
**CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE ET RISQUES DE
POLLUTION DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA COMMUNE
DE KEDOUGOU ET ENVIRONS (SENEGAL)**

TABLE DES MATIERES

Dédicaces

Avant propos

Résumé

INTRODUCTION.....1

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....2

I- Contextes géographique, géologique et hydrogéologique.....	2
I.1-Cadre géographique.....	2
I.1.1- Climatologie.....	3
I.1.1.1- Vents.....	4
I.1.1.2- Pluviométrie.....	5
I.1.1.3- Température.....	6
I.1.1.4- Humidité relative.....	6
I.1.1.5- Evaporation.....	7
I.1.1.6- Insolation.....	8
I.1.2- Végétation et sols.....	9
I.1.3- Hydrologie.....	9
I.1.3.1- Réseau hydrographique.....	9
I.1.3.2- Régime hydrologique.....	10
I.1.4- Conclusion.....	12
I.2- Cadre géologique.....	12
I.2.1- Rappel de la géologie régionale : le craton Ouest-Africain.....	12
I.2.1.1- Géologie locale : le Birimien du Sénégal oriental.....	13
I.2.1.2- L'Infracambrien.....	15
I.2.1.3- Le Paléozoïque.....	15
I.2.2- Tectonique du Sénégal oriental.....	16

I.2.3- Le Quaternaire du Sénégal oriental.....	17
I.3- Cadre hydrogéologique.....	17
I.3.1- Rappels sur l'hydrogéologie de socle.....	17
I.3.2- La nappe phréatique.....	19
I.3.2.1- Lithologie et paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.....	19
I.3.2.2- Profondeur de la nappe phréatique par rapport au sol.....	21
II- Urbanisation, approvisionnement en eau et assainissement.....	23
II.1- Urbanisation.....	23
II.1.1- Principales phases de croissance.....	23
II.1.1.1- La période coloniale.....	23
II.1.1.2- La période post-coloniale.....	23
II.1.1.3- La période des années 80 à nos jours.....	23
II.1.2- Organisation de la ville.....	24
II.1.2.1- Structure urbaine et découpage en quartier.....	24
II.1.2.2- Occupation du sol et tendance d'extension urbaine.....	26
II.1.3- Activités économiques.....	27
II.2- Approvisionnement en eau.....	27
II.2.1- Le fleuve.....	27
II.2.2- La nappe phréatique.....	28
II.3- Assainissement.....	29
II.3.1- Evacuation des fèces et des eaux vannes.....	29
II.3.2- Evacuation des eaux usées et de pluie.....	29
II.3.3- Evacuation des ordures ménagères.....	29

CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE.....31

I- Acquisitions des données.....	31
I.1- Recherches bibliographiques.....	31
I.2- Travaux de terrain.....	31
I.3- Travaux de laboratoire.....	32
II- Traitement des données.....	34

II.1- Diagramme de Piper.....	34
II.2- Rapports caractéristiques.....	34
II.3- Indice d'échange de base.....	35
III- Evaluation et cartographie de la vulnérabilité de la nappe phréatique de Kédougou à partir du Système d'Information Géographique.....	35

CHAPITRE III : QUALITE ET VULNERABILITE DE LA NAPPE.....38

I- Caractérisation hydrochimique de la nappe et risques de pollution.....	38
I.1- Définition et normes de qualité.....	38
I.2- Paramètres physico-chimiques.....	39
I.2.1- Température.....	39
I.2.2- Ph.....	41
I.2.3- Conductivité et minéralisation.....	43
I.3- Faciès chimiques des eaux.....	45
I.4- Paramètres chimiques.....	47
I.4.1- Les alcalins (Na^+ et K^+).....	47
I.4.2- Les alcalino – terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+}).....	52
I.4.3- Les chlorures (Cl^-).....	57
I.4.4- Les bicarbonates (HCO_3^-).....	59
I.4.5- Les sulfates (SO_4^{2-}).....	62
I.4.6- Les composés azotés.....	64
I.5- Etude de la contamination bactérienne.....	67
I-6- Conclusion.....	68
II- Evaluation et cartographie de la vulnérabilité de la nappe phréatique de Kédougou à partir du Système d'Information Géographique.....	69
II.1- Introduction.....	69
II.2- Sensibilité à la pollution.....	70
II.2.1- Assainissement.....	70
II.2.2- Densité de population.....	71

II.3- Accessibilité de la nappe à la pollution de surface.....	73
II.3.1- Epaisseur de la zone non saturée.....	74
II.3.2- Capacité d'infiltration du sol par rapport à la pollution de surface.....	75
II.4- Vulnérabilité de la nappe.....	78
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	80
Références bibliographiques.....	83

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des sigles

Annexes

DEDICACES

Je dédie ce travail :

- ✓ A mes parents et particulièrement à ma mère qui est pour moi une référence et source de motivation dans la vie. Que le tout puissant vous accorde longue vie et me donne la force de continuer à vous faire plaisir.
- ✓ A mes frères et sœurs : Ibrahima, Bassirou, Mor, Mohamed, Khadim, Aladji, Moustapha, Abdou, Abdoul Ahad, Coumba, Diarra et Mame Coumba.
- ✓ A ma tante Maty, mes belles sœurs Amy, Maguette, Maty et à mon filleul Mouhamadou Falilou.
- ✓ A mes oncles : Serigne Soda SYLLA, Touba SYLLA, Bassirou SYLLA et Modou SYLLA.
- ✓ A mes amis : Thioune, Baye Zale, Jules Sall, Bado, Baldé, Beuz, Jules Seck, Ibou Thiaw, Ibou Seck, Bouga, Serigne Cheikh, Khadim Seck, Cheikh Kandji, Malick Mané, Cheikh Baba, Pape Tambérou, Serigne Mor, Mandiaye Mboup, Maréme Dieng, Fatim Mbow, Marémou Wathie, Mama Thiam, Diarra, Anta, Ndioba, Khadim, Mamy Gueye...
- ✓ A Seyni Diagne, Mbeugué Thiam, Sénaba Mboup, Maty Sarr...
- ✓ Aux familles WATHIE, SYLLA, PENE, DIENG et THIAM.
- ✓ A toutes les personnes que j'ai du oublier.

AVANT PROPOS

Ce travail a été conjointement réalisé entre le Département de Géologie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar et l'Agence Régional de Développement (ARD) de Tambacounda. Au terme de ce travail, j'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui, par leur collaboration, leurs conseils et leur encouragement ont permis la réalisation de ce mémoire. Ces remerciements iront d'abord à

- Monsieur **Abdoulaye FAYE**, Maître de Conférences et responsable du DEA d'Hydrogéologie pour avoir accepté de présider le jury. Je lui témoigne mon respect et ma gratitude.

- Monsieur **Abdoul Aziz TANDIA**, Maître Assistant au Département de Géologie qui a guidé mes premiers pas dans la recherche. Je lui serais toujours reconnaissant de m'avoir proposé ce sujet et de n'avoir ménagé aucun effort pour sa réalisation en me mettant dans de bonnes conditions matérielles et financières. Sa rigueur, sa compétence et ses précieux conseils m'ont été d'un grand apport. Que le bon Dieu lui accorde longue vie et bonheur.

- Monsieur **Raymond MALOU**, Maître Assistant au Département de Géologie pour avoir corrigé une partie de ce mémoire et de faire partie du jury. Je lui témoigne ma profonde gratitude.

- Monsieur **Serigne FAYE**, Maître Assistant au Département de Géologie pour ses conseils qu'il donne sans cesse aux étudiants. Je lui suis très reconnaissant d'avoir voulu juger ce travail en faisant partie du jury.

J'adresse aussi mes remerciements à :

- **l'Agence Régionale de Développement (ARD)** de Tambacounda pour son soutien matériel et financier.
- **Ibrahima DEME**, étudiant en année de thèse au Département de Géologie pour m'avoir initié à Arc View. Tu as animé en moi le goût du travail d'équipe en associant jovialité et rigueur dans le travail.
- **Kalidou CISSOKO** de l'ARD de Kédougou, **Opa CISSOKO** de l'ARD de Tambacounda, aux chauffeurs **Foula CISSOKO**, **Samba NGOM** et **Fodé CISSOKO**.
- **Abdoukarim ALASSANE** pour tous ses conseils et de m'avoir initié aussi à Surfer.
- **Moussa SOW** du laboratoire d'Hydrochimie du département de Géologie pour sa disponibilité lors des analyses chimiques.
- Mes promotionnaires : **Abdoul Aziz NGUING**, **Assane DIOP**, **Hélène Diakher MADIOUNE**, **Yahya Yemdih Ould MAKHFOUZ**, **Thierno FALL**, **Oumarou WAGUE**. Mention spéciale à **Marième Soda DIALLO** avec qui des liens très forts d'amitié se sont tissés pendant la rédaction du document.
- **Aissata**, **Richard**, **Moustapha NDOYE**, **Mouhamadane DIENE**, **Yakhya GUEYE**, **Fakoro DIA**, **Pape SENGHOR**, **Malick NDIAYE**.
- Au personnel de la Mission du Grand-Duché de Luxembourg à Dakar. Il s'agit de **Marc FRANCK**, **Hamadou KONATE**, **Amadou Tidjane GAYE**, **Réhanatou FAYE**, **Amadou Moustapha CAMARA**, **Aliou DIAO** et **Bineta DIALLO**.
- Aux étudiants du 3^{ème} cycle de Géologie et à toutes les personnes que j'ai omis involontairement.

RESUME

La commune de Kédougou est localisée entre les latitudes 12°32' et 12°34' N et les longitudes 12°10' et 12°11' W. Elle est située dans une zone de socle caractérisée par des nappes discontinues de faible importance. L'approvisionnement en eau est assuré par les forages de la SDE et des puits traditionnels qui exploitent la nappe phréatique de faible profondeur.

Face à l'accroissement actuel du peuplement, il devient nécessaire d'avoir des connaissances approfondies sur la nappe phréatique, source indispensable d'approvisionnement en eau potable des populations. L'aquifère est situé dans les sables et argiles du Quaternaire reposant sur le socle métamorphique (schistes) du Paléozoïque.

Le manque d'urbanisation, combiné à la quasi absence d'assainissement augmentent le risque de dégradation de la qualité des eaux. Ainsi, un contrôle doit être mis en place afin de prévenir les risques de pollution et préserver la qualité de la nappe. Notre étude a consisté à faire une caractérisation hydrochimique et chimique en étudiant l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux et d'évaluer les risques de pollution en élaborant une carte de vulnérabilité de la nappe phréatique.

L'étude spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques a révélé que les eaux sont acides à neutres avec des pH allant de 3,66 à 7,2. Les températures qui varient de 27,1 à 32,9°C reflètent celles de l'atmosphère ambiante. Les valeurs de conductivité électrique sont comprises entre 2,41 et 732 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Quatre types de faciès chimiques ont été identifiés. Il s'agit :

- d'un faciès bicarbonaté calcique prédominant en période d'étiage,
- d'un faciès chloruré calcique,
- d'un faciès chloruré sodique majoritaire en période de hautes eaux,
- d'un faciès bicarbonaté sodique.

L'étude spatio-temporelle de la chimie des eaux a montré qu'outre l'influence anthropique, la minéralisation des eaux est influencée par d'autres processus tels que l'hydrolyse des argiles, les processus d'échanges de bases et la diffusion du CO_2 atmosphérique. Les phénomènes de concentration, de dilution et d'échange de cations ont un impact très important sur la variation temporelle des teneurs en éléments chimiques des eaux étudiées.

Les ions nitrates (NO_3^-) issus de la pollution domestique sont présents dans la nappe à des teneurs supérieures à la limite de l'OMS (50 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). En effet, les valeurs sont comprises entre 1,65 et 236,77 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. En outre, les ions nitrates sont mieux corrélés avec les ions Cl^- qu'avec les autres ions, ce qui suggère leur origine fécale. L'étude bactériologique a révélé que tous les puits échantillonnés contiennent des coliformes fécaux.

La carte de vulnérabilité réalisée à l'aide du SIG a montré que la nappe est très faiblement à fortement vulnérable. Ceci étant lié à la nature des terrains, au manque d'assainissement et à la faible profondeur de la nappe qui n'excède pas 11 m. La superposition de la carte de vulnérabilité avec celle des nitrates a mis en évidence une étroite relation entre les teneurs élevées de nitrates et les anciens quartiers densément peuplés. Cette pollution est donc liée à l'occupation des sols par les populations.

Mots clés : Kédougou, Nappe phréatique, Hydrochimie, Qualité, Assainissement, Urbanisation, Pollution, Nitrates, Coliformes fécaux, Vulnérabilité.

INTRODUCTION

Les besoins croissants d'alimentation en eau des populations urbaines font que le captage des nappes devient de plus en plus nécessaire.

Les eaux superficielles les plus accessibles, sont très vulnérables à la pollution et posent un problème de potabilité. Les eaux des nappes phréatiques constituent pour les populations une source idéale car elles sont accessibles par les puits traditionnels.

La ville de Kédougou est située dans une zone de socle caractérisée par des nappes discontinues, inaccessibles et difficilement exploitables. Les populations de la commune de Kédougou s'approvisionnent en eau à partir des forages de la Sénégalaise Des Eaux (SDE) et des puits traditionnels qui exploitent la nappe phréatique de faible profondeur.

Dans ce contexte de socle, cette nappe importante pour les populations locales, nécessite un contrôle particulier, dans le but de prévenir les risques de pollution et préserver ainsi sa qualité.

Notre étude “ **Caractérisation hydrochimique et risques de pollution de la nappe phréatique de la commune de Kédougou et environs** ” entre dans la politique de gestion des ressources en eau initiée par le Département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD. Elle a pour objectif de faire une caractérisation hydrochimique et chimique en étudiant l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux et d'évaluer les risques de pollution liés au manque d'urbanisation et à la quasi-absence d'assainissement par l'élaboration d'une carte de vulnérabilité à l'aide du Système d'Information Géographique (SIG).

Le présent mémoire est subdivisé en trois chapitres :

- le premier chapitre rappelle la géographie, la géologie, l'hydrogéologie et l'urbanisation de la zone d'étude ;
- le deuxième chapitre porte sur la méthodologie de l'étude ;
- le troisième est consacré à la qualité et à la vulnérabilité de la nappe.

Une conclusion générale et quelques recommandations sont émises à la fin.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I- Contextes géographique, géologique et hydrogéologique

I.1-Cadre géographique

La ville de Kédougou est le chef-lieu du département qui porte son nom. Celui-ci couvre une superficie de 16896 Km² (28,3 %) de la superficie de la région de Tambacounda qui est la plus grande au Sénégal (59602 km²) et 8,6 % du territoire national, soit le cinquième département sénégalais en surface (PNUD, 1998). Le département de Kédougou est situé à l'extrême Sud-Est de la région de Tambacounda à la frontière sénégal-guinéenne (**Fig. 1**).

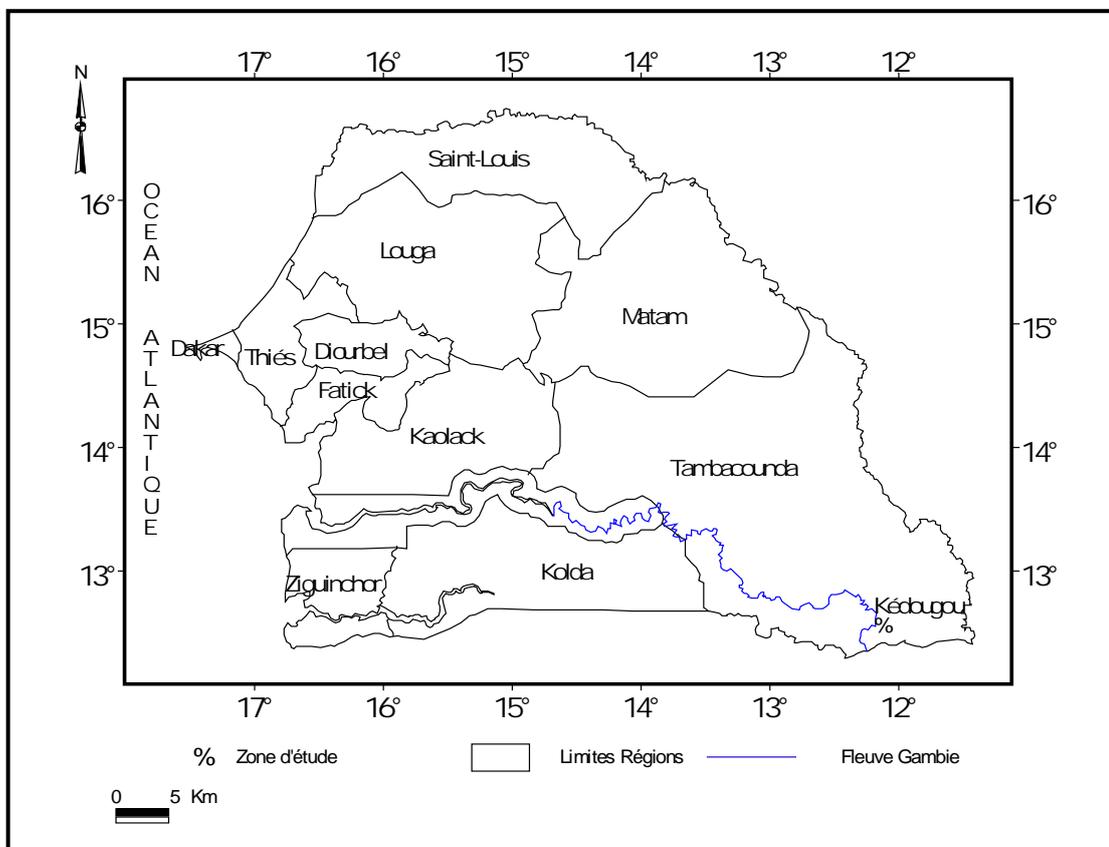


Fig. 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

D'une superficie de 4,48 Km² (ADM, 2002), la ville de Kédougou se localise entre les latitudes 12° 32' et 12° 34' N et les longitudes 12° 10' et 12° 11' W. Elle se situe sur le socle caractérisé par des nappes discontinues de faible importance.

La commune de Kédougou est implantée sur les plateformes du mont Fouta – Djallon. Ce site d'une altitude moyenne de 400 m est un îlot ceinturé par le fleuve Gambie au Sud et à l'Est, et par la rivière Dinguessou (affluent de la Gambie) au Nord. A l'Est, des zones inondables y limite aussi son extension, alors qu'à l'Ouest, la ville est érigée sur un plateau latéritique (**Fig. 2**).

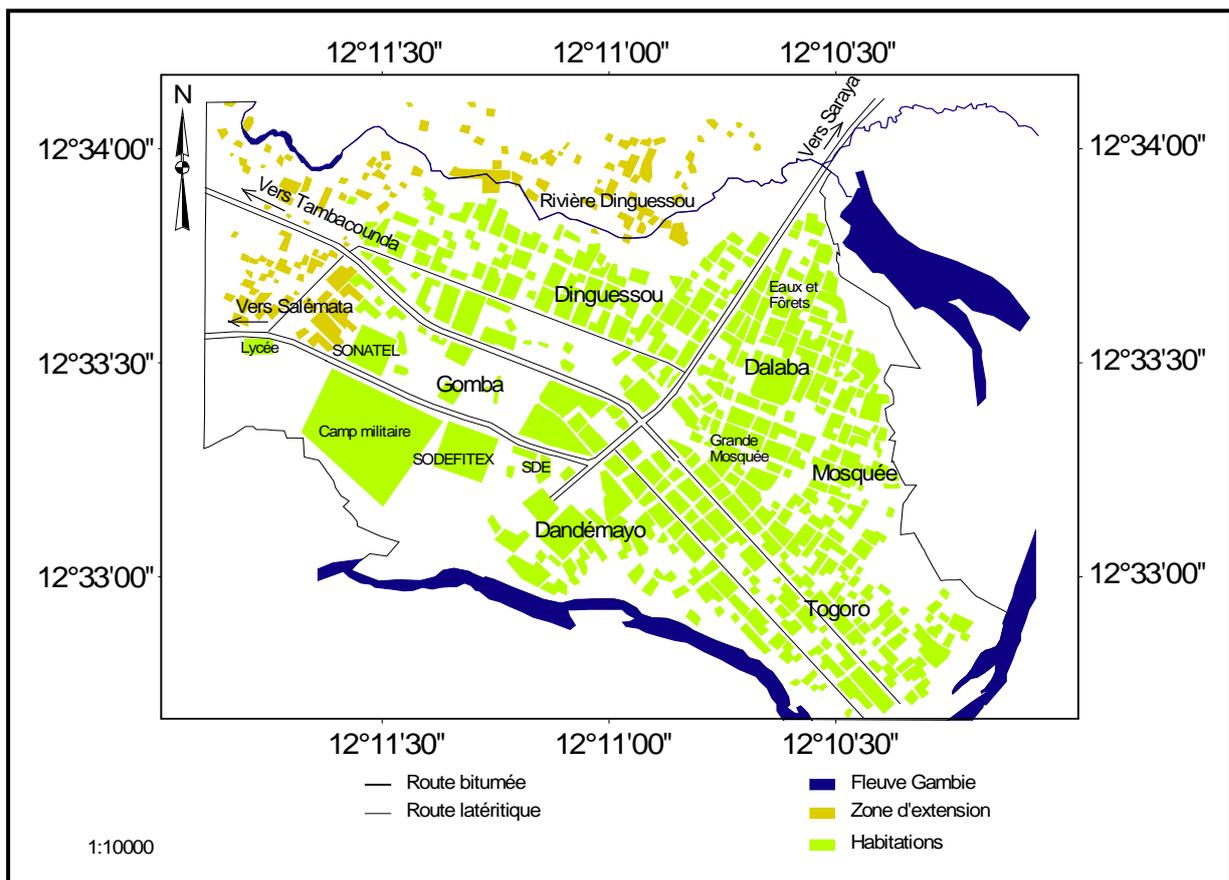


Fig. 2 : Plan de la commune de Kédougou

I.1.1- Climatologie

La commune de Kédougou est caractérisée par un climat de type soudano – guinéen à deux saisons bien marquées :

- la saison des pluies qui dure six mois (mai à octobre) avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1000 et 1300 mm ;
- la saison sèche d'une durée de six mois (novembre à avril).

Les données climatiques (pluviométrie, température, humidité relative, évaporation et insolation) nous ont été fournies par le Service Météorologique National de l'ASECNA qui gère un réseau de stations dont celle de Kédougou.

I.1.1.1- Les vents

La zone étudiée est caractérisée par l'alternance de deux types de vents : l'harmattan, chaud et sec, en provenance de l'anticyclone saharien, et la mousson, chaude et humide, issue de l'anticyclone de Sainte Hélène. La trace au sol de la limite de la mousson et de l'harmattan constitue le Front Intertropical (F.I.T) ou équateur météorologique.

Durant la saison sèche, l'anticyclone continental boréal centré sur le Sahara et l'anticyclone des Açores sont très puissants et repoussent l'équateur météorologique vers le Sud. Cette position méridionale est souvent atteinte en décembre-janvier. L'anticyclone saharien envoie vers les basses latitudes un flux d'air fort et régulier, l'harmattan de direction NE. Ce vent rencontre au niveau de la côte l'alizé maritime engendré par l'anticyclone des Açores. Les seules précipitations éventuelles durant cette période, " le heug " ont une origine polaire (Diène, 1995).

En février, le F.I.T amorce sa migration vers le nord où il atteint et franchit le 13^e parallèle en mai-juin. Cette migration est due au renforcement de l'anticyclone subtropical de Sainte Hélène qui souffle les masses d'air océaniques, tièdes et humides sur la quasi-totalité de l'Afrique occidentale, provoquant les averses de la saison des pluies. En août, le F.I.T atteint sa position la plus septentrionale vers 20° de latitude nord et dès le mois de septembre, cette ascension du F.I.T s'inverse pour une descente vers le Sud. La saison des pluies s'achève en octobre-novembre lorsque le F.I.T quitte le pays.

I.1.1.2- Pluviométrie

L'étude de la pluviométrie sur une période de 30 ans (1970-2000) montre que la zone d'étude, localisée dans le domaine soudano-guinéen est bien arrosée avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1160 mm.

La **figure 3** qui représente la variation de la moyenne mensuelle pluviométrique est unimodale entre mai et octobre avec un maximum en août (306,7 mm), pendant lequel le front Inter tropical (F.I.T) atteint sa position la plus septentrionale vers 20° de latitude N (Orange, 1992).

Les véritables précipitations n'ont lieu que durant la période allant de mai à octobre et qui totalise ainsi près de 99 % des pluies annuelles.

Cette saison pluvieuse est suivie d'une période sèche (novembre à avril). Celle-ci est caractérisée par l'absence de pluies à l'exception des seules précipitations éventuelles " heug " issues des masses d'air froid.

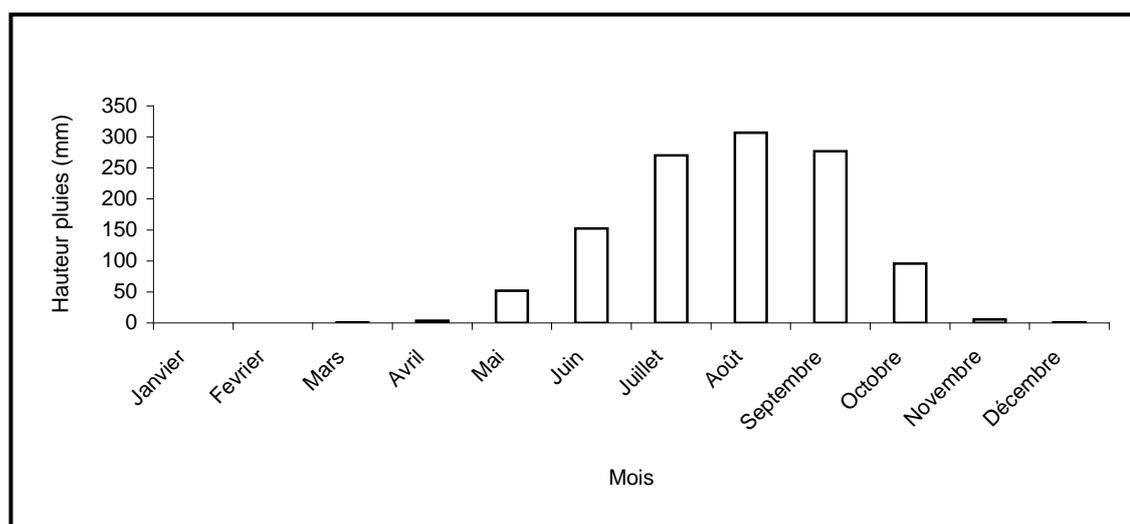


Fig. 3 : Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de Kédougou de 1970 à 2000

I.1.1.3- La température

La ville de Kédougou, comme le reste du département est caractérisée par des écarts thermiques extrêmes, le minimum est observé en janvier avec 18°C et le maximum en avril avec 38°C (ADM, 2002).

La **figure 4** qui représente les variations des températures moyennes mensuelles sur une période de 30 ans (1970-2000) montre que les températures les plus élevées sont observées pendant les mois de mars, avril et mai.

Une légère baisse de température est également notée pendant les mois de juillet, août et septembre du fait des pluies d'hivernage qui rafraîchissent l'air. Ensuite, une remontée est observée en octobre, puis une baisse en décembre-janvier à cause des masses d'air frais. Les températures les plus basses sont enregistrées pendant cette période.

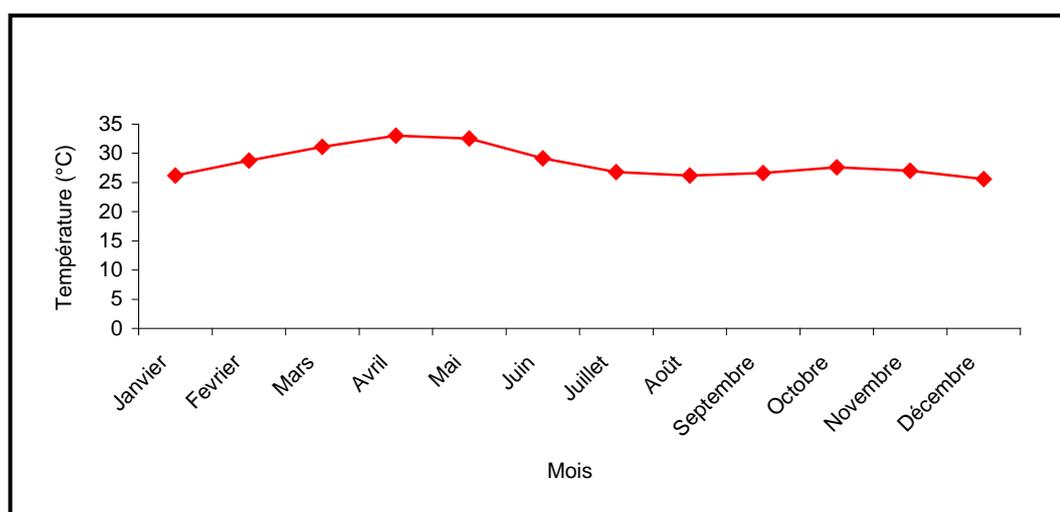


Fig. 4 : Températures moyennes mensuelles à la station de Kédougou de 1970 à 2000

I.1.1.4- Humidité relative

L'évolution de l'humidité relative moyenne mensuelle (**Fig. 5**) montre que les valeurs les plus élevées (avec plus de 50 %), s'observent pendant l'hivernage avec des maxima en août et septembre (plus de 75 %). On note un accroissement régulier de l'humidité

relative qui va d'avril à septembre, suivi d'une baisse également régulière à la fin de la saison des pluies.

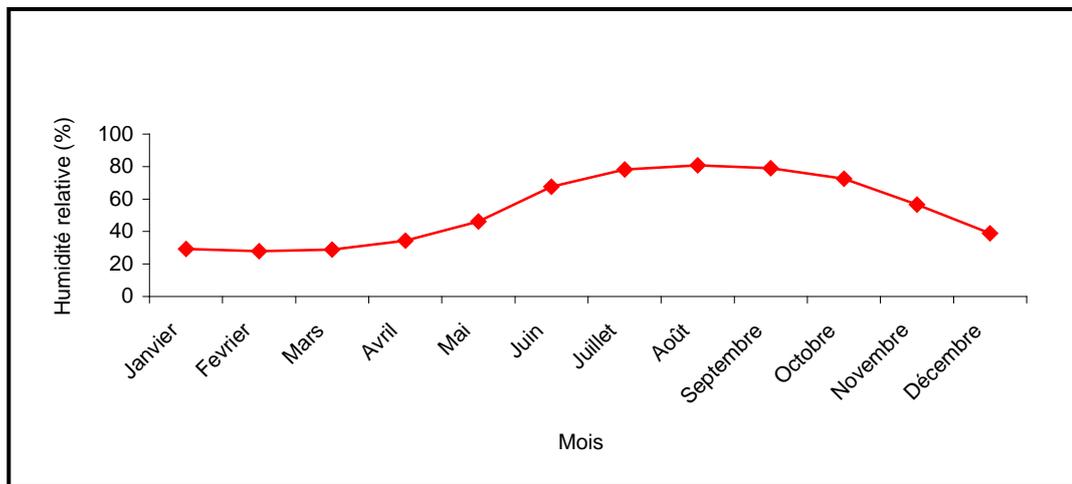


Fig. 5 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative de la station de Kédougou de 1970 à 2000

I.1.1.5- Evaporation

L'analyse de l'évaporation moyenne mensuelle (**Fig. 6**) montre un fort pouvoir évaporant de l'air au cours de la saison sèche durant laquelle souffle l'harmattan (en février, mars et avril : 10 mm/j). Dès l'arrêt de l'harmattan à l'approche de l'hivernage caractérisée par la mousson, ce paramètre subit une forte baisse. Les valeurs les plus faibles sont observées pendant les mois les plus pluvieux, août et septembre (environ 2 mm/j). A partir du mois d'octobre, on note une hausse des valeurs jusqu'en mars-avril.

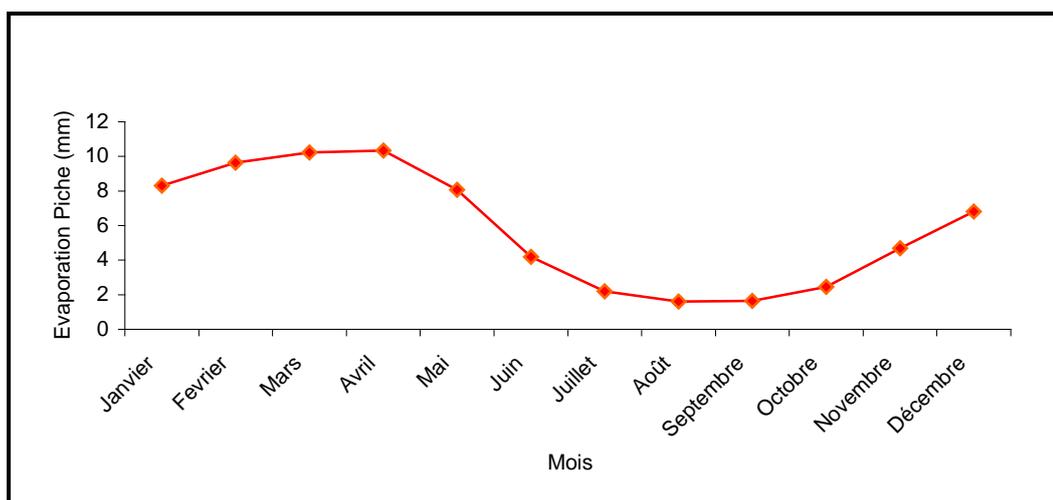


Fig. 6 : Moyenne mensuelle de l'évaporation Piche à Kédougou de 1970 à 2000

I.1.1.6- Insolation

La zone de Kédougou est très ensoleillée avec une moyenne annuelle de 8 h/j, ce qui la place parmi les départements les plus ensoleillés du Sénégal.

La **figure 7** montre que les périodes d'ensoleillement maximum se situent de décembre à avril, période pendant laquelle les températures sont élevées et le ciel dégagé. L'insolation est minimale pendant la saison des pluies, de mai à novembre, le minimum étant atteint en août (6 h/j), mois le plus pluvieux.

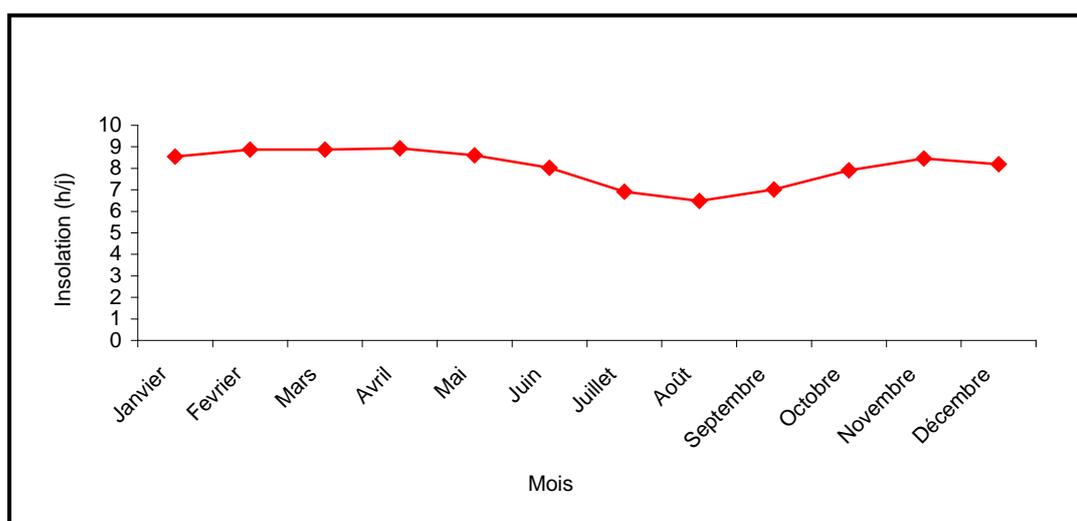


Fig. 7 : Moyenne mensuelle de l'insolation à Kédougou de 1970 à 2000

I.1.2- Végétation et sols

- Végétation

La ville de Kédougou est caractérisée par une végétation arborée et arbustive avec une forte présence de grands arbres caractéristiques du climat soudano–guinéen dans les parties basses du site. Le plateau latéritique à l’Ouest supporte une végétation arbustive avec quelques arbres isolés (PNUD, 1998).

- Sols

Ils sont de types gravillonnaires, ferrugineux, lessivés, ferralitiques vers le Nord et l’Ouest, ocre et gris vers le Sud et l’Est. Il s’agit de sols peu épais, dont les réserves en eau sont faibles. Il existe cependant des sols hydromorphes à l’Est et aux abords des cours d’eau. Ces zones inondables constituent les seules terres agricoles (PNUD, 1998).

I.1.3- Hydrologie

I.1.3.1- Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du fleuve Gambie est dense et bien hiérarchisé (**Fig. 8**). Le fleuve Gambie, long de 1150 km, prend sa source à proximité de Labé, sur le versant nord de la partie orientale du Fouta-Djallon (Michel, 1973).

De la source jusqu’à l’exutoire de Kédougou, il décrit un parcours sinueux. Il s’oriente d’abord vers le NE, recevant les modestes apports de la Silamé puis, en rive droite, ceux plus importants de l’Oundou et de la Koéla. De nombreuses chutes jalonnent le cheminement du cours d’eau à travers un paysage essentiellement cuirassé installé sur un substratum rocheux. Il se dirige vers le Nord-Ouest, marqué par de nombreux méandres jusqu’à l’exutoire de Kédougou. Au cours de cet itinéraire, il se grossit en rive gauche des eaux de la Liti, puis des eaux de la Kannta issue des hauteurs du massif de Mali. La partie supérieure et méridionale du bassin est la plus arrosée et fournit un

écoulement quasi permanent, alors que la bordure orientale et les régions septentrionales ne sont fonctionnelles qu'en saison pluvieuse.

Le fleuve Gambie, à Kédougou, est important, car le bassin versant couvre une superficie de 7550 km² (PNUD, 1974) pour une longueur de 213 km (Ndiaye, 1995) et une pente moyenne de 0,42 % (PNUD, 1974).

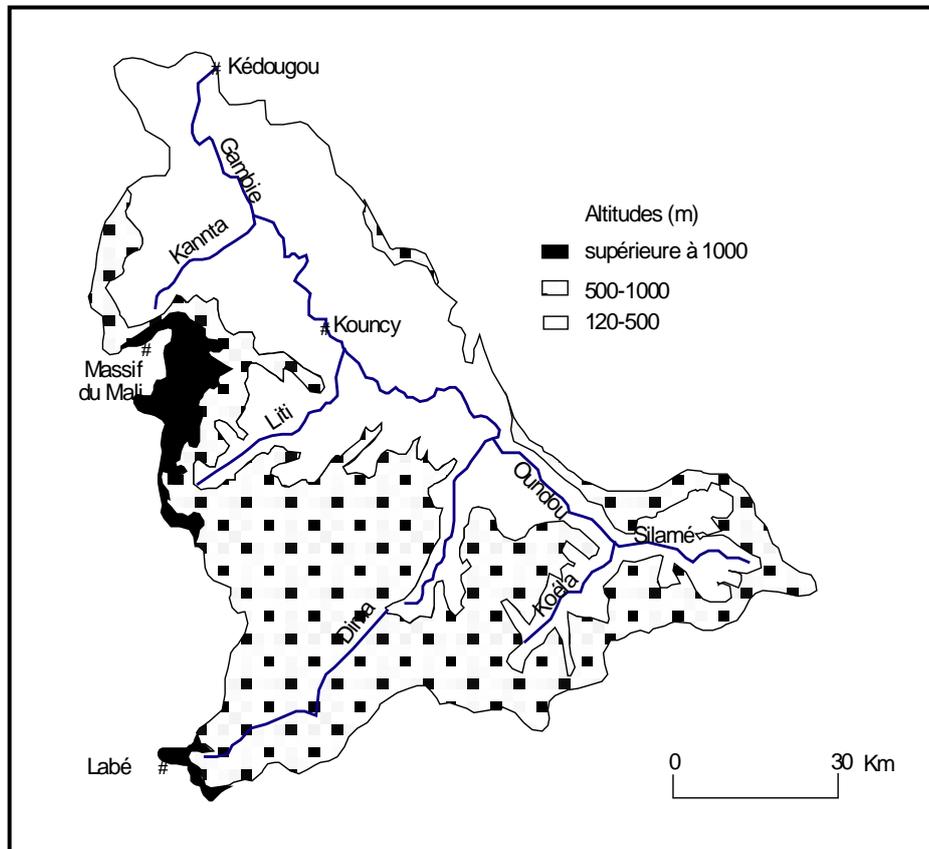


Fig. 8 : Réseau hydrographique et hypsométrie du bassin versant amont de la Gambie (Orange, 1992), modifié

I.1.3.2- Régime hydrologique

Le fleuve Gambie présente un régime hydrologique de type tropical. Il est caractérisé par l'alternance d'une période de hautes eaux (crue) qui s'étend d'août à novembre et d'une période de basses eaux (décrue) de décembre à juillet (**Fig. 9**).

Le débit du fleuve augmente progressivement en fonction de l'importance des pluies reçues par le bassin supérieur. C'est ainsi que le maximum des apports survient en août et septembre avec des débits mensuels respectifs de 327,2 et 318,8 m³.s⁻¹.

Cette période est suivie d'un tarissement au cours de la saison sèche avec un minimum de 0,9 m³.s⁻¹ au mois d'avril.

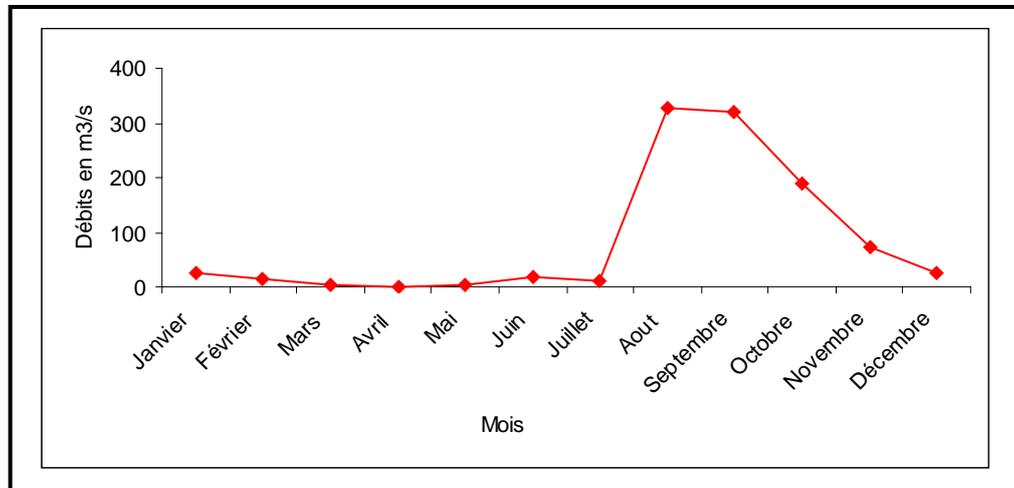


Fig. 9 : Débits moyens mensuels du fleuve Gambie à la station de Kédougou de 1970 à 1994

Des études (Ndiaye, 1995) ont montré qu'à la station de Kédougou, le fleuve Gambie connaît une variation inter annuelle assez importante des débits avec une période déficitaire (de 1971 à 1994) (**Fig. 10**). Cette période, de durée très longue, est remarquable avec de faibles débits (82,8 m³.s⁻¹ en 1990 et 60,1 m³.s⁻¹ en 1994).

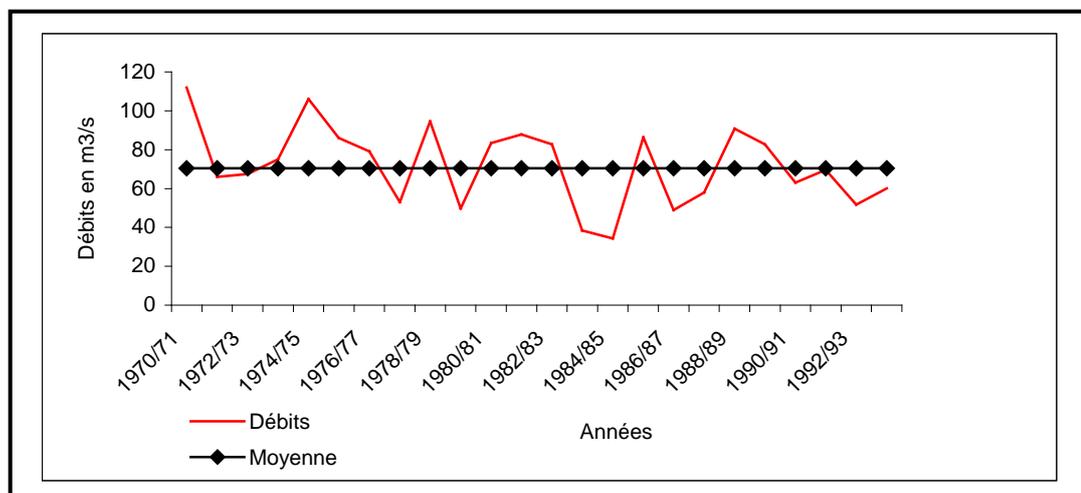


Fig. 10: Variation inter annuelle des débits du fleuve Gambie à la station de Kédougou de 1970 à 1994

I.1.4- Conclusion

La zone d'étude, localisée dans le domaine soudano-guinéen, est caractérisée par deux saisons bien marquées :

- une saison pluvieuse de mai à octobre avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1000 et 1300 mm ;
- une saison sèche de novembre à avril subdivisée en :
 - période sèche et fraîche qui va de novembre à février avec des températures comprises entre 14 ° et 22 °C ;
 - période sèche et chaude allant de mars à avril avec des températures comprises entre 16 ° et 25 °C (Bellion, 1963).

Même si la quantité de pluie est importante à Kédougou, sa violence, combinée à la présence d'une couverture cuirassée et d'une couche d'argiles épaisse favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration.

I.2- Cadre géologique

La géologie locale de Kédougou est liée aux séries birimiennes du Sénégal Oriental. Celle-ci fait partie de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba qui constitue en partie le craton Ouest-Africain.

I.2.1- Rappel de la géologie régionale : le craton Ouest-Africain

Caractérisé par une évolution polycyclique comprenant des terrains précambriens (Archéen, Protérozoïque inférieur) entourés de formations panafricaines, le craton Ouest-Africain est limité au Nord par l'Anti-Atlas, à l'Est par la zone mobile d'Afrique centrale et à l'Ouest par la zone mobile d'Afrique de l'ouest (**Fig. 11**).

Le craton Ouest-Africain comprend trois unités d'âge précambrien :

- la dorsale de Réguibat au Nord ;
- les boutonnières de Kédougou-Kéniéba et de Kayes au centre ;
- la dorsale de Man au Sud.

Ces unités sont limitées à l'Ouest et à l'Est par des zones mobiles d'âge panafricain.

L'ensemble est recouvert en grande partie par le bassin sédimentaire d'âge paléozoïque de Taoudéni, de Tindouf et Voltaïen (Bessoles, 1977 ; *in* Diouf, 1999).

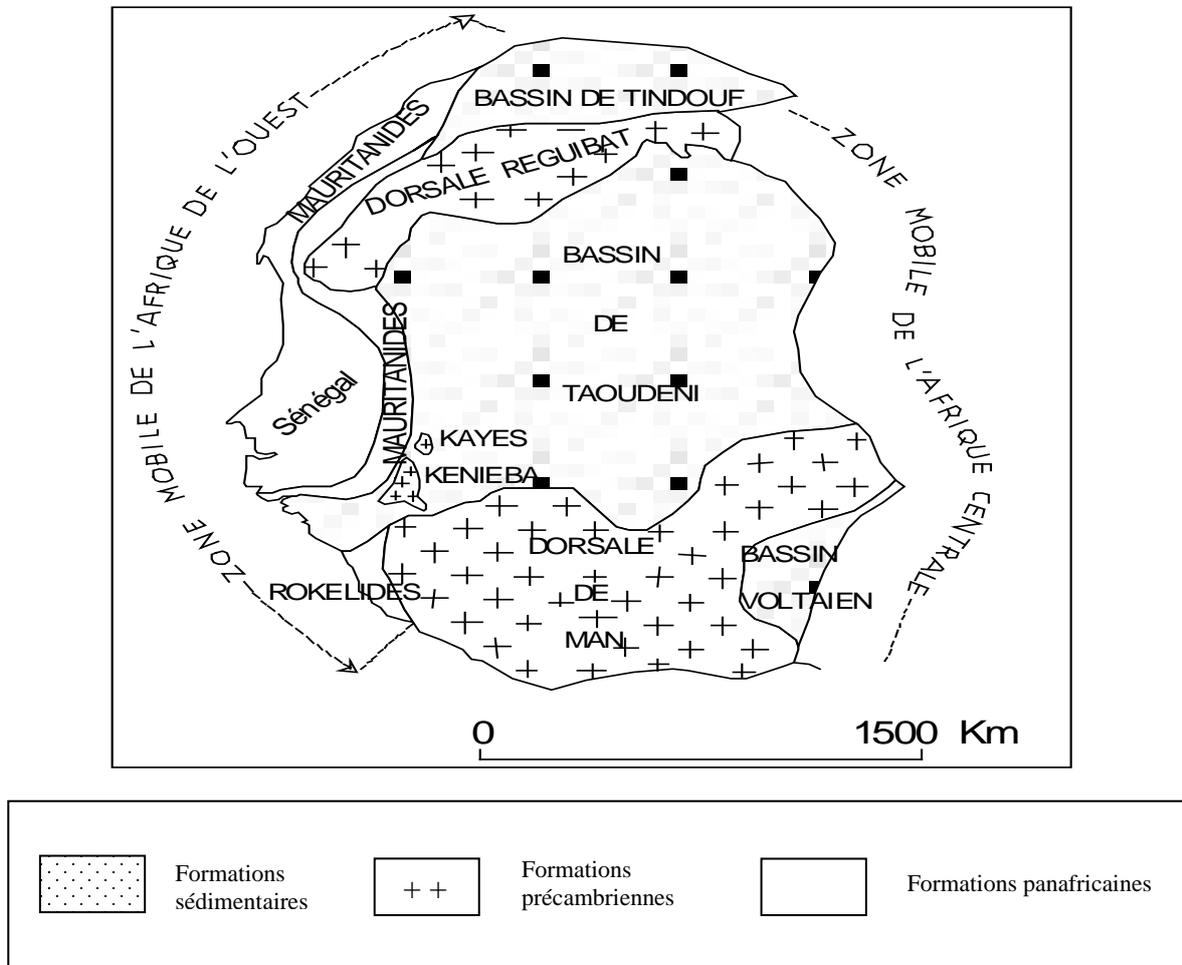


Fig. 11 : Le craton Ouest-Africain (Bessoles, 1977)

I.2.1.1- Géologie locale : le Birimien du Sénégal Oriental

Au Sénégal, les formations birimiennes affleurent entre 12 ° et 15° de Latitude Nord, 11 ° et 14° de Longitude Ouest principalement dans la boutonnière de Kédougou-Kéniéba située au Sud-Est du Sénégal, aux limites de la frontière sénégalo-malienne (Cissoko, 1999). Ces formations peu plissées et faiblement métamorphisées sont stables ; elles ont été affectées par l'orogénèse éburnéenne et sont dites "roches

birimiennes" car définies pour la première fois dans la rivière Birim au Ghana (Stancioff et al, 1986).

Les formations birimiennes peuvent être subdivisées en deux super groupes :

- Le super groupe de Mako ;
- Le super groupe de Dialé-Daléma.

- ***Le super groupe de Mako***

Il constitue une bande orientée NNE–SSW occupant la partie occidentale de la boutonnière (**Fig. 12**). Sa caractéristique principale est l’abondance d’un volcanisme basique. On y trouve des coulées de basaltes associées à des sils et à des dykes de gabbros et de péridopyroxénites. Les épisodes volcano–sédimentaires sont surtout représentés au Sud où ils dominent par endroits les formations volcano–plutoniques. Dans ce super groupe de Mako, on trouve également des formations acides, notamment le batholite composite granodioritique et syntectonique de Kakadian (Dia, 1988; *in* Diallo, 2001) et de nombreux massifs post–tectoniques dont ceux de Diambaloye et de Tinkoto (Bassot, 1966).

- ***Le super groupe de Dialé–Daléma***

Situé dans la partie Est de la boutonnière, ce domaine est constitué d’une importante pile de couches sédimentaires et volcano–détritiques à intercalations carbonatées (**Fig. 12**). On y distingue :

- un groupe inférieur détritique de près de 2000 mètres de puissance à intercalations carbonatées. Le dépôt de ce groupe se termine par la mise en place du complexe volcano–plutonique de la Daléma (Bassot, 1987; *in* Diallo, 2001),
- un groupe supérieur de 8000 mètres de puissance constitué d’une alternance de schistes, grauwackes et quartzites.

I.2.1.2- L’Infracambrien

Il est représenté par la série de Ségou Madina-Kouta. De plus de 200 m, elle présente une succession mixte de roches volcano-sédimentaires. Sa structure monoclinale est marquée par des pendages inférieurs à 10° et elle est discordante sur le socle birimien.

I.2.1.3- Le Paléozoïque

Il est caractérisé par des roches volcaniques, volcano-sédimentaires et sédimentaires plus ou moins métamorphisées. Les formations du Paléozoïque appartiennent à la chaîne des Mauritanides qui constituent la partie occidentale du craton Ouest-africain. Elles peuvent être subdivisées en six séries (Bassot, 1966) (**Fig. 12**) :

- la série du Mali, essentiellement sédimentaire et caractérisée par un plissement important à l’exception de sa partie occidentale ;
- la série de la Falémé caractérisée par un ensemble volcanique acide et basique ;
- la série des Bassaris constituée d’un ensemble de roches épimétamorphiques orientées NNE à l’Ouest ;
- la série de Youkounkoun comprenant un ensemble volcanique acide ;
- la série de Koulountou formée de roches légèrement métamorphisées ;
- la série de Bakel à faciès sériciteux à l’Ouest et à faciès à muscovite à l’Est.

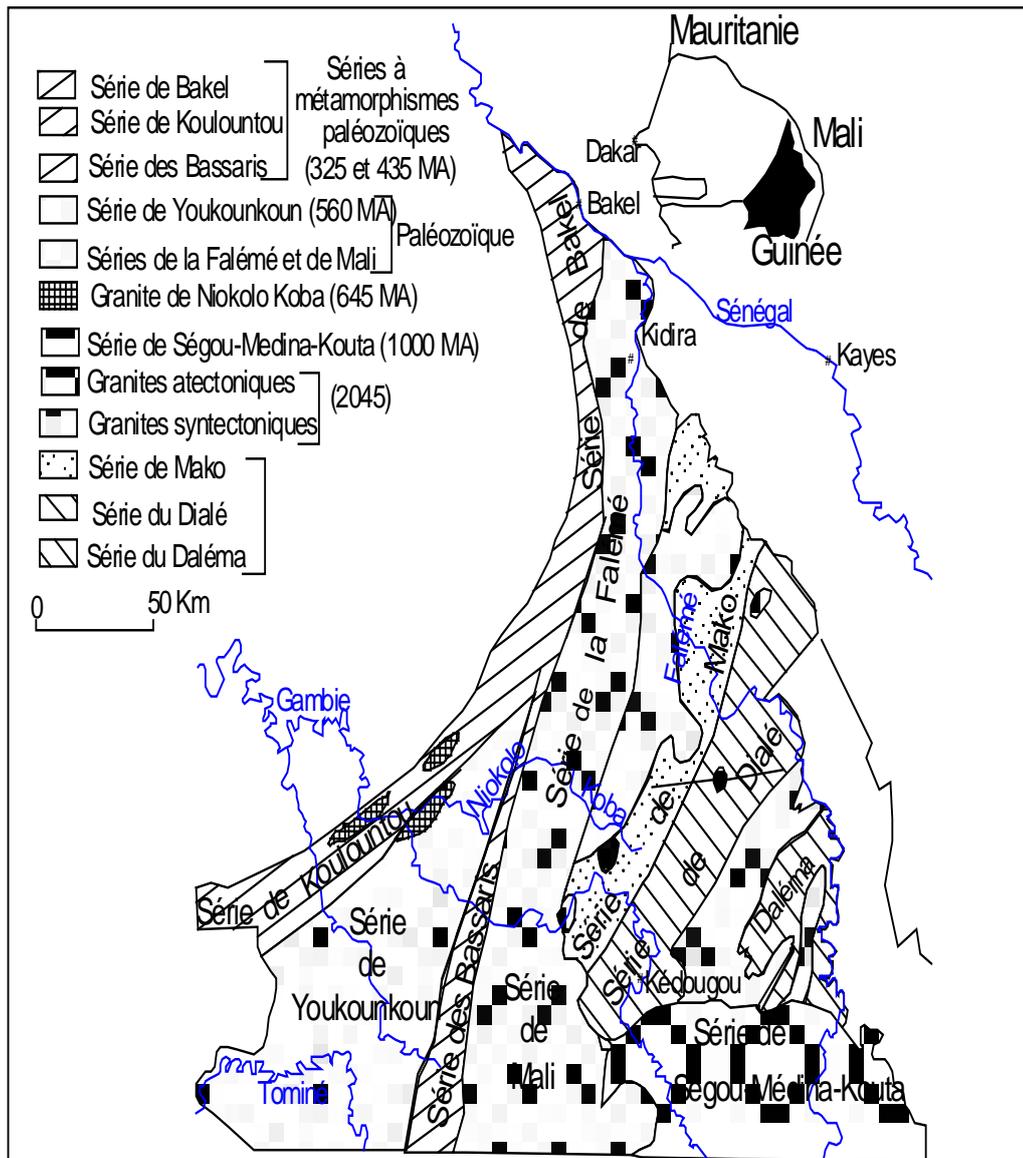


Fig. 12 : Esquisse géologique du Sénégal Oriental (Bassot, 1966), modifiée

I.2.2- La tectonique du Sénégal oriental

Le Birimien du Sénégal oriental a été affecté par deux types de déformations :

- Le super groupe de Dialé – Daléma, le plus récent, est affecté par une tectonique collisionnelle (D1) marquant la limite entre le noyau archéen de Kanéma-Man et le

domaine de Baoulé – Mossi. L'âge de cette tectonique se situe entre 2112 et 2100 Ma (Feybesse et al. , 1989 ; *in* Cissoko, 1999) ;

- Le super groupe de Mako, qui est l'entité la plus ancienne, a été affecté par une tectonique transcurrente (D2 et D3) se traduisant par des décrochements dextres et senestres. Cette tectonique dont l'âge se situerait entre 2096 et 2073 Ma (Feybesse et al. , 1989 ; *in* Cissoko, 1999), est responsable de nombreuses émissions volcaniques le long des fractures profondes de la croûte.

Les autres formations, à l'exception des séries de Ségou-Madina-Kouta et de Mali, ont été tectonisées très violemment. En effet, mise à part la partie occidentale de la série de Bakel, la tectonique semble être restée de revêtement et non de couverture (Bassot, 1969).

I.2.3- Le Quaternaire du Sénégal Oriental

Au Sénégal oriental, le Quaternaire est constitué de formations alluvionnaires qui sont déposées aux alentours des cours d'eau. C'est ainsi qu'on distingue :

- les formations du Quaternaire ancien à moyen essentiellement représentées par des alluvions graveleuses ;
- les formations ogoliennes composées d'alluvions grossiers notamment des sables éoliens et argileux. Ces formations constituent de loin la couche aquifère la plus importante ;
- les formations du Quaternaire récentes telles que les dépôts actuels à subactuels essentiellement représentés par des argiles et sables fins.

I.3- Cadre hydrogéologique

I.3.1- Rappels sur l'hydrogéologie de socle

L'hydrogéologie de socle présente des aspects particuliers, notamment en ce qui concerne le mode de gisement des eaux souterraines. Dans cette partie, quelques caractéristiques des aquifères de socle seront rappelées.

Notion d'aquifères de socle

Les conditions de gisement des eaux souterraines sont plus complexes dans les zones de socle qu'en milieu sédimentaire. En effet, les aquifères de socle sont peu étendus et isolés les uns des autres. Les réservoirs se forment dans la plupart des cas à la faveur de failles majeures ou d'un champ de fractures et/ou dans les altérites de couverture.

On distingue ainsi trois types de réservoirs aquifères potentiels en milieu de socle :

- *le réservoir d'altérites ;*
- *le réservoir de fissures ;*
- *le réservoir de failles.*

- Le réservoir d'altérites

Les altérites correspondent à la couche supérieure d'altération. Celle-ci comprend généralement trois horizons qui sont de haut en bas :

- la cuirasse latéritique ;
- les altérations argileuses ;
- les arènes grenues.

La composition minéralogique des altérites dépend de celle de la roche-mère. Si le produit d'altération comporte une importante fraction argileuse, la perméabilité s'en trouve réduite; c'est le cas des altérites de schistes (CEFIGRE, 1990). L'épaisseur de la zone altérée dépend, quant à elle, des conditions climatiques et géomorphologiques. Elle constitue un paramètre important à prendre en compte dans la recherche des eaux souterraines.

- Le réservoir de fissures

Situé en dessous de la couche d'altération, le réservoir de fissures est constitué d'un niveau partiellement altéré et plus ou moins fissuré. Les fissures sont souvent ouvertes, mais elles peuvent être remplies par des produits d'altérations. Dans ce cas, leur perméabilité est réduite, surtout si le produit de remplissage est argileux. La qualité de tels réservoirs dépend principalement de la densité de fissuration, de la profondeur, de la longueur et du degré d'interconnexion des fissures (Summers, 1972; *in* Diallo, 2001).

- *Le réservoir de failles*

Il s'apparente un peu aux réservoirs de fissures, en ce sens que dans les deux cas, c'est la tectonique qui contrôle le mode de gisement. Cependant, les failles ou fractures majeures sont de dimensions beaucoup plus importantes (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de kilomètres de long) (CEFIGRE, 1990). Elles sont très profondes et sont généralement jalonnées de zones broyées pouvant atteindre quelques mètres à quelques centaines de mètres de largeur.

I.3.2- La nappe phréatique

I.3.2.1- Lithologie et paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

- *Lithologie de l'aquifère*

Dans le cadre du renforcement de l'alimentation en eau de la ville de Kédougou, la SONES avait confié au GPG une étude de faisabilité pour l'alimentation de la ville à partir des eaux souterraines. A la suite de cette étude, trois forages (F1, F2 et F3) ont été réalisés pour l'alimentation en eau de la population kédovienne. Ces forages qui sont implantés dans les zones où la géophysique a montré des alluvions sur une dizaine de mètre d'épaisseur ont un débit total de $858 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$. L'essai de corrélation effectué avec les logs de ces forages, suivant une direction nord-sud traversant la commune, est représenté sur la **figure 13**.

Au dessus d'un socle altéré et fracturé apparaît une série sédimentaire peu épaisse constituée de grès, de sable, limons et d'argiles. Le log du forage F1 montre des sables et limons argileux au dessus des sables argileux sur une épaisseur de 15 m seulement. Au niveau du forage F2 du centre, la série est épaisse de 27 m et débute par des grès surmontés de sables latéritiques, argileux et des limons argileux. Dans le forage F3 du Sud, on observe de bas vers le haut, sur 25 m d'épaisseur, des sables argileux, des sables latéritiques et des sables et limons argileux.

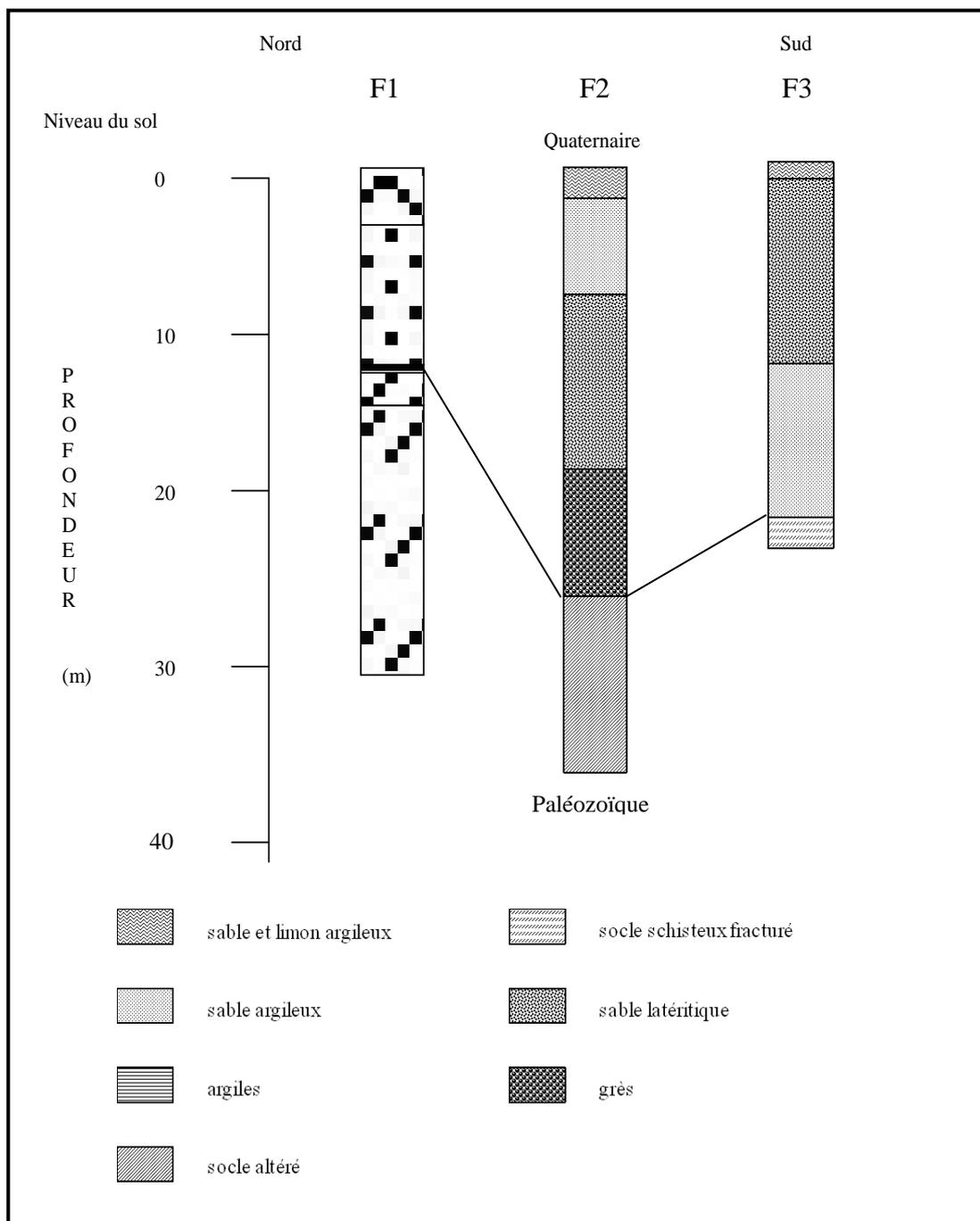


Fig. 13 : Coupes géologiques de forage de la zone d'étude (essai de corrélation)

- Paramètres hydrodynamiques

Les paramètres hydrodynamiques nous ont été fournis à partir des pompages d'essai réalisés dans les forages lors de l'étude de renforcement du projet AEP de 6 centres fluviaux du Sénégal que la SONES avait confié au GPG en 1998.

Les transmissivités sont comprises entre 1,3 et $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, le coefficient d'emménagement varie de 1 à 5 %. Ces valeurs faibles témoignent de l'état de nappes discontinues de faible importance qui caractérisent la zone d'étude.

I.3.2.2- Profondeur de la nappe phréatique par rapport au sol

Les profondeurs dynamiques mesurées lors des campagnes de janvier 2003 et d'août 2004 montrent que les niveaux d'eau dans les ouvrages ont considérablement baissé entre les deux périodes.

En période d'étiage (janvier 2003), les profondeurs sont comprises entre 3,92 et 10,73 m. La carte de la **figure 14a**, montre que les valeurs les plus faibles se localisent au Nord-Ouest à Dinguessou et au Centre-Est dans les quartiers de Dalaba et de Mosquée avec des valeurs variant de 3 à 9 m. La nappe présente une profondeur plus importante (jusqu'à 11m) au Sud-Ouest et au Sud ; il s'agit des quartiers de Gomba, de Dandémayo et de Togoro.

En période de crue (août 2004), on assiste à une remontée des eaux dans tous les puits échantillonnés à l'exception du puits P11 à Dalaba. Les profondeurs dynamiques varient de 2,23 à 10,14 m. L'analyse de la carte de la **figure 14b**, révèle que les plus faibles profondeurs se rencontrent dans les quartiers de Dinguessou, de Gomba à l'Ouest, au Nord dans le quartier de Dalaba et au Sud dans les quartiers de Dandémayo et de Togoro avec des valeurs allant jusqu'à 6 m. Elle devient plus importante dans la zone dépressive de Mosquée avec des valeurs atteignant 10 m.

La partie orientale de la ville (Mosquée, Dandémayo et Togoro) correspond à une dépression, généralement inondée pendant la saison pluvieuse, alors que l'Ouest de la ville (Gomba et Dinguessou) est érigée sur un plateau latéritique.

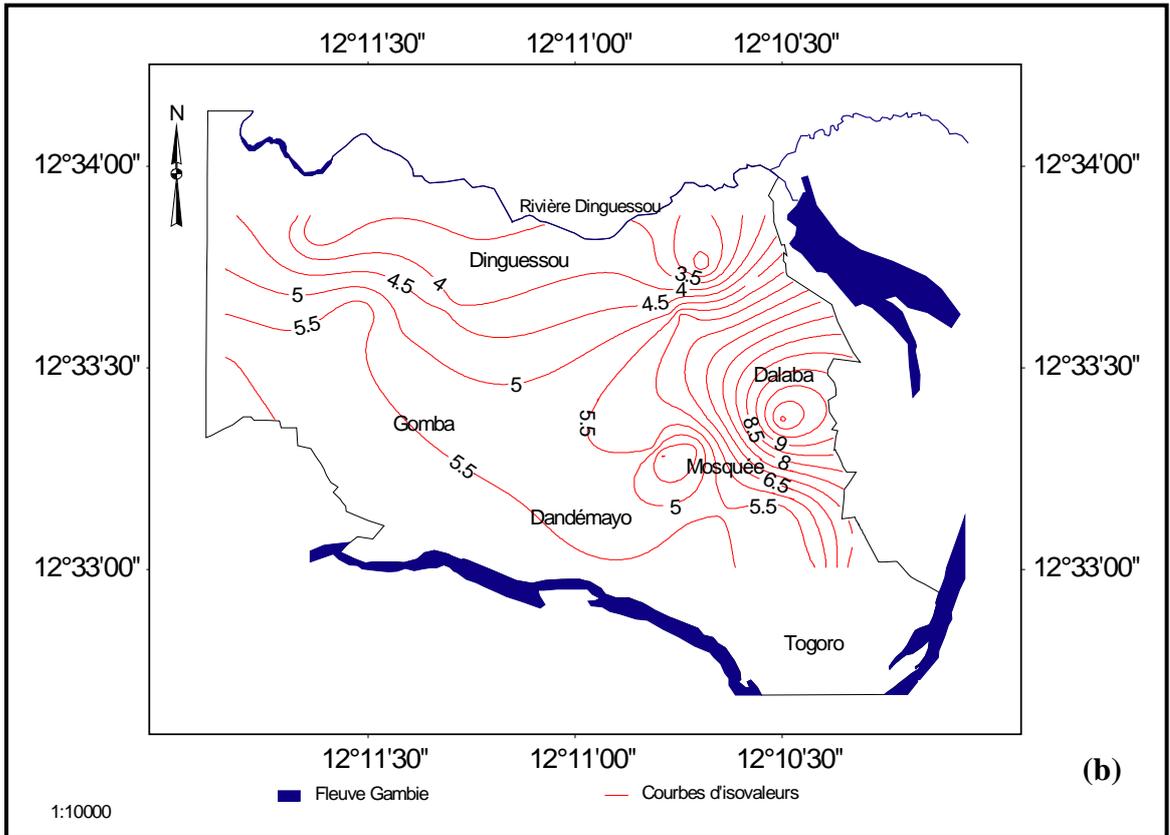
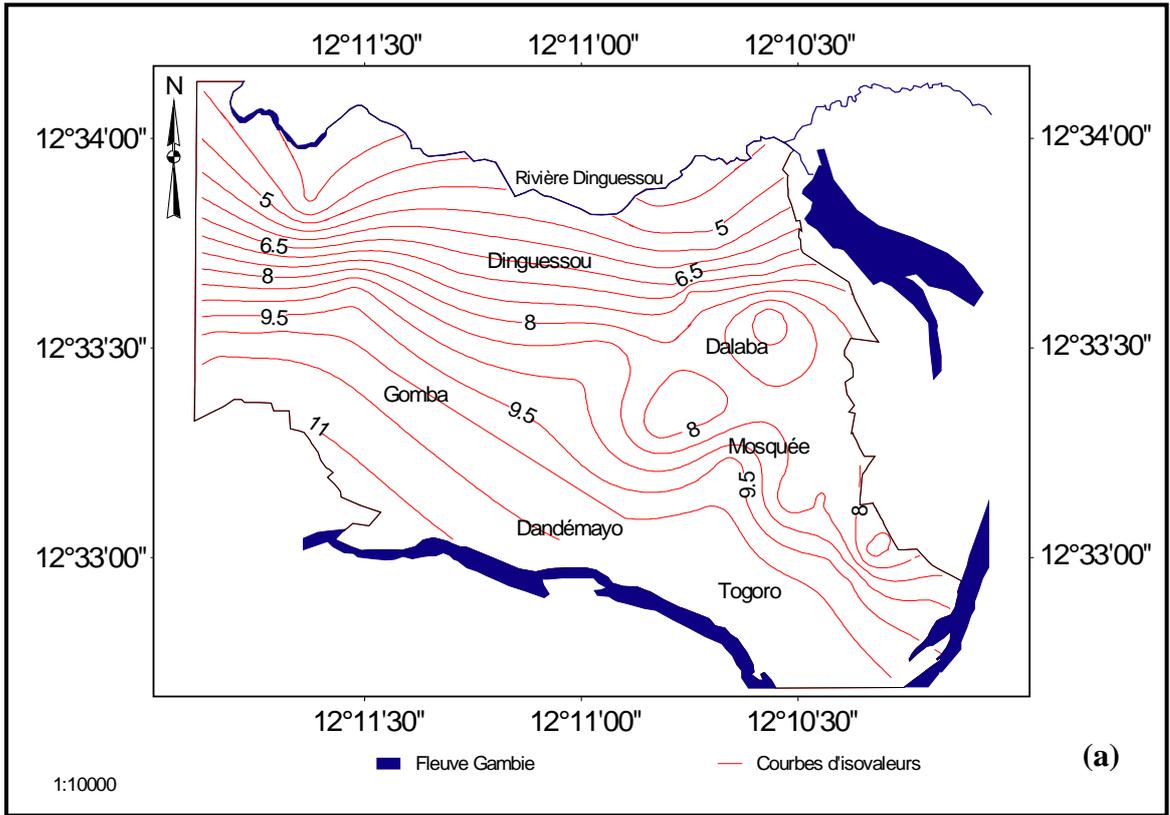


Fig. 14 : Carte des profondeurs (m) de la nappe phréatique de Kédougou par rapport au sol en janvier 2003 (a) et en août 2004 (b)

II- Urbanisation, approvisionnement en eau et assainissement

II.1- Urbanisation

II.1.1- Principales phases de croissance

II.1.1.1- La période coloniale

La ville s'est développée à partir d'un village Sarakholé dont la création remonte à 1825. Malgré la construction de bâtiments administratifs en 1904 par le système colonial, la ville n'a pu décoller du statut de village. Ce n'est que pendant la seconde guerre mondiale, avec l'arrivée massive des populations de Guinée Conakry que la ville commence à se développer. La population atteignit 1200 habitants en 1955, date du premier lotissement d'une capacité de 1237 parcelles (ADM, 2002).

II.1.1.2- La période post-coloniale

La réforme administrative de 1960, érige la commune au rang de chef-lieu de département. Le renforcement des fonctions administratives, politiques et l'arrivée de populations de Guinée Conakry fuyant le régime en place vont permettre à la ville de connaître une croissance démographique et spatiale très soutenue. La création du camp militaire en 1961 et de la rizerie de la SODEFITEX en 1976 ont augmenté aussi le dynamisme de la ville, malgré son enclavement. Ainsi, la population passe-t-elle de 2000 habitants en 1961 à 7723 en 1976, soit un taux de croissance très élevé de 9,4 % (ADM, 2002).

II.1.1.3- La période des années 80 à nos jours

Cette période est marquée par une très forte baisse du taux de croissance de la population. Ce taux calculé sur la base des recensements de 1976 et 1988 n'a été que de 2,7 % (PNUD, 1998). Cette baisse trouve son explication dans la crise des années 80 qui a accéléré l'exode rural et l'émigration vers les grands centres urbains et l'étranger. La

mauvaise qualité des routes a aussi constitué une contrainte majeure au développement urbain (**Tab.1**).

Constituée de 52,3 % de femmes, la population urbaine est également très jeune car les moins de 20 ans représentent 55,9 % contre 2,2 % pour celles ayant plus de 60 ans (PNUD, 1998). Les Peulh et les Malinké constituent les ethnies dominantes avec 39,1 % et 29,3%. Ils sont suivis des Sarakholé (5,5 %), les Diakhanké (5%), les Dialonké (4,5 %), les Toucouleur (4,1%), les Wolof (3,9 %), les Bambara (2,7 %), les Bassari (2,1 %). Le reste (3 %) est constitué de Sérère, Diola et Maure (PNUD, 1998).

Commune	Population				
	1976	1988	Taux 1976-1988	2001	2005
Kédougou	7723	10676	2,7	15786	16669

Tab.1 : Evolution et projection de la population urbaine

Sources : PNUD, 1998.

ADM, 2002.

II.1.2- Organisation de la ville

II.1.2.1- Structure urbaine et découpage en quartiers

La structure urbaine de Kédougou est caractérisée par une forte centralité. L'habitat qui s'est développé en éventail à partir du centre administratif est dicté par la présence du fleuve Gambie empêchant ainsi l'extension vers le Sud. Cette situation rend difficile les relations entre quartiers du fait de l'absence de moyens de transport.

En 1982, la ville était subdivisée en trois quartiers (Mosquée, Dandémayo et Dinguessou) (ADM, 2002). Le souci de décentralisation, combiné au développement urbain a nécessité la création de trois nouveaux quartiers (Togoro, Dalaba et Gomba).

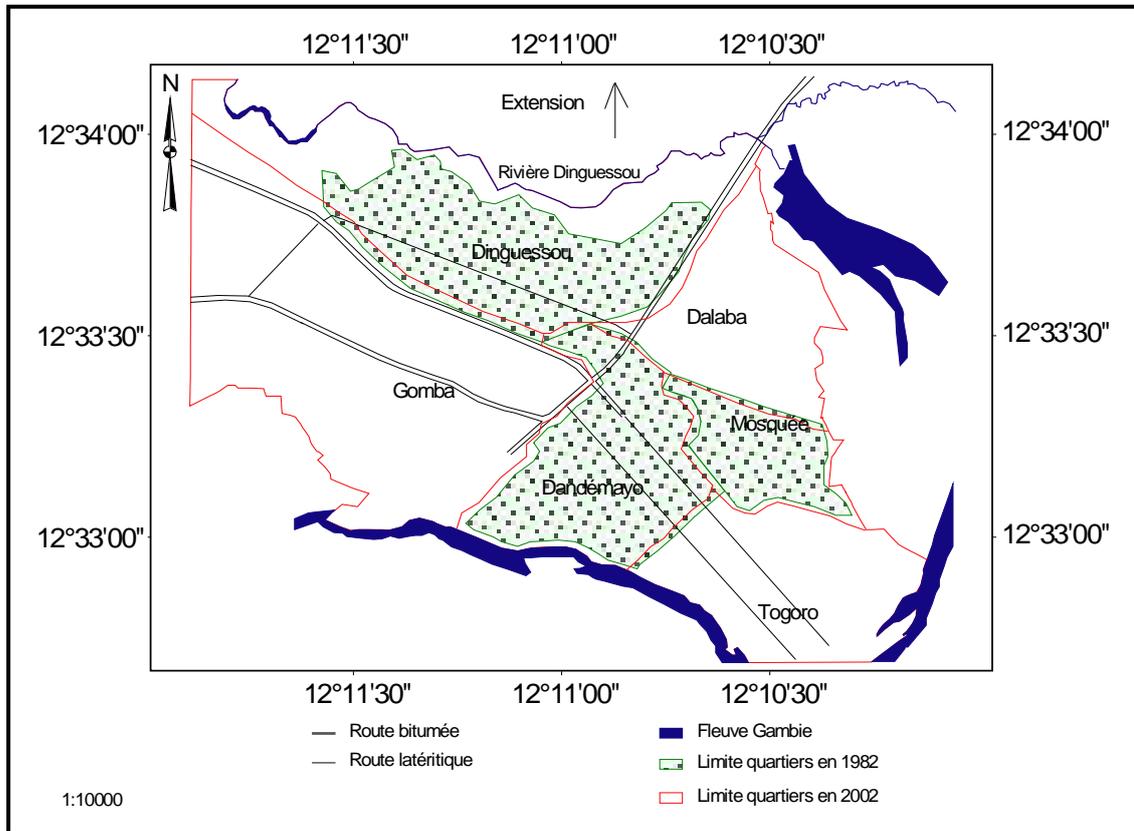


Fig. 15: Dynamique d'urbanisation de la ville de Kédougou de 1982 à 2000

Mosquée le quartier le plus ancien, partage avec Dandémayo situé au bord du fleuve Gambie, et Gomba, implanté sur le plateau latéritique le centre administratif. Dinguessou, relativement récent, renferme l'essentiel des zones d'habitats irréguliers. Togoro qui présente les mêmes caractéristiques que Dandémayo, constitue avec ce dernier les deux quartiers les moins vastes de la ville. Dalaba qui s'est développé au Nord de Mosquée, ne dispose plus de possibilités d'extension.

La population urbaine est inégalement répartie dans les six quartiers de la ville comme l'indique le tableau ci-après :

Quartier	Population	Population (en %)	Superficie (ha)	Densité (hab. /ha)
Mosquée	3962	25,1	52	87
Dalaba	2336	14,8	46	58
Dandémayo	3078	19,5	39	90
Togoro	1784	11,3	38	53
Dinguessou	2747	17,4	128	24
Gomba	1879	11,9	115	19
Total	15786	100	418	38

Tab.2 : Répartition de la population par quartier et densité

Source : PNUD, 1998

L'examen du tableau ci-dessus montre que les quartiers les plus peuplés sont ceux de Mosquée, Dandémayo et de Dinguessou avec respectivement 3962; 3078 et 2747 habitants. Ils sont suivis de Dalaba avec 2336 habitants, Gomba (1879 habitants) et Togoro (1784 habitants).

Par contre, les quartiers les plus denses sont ceux de Dandémayo, Mosquée et Dalaba avec respectivement 90 ; 87 et 58 habitants/ha. Viennent ensuite Togoro (53 habitants/ha), Dinguessou et Gomba (24 et 19 habitants/ha) qui constituent les deux quartiers les plus vastes et les plus récents.

II.1.2.2- Occupation du sol et tendance d'extension urbaine

L'habitat qui occupe une superficie de 253,05 ha, soit 60,5 % de l'aire urbaine est largement dominé par les constructions traditionnelles en briques de banco ou en pisé. Ces constructions représentent 83 %, cependant, une amélioration de l'habitat est notée. En effet, les logements en dur sont passés de 10 % en 1982 à 17 % en 2000 (ADM, 2002). Les constructions en dur sont plus fréquentes dans les lotissements récents des quartiers de Gomba et Dinguessou.

Le Plan Directeur d'Urbanisme (PDU) de la ville (1982-2000) avait orienté les principales extensions urbaines vers l'ouest. Les extensions urbaines ont été

matérialisées par quatre lotissements successifs, depuis 1985. Il s'agit de deux lotissements de 500 et 300 parcelles réalisées en 1985 et 1990 entièrement occupées, d'un lotissement de 100 parcelles achevées en 1997 en cours d'occupation et d'un lotissement de 340 parcelles dit de Gade Dinguessou en 1991 (PNUD, 1998).

II.1.3- Activités économiques

L'agriculture demeure le secteur principal d'activité des populations de la commune de Kédougou. Même si la zone est bien arrosée, l'agriculture est marquée par la faible disponibilité des terres arables, l'exposition des terres à l'érosion hydrique, la faiblesse de l'équipement des agriculteurs et des rendements, la faible utilisation des engrais et des semences et l'accès difficile aux terres de culture séparées des lieux d'habitation par un fleuve sans pont ni passerelle.

Les populations pratiquent aussi d'autres activités (commerce, artisanat d'art et d'œuvre, métiers du bâtiment, transport, hôtellerie et restauration). Le secteur moderne naissant est constitué par les hôtels, restaurants, transports etc. Mais son développement est handicapé par l'absence d'une main d'œuvre qualifiée pour les entreprises existantes.

Les populations s'adonnent aussi à la pêche (fluviale et lacustre), limitée par le manque d'équipements (pirogues, filets et moteur); à l'élevage (bovins, ovins, caprins et volailles) qui connaît un faible rendement de ses produits dû à un environnement hostile et d'une organisation insuffisante des éleveurs ; à la cueillette de produits de la forêt (bois d'œuvre, paille, miel, etc.).

II.2- Approvisionnement en eau

II.2.1- Le fleuve

Le fleuve Gambie, en dépit de ses berges très découpées, avec de petites plages, offre à la ville de Kédougou un aspect agréable surtout en période de crue. Il est le principal cours d'eau pérenne et constitue la principale source d'approvisionnement en eau douce de la ville tout en servant à l'irrigation des terres de remblais alluviaux situées à l'Est et

au Sud de la ville le long des berges. Ainsi, du fait de leurs faibles revenus, 42,7 % de la population (RGPH, 1988 ; *in* PNUD, 1998) utilisent l'eau du fleuve, malgré les risques de pollution et la présence du ver de Guinée à certains endroits.

II.2.2- La nappe phréatique

a- L'eau des puits

Dans la commune de Kédougou, il existe un nombre important de puits et chaque concession en dispose au moins un. L'enquête réalisée sur le terrain montre que l'eau du puits sert à faire le linge, le maraîchage, la vaisselle et parfois même la consommation humaine. Elle a aussi révélé que des concessions qui disposent d'un robinet préfèrent utiliser l'eau du puits car n'ayant pas suffisamment de moyens pour payer les factures d'eau. Les puits qui ne sont pas protégés dans la majeure partie des cas sont utilisés par 29,7 % de la population (RGPH, 1988; *in* PNUD, 1998).

b- L'eau des forages

L'approvisionnement en eau potable est assuré par trois forages de la SDE (F1, F2 et F3) qui sont situés dans le quartier de Gomba avec une production journalière de 858 m³.

L'eau est stockée dans un réservoir de 350 m³ situé aussi à Gomba. Le réseau d'adduction de 24800 m linéaire est en amiante ciment (centre ville) et en tube PVC pour le reste de la ville.

La commune de Kédougou présente un niveau de desserte moyen avec 441 branchements à domicile, soit 33 % des concessions et 24 bornes fontaines dont 11 fonctionnelles inégalement réparties dans les quartiers (Dinguessou 3, Mosquée 4, Dandémayo 3 et Dalaba 1). Le quartier le mieux desservi est Gomba d'où part le réseau.

II.3- Assainissement

II.3.1- Evacuation des fèces et des eaux vannes

Dans les concessions, l'évacuation des fèces et des eaux vannes est assurée par les sanitaires ou résolue de manière individuelle. En effet, à cause de la construction onéreuse de fosses septiques pour la population communale, les concessions utilisent des latrines traditionnelles qui sont vite remplies en raison de la nature imperméable des sols, nécessitant ainsi de les vidanger fréquemment. D'après le sondage réalisé par l'ADM en 2002 seuls 20 % des ménages disposent de WC ou de fosses perdues, alors que 80 % utilisent la nature, ce qui est préjudiciable à la santé des populations. Le niveau de desserte par les latrines publiques est nul dans tous les quartiers.

II.3.2- Evacuation des eaux usées et de pluies

L'absence d'égouts fait que dans la plupart des concessions, les eaux usées sont évacuées par les latrines traditionnelles ou déversées dans la rue, occasionnant des risques certains de pollution de la nappe. La commune ne dispose que de 250 m linéaires de caniveaux à ciel ouvert localisés dans le quartier de Gomba qui présente un niveau de desserte correcte. De plus, l'occupation des berges et l'aménagement de certaines voiries (trop surélevées et sans système d'assainissement) ont aggravé les problèmes de drainage en bouchant certains passages des eaux de pluies. Cette situation est à la base de la destruction de nombreux logements en banco et de la prolifération des moustiques.

II.3.3- Evacuation des ordures ménagères

La ville de Kédougou, en plus de l'irrégularité du ramassage des ordures assuré par la mairie, est confrontée aussi à l'arrêt du projet d'environnement urbain que l'UNICEF avait initié en 1996. La commune ne dispose que d'un dépôt autorisé implanté à Mosquée. Devant ce niveau de desserte nulle, les populations déversent leurs ordures ménagères dans des dépôts sauvages localisés sur l'ensemble de la ville. Ces ordures

ménagères qui ne sont pas collectées contribuent à accentuer l'insalubrité, mettant par la même occasion en danger la santé des populations.

CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE

I- Acquisition des données

Les données utilisées dans le cadre de cette étude ont été récoltées au cours de recherches bibliographiques, de travaux de terrain et de laboratoire.

I.1- Recherches bibliographiques

Elles se sont déroulées en deux phases :

- des enquêtes et documentations ont été menées sur le terrain auprès des services régionaux et départementaux. Ces visites nous ont permis d'avoir des renseignements sur l'urbanisation, l'assainissement et l'approvisionnement en eau de la commune de Kédougou. Ces services sont ceux de l'Hydraulique, de la SDE.....,
- une étude bibliographique a été aussi entreprise au niveau de la bibliothèque de l'UCAD de Dakar et dans les différentes directions nationales et services (Hydraulique, SDE, SONES, IRD, Urbanisme, Aménagement du territoire).

I.2- Travaux de terrain

Les travaux de terrains se sont déroulés au cours de deux campagnes :

- **campagne de janvier 2003** : elle s'est déroulée du 10 au 19 janvier et avait pour objectif de localiser les différents puits de la commune et d'y effectuer un échantillonnage. Cependant, du fait du nombre important de puits, nous avons procédé à un maillage pour avoir une répartition représentative des points d'échantillonnage. Ainsi avons nous échantillonné les eaux de 29 puits en vue d'effectuer des analyses chimiques. Ces puits sont localisés à Dinguessou (8 puits), Dandémayo (6 puits),

Mosquée (4 puits), Gomba (4 puits), Togoro (4 puits) et Dalaba (3 puits) (**Fig. 16a**). Un échantillon d'eau a été aussi prélevé dans le fleuve.

- **campagne d'août 2004** : au cours de celle-ci, 34 points d'eau ont été étudiés dont 3 forages, 5 prélèvements dans la rivière et le fleuve et 26 puits (8 à Dinguessou, 5 à Dandémayo, 4 à Mosquée, 4 à Gomba, 3 à Togoro et 2 à Dalaba) (**Fig. 16b**). Un échantillonnage pour l'analyse bactériologique a été aussi effectué sur 7 puits qui avaient dépassé lors de la première campagne les normes OMS pour les nitrates. Les échantillons d'eau prélevés dans des bouteilles stérilisées ont été conservés à une température de 4 °C dans un bac isotherme.

Les paramètres physico-chimiques des eaux (conductivité électrique, température et pH) ont été mesurés *in-situ* avec un conductivimètre à microprocesseur de marque WTW LF 325-B/Set Best-Nr 350234 et au pH mètre de type WTW pH 325-B/Set-1 Best – Nr 100745.

La profondeur de la nappe dans les puits a été mesurée à l'aide d'une sonde piézométrique lumineuse et sonore, de même que la distance séparant les latrines des puits. Les coordonnées géographiques ont été aussi déterminées à l'aide d'un GPS 12 Garmin.

I.3- Travaux de laboratoire

Les échantillons prélevés ont été acheminés au laboratoire d'hydrochimie du Département de Géologie de l'U.C.A.D. pour leur analyse.

Les teneurs en anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) et en cations (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+) ont été déterminées par chromatographie ionique à l'aide du chromatographe de marque Dionex DX 120. A chaque ion correspond un pic dont l'aire est proportionnelle à la concentration. L'appareil est contrôlé par la station PEAKNET comprenant une carte interface DXLAN et le logiciel PEAKNET installé. Chaque ion est déterminé avec des colonnes spécifiques (anioniques ou cationiques).

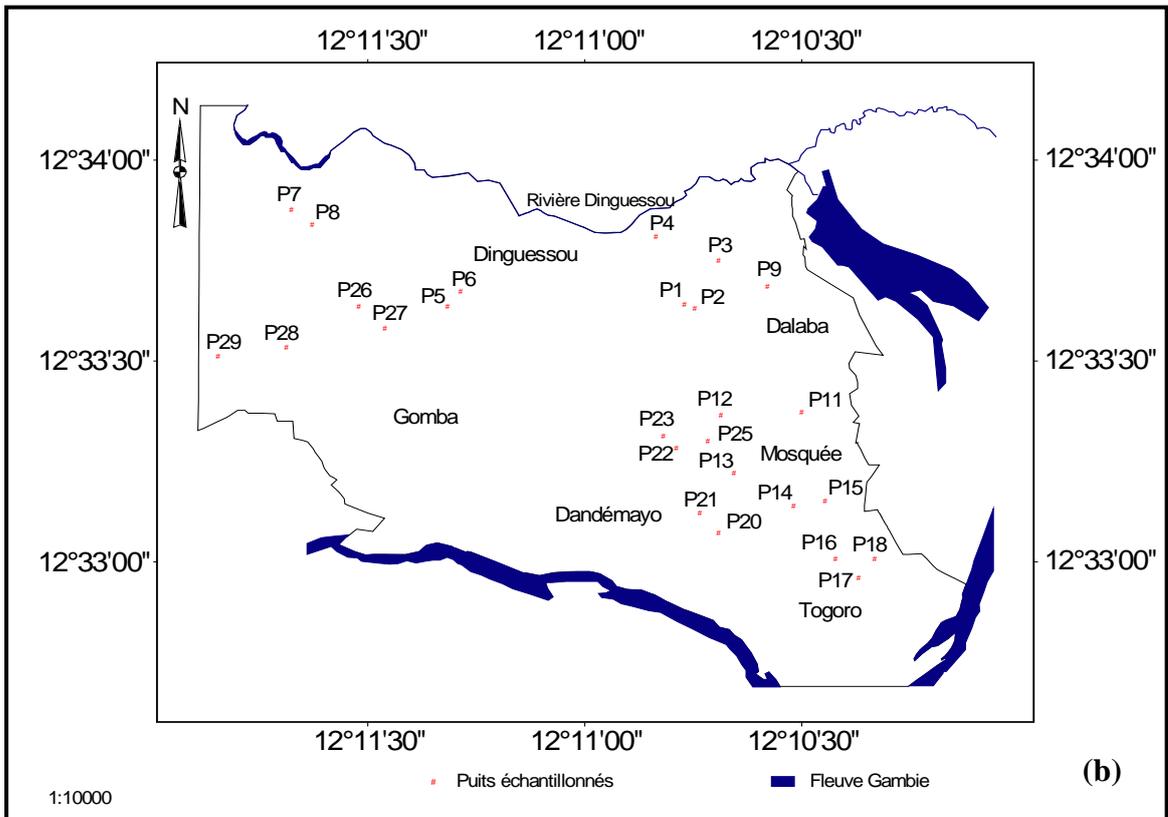
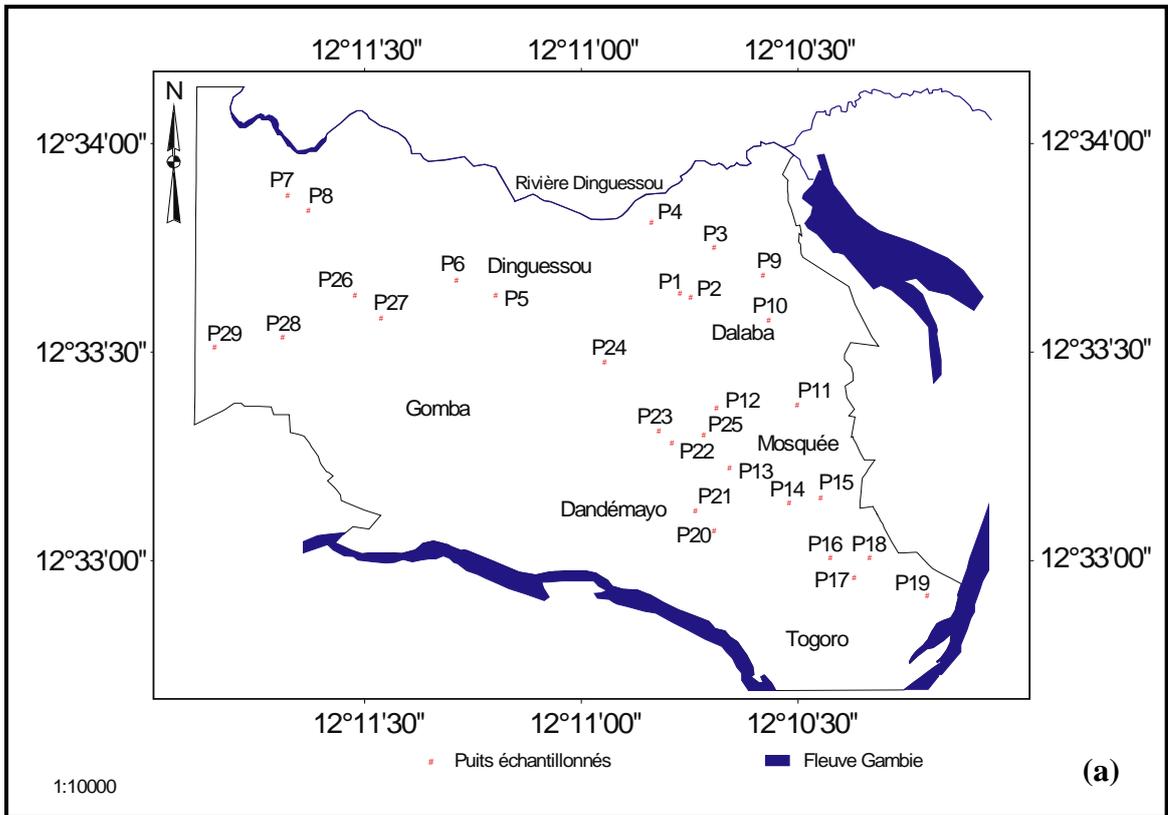


Fig. 16 : Carte de localisation des ouvrages échantillonnés en janvier 2003 (a) et en août 2004 (b)

Le TAC (Titre Alcalimétrie Complet) qui représente la teneur en carbonates (CO_3^{2-}), en bicarbonates (HCO_3^-) et en alcalis libres des eaux a été mesuré au laboratoire par dosage volumétrique à l'aide de l'acide sulfurique H_2SO_4 0,025 N en présence de phénol phtaléine et d'hélianthine (indicateurs). Une burette digitale de type BRAND a été utilisée pour ce dosage.

Les analyses bactériologiques des coliformes fécaux, ont été effectuées au Laboratoire d'Analyse et d'Essais de l'ESP (Ecole Supérieure Polytechnique) de Dakar par la méthode de dénombrement au moyen de membranes filtrantes.

II- Traitement des données

Une fois collectées, les données ont été traitées et exploitées par les méthodes d'interprétation que sont :

II.1- Diagramme de Piper

Ce diagramme permet de caractériser les faciès géochimiques des eaux. Cette caractérisation est basée sur des calculs de proportions relatives des différentes espèces cationiques et anioniques analysées. Il est formé d'un premier triangle pour les cations, d'un second triangle pour les anions et d'un losange découpé en famille d'eau. Dans le diagramme, la concentration relative de chaque élément calculée permet de placer les points sur les triangles qui sont ensuite projetés sur le losange. Cette concentration est définie par la proximité des points de projections par rapport aux différents sommets ou pôles. Les différentes positions des points dans le losange permettent de définir les faciès des eaux analysées (Tandia, 2000).

II.2- Rapports caractéristiques

Ils permettent d'établir des corrélations entre différents paramètres afin de comprendre la signification des relations existantes entre eux, mais aussi les différents processus qui ont engendré la minéralisation observée.