine régression du tapis herbacé autour des grandes zones de convergence, amplifiant ainsi les effets de la sécheresse. Cette politique d'implantation des forages avait pour priorité sur l'ensemble du territoire l'abreuvement des hommes et du bétail et non la promotion de petits périmètres irrigués. C'est à partir de 1991 que des actions concrètes de grande envergure ont été entreprises dans le cadre du Projet Agroforestier de Diourbel en vue

d'identifier des zones dont les eaux souterraines présentaient les caractéristiques quantitatives et qualitatives compatibles avec le développement de petits périmètres maraîchers et fruitiers.

Conformément aux recommandations de la Décennie Internationale de l'Eau, de nombreux forages ont été implantés dans toute la frange sahélienne, notamment dans le cadre de nombreux programmes d'hydraulique villageoise. En plus des chefs-lieux de département, les localités abritant les grandes familles maraboutiques comme Touba et Ndoulo sont les premières à bénéficier de ces ouvrages construits par l'Etat. Plus tard au début des années 1980, dans le cadre de la décentralisation du gouvernement, les forages ont été implantés par la direction de l'hydraulique dans chacun des chefs-lieux de communauté rurale. Mais les ONG (Caritas, Vision Mondiale par exemple) et/ou les projets nationaux comme le Projet Agroforestier de Diourbel ont aussi joué un rôle capital dans l'équipement hydraulique des villages. La particularité des ces interventions est de promouvoir les activités économiques tels que le maraîchage ou l'élevage. Le programme hydraulique de Caritas exécuté dans la communauté de Ndongol portant sur un total de huit forages implantés en 1981 est une bonne illustration de cette démarche.

Cependant, les nappes souterraines, hâtivement exploitées, ont démontré leur vulnérabilité aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif (AIEA, 1991). En effet, en ce qui concerne la nappe la plus importante du Maestrichien, la réalimentation est limitée à la bordure orientale du bassin et au horst de Ndiass. De façon générale, son niveau piézométrique a baissé de l'ordre de 5 m sur les 20 dernières années alors que la salinité a graduellement augmenté. Cette salinisation découle en partie du contact de cette nappe avec les eaux salées à l'ouest et de sa relation probable avec le Paléocène de Fatik. La recharge est souvent inférieure à l'exhaure dans certaines zones (PAGF, 1998).

En vue d'une gestion rationnelle de ces forages et compte tenu de la politique de désengagement de l'état, le principe de prise en charge par les populations bénéficiaires est appliqué. Les comités de gestion villageois ont progressivement remplacé l'Etat (le ministère de l'hydraulique). Il s'agit d'assurer l'apport financier pour la construction du forage, la collecte périodique de fonds pour la maintenance et le renouvellement, et l'acquisition de capacités minimum nécessaires pour la gestion de l'ouvrage.

5 IMPLICATION DE L'ETAT DES RESSOURCES EN EAU POUR L'AGRICULTURE

Dans les régions de Diourbel et de Fatik, tout comme pour l'ensemble du pays, les débits cumulés des différents aquifères sont assez importants pour entrevoir les possibilités économiques de leur utilisation. Sur le plan quantitatif, on peut faire l'hypothèse que ces nappes peuvent non seulement satisfaire pendant longtemps les besoins en eau de boisson des populations et des animaux, mais aussi être mises à contribution pour une irrigation de complément dans un contexte de sécheresse chronique qui affecte l'alimentation hydrique des cultures.

Le facteur déterminant est par conséquent la qualité des eaux.

5.1 Les eaux de surfaces

L'évolution actuelle de la pluviométrie réduit considérablement les possibilités d'utilisation de ces eaux de bonne qualité. La situation se caractérise par le tarissement des marigots et la dégradation des mares temporaires.

La mise en œuvre des projets de revitalisation des vallées fossiles pourrait contribuer à faciliter l'accès à la ressource.

En ce qui concerne les mares temporaires, l'occurrence d'épisodes pluvieux importants dans la zone malgré la péjoration des conditions climatiques justifie pleinement la mise en œuvre de projets pour leur aménagement hydro-agricole. La récupération et le stockage des eaux de ruissellement dans les dépressions interdunaires est réalisable à l'aide de micro-barrages. Ces ouvrages de retenues permettent de sécuriser davantage les besoins en eau à l'échelle des terroirs villageois.

Tout en favorisant la réalimentation de la nappe phréatique, ces réalisations communautaires permettent d'atteindre les objectifs suivants :

- abreuvement du bétail pendant plus longue période,
- riziculture en submersion contrôlée,
- irrigation par gravité en aval du micro-barrage ou en amont par exhaure, et
- culture de décrue.

5.2 Les eaux souterraines

Nous limiterons nos propos à la nappe profonde, la nappe phréatique présentant des contraintes : salinité souvent élevée, possibilité de recharge limitée en raison du déficit pluviométrique, etc.

Les dimensions de l'aquifère

La surface de la nappe profonde à l'échelle nationale est estimée à 150 000 km², avec une puissance moyenne de 200 m. La zone d'étude a une superficie estimée à 10 000 km². Si on admet une porosité de 10% dans les sables, le volume d'eau douce peut être estimé à $0,2 \times 10^{12}$ m³.

Cette réserve totale indique clairement que ce n'est pas la quantité de la nappe qui est limitante. Du fait de la nature captive de la nappe, l'eau remonte à une cote dépassant rarement 40 m de profondeur ; ce qui donne lieu à un pompage relativement aisé une fois que le forage est réalisé. La seule contrainte, qui est de taille toutefois, est le coût élevé de l'investissement nécessaire pour la construction des forages.

Les utilisateurs potentiels de cette ressource peuvent être répartis en trois groupes : (i) les hommes, (ii) les industries, et (iii) les animaux et les plantes.

En ce qui concerne la potabilité de cette eau, il s'agit en fait de l'adapter aux conditions des régions arides exigeant une teneur en sel plus élevée.

Si on retient que jusqu'à 2000 mg/l la teneur en résidu sec est acceptable pour les besoins humains, l'eau des nappes profondes (Paléocène et Maestrichtien) permet de satisfaire de façon quasi permanente les besoins domestiques de la zone. Les animaux étant encore plus tolérants que les hommes, de ce point de vue il est clair que le volume d'eau disponible est favorable au développement de l'élevage.

C'est par rapport aux plantes cultivées que les conditions sont moins favorables. En effet les plantes sont souvent très sensibles à la salinité. De plus l'évolution des sols est fortement influencée par la qualité de l'eau d'irrigation. Les valeurs de résidus secs des forages captant les nappes profondes sont le plus souvent supérieures ou égales à 1500 mg/l. Par ailleurs, les risques de contamination de la nappe par les eaux salées sont réels dans la partie ouest de l'aquifère : la nappe est en contact latéral avec les eaux salées de l'ouest d'une part, et d'autre part la nappe d'eau douce se superpose à la nappe salée.

La forte évaporation observée en saison sèche en particulier augmente les risques de dégradation des sols par une concentration des sels en surface. Il semble donc dans ces conditions, que l'utilisation de l'eau de la nappe profonde pour une intensification de l'agriculture doit se faire avec prudence pour éviter la dégradation des sols.

Il est surtout important de concevoir des techniques d'irrigation appropriées : drainage important pour le lessivage des sels en profondeur ou apport contrôlé d'eau de la nappe comme la technique du goutte à goutte.

6 CONCLUSION

Pour une productivité agricole durable, il est nécessaire de parvenir à une bonne maîtrise de l'eau. Dans cette perspective, l'évaluation de la ressource dans la zone nord du Bassin Arachidier du Sénégal a pris en compte en plus de l'apport pluviométrique contribuant à l'alimentation des eaux de surface, les eaux souterraines. L'agriculture pluviale stricte est fortement affectée par la sécheresse de ces dernières décennies. La mise à contribution des importantes ressources en eau souterraines, en particulier les nappes profondes du Paléocène et du Maestrichtien s'impose d'elle même si on veut sécuriser les productions agricoles, et favoriser l'investissement dans ce secteur en vue d'augmenter les revenus des paysans. Toutefois, les fortes teneurs en résidu sec incitent à la prudence pour l'utilisation de cette eau. De plus, compte tenu du fait que le niveau d'exhaure est supérieur à celui de la recharge des nappes, la stratégie d'exploitation à mettre en oeuvre devra privilégier la démultiplication des forages à débits faibles à moyens.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIEA (1991) *Le développement des techniques isotopiques en hydrologie dans les pays du Sahel (Sénégal, Mali, Niger, Cameroun)*. Etat d'avancement du projet, Agence Internationale de l'Energie Atomique, (AIEA), Vienne.
- AUDIBERT, M. (1966) « Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal », *Nappe Maestrichtienne : Mémoires du BRGM n°41*. Editions BRGM, Paris.

- FAYE, A., FALL, A. et COULIBALY, DJIBRIL (2000) « Région de Diourbel : Evolution de la production agricole », *Drylands Research Working Paper 16. Drylands Research*. Crewkerne, Royaume-Uni.
- IEMVT (1989) *Elevage et potentialités pastorales sahéliennes : Synthèse cartographique*. Institut d'Etudes de Médecine et Vétérinaire Tropical, Dakar.
- ISRA (1999) *Plan stratégique de la recherche agricole*. l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Dakar.
- PAGF (1998) *Document de travail*. Projet Agroforesterie de Diourbel, Diourbel.
- SÉNÉGAL, MH (1994) « Bilan Diagnostic des ressources en eau du Sénégal », *Systemes d'Informations Géographiques sur les ressources en Eau du Sénégal (SIGRES)* : Projet MH/PNUD/DDSMS-SEN/87/006. Ministère de l'Hydraulique, Dakar.
- SÉNÉGAL, MEPN (1998) *Programme national d'action de lutte contre la désertification*. Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, Dakar.