

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE



D.E.A. DE GEOLOGIE APPLIQUEE
MENTION : HYDROGEOLOGIE

ETUDE DES AQUIFERES ALLUVIAUX DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL

(secteur Rosso - Dagana - Lac de Guiers)

présenté par

SERIGNE MALICK DIAO

le 29 mai 1992 devant le jury:

MM. O. DIA : PRESIDENT - UNIVERSITE DAKAR
C. B. GAYE : RAPPORTEUR - UNIVERSITE DAKAR
J. L. SAOS : RAPPORTEUR - O.R.S.T.O.M. DAKAR
A. FAYE: EXAMINATEUR - UNIVERSITE DAKAR
O. NGOM : EXAMINATEUR - O.M.V.S. SAINT-LOUIS

*Mémoire réalisé avec le concours de l'O.R.S.T.O.M. et le soutien financier
de la CEE dans le cadre du projet EQUENSEN N° TS2-0198-F-EBD*

DEDICACES

... AUX VAILLANTS "DIAMBAR" RESTES EN TERRE SAINTE D'ARABIE,

A MALICK NIANG SYLLA "PLAYA" TROP TOT ARRACHE A NOTRE AFFECTION,

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL...

REMERCIEMENTS

La présentation de ce mémoire m'offre l'occasion de remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation.

Ainsi mes plus sincères remerciements vont:

- A M. J L. SAOS, responsable du Département Hydrogéologie de l'ORSTOM, pour sa disponibilité son aide et son soutien constant pendant toute la longue période qu'a nécessité l'élaboration de ce document. Je lui sais grè d'avoir accepté de guider ce travail;

- Au Pr. O. DIA, chef du Département de Géologie à l'Univrsite Cheikh Anta DIOP de Dakar (U.C.A.D.), je suis très honoré qu'il ait accepté de présider et de juger ce travail après avoir guidé mes débuts universitaires comme Directeur de l'IST;

- A M. J N. MUDRY initiateur de ce sujet d'étude et qui, malgré l'éloignement, a toujours suivi de très près et participé à la réalisation de ce document;

- A M. C.B. GAYE, chargé d'enseignement, responsable du 3^{ème} cycle au Département de Géologie, pour avoir volontiers accepté et de superviser ce travail;

- A M. A. FAYE , maître-assistant au Département de Géologie de qui a bien voulu juger ce travail;

- A tous les enseignants de l'IST et du Département de Géologie pour le savoir transmis avec patience et noblesse;

- Aux chercheurs et personnels de:

* l'ORSTOM, en particulier MM. P. MOURGUES géophysicien; J-P. THIEBAUX, J. ALBERGEL, H. DACOSTA et L. SEGUIS, hydrologues, MM. MAIGA et CISSE cartographes, NDIAYE, reprographe et SOUSSOU dactylographe;

* l'OMVS, en particulier M. O. NGOM, responsable du Projet "Cellule des Eaux Souterraines", membre du jury, Mlle V. DIAGNE secrétaire, MM. B. SEYE, reprographe et M. MBAYE, documentaliste, etc... pour leur contribution à la réalisation de ce mémoire;

- A R. MALOU, A. DIAGANA, Y. KOUSSOUBE, NDOYE et Mme M. DA BOIT, mes compagnons de stage.

Enfin que tous mes parents, frères, soeurs, amis et condisciples, sans oublier ma bien-aimée, qui toutes mes études durant n'ont cessé de m'apporter aide, soutien, conseils et réconforts.. trouvent ici toute ma gratitude et ma profonde sympathie.

TABLE DES MATIERES

Page

PREMIERE PARTIE: LE MILIEU NATUREL ET LES FACTEURS HYDROCLIMATIQUES

CHAPITRE I.- LE MILIEU NATUREL

A.- LA SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	1
B.- LA GEOMORPHOLOGIE.....	1
1.- La morphologie dans le Oualo.....	1
1.1.- Les cuvettes.....	1
1.2.- Les levées fluvio-deltaïques.....	1
1.3.- Les terrasses ou plages marines.....	3
2.- La morphologie dans le Diéri.....	3
C.- LA GEOLOGIE.....	3
1.- Contexte géologique et structural d'ensemble.....	3
1.1.- La stratigraphie.....	3
1.1.1.- Le Maastrichtien.....	5
1.1.2.- Le Paléocène.....	5
1.1.3.- L'Eocène.....	5
a) L'Eocène inférieur.....	5
b) L'Eocène moyen.....	5
1.1.4.- Le Tertiaire supérieur et le Continental terminal.....	5
1.1.5.- Le Quaternaire.....	5
a) Le Quaternaire ancien et moyen.....	6
b) Le Quaternaire récent.....	6
- L'Inchirien.....	6
- L'Ogolien.....	6
- Le Nouakchottien.....	6
- Post-Nouakchottien Subactuel et Actuel.....	6
1.2.- La tectonique.....	8
1.2.1.- Les déformations souples.....	8
1.2.2.- La fracturation.....	8
2.- La lithostratigraphie de la zone d'étude.....	8
2.1.- Généralités.....	8
2.2.- Synthèse lithostratigraphique de la région.....	10
2.2.1.- Les alluvions quaternaires.....	10
a) Les niveaux superficiels.....	11
b) Les niveaux sous-jacents.....	11
2.2.2.- Le substratum des alluvions quaternaires.....	11
a) Les formations du Continental terminal.....	11
b) Les formations du Paléogène.....	13
c) Les formations du Maastrichtien.....	13
D.- LA PEDOLOGIE.....	15
1.- Les sols hydromorphes.....	15
2.- Les sols salins à alcalis.....	15

E.- LA VEGETATION.....	17
CHAPITRE II.- LES FACTEURS HYDROCLIMATIQUES	
A.- LES FACTEURS CLIMATIQUES.....	18
1.- Généralités.....	18
2.- Le régime des vents.....	18
3.- Le régime thermique.....	18
4.- L'insolation et la radiation globale.....	21
5.- L'humidité relative.....	21
6.- L'évaporation.....	21
7.- La pluviométrie.....	21
7.1.- Contexte régional.....	21
7.2.- Pluviométrie de la région d'étude.....	24
8.- Conclusion.....	26
B.- HYDROLOGIE.....	26
1.- Le réseau hydrographique.....	26
2.- Le régime hydrologique.....	28
2.1.- Le réseau hydrométrique.....	28
2.2.- Evolution des plans d'eau.....	28
2.3.- Fonctionnement hydrologique.....	28
3.- Conclusion.....	31
DEUXIEME PARTIE: CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	
CHAPITRE I.- STRUCTURE DU RESERVOIR ET CARACTERISTIQUES	
HYDRODYNAMIQUES	
A.- STRUCTURE DU RESERVOIR AQUIFERE.....	33
B.- CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES.....	34
1.- Les recherches antérieures.....	34
2.- Synthèse des caractéristiques hydrodynamiques.....	35
CHAPITRE II.- PIEZOMETRIE ET CHIMIE DES EAUX	
A.- ETUDE DE LA PIEZOMETRIE.....	39
1.- Les cartes piézométriques de 1988 et 1989.....	37
1.1.- Evolution de la surface piézométrique aux mois de Juin et Octobre.....	37
1.1.1.- Province occidentale (PA).....	37
1.1.2.- Province Balky/Casiers CSS (PB).....	39
1.1.3.- Province canal/lac (PC).....	39
1.1.4.- Province de Garak (PD).....	40
1.1.5.- Province orientale (PE).....	40
a) Zone 8.....	40
b) Zones 6 et 7.....	40
1.2.- Conclusion.....	43
1.3.- Les cartes de fluctuations.....	43

1.3.1.- En 1988.....	43
1.3.2.- En 1989.....	43
1.3.3.- Fluctuations absolues.....	44
2.- Evolution détaillée de la piézométrie.....	44
2.1.- Province occidentale (PA).....	44
2.2.- Province Balky/Casiers CSS (PB).....	47
2.3.- Province Canal/Lac (PC).....	47
2.3.1.- Zone du lac.....	47
2.3.2.- Zone du canal.....	49
2.4.- Province de Garak (PD).....	50
2.5.- Province orientale (PE).....	50
2.5.1.- Zone 6.....	52
2.5.2.- Zone 7.....	52
2.5.3.- Zone 8.....	53
B.- LA CHIMIE DES EAUX.....	56
1.- Paramètres physico-chimiques et chimiques.....	56
1.1.- Le pH.....	56
1.2.- La conductivité.....	56
1.3.- Les températures.....	57
2.- Faciès chimiques et répartition.....	57
2.1.- Les faciès chimiques.....	57
2.2.- Répartition des faciès chimiques.....	59
2.2.1.- En fonction de la minéralisation.....	59
2.2.2.- En fonction des provinces.....	59
OBSERVATIONS.....	61
REMARQUES.....	63
TROISIEME PARTIE: POINT DE VUE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION	
INTRODUCTION.....	64
A.- PIEZOMETRIE ET CONTEXTE AQUIFERE.....	64
B.- PIEZOMETRIE ET MODE D'ALIMENTATION.....	65
1.- Schéma 1: Piézométrie et hydrologie.....	66
2.- Schéma 2: Piézométrie et pluviométrie.....	66
3.- Schéma 3: Alimentation mixte.....	69
CONCLUSION GENERALE	
A.- CONCLUSION.....	70
B.- RECOMMANDATIONS.....	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 - Carte de situation de la région d'étude.
Fig. 2 - Esquisse géomorphologique au niveau du Oualo.
Fig. 3 - Coupe géologique du lit mineur du Sénégal près de Richard-Toll (à 3,5 km de l'écoulement).
Interprétation des sondages par R. DEGALLIER et P. MICHEL (1956).
Fig. 4 - Croquis structural du dôme de Guiers (J-Y. TRENOUS, 1971)
Fig. 5 - Evolution du dôme de Guiers (P. MICHEL et J-Y. TRENOUS, 1970)
Fig. 6 - Lithostratigraphie des différentes zones.
Fig. 7 - Coupe lithostratigraphique synthétique de la région d'étude.
Fig. 8 - Toposéquence à travers la plaine alluviale (Walo) au niveau de Ndiérba (A. MITMET, 1979)
Fig. 9 - Les principales formations végétales de la vallée du Sénégal.
Coupe schématique Nord-Sud (P. MICHEL, 1973).
Fig. 10 - Principaux paramètres climatiques.
Fig. 11 - Isohyètes moyennes annuelles et interannuelles.
Fig. 12 - Carte de localisation des échelles limnimétriques et des sites de pompages.
Fig. 13 - Evolution des plans d'eau du fleuve Sénégal et du lac de Guiers.
Fig. 14 - Aspects de la structure du réservoir aquifère dans les limites de la zone d'étude.
Fig. 15 - Emplacement des ouvrages et des provinces piézométriques.
Fig. 16 - Cartes piézométriques de Juin et Octobre 1988.
Fig. 17 - Cartes piézométriques de Juin et Octobre 1989.
Fig. 18 - Carte de position des profils piézométriques.
Fig. 19 - Profils piézométriques des secteurs Rosso et Balky.
Fig. 20 - Profils piézométriques des secteurs Garak, Richard-Toll et lac de Guiers.
Fig. 21 - Profils piézométriques des secteurs Mbilor et Dagana.
Fig. 22 - Composition et variabilité de la chimie des eaux.
Fig. 23 - Carte schématique de la répartition des principaux faciès chimiques.
Fig. 24 - Hydrologie, précipitations et piézométrie dans les secteurs de Rosso et Dagana.
Fig. 25 - Hydrologie, précipitations et piézométrie dans les secteurs
du site de pompage GA 264 et des périmètres de Balky - NDombo.

FIGURES ANNEXES

ANNEXE II

B - CARTES DE FLUCTUATIONS PIEZOMETRIQUES

- Fig. 1 - Différence entre le NP Juin et le NP Octobre 1988.
Fig. 2 - Différence entre le NP Juin et le NP Octobre 1989.
Fig. 3 - Différence entre le NPmax et le NPmin 1988.
Fig. 4 - Différence entre le NPmax et le NPmin 1989.

C - SUIVIS PIEZOMETRIQUES

- Fig. 5 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PA).
Fig. 6 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PB).
Fig. 7 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PC).
Fig. 8 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PD).
Fig. 9 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PE, Z6 & Z7).
Fig. 10 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PE, Z8).

LISTE DES TABLEAUX

- Tab. 1 - Valeurs moyennes des paramètres climatiques.
- Tab. 2 - Totaux pluviométriques annuels dans le Nord du Sénégal (période 1986 - 1990).
- Tab. 3 - Principales caractéristiques de la pluviométrie (période 1986 - 1990).
- Tab. 4 - Répartition moyenne de la pluviométrie (période 1986 - 1990).
- Tab. 5 - Synthèse des principales caractéristiques hydrologiques de la région.
- Tab. 6 - Synthèse des essais de pompage (sources: OMVS, 1988).
- Tab. 7 - Répartition des faciès chimiques des eaux souterraines de la région.
- Tab. 8 - Evolution de quelques paramètres physico-chimiques en fonction du temps.

TABLEAUX ANNEXES

ANNEXE I

Tableau des précipitations tombées à Dagana et à Richard-Toll
au cours de ces 3 dernières décennies (1960-1990).

ANNEXE II

A - Evolution de la piézométrie de la région.

ANNEXE III

Principales caractéristiques de la chimie des eaux de la région d'étude.

RESUME

Cette étude a été effectuée dans la zone charnière entre le Delta et la basse vallée du fleuve Sénégal (secteur Rosso - Dagana - Lac de Guiers); elle entre dans le cadre du projet EQUÉSEN (Environnement et Qualité des Eaux du Sénégal) du programme CEE - ORSTOM.

L'objectif principal de cette étude est de parvenir à caractériser la structure du réservoir aquifère (géométrie et caractéristiques hydrodynamiques), mais surtout à déterminer le(s) mode(s) d'alimentation de la nappe et à identifier les facteurs prépondérants de cette alimentation. Elle intègre les aspects physiques (Pédologie, Géomorphologie, Lithostratigraphie), dynamiques (Pluviométrie, Hydrologie, Piézométrie) et chimiques du milieu.

De cette étude, il résulte en particulier que:

- la géométrie du réservoir aquifère de la région est, de façon schématique, constituée d'un aquifère alluvial complexe et multicouche dans les formations quaternaires et d'un aquifère profond, essentiellement formé de calcaires éocènes ou de sables maastrichtiens;

- les caractéristiques hydrodynamiques sont très variables; les valeurs moyennes de transmissivité T sont comprises entre 10^{-2} et 10^{-4} m^2/s , la perméabilité K est de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} cm/s et le coefficient d'emmagasinement S est d'environ 10^{-4} ;

- l'évolution de la piézométrie est très variable car elle est fortement influencée par complexité du contexte aquifère. Néanmoins on a pu individualiser des zones de recharge, de drainage, de fortes ou faibles fluctuations de niveaux piézométriques, etc...;

- le faciès chimique des eaux souterraines est généralement chloruré-sodique (plus de 80% des échantillons analysés) même si par endroits il peut être bicarbonaté-sodique (11% environ) ou sulfaté-sodique (7%).

- les principaux facteurs de la recharge de l'aquifère alluvial - précipitations et cours d'eau - évoluent de manière très variable au cours du temps; ces variations se répercutent sur l'évolution de la piézométrie ainsi que sur l'alimentation de la nappe aquifère de façon plus ou moins synchrones.

Enfin si on peut déterminer les mécanismes de cette alimentation, il reste à quantifier la part effective apportée par chacun des différents facteurs de recharge.

PREMIERE PARTIE

LE MILIEU NATUREL ET LES FACTEURS HYDROCLIMATIQUES

CHAPITRE I : LE MILIEU NATUREL

A.- LA SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin du fleuve Sénégal était traditionnellement découpé en trois domaines bien distincts:

- de la source à Bakel, un haut-bassin au relief assez accidenté,
- de Bakel à Dagana, une large vallée inondable,
- enfin en aval de Dagana jusqu'à l'embouchure, un vaste delta.

Mais la construction d'ouvrages de grande envergure sur le cours du fleuve (barrages de Diama et de Manantali mis en service respectivement en Novembre 1986 et en Juillet 1987) a entraîné l'individualisation d'un nouveau domaine: la retenue du barrage qui va de Diama à Boghé soit près de 350 Km de long. Cette région présente la particularité d'appartenir à une zone de transition entre le delta et la basse vallée du fleuve Sénégal; la limite entre les deux unités passe approximativement par l'axe lac de Guiers - canal de la Taouè et se prolonge au Nord jusqu'au lac Rkiz en Mauritanie.

C'est dans ce nouveau domaine que se situe la région qui fait l'objet de cette présente étude. Elle englobe les localités de Breune (Ouest de Rosso), de Bokhol (Est de Dagana) et toute la zone comprise entre le lac de Guiers sur la rive gauche du fleuve et les dunes ogoliennes en rive droite. L'ensemble couvre une superficie d'environ 1 400 Km² (Fig. 1).

B.- LA GEOMORPHOLOGIE

Comme toute vallée alluviale, celle du fleuve Sénégal apparaît aussi comme une dépression par rapport aux régions avoisinantes. La morphologie des terrains y est sous la dépendance du fleuve et de ses nombreux défluent (marigots, lacs...) qui, au cours de leur évolution, ont façonné cette partie de la vallée jusqu'à l'aboutissement au modelé actuel. Ce dernier est caractérisé par l'existence d'une partie inondable appelée localement le Oualo et d'une zone hors d'atteinte des eaux de crue ou Diéri.

1.- La morphologie dans le Oualo.

Elle comprend trois types de structures principales:

1.1.- Les cuvettes

Dans les zones délimitées par le fleuve et les marigots (Diovol, Natchié, Garak) le long de l'ancien chenal de la Taoué et sur le pourtour du lac de Guiers, il subsiste des zones basses appelées cuvettes de décantation (Fig. 2). Elles sont en eau pendant une bonne partie de l'année et accumulent des sédiments essentiellement composés d'argile.

1.2.- Les levées fluvio-deltaïques

Tout un système de levées (hautes, petites et fluvio-deltaïques) couvre des surfaces allongées, légèrement en relief et qui isolent entre elles les cuvettes. Elles occupent la majeure partie de la région et on les trouve en particulier en bordure du fleuve.

Ces structures sont généralement occupées par des dépôts variés (argiles et surtout limons et sables fins), l'ensemble étant qualifié de fluvio-deltaïque.

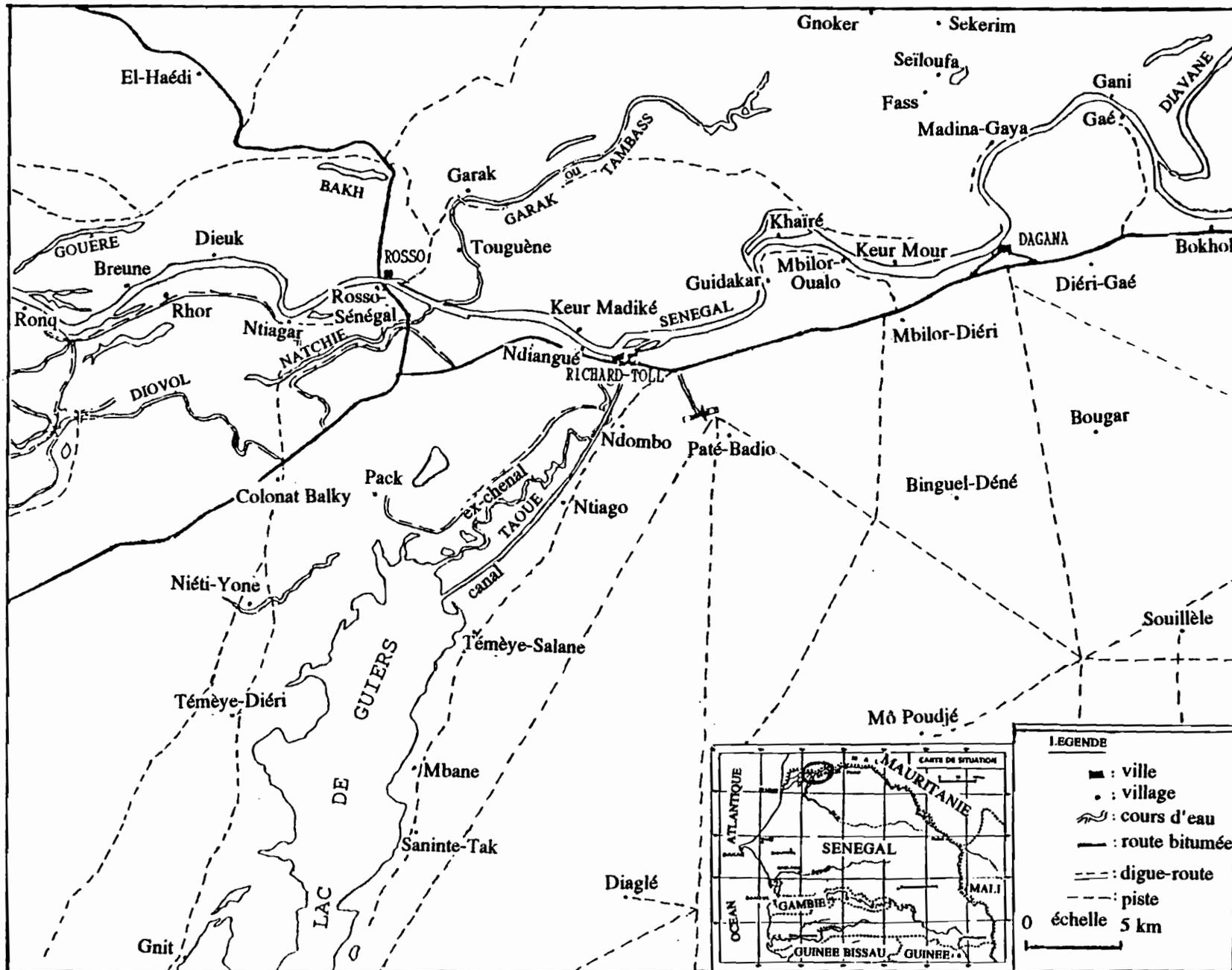


Fig. 1 - Carte de situation de la région d'étude.

Grâce aux nombreux deltas de rupture dont elles sont flanquées, les levées permettent la communication entre les cours d'eau et les cuvettes de décantation.

1.3.- Les terrasses ou plages marines

La morphologie des terrasses nouakchottiennes est très caractéristique dans la basse vallée: elles se situent généralement à la limite Oualo/Diéri et leurs sommets se trouvent entre les côtes 4 et 6 m (MICHEL, 1973). Dans la région d'étude, elles sont à la surface par endroits, notamment aux pieds des grands cordons de dunes ogoliennes (comme au Nord de la cuvette du périmètre de Mpourié) ou en contrebas du glacis polygénique cuirassé (comme en bordure du fleuve entre Dagana et Mbilor-Diéri et au Sud de Mbilor-Oualo). Elles sont caractérisées par des dépôts de sables blancs, fins contenant souvent des graviers.

A côté de ces trois catégories principales de structures, il existe le bas glacis sableux daté du Quaternaire ancien et moyen et dont il n'existe qu'un seul témoin affleurant dans la région. Il a une extension très limitée et se localise dans la partie méridionale du périmètre de Balky au NW du lac de Guiers (Fig. 2).

2.- La morphologie dans le Diéri

Elle n'intéresse que secondairement cette étude.

Au Nord et au Sud de la plaine alluviale recouverte d'alluvions au relief peu marqué, le modelé des terrains, dû aux dunes rouges ogoliennes ainsi qu'au glacis polygénique cuirassé du Continental terminal, tranche sur la couleur grise et sur l'aspect argileux de la zone alluviale. Les dunes ogoliennes, constituées d'un sable homométrique, bordent la région septentrionale de cette partie de la vallée et apparaissent par endroits sur sa bordure méridionale. La cuirasse ferrugineuse, quant à elle se rencontre en bordure orientale du lac de Guiers et du canal de la Taouè et, de manière sporadique, entre Richard-Toll et Dagana.

Ces deux types de formations surplombent d'une quinzaine de mètres la zone alluviale. Elles l'enserrent parfois de très près entraînant son rétrécissement comme par exemple au niveau de Mbilor-Diéri/Keur-Mour, en aval de Dagana. Par contre, dans la partie occidentale de la région d'étude, la zone alluviale est relativement large (près de 50 Km entre la localité de Garak et le Nord de Gnit), certainement à cause de sa nature proto-deltaïque.

C.- LA GEOLOGIE

1.- Contexte géologique et structural d'ensemble

La basse vallée du fleuve Sénégal appartient au bassin sédimentaire sénégal-mauritanien, le plus vaste (340 000 Km² environ) et le plus occidental des bassins côtiers d'Afrique. D'âge méso-cénozoïque, il s'agit d'un bassin ouvert typique ayant une structure caractérisée par un remplissage sédimentaire s'épaississant en direction du domaine océanique (BELLION, DEBENAY, 1986).

1.1.- La stratigraphie

La stratigraphie de la région est assez complexe car elle est profondément marquée d'une part, par les variations eustatiques et climatiques et, d'autre part, par les perturbations tectoniques.

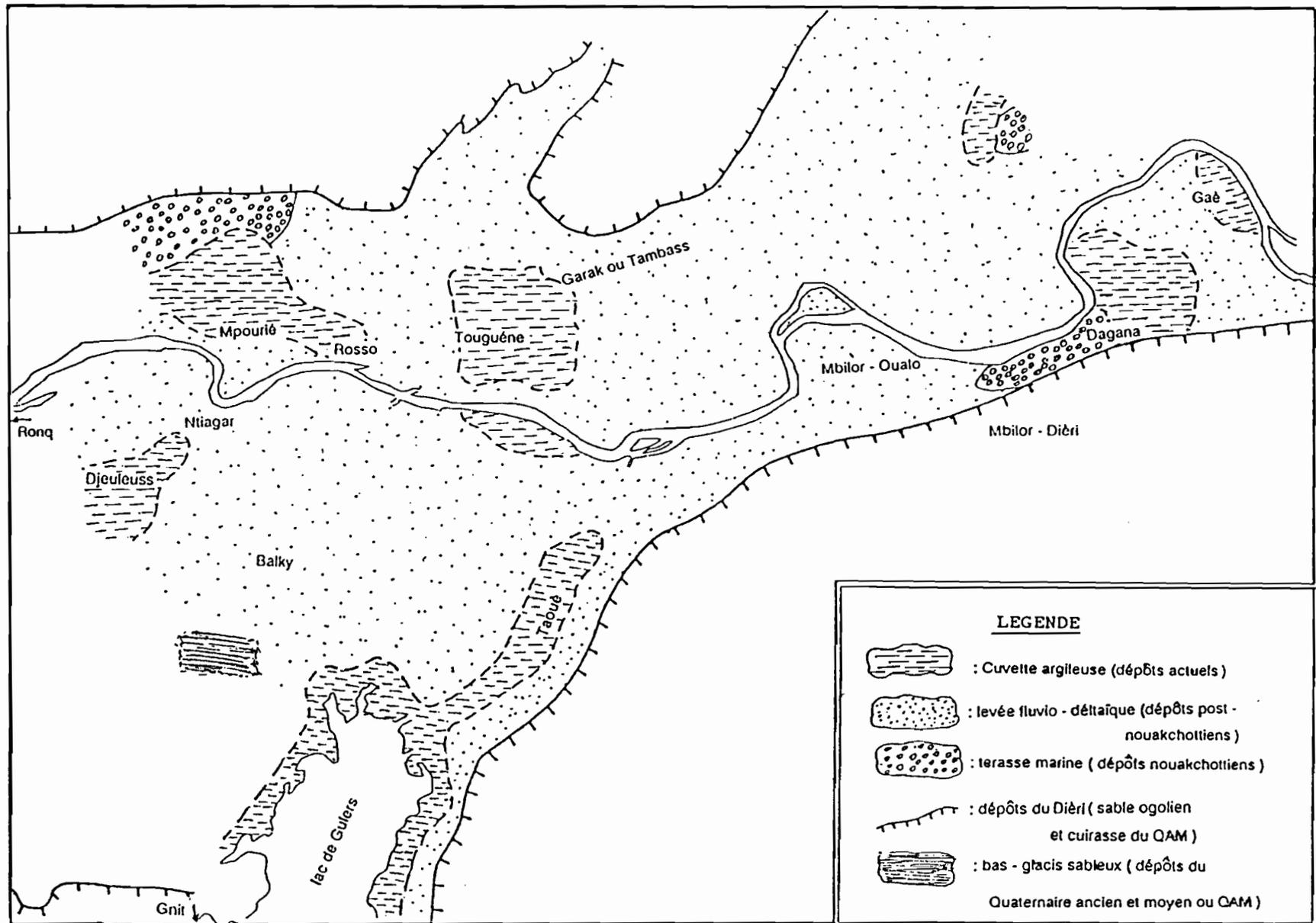


Fig. 2 - Esquisse géomorphologique au niveau du Oualo.

1.1.1.- Le Maastrichtien

Il présente des sables hétérométriques souvent grossiers avec quelques passées d'argiles et des grès sableux à niveaux de quartz translucide, l'ensemble ayant une épaisseur de 300 m environ. Les grès maastrichtiens sont atteints à moins de 40 m de profondeur au sondage de Dagana et à plus de 100 m à celui de Rosso.

1.1.2.- Le Paléocène

Il est caractérisé par des calcaires et des marnes devenant de plus en plus gréseux vers l'Est. Il est situé à 15 m de profondeur au sondage de Keur-Mour près de Dagana et on rencontre une trentaine de mètres de calcaire coquillier à Rosso.

1.1.3.- L'Eocène

La série éocène est souvent tronquée sur une bonne partie de la région par suite des mouvements conjugués de la tectonique et du creusement fluvial.

a) L'Eocène inférieur

Essentiellement constitué de marnes et d'argiles, on trouve environ 30 m d'un faciès argilo-sableux avec quelques bancs de calcaire dolomitique blanc à Rosso. Mais il est très aminci voire absent par endroits à l'Est de cette localité du fait de sa position haute sur l'anticlinal de Guiers.

b) L'Eocène moyen

Les calcaires à Nummulites rencontrés dans certains sondages de l'OMVS (notamment aux environs de Rosso) appartiendraient au Lutétien supérieur (DIAGANA, 1990). Par contre, les diverses coupes de sondage (DEGALLIER, 1956; MICHEL, 1957) montrent une lacune de ce sous-étage sur la zone anticlinale du lac de Guiers (Fig. 3).

1.1.4.- Le Tertiaire supérieur et le Continental terminal

A l'Eocène supérieur, le bassin sédimentaire, complètement exondé, se couvre d'une épaisse couche de sables, d'argile et surtout de grès plus ou moins argileux bariolé. Ces dépôts détritiques présentent un faciès sidérolithique et vont de l'Eocène supérieur à la fin du Pliocène, période qui, localement est plus connue sous l'appellation de Continental terminal.

Le Continental terminal se termine par un revêtement ferrugineux qui s'est formé sur les grès argileux de cet étage ou sur les grès littoraux du Lutétien. On le rencontre notamment dans la carrière de Mbilor-Diéri près de Dagana et en bordure orientale du lac de Guiers (Mbane, Saninte).

1.1.5.- Le Quaternaire

Il est formé de sédiments au sein desquels se trouve l'essentiel de la nappe alluviale. La subdivision géologique locale distingue plusieurs sous-étages correspondant aux différentes phases eustatiques.

a) Le Quaternaire ancien et moyen

Très difficile à différencier des étages supérieurs du Tertiaire, il est présent à Rosso mais est totalement absent sur le dôme anticlinal entre Richard-Toll et Dagana. A Gnit, il montre des formations très hétérogènes (alternance de niveaux de cuirasse, de graviers et de sables) l'ensemble reposant sur les argiles feuilletées du Lutétien.

Il se termine par la mise en place d'ergs qui en rive droite, bordent le lit majeur du fleuve de Boghé à l'Océan Atlantique. Ces ergs se rencontrent également à l'Ouest du lac de Guiers et dans tout le Ferlo septentrional.

b) Le Quaternaire récent

C'est au cours de cette période que la basse vallée prend progressivement sa forme actuelle. Il comprend plusieurs phases exclusivement limitées à cette partie de la vallée et au delta (AUDIBERT, 1971):

* L'Inchirien (40 000 - 31 000 ans BP)

Il est subdivisé en:

- Inchirien I caractérisé par des sables grossiers coquilliers ou à graviers variés (quartz, jaspe et grès ferrugineux). La tendance argileuse augmente vers l'Ouest de Richard-Toll tout comme l'épaisseur (10 m à Rosso, contre 5 m à Richard-Toll).

- Inchirien II caractérisé par un dépôt épais de vases sableuses et argileuses (12 à 20 m entre Dagana et Rosso).

* L'Ogolien (20 000 - 10 000 ans BP)

Les sédiments dits du "premier remblai" qui atteignent plus de 10 m d'épaisseur par endroits recouvrent les graviers sous-berges épais de 10 à 15 m - ces derniers sont issus de la grande régression du Würm - où reposent directement sur la roche saine avec un contact toujours très franc.

L'Ogolien se termine avec la mise en place de cordons dunaires orientés NNE-SSW et provenant de la reprise et du modelage des ergs anciens à sable rubéfié du Quaternaire ancien et moyen.

* Le Nouakchottien (5 500 ans BP)

Cette phase est surtout marquée par le façonnement de niveaux de terrasses à la bordure de la basse vallée à partir du sable dunaire remanié de l'Ogolien: il s'agit de sables blancs, fins, homométriques contenant souvent des graviers.

Situées à la limite Oualo/Diéri, les terrasses nouakchottiennes ourlent par place les bords de la vallée (Fig. 2).

* Le Post-Nouakchottien, le Subactuel et l'Actuel (à partir de 4 000 ans BP)

Au cours de cette période, le fleuve a édifié des bourrelets de berges puis de petites levées dont la sédimentation fine (sables fins et limons) est qualifiée de fluvio-deltaïque et se caractérise par une grande variabilité de faciès. Ces levées fluvio-deltaïques isolent entre elles des cuvettes et des sebkhas dans lesquelles sédimentent des argiles dites de décantation qui proviennent des eaux boueuses charriées par les crues du fleuve (Cf. Géomorphologie).

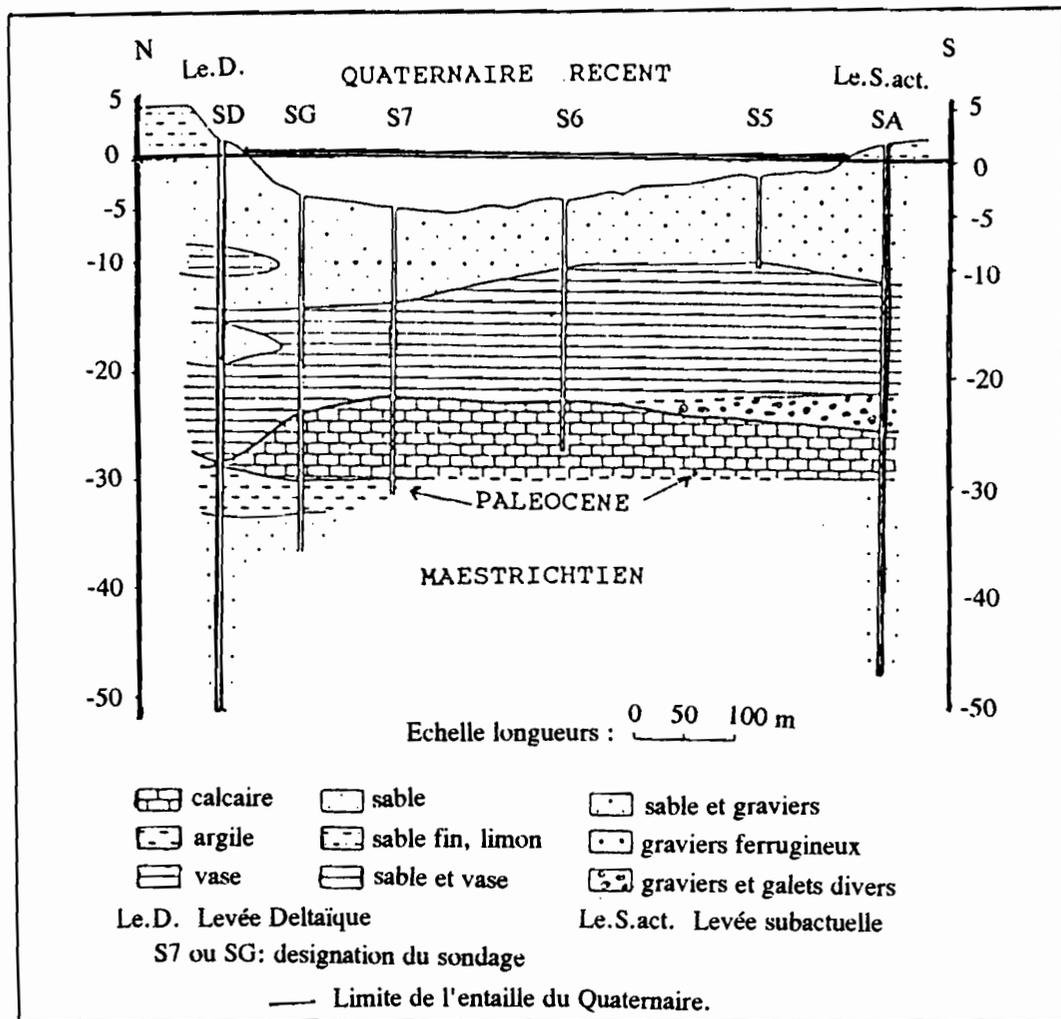


Fig. 3 - Coupe géologique du lit mineur du Sénégal près de Richard-Toll (à 3,5 km de l'écalle). Interprétation des sondages par R. DEGALLIER et P. MICHEL (1956).

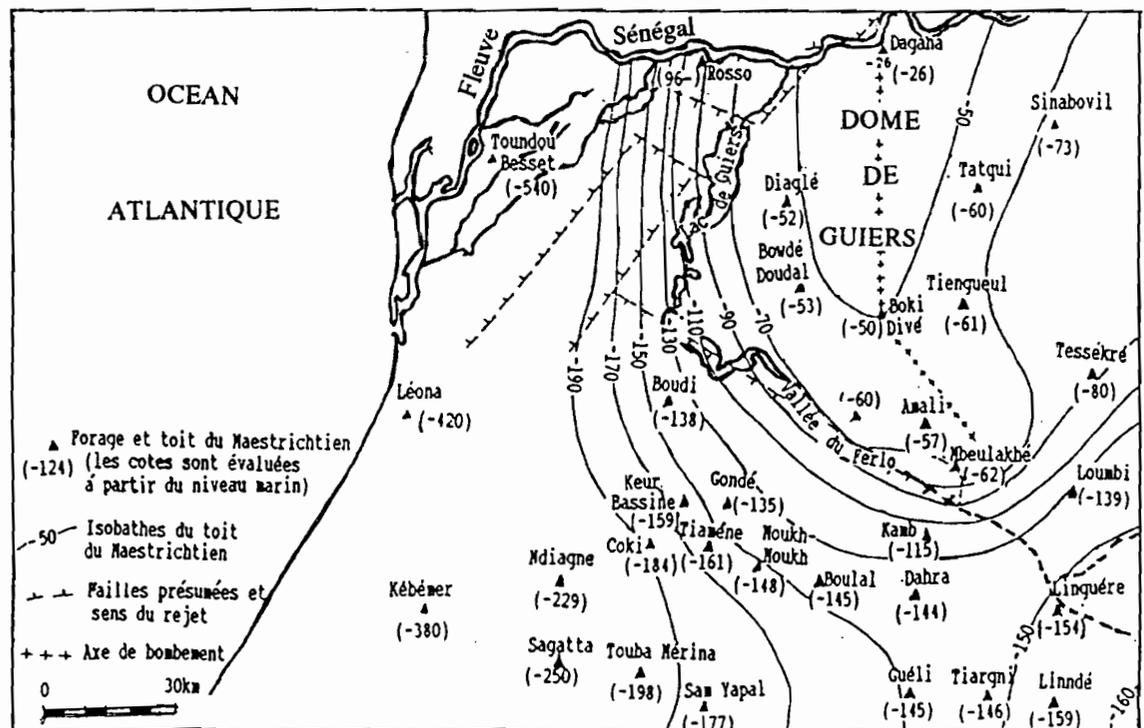


Fig. 4 - Croquis structural du dôme de Guiers (J-Y. TRENOUS, 1971)

1.2.- La structure tectonique

Les événements tectoniques qui se sont déroulés dans cette partie de la vallée ont fortement influencé - et même conditionné parfois - aussi bien la sédimentation, la géomorphologie que le tracé du réseau hydrographique. Ils sont plus ou moins conjugués et on en distingue deux sortes: les déformations souples et la fracturation.

1.2.1.- Les déformations souples

Il s'agit d'une succession de soulèvements et d'affaissements qui ont débuté à partir du Maastrichtien et qui, se sont poursuivis jusqu'à une époque récente. La combinaison de ces deux mouvements donne une surface composite d'érosion ou d'accumulation antérieure aux mouvements tectoniques du Miocène. Ces derniers (gauchissements tectoniques de la surface fini-Oligocène) sont suivis par une régression marine générale au Pliocène entraînant une grande période de rhexistasie. Les sédiments sablo-argileux s'entassent alors dans tout le Ferlo et couvrent même le bombement anticlinal du lac de Guiers où ils reposent en discordance sur l'Eocène inférieur.

1.2.2.- La fracturation

La fracturation qui a accompagné ou qui a suivi (MONTEILLET, 1988) ces déformations souples s'est manifestée dès le Pliocène et s'est accentuée ultérieurement. Il s'agit d'une série de failles (Fig. 5) qui affectent le flanc occidental de la structure anticlinale de Guiers et qu'il compartimente en gradins (MICHEL et TRENOUS, 1970). Ces failles de direction NE-SW sont parallèles à la ligne de faite du bombement (Fig. 4) qui s'allonge à l'Est du lac jusqu'à Dagana mais aussi à la rive occidentale du lac au Nord de Gnit. Le rejeu de ces failles à la bordure orientale du delta au cours du Quaternaire ancien et moyen s'est directement répercuté sur la sédimentation avec notamment des dépôts qui augmentent vers le NW en fonction de la subsidence dans la région du delta.

De l'étude effectuée à partir des photos satellites par LE PRIOL (1985), il ressort que les principales directions de fractures intéressant la région d'étude sont:

- les failles N09-12°E dont la direction conditionne le tracé du lac de Guiers entre Richard-Toll et Keur Momar Sarr,
- les failles N25-27°E dont la direction de l'axe d'orientation passe par Gnit/Rosso et se prolonge plus au Sud vers Kébémér. Cet accident tectonique présente un rejet vertical de l'ordre de 200 m et limite à l'Ouest la zone haute de Dagana où les sables maastrichtiens sont proches de la surface (Fig. 5). Les limites sud et est de cette zone correspondent respectivement aux failles orientées N130-133°E et N42° à N67°E.

2.- La lithostratigraphie de la zone d'étude

2.1.- Généralités

Les nombreux travaux de sondage et surtout l'implantation d'un réseau piézométrique relativement dense par l'OMVS, ont permis d'étudier les terrains aquifères de la région.

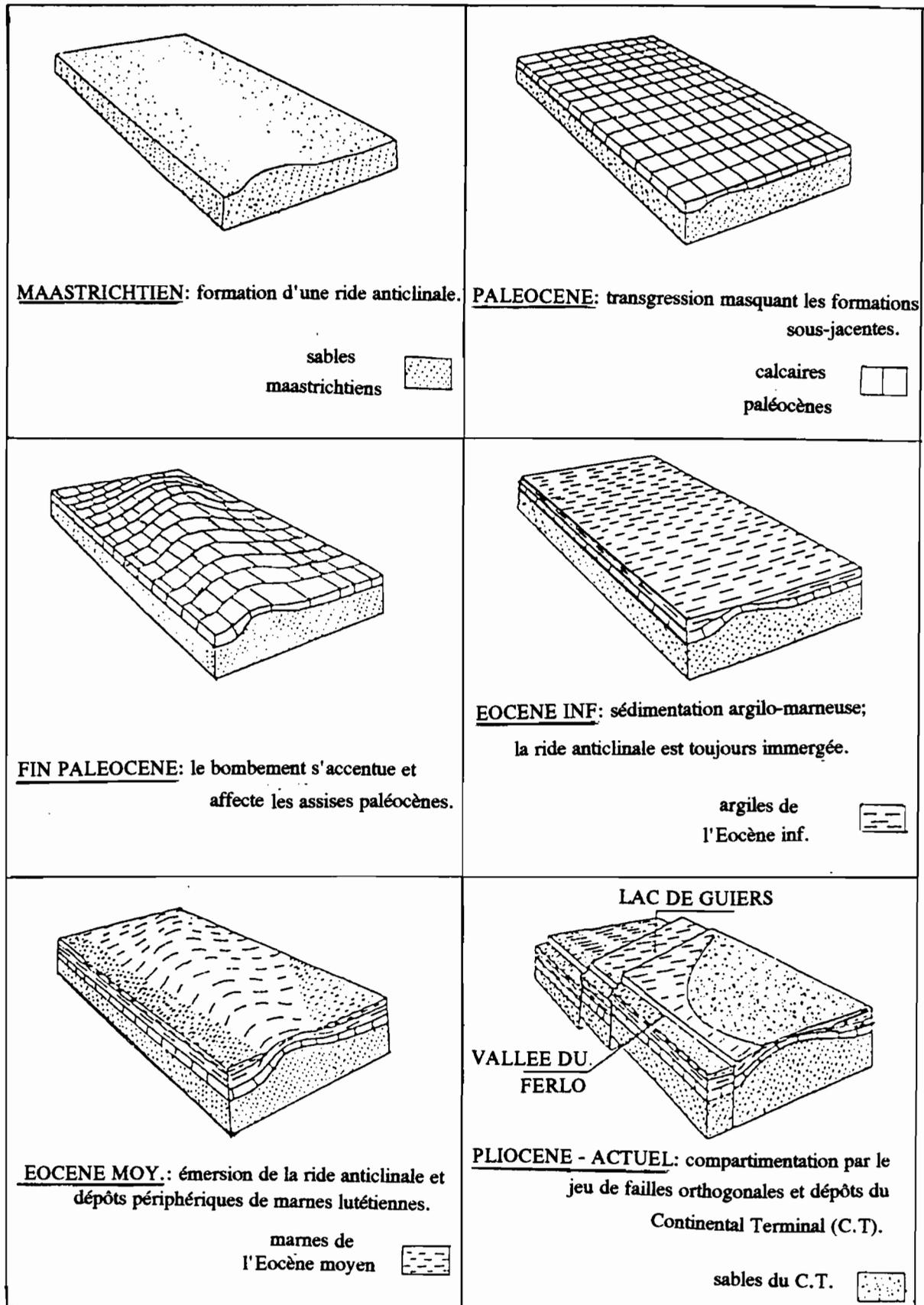


Fig. 5 - Evolution du dôme de Guiers (P. MICHEL et J-Y. TRENOUS, 1970)

Cette étude s'appuie sur les logs stratigraphiques de:

- 173 piézomètres superficiels et profonds mis en place par l'OMVS en 1986,
- 49 piézomètres superficiels établis en 1964 par le BRGM et couvrant les casiers du Diovol (rive gauche), de Rosso et de Keur-Madiké (rive droite),
- 10 sondages plus ou moins profonds effectués par AUDIBERT en 1970,
- des sondages profonds et des profils électriques réalisés par R. DEGALLIER en 1954.

En tenant compte de la distribution des points de sondages et des piézomètres, nous avons subdiviser la région en 8 zones qui sont (Fig. 6):

- La zone 1 englobant toute la partie située de part et d'autre du fleuve entre Breune et Rosso,
- La zone 2 regroupant les périmètres rizicoles (colonats) de Balky et les casiers sucriers de la CSS; elle est située sur le flanc occidental du dôme de Guiers,
- La zone 3 s'allongeant du lac de Guiers à Richard-Toll et englobant tout le bassin ouest du canal de la Taouè,
- La zone 4 concernant tout le bassin versant du marigot Garak compris entre le fleuve et les dunes ogoliennes; elle comprend notamment les localités de Garak et de Touguène,
- La zone 5 qui est le pendant en rive droite de la zone 3 et qui comprend en particulier le site de pompage DA 83 et la localité de Keur-Madiké,
- La zone 6 située de part et d'autre du fleuve à hauteur de Keur-Mour et Mbilor et comprenant le site de pompage GA 205,
- La zone 7 s'étendant du site de pompage DA 98 (Madina-Gaya) aux dunes ogoliennes où le Garak prend sa source,
- La zone 8 est localisée à l'intérieur de la "boucle" que décrit le fleuve entre Dagana à l'Ouest et Bokhol à l'Est.

Le nom donné à chaque zone est fonction de la (ou des) localité(s) qu'elle englobe ou du caractère dominant de son environnement. Les détails lithostratigraphiques sont représentés dans la Fig. 6.

2.2.- Synthèse lithostratigraphique

Globalement, il existe deux catégories de formations (Fig. 6 et 7): les alluvions quaternaires essentiellement constituées de sable, de limon et d'argile, l'ensemble reposant sur un substratum calcaire (Eocène - Paléocène) ou sablo-argileux (Continental terminal et/ou Maastrichtien). Ce sont très souvent des dépôts lenticulaires sans grande extension, ce qui implique d'une part d'importantes variations dans la disposition des différentes strates pour des coupes très voisines. Cela explique d'autre part la grande difficulté qui apparaît lorsqu'on tente de faire une corrélation d'ensemble.

Néanmoins, on peut, par recoupements, tenter de faire une synthèse lithostratigraphique assez représentative de la région (Fig. 7).

2.2.1.- Les alluvions quaternaires

L'étude lithologique montre que très souvent, des mélanges et associations plus ou moins complexes s'opèrent entre les différentes composantes que sont les sables, les limons et les argiles. Cela donne naissance à des vases, des sables argileux ou limoneux, des argiles sableuses ou limoneuses, etc...

On distingue dans ces alluvions les niveaux superficiels et les niveaux sous-jacents.

a) Les niveaux superficiels

Ils sont fonction de la géomorphologie et leur répartition dans la région a été l'objet d'une description détaillée dans le chapitre consacré à cette étude. On retiendra donc que les argiles des cuvettes sont d'âge actuel à subactuel, les limons et les sables fins des levées d'âge post-Nouakchottien et parfois subactuel, le sable fin des terrasses marines du Nouakchottien et les sables dunaires de l'Ogolien.

b) Les niveaux sous-jacents.

Dans pratiquement tous les sondages, la composante principale de ce niveau est le sable. Il s'agit d'un sable fin, parfois limoneux ou argileux, devenant de plus en plus grossier en profondeur et contenant des intercalations ou lentilles d'argiles dont l'épaisseur et la fréquence augmente avec la profondeur.

Ces sédiments sablo-argileux, très épais à l'Ouest (plus de 50 m dans la zone Rosso/Ntiagar) recouvrent avec une épaisseur variable (de 20 à 5 m) le bombement anticlinal de Guiers (Richard-Toll / lac de Guiers) où ils reposent en discordance soit sur les argiles yprésiennes, soit sur le substratum calcaire.

Ailleurs, ils sont ou en continuité avec les formations du Continental terminal (zones de Garak à Dagana) à plus ou moins grande profondeur, ou alors en discordance sur les formations du Maastrichtien (zone de Mbilor) dont elles sont séparées en certains endroits par des lentilles de calcaire éocène.

Ces niveaux sont datés du Quaternaire ancien et moyen au Nouakchottien, mais ils présentent de fréquentes lacunes d'un ou de plusieurs étages à cause des divers épisodes tectoniques et érosifs qui ont affecté la région.

2.2.2.- Le substratum des alluvions quaternaires

Suivant la zone, il est constitué par les formations du Continental terminal, du Paléogène ou du Maastrichtien. Il est notable qu'aucune des formations de ces étages n'ait été atteinte dans les sondages de la zone de Rosso, ce qui laisse supposer qu'elles s'y trouvent à une très grande profondeur et confirme l'appartenance de celle-ci à la partie subsidente du bassin (Cf. Structure tectonique).

a) Les formations du Continental terminal

Ce sont surtout des sables moyens à grossiers contenant fréquemment des gravillons latéritiques avec, parfois, des coquilles notamment aux environs de la localité de Garak (OMVS, 1988).

Surmonté par plus de 20 m de formations alluvionnaires au Nord entre Garak et Seïloufa et dans la partie septentrionale de la "boucle" de Dagana, le Continental terminal est, par contre, relativement peu profond au Sud de cette dernière zone avec une altitude du toit variant entre -3 (GA 173) et -15 m (GA 181).

Il n'a pas été rencontré (ou atteint) dans la zone de Rosso.

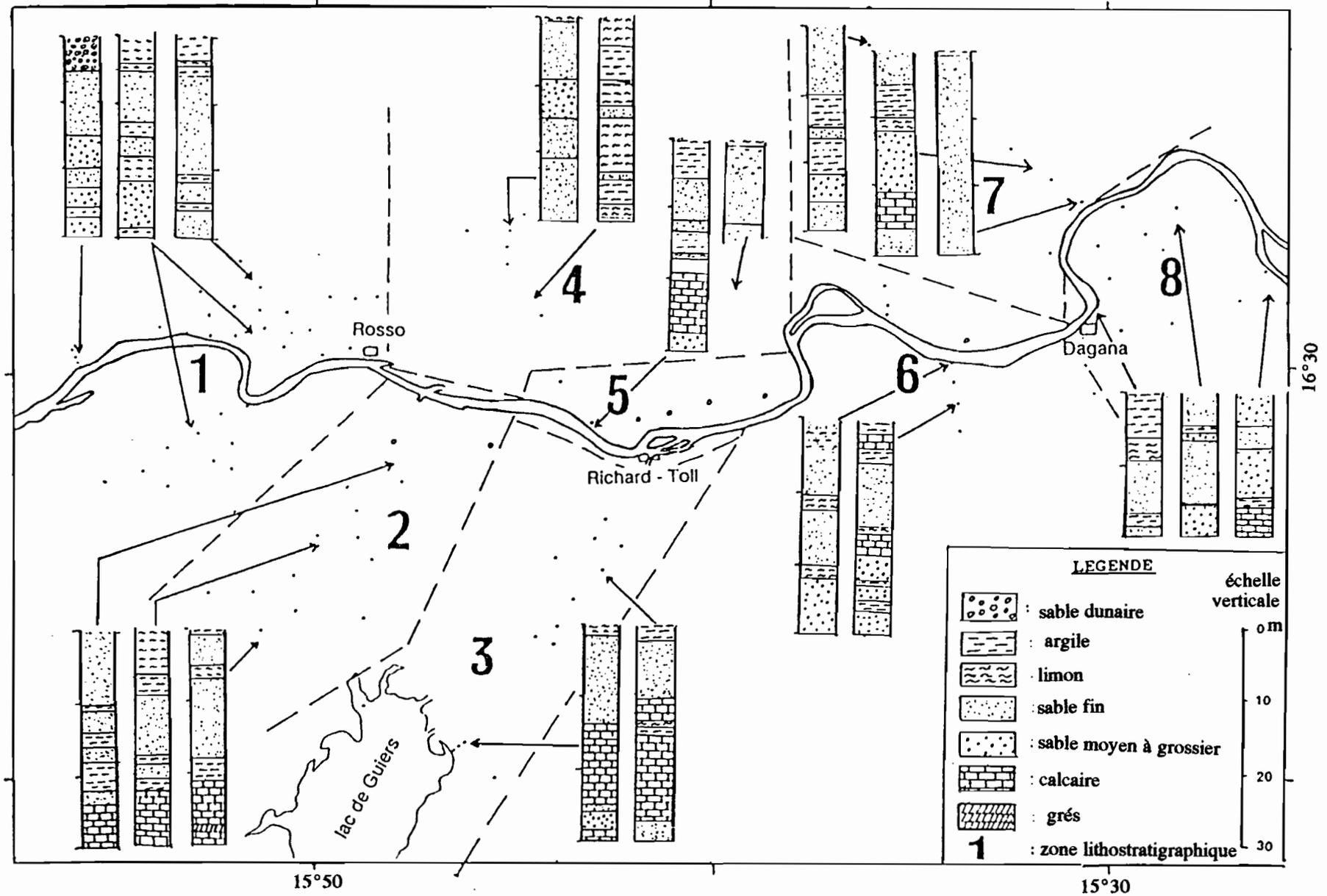


Fig. 6 - Lithostratigraphie des différentes zones.

b) Les formations du Paléogène.

Dans cette partie de la vallée, la distinction entre l'Eocène et le Paléocène est très délicate à cause de la tectonique. Les géologues de l'OMVS utilisent généralement le terme d'Eocène à faciès marin/Paléocène (EMP) pour désigner ce faciès. On le rencontre essentiellement au niveau de la dorsale anticlinale à Keur-Madiké en rive droite et entre Richard-Toll et le lac de Guiers sous la forme d'un calcaire à 2 faciès.

- au Sud, il est blanc, compact avec des gravillons latéritiques et parfois des blocs de grès lenticulaires ou intrastratifiés,

- au Nord, il est plus friable, coquillier à tendance détritique avec des niveaux de silex noirs.

Ce calcaire peut présenter des intercalations ou des passées sableuses ou argilo-sableuses assez importantes. L'épaisseur et l'altitude du toit de ce niveau sont variables:

- dans la zone des périmètres rizicoles (colonat Balky) par exemple, il fait plus de 50 m d'épaisseur et apparaît à -15 m de profondeur au GA 198 et à -72 m au AUD 11;

- dans la zone du lac/canal, il est pratiquement affleurant (à seulement -8 m de profondeur au GA 151) tandis que son épaisseur varie de 13 à 6 m (respectivement au GA 158 et au GA 151)

A première vue, ce substratum calcaire est pratiquement absent dans la zone orientale du dôme de Guiers (entre Mbilor et Bokhol), mises à part les quelques minces lentilles de calcaire rencontrées sporadiquement à différentes profondeurs. Cette absence serait liée à la fracturation (AUDIBERT, 1971).

Cependant, il existe continuité entre le mur des calcaires et le toit des formations maastrichtiennes sous-jacentes, ce qui confirme l'âge post-éocène des événements tectoniques.

c) Les formations du Maastrichtien.

On les rencontre sous forme de sables "francs", souvent à granulométrie grossière mais présentant fréquemment un caractère plus argileux au sommet.

Très proche de la surface au droit du fleuve entre Guidakar et Keur-Mour (-20 m en moyenne), le toit du Maastrichtien descend progressivement vers le Sud où il est atteint à -40 m à Binguel-Déné (Sud de Dagana) et à -50 m à la jonction lac de Guiers - canal de la Taouè (GA 192). Il s'enfonce également de part et d'autre du bombement anticlinal (-80 m au Sud de Ndiérba) et s'effondre complètement à l'Ouest de celui-ci. D'ailleurs trois sondages effectués à Richard-Toll et à Rosso permettent de mesurer l'ampleur du phénomène:

- à la sortie est de Richard-Toll, le toit du Maastrichtien est situé à -40 m de profondeur (GA 152),

- il est à -102 m à la sortie ouest (AUD 11),

- il se situerait entre -450 et -500 m à l'Ouest d'une ligne d'accident dont l'axe passe par Rosso-Gnit-Louga (LE PRIOL, 1985).

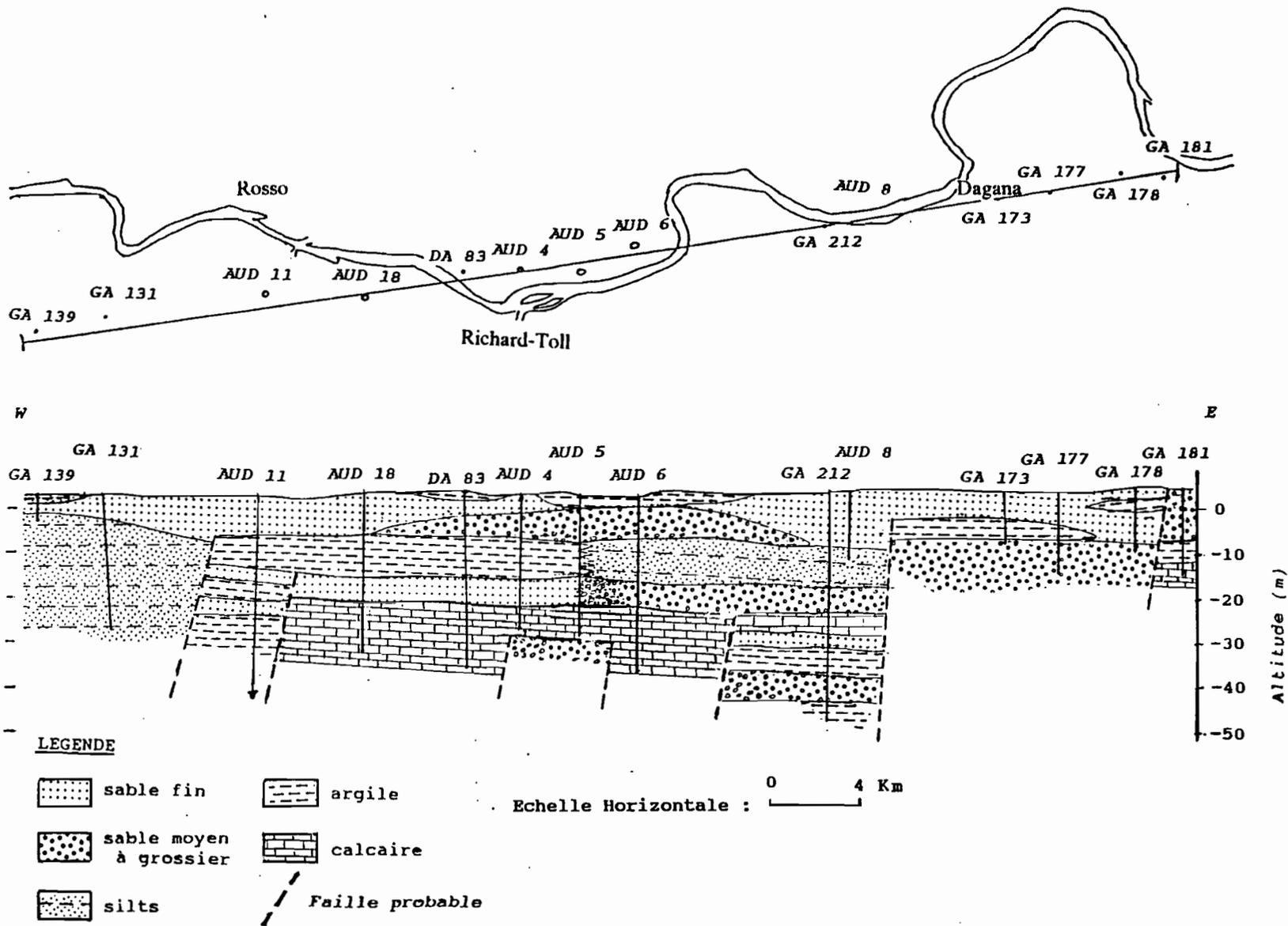


Fig. 7 - Coupe lithostratigraphique synthétique de la région d'étude.

D.- LA PEDOLOGIE

D'après MITMET (1979), la séquence classique transversalement à la vallée depuis la dune ogolienne jusqu'au lit mineur est la suivante (Fig. 8):

- les sols brun-rouges isohumiques de dune,
- les sols peu évolués colluviaux de mi-glacis de raccordement dune-cuvette,
- les sols hydromorphes colluviaux de bas-glacis et de terrasse ou plage,
- les sols salés plus ou moins évolués, plus ou moins vertiques des levées fluvio-deltaïques,
- les vertisols modaux de cuvette et les vertisols hydromorphes de fond de cuvette,
- les sols peu évolués des levées subactuelles ou petites levées,
- les sols minéraux bruts des bourrelets de berge ou hautes levées.

Dans la région d'étude, le caractère subaffleurant de la nappe phréatique et les fréquentes inondations par les crues du fleuve confèrent aux sols un rôle important dans les échanges entre eaux de surface et eaux souterraines. On y distingue 2 grands groupes de sols: les sols hydromorphes et les sols salins ou halomorphes.

1.- Les sols hydromorphes

Ils sont liés à un engorgement temporaire ou permanent d'un horizon ou de l'ensemble du profil. Selon les secteurs, cette eau provient soit de la présence d'une nappe phréatique plus ou moins fluctuante, soit du flux ininterrompu des eaux d'irrigation soit enfin des crues de débordement du fleuve comme celles piégées dans les cuvettes.

On rencontre 3 variétés de sols hydromorphes dans la région:

- les sols à taches et concrétions qui se développent en général sur les limons sableux, parfois sablo-argileux, en particulier sur les terrasses nouakchottiennes,
- les tirs ou sols d'argile noire qui se fissurent en saison sèche et qui sont rencontrés sur les terrains argileux submergés tel que le matériau fluvial de décantation (cuvettes),
- les sols à gley de couleur gris-bleuté ou gris-verdâtre caractéristique qui se développent également sur les alluvions fluviales de décantation.

2.- Les sols salins et à alcalis

Ces types de sols appartiennent à la classe des sols halomorphes et contiennent au moins 0,2% de sels chloruré-sulfatés d'origine marine ou lagunaire (MAYMARD, 1960) et sont essentiellement sodique et magnésienne. Ils sont de deux sortes:

- les sols au sein desquels les remontées salines sont visibles en surface qui sont appelés solontchaks et qui se développent sur des matériaux très divers comme les dépôts fluvio-deltaïques ou les alluvions des cuvettes de décantation fluviale, comme celle localisée entre le fleuve Sénégal et le marigot Garak, plus précisément aux environs de Touguène (Fig. 2),
- les sols sans efflorescences salines qui sont appelés crypto-solontchaks et qui, en quelque sorte, assurent la transition entre sols hydromorphes et sols halomorphes.

A l'origine, la contamination de ces sols serait due à la présence de reliques d'eau de mer piégée au hasard de la géomorphologie qui existait au moment de la dernière régression marine. Par la suite, cette eau marine se serait maintenue et confinée grâce à la conjonction de plusieurs conditions favorables, entre autres celle d'une mauvaise drainabilité naturelle.

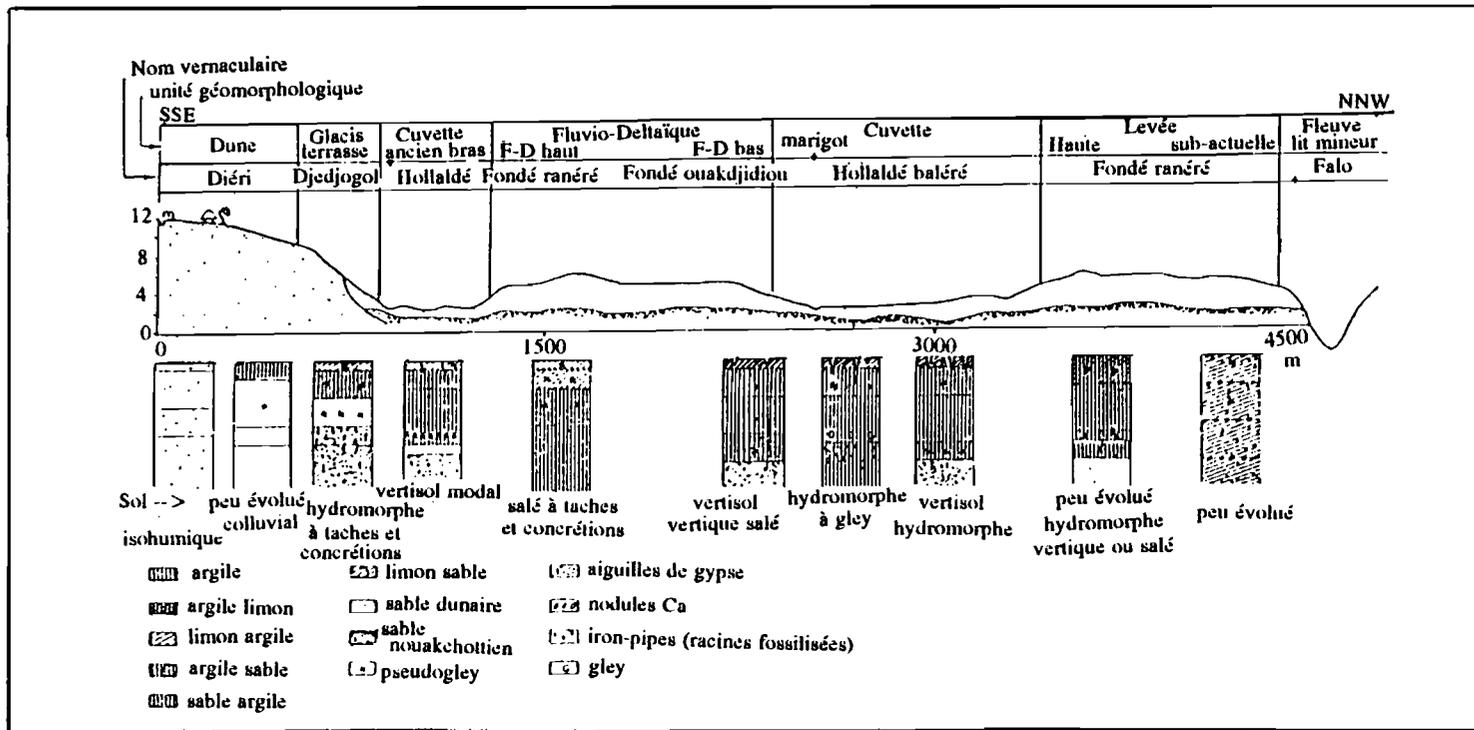


Fig. 8 - Toposéquence à travers la plaine alluviale (Walo) au niveau de Ndiérba (A. MITMET, 1979).

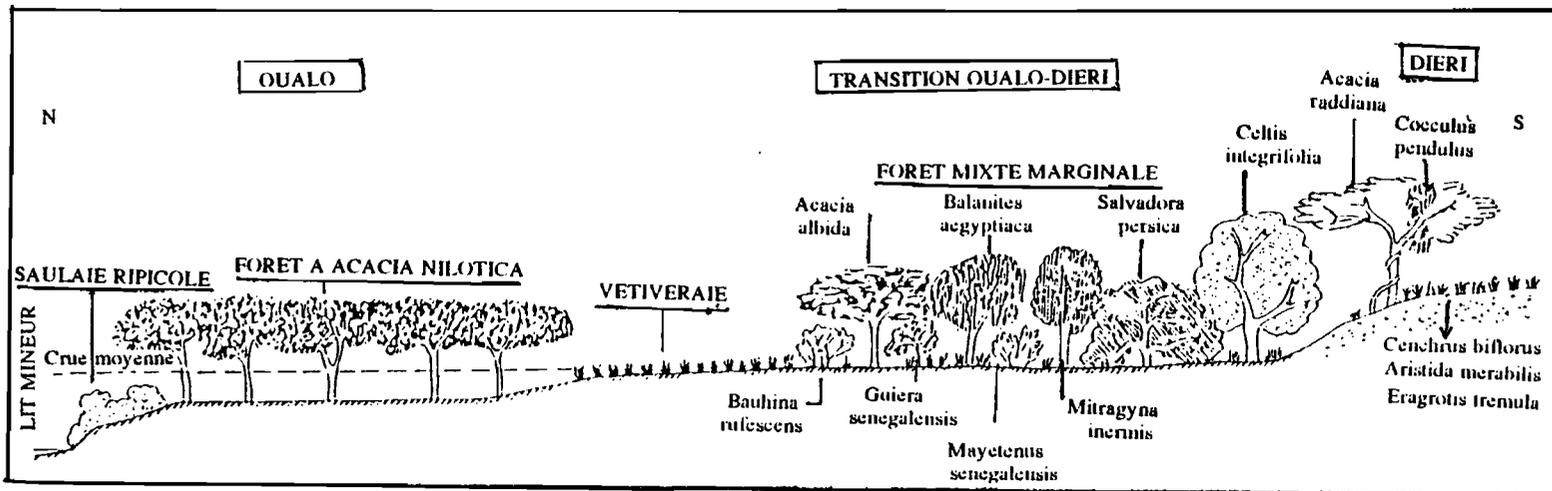


Fig. 9 - Les principales formations végétales de la vallée du Sénégal. Coupe schématique Nord-Sud (P. MICHEL, 1973).

Ce confinement a entraîné, en certains endroits, des teneurs en chlorure de sodium (NaCl) supérieures à celle de l'eau de mer (ANNEXE III)!

D'après la répartition établie en 1960 par MAYMARD, on a schématiquement:

- les sols fortement salés ou solontchaks vifs qui vont du delta où ils sont acidifiés surtout par la mangrove- jusqu'à proximité de Dagana, précisément de l'embouchure à la longitude 15°40,
- les crypto-solontchaks s'étendent de cette limite à Podor en alternance avec les sols hydromorphes, ces derniers représentant 73% des sols de la zone,
- à partir de Podor s'étend le domaine des sols hydromorphes.

E.- LA VEGETATION

Le peuplement végétal de cette région est varié et sa répartition dépend du microrelief très enchevêtré, lequel conditionnait l'ampleur de la submersion par la crue annuelle (MICHEL, 1973). L'Acacia est l'arbre caractéristique qui domine dans la région, il se rencontre aussi bien dans le Oualo que dans le Diéri (Fig. 9).

Cependant, la culture de décrue a considérablement restreint les surfaces boisées du lit majeur, phénomène qui s'est nettement accentué depuis la mise en exploitation de grands périmètres agro-industriels (CSS⁽¹⁾, SAED⁽²⁾, SONADER⁽³⁾, etc...).

Au Sud de la vallée, le lac de Guiers présente un peuplement végétal assez différent de celui du Oualo. Ainsi, du lac vers les terres exondées se succèdent des prairies aquatiques (bourgou), des prairies permanentes et enfin des steppes à *Vétiveria nigriflora* ou à *Sporobolus robustus* lorsque les sols sont légèrement salés. La typhaie constituait également une véritable "jungle" aquatique ou marécageuse sur le pourtour du lac.

Mais au cours des périodes de sécheresse extrêmement sévère (1972/1973 et 1982/1983), la flore a beaucoup souffert de l'assèchement partiel du lac.

(1) - Compagnie Sucrière Sénégalaise (Sénégal)

(2) - Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du Sénégal et de la Falémé (Sénégal)

(3) - Société Nationale de Développement Rural (Mauritanie)

CHAPITRE II: LES PARAMETRES HYDROCLIMATIQUES

A.- LES PARAMETRES CLIMATIQUES

Dans cette étude des paramètres climatiques, les données concernent essentiellement ces 5 dernières années (1986/1990) correspondant à la période d'implantation et de suivi des piézomètres du réseau de l'OMVS. La plupart de ces données proviennent du réseau de stations climatiques installées par la CSS à Richard-Toll (pratiquement situé au centre de la région d'étude) et dans ses environs. Ces données, assez représentatives de l'ensemble, seront complétées à l'occasion, par celles obtenues à partir de la station de l'ASECNA implantée à Dagana.

1.- Généralités

La région est située dans la partie septentrionale du domaine sahélien caractérisé par l'alternance de deux grandes saisons annuelles très contrastées: une courte saison des pluies (2 à 3 mois) avec des précipitations faibles et une très longue saison sèche (9 à 10 mois) entre Octobre et Juillet.

Cependant, d'autres paramètres tels que le régime des vents, les températures, l'humidité relative, l'évaporation, l'insolation, etc... permettent de mieux saisir les influences directes des manifestations atmosphériques sur la surface du sol et donc de définir des microclimats.

2.- Le régime des vents

Les vents dominants sont variables suivant les saisons: aux alizées maritimes vifs, frais et humides venus du NNW qui longent la côte mais qui se font sentir par intermittence à l'intérieur, succède à partir de Mars l'Harmattan, vent continental du Nord-Est, chaud et très sec. Ce vent se heurte aux courants de mousson tièdes et humides venant du Sud et qui dominant sur l'ensemble du bassin à partir de Juin.

La vitesse des vents est variable selon la période de l'année (Tab. 1), la vitesse maximale étant enregistrée au mois de Mai (3,3 m/s), la minimale en Octobre et Novembre (1,3 m/s). Elle peut exceptionnellement atteindre 20 m/s à Rosso (MICHEL, 1973) provoquant d'importants arrachements et mouvements de particules avec accumulation diverses, surtout dans les zones dépourvues de végétation (LOYER, 1989).

3.- Le régime thermique.

C'est un paramètre climatique partiellement influencé par les vents et les précipitations, il est également fonction de la "continentalité" (MICHEL, 1973).

Si les maxima sont plus élevées durant les mois qui précèdent ou qui suivent la saison pluvieuse (Mai-Juin et Septembre-Octobre), les minima sont, par contre, plus élevées durant cette période de pluies. Tout ceci explique la moyenne de températures relativement forte (30°C environ) et constante entre Mai et Octobre (Fig. 10/A).

Par ailleurs, le facteur thermique a une grande incidence d'une part sur la décharge de la nappe par évaporation et d'autre part sur la remontée des solutés dans les sols, en favorisant en particulier les concentrations salines en surface.

Paramètre	Station		Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.	Période
Vent	Richard-Toll	m/s	2,4	2,2	2,5	3,0	3,3	3,0	2,8	2,1	1,7	1,35	1,3	1,7		1986/1990
Température	Richard-Toll	T° min.	13,6	16,25	17,8	19,7	21,6	22,8	24,1	24,5	24,7	22,7	18,5	14,9	20,1	
		T° moy.	21,5	24,8	26,8	29,0	30,6	30,5	29,8	29,5	30,0	30,1	26,4	23,1	27,7	1986/1990
		T° max.	29,5	33,4	35,8	38,4	39,6	38,3	35,6	34,6	35,4	37,6	34,2	31,3	35,3	
	Rosso	T° moy.	22,9	25,6	26,8	28,5	29,8	30,4	29,9	28,9	29,3	29,5	26,8	22,9	27,6	1942/1959
Insolation	Richard-Toll	Heures/j.	6,5	8,0	8,6	8,9	8,7	7,7	8,2	8,2	8,4	8,6	7,5	7,0	8,0	1986/1990
		Heures	201,8	223,9	266,9	266,4	269,6	233,0	255,7	254,2	254,4	266,4	225,6	218,4	244,4	
Rad. solaire	Richard-Toll	Cal/cm2/j	303,4	348,2	403,3	435,2	424,3	411,6	432,7	435,4	411,9	490,0	327,2	306,4	385,8	1986/1990
Précipitations	Richard-Toll	mm	0,92	1,50	0,83	0,0	0,07	3,9	33,6	78,25	60,04	4,36	0,36	0,05	183,9	1980/1990
			1,12	2,1	0,0	0,0	0,04	6,2	31,2	94,22	58,66	5,34	0,8	0,0	199,7	1986/1990
			0,4	2,1	0,0	0,0	0,0	20,4	70,8	86,4	102,9	31,0	0,0	0,5	314,5	1960/1969
	Dagana	mm	2,0	0,7	0,3	0,2	0,2	15,0	39,6	83,9	79,3	7,5	0,2	2,0	230,9	1970/1979
			0,51	1,6	0,0	0,0	0,1	7,0	34,1	75,1	42,5	2,6	0,0	0,0	163,5	1980/1990
			0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	15,6	32,7	99,9	43,2	4,3	0,0	0,0	196,4	1986/1990
Humidité relative	Richard-Toll	%	42,7	44,5	40,0	44,1	51,0	61,1	72,5	74,0	77,0	62,9	53,6	48,0	55,9	1986/1990
	Rosso	%	32,0	31,3	33,6	36,0	41,8	52,0	60,8	69,7	69,3	56,5	47,8	38,4	47,4	1949/1959
Evaporation	Rosso	mm	281,1	300,7	375,0	385,8	391,6	328,1	26,4	183,7	153,6	216,7	231,8	234,0	278,7	1942/1959
	Richard-Toll	mm	286,7	292,9	377,9	391,9	416,5	338,3	288,6	247,9	227,5	267,2	234,8	260,9	302,6	1986/1990

Tab. 1 - Valeurs moyennes des paramètres climatiques.

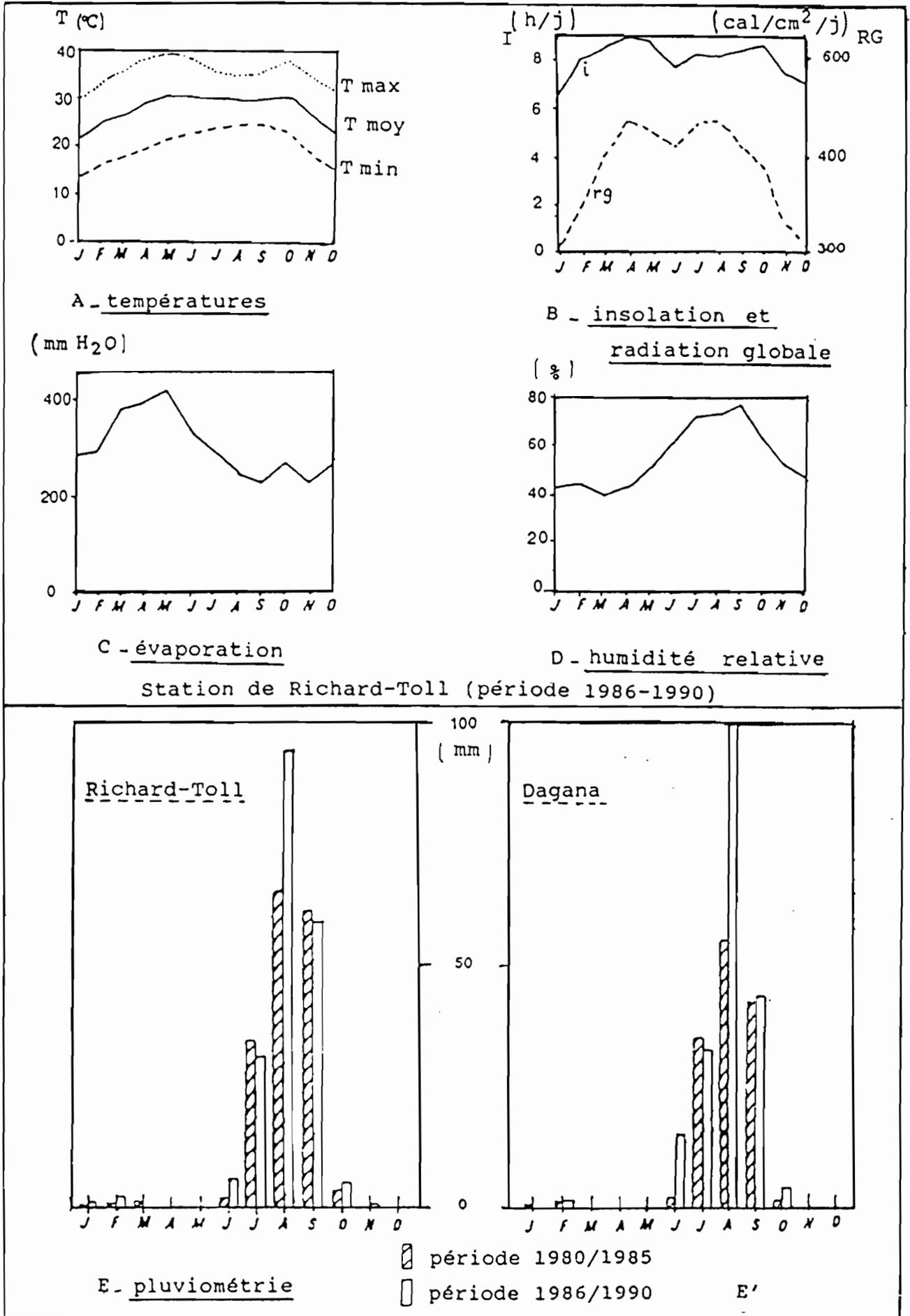


Fig. 10 - Principaux paramètres climatiques.

4.- L'insolation et la radiation globale

La durée moyenne mensuelle de l'insolation varie de 6,5 h/j en Janvier à près de 9 h/j en Avril, la moyenne annuelle étant d'environ 8 h/j (Tab. 1).

La région reçoit en moyenne 4 630 cal/cm² chaque année (PIEKUTOWSKI, 1990), les maxima étant observés pendant la saison pluvieuse (mois d'Août surtout) ainsi que pendant la chaleur du mois d'Avril, les minima durant la période de fraîcheur c'est-à-dire vers Décembre - Janvier (Fig. 10/B).

5.- L'humidité relative

Les valeurs les plus élevées de ce paramètre sont enregistrées pendant la saison des pluies (74 et 77% en Août et Septembre à Richard-Toll et pour la période 1986-1990), période au cours de laquelle les maxima et minima journaliers sont les plus élevés. Les valeurs minimales sont observées entre Janvier et Mars avec environ 40% au cours de ce dernier mois.

6.- L'évaporation

Elle atteint son maximum d'intensité pendant les mois de Mars à Mai quand la température, le vent et l'insolation sont près de leur maximum et l'humidité relative près de son minimum (PIEKUTOWSKI, 1990). Les valeurs minimales sont observées entre Novembre et Février.

Le taux d'évaporation moyen annuel est d'environ 2 360 mm, valeur qui est proche de celle établie par la FAO pour l'ensemble de la vallée (2 400 mm/an).

L'évaporation est loin d'être satisfaite par la pluviométrie (200,0 mm/an) et le déficit hydrique est important surtout pendant la saison sèche. La moyenne évaporatoire est de 6,5 mm/j (8,6 mm/j en Mai contre seulement 3,5 mm/j en Août).

7.- La pluviométrie

La faiblesse des précipitations ainsi que l'irrégularité et la longueur de la saison sèche qui, ces dernières années, caractérisent l'ensemble du domaine sahélien - voire de toute la zone intertropicale - ont pour conséquence une accentuation de l'aridité du climat. Ce déficit pluviométrique apparaît nettement au niveau de la station de Dagana (ANNEXE I) durant ces 3 derniers décennies avec:

- 314,50 mm/an durant la période 1960/1969
- 230,95 mm/an durant la période 1970/1979
- 163,50 mm/an durant la période 1980/1990

Il devient donc nécessaire de réajuster le tracé des isohyètes et d'inclure cette partie de la vallée entre les isohyètes 200 et 300 mm en lieu et place de l'ancien intervalle qui allait de 300 à 400 mm (Fig. 11/F et G).

7.1.- Contexte régional

Les différentes cartes d'isohyètes de la région ainsi que le tableau de l'ANNEXE I permettent de résumer la pluviométrie de cette partie septentrionale de la vallée du fleuve Sénégal:

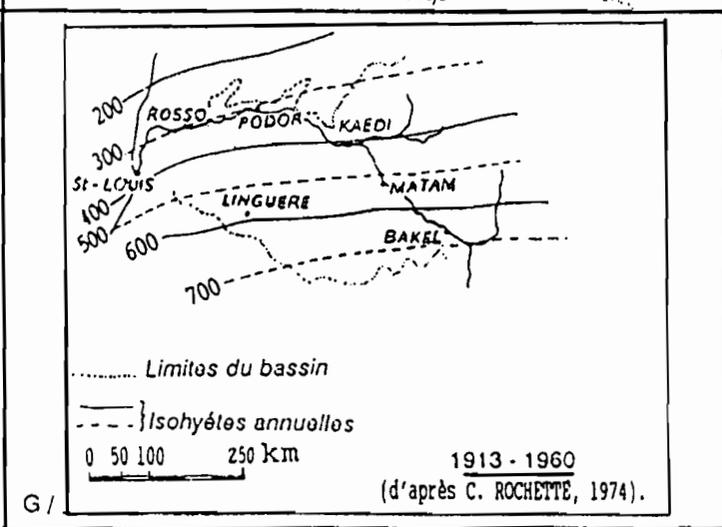
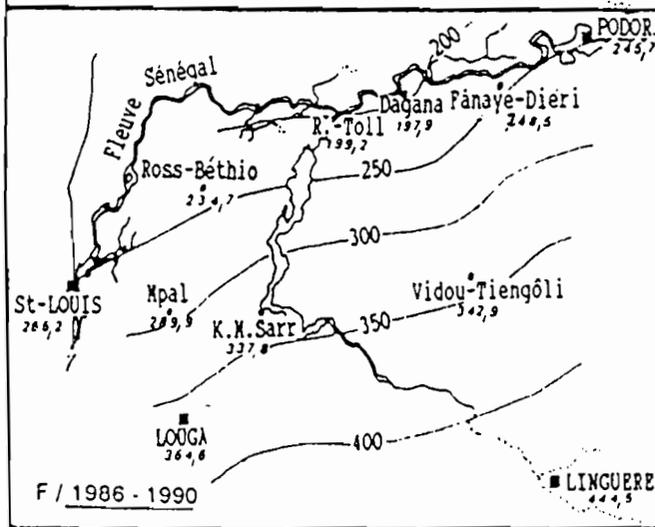
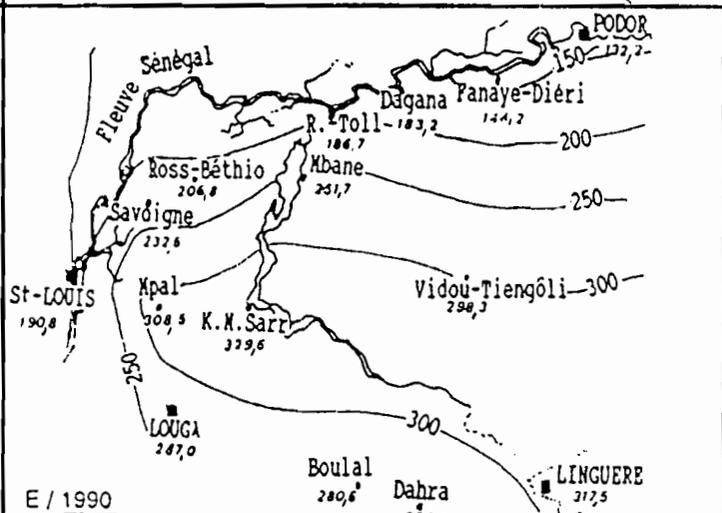
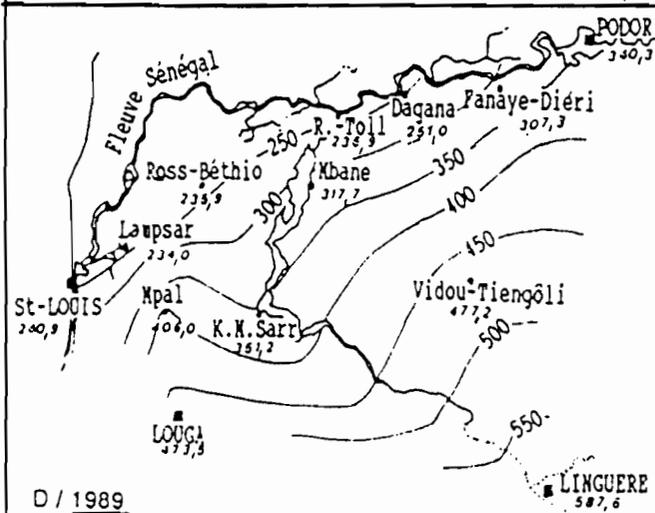
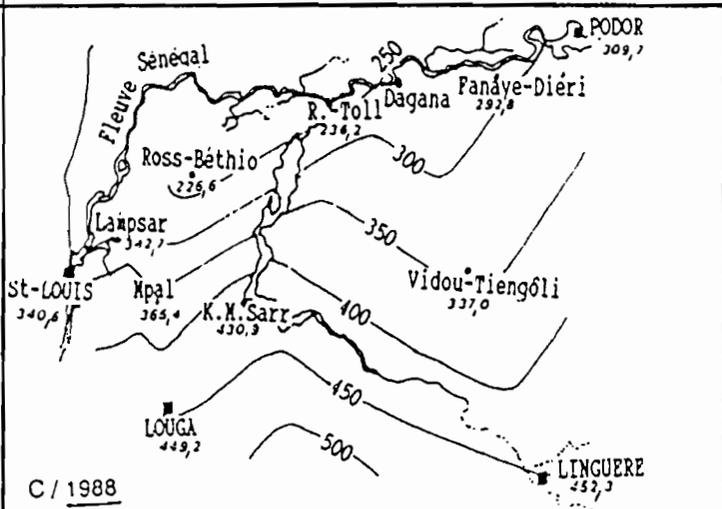
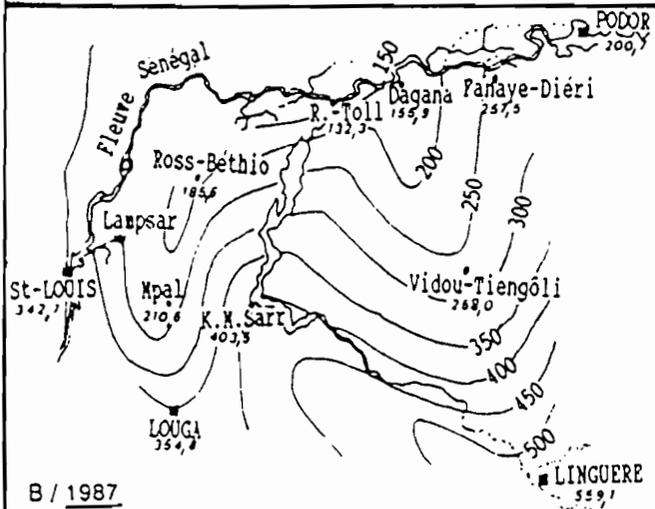
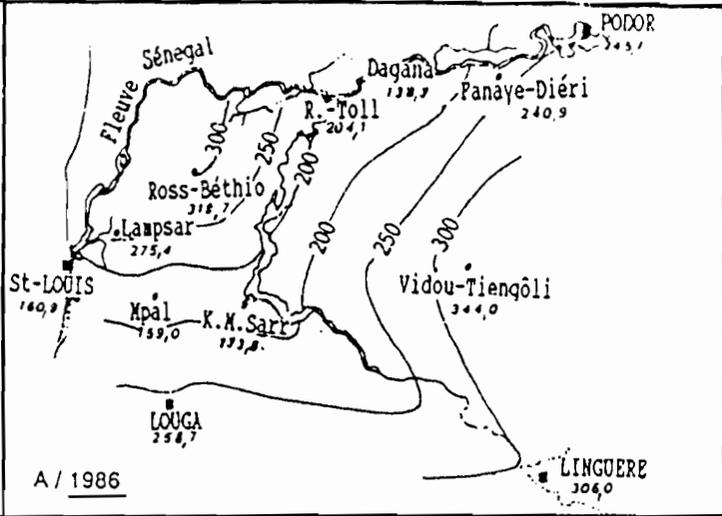
Stations et postes pluviométriques (données complètes)	Total annuel (mm)					Moyenne annuelle
	1986	1987	1988	1989	1990	1986/1990
Linguère	306,0	559,1	452,3	587,6	317,5	444,5
Louga	258,7	354,8	449,2	473,5	287,0	364,6
Saint-Louis	160,9	342,7	340,6	240,9	190,8	255,2
Podor	245,7	200,7	309,7	340,3	132,2	245,7
Vidou-Tiengôli	344,0	258,0	337,0	477,2	298,3	342,9
Keur-Momar-Sarr	173,8	403,5	430,9	351,2	329,6	337,8
MPal	159,0	210,6	365,4	406,0	308,5	289,9
Fanaye-Diéri	240,9	257,5	292,8	307,3	144,2	248,5
Ross-Béthio	319,7	185,6	226,6	235,9	205,8	234,7
Richard-Toll (Moy. des postes CSS)	204,1	132,3	236,2	236,9	186,7	199,2
Dagana	138,3	155,9	261,3	251,0	183,2	197,9
Postes pluviométriques (données incomplètes)						
Lampsar	275,4	254,2	342,7	234,0	-	-
Savoigne	-	-	-	-	232,6	-
Mbane	-	-	-	-	261,7	-
Dahra	-	-	-	-	226,8	-
Boulal	-	-	-	-	280,6	-

Tab. 2 - Totaux pluviométriques annuels dans le Nord du Sénégal

Fig. 11 - Isohyètes moyennes annuelles (A à E) et interannuelles. (F et G) [S.M. DIAO].

LEGENDE

- 350 — : courbe isohyète
- PODOR : station synoptique
- Boulal : poste pluviométrique



- il y a une nette réduction de la quantité de pluie par rapport à la période 1913/1960 (Fig. 11/F et G);
- la pluviométrie varie beaucoup:
 - . d'une année à l'autre atteignant parfois des proportions considérables: ainsi à Linguère par exemple, le volume des précipitations de 1989 est supérieur à celui de 1986 de près de 300 mm;
 - . dans l'espace également, aussi deux localités très proches peuvent-elles recevoir des hauteurs de pluie nettement différentes au cours d'une même année (Tab. 2): tel est le cas en 1986 entre Saint-Louis (160,9 mm) et Lampasar (275,5 mm) distants de seulement 17 km.
- en moyenne, les précipitations les plus faibles sont enregistrées entre Dagana et Richard-Toll soit environ 200 mm pour la période 1986/1990 (Fig. 11/F et Tab. 2). Elles augmentent progressivement vers l'Est (245 mm à Podor), vers le Sud-Ouest (255,2 mm à Saint-Louis) et naturellement, vers le Sud (444,5 mm à Linguère);
- la saison pluvieuse se concentre pratiquement sur trois mois (Juillet/Août/Septembre) qui totalisent 92% des précipitations de l'année (période 1960/1990 à Dagana) dont près de la moitié (47% pour le seul mois d'Août (Fig. 10/E').

7.2.- Pluviométrie de la région d'étude

L'éloignement et la rareté des postes pluviométriques ne permettent pas de connaître le volume exact des précipitations tombées dans chaque portion de terrain. Aussi dans cette étude nous limiterons-nous à l'exploitation des données des deux postes pluviométriques que sont Dagana et Richard-Toll⁽¹⁾

Les tableaux 3 et 4 permettent de dégager les caractères pluviométriques qui sont essentiellement:

- environ une vingtaine de jours pluvieux par an,
- une saison des pluies qui dure au maximum trois mois,
- une averse maximale de l'ordre de 50 mm généralement enregistrée au mois d'Août.

Cependant dans le détail, des différences parfois notables peuvent apparaître entre les trois période suivantes:

* Période 1986-1987: la moyenne annuelle est inférieure au tracé de l'isohyète 200 mm en 1986 et même à celui de l'isohyète 150 mm en 1987 (Fig. 11/A et B). Cela implique que le déficit pluviométrique est très élevé par rapport aux moyennes interannuelles des périodes 1930/1985 et 1962/1985 (Tab. 3 et 4).

Les averses maximales (inférieures à 50,0 mm) sont enregistrées au mois de Septembre qui représente le mois le plus pluvieux de cette période.

* Période 1988-1989: il y a une élévation sensible des hauteurs de précipitations (250 mm/an), ce qui se traduit par un déficit moins important par rapport à la moyenne interannuelle de la période 1930/1985 et même par un léger excédent sur celle 1962/1985.

En 1989, le nombre de jours pluvieux (environ 25) est plus important que la moyenne habituelle qui tourne autour de 20.

⁽¹⁾ - Nous n'avons pu accéder aux données pluviométriques de la station de Rosso située sur la rive droite.

Année	Station		Jan	Fév	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Tot.an (mm)	Nbre jours	Max. journ.		Déf./exc.(%)	
														J/M	(mm)	*PA 30/85	**PA62/85
1986	Dagana	(mm)				13,5	42,0	82,8				138,3	15	12/09	43,0	-50,9	-41,5
	R - Toll	(mm)	1,4	0,2	13,1	83,1	94,8	10,6	0,9			204,1	21	13/09	29,2		-7,8
	Moyenne	(mm)	0,7	0,1	13,3	62,5	88,8	5,3	0,4			171,1	18				-25,2
	régionale	(%)	0,4	0,0	7,8	36,5	51,9	3,1	0,3			100,0					
1987	Dagana	(mm)			43,7	26,1	38,7	25,9	21,5			155,9	22	11/06	36,2	-44,7	-34,0
	R - Toll	(mm)			13,0	17,7	30,4	64,6	6,6			132,3	18	29/09	21,8		-40,2
	Moyenne	(mm)			28,4	21,9	34,5	45,2	14,1			144,1	20				-37,0
	régionale	(%)			19,7	15,2	24,0	31,4	9,7			100,0					
1988	Dagana	(mm)			8,5	2,9	179,5	70,4				261,3	21	20/08		-7,3	+10,6
	R - Toll	(mm)	1,6	9,1	0,3	13,4	125,6	85,3		0,9		236,2	20	21/08			+6,7
	Moyenne	(mm)	0,8	8,8	0,2	8,2	152,5	77,8		0,5		248,8	20,5				+8,7
	régionale	(%)	0,3	3,5	0,1	3,3	61,3	31,3		0,2		100,0					
1989	Dagana	(mm)			17,5	61,3	143,1	29,1				251,0	22	26/08		-11,0	+6,2
	R - Toll	(mm)			17,7	53,3	136,9	22,4	3,5	3,1		236,9	28	11/07			+7,0
	Moyenne	(mm)			17,6	57,3	140,0	25,8	1,8	1,5		244,0	25				+6,6
	régionale	(%)			7,2	23,5	57,4	10,6	0,7	0,6		100,0					
1990	Dagana	(mm)	5,7	14,0	59,6	96,2	7,7					183,2	20	11/08		-35,0	-22,5
	R - Toll	(mm)	4,0		57,3	94,1	26,2	5,1				186,7	18	15/07			-15,6
	Moyenne	(mm)	4,8	7,0	58,5	95,2	17,0	2,5				185,0	19				-19,1
	régionale	(%)	2,6	3,8	31,6	51,4	9,2	1,4				100,0					

Tab. 3 - Principales caractéristiques de la pluviométrie (période 1986 - 1990).

Période	Station		Jan	Fév	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Tot.an	Nb.j	**Déf(%)
1986	Dagana	(mm)	1,1	1,7	15,0	32,7	99,9	43,2	4,3			197,9	20	-16,2
		(%)	0,6	0,8	7,6	16,5	50,5	21,8	2,2			100,0		
à	R-Toll	(mm)	1,1	2,1	6,2	31,0	94,0	58,7	5,2	0,8	0,2	199,3	21	-9,9
		(%)	0,6	1,1	3,1	15,5	47,2	29,4	2,6	0,4	0,1	100,0		
1990	Moy. rég.	(mm)	1,1	1,9	10,6	31,8	97,0	50,9	4,8	0,4	0,1	198,6	20,5	-13,2
		(%)	0,6	0,9	5,4	16,0	48,8	25,6	2,4	0,2	0,1	100,0		

Tab. 4 - Répartition moyenne de la pluviométrie (période 1986 - 1990).

* PA 1930/1985: Moyenne des précipitations interannuelles de cette période.

Elle est de 281,9 mm à Dagana et non connue à R - Toll

**PA 1962-1985: Moyenne des précipitations interannuelles de cette période.

Elle est de 236,3 mm à Dagana et de 221,3 mm à R - Toll, la moyenne régionale étant de 228,8 mm.

* Année 1990: elle est marquée par une rupture assez sensible d'avec la reprise pluviométrique qui s'était amorcée au cours de la période précédente.

La moyenne de 185,0 mm ramène à une situation quasi-identique à celle de la première période (1986-1987) nettement déficitaire par rapport aux moyennes interannuelles des périodes 1930/1985 et 1962/1985 (Tab. 3).

8.- Conclusion

Cet aperçu sur les paramètres climatiques met en évidence l'importance de deux paramètres principaux que sont le régime thermique et le régime pluviométrique. Très souvent, les deux se conjuguent pour augmenter le dessèchement de la région.

En effet, l'absence de pluies pendant plusieurs mois consécutifs (9 à 10 mois) associée à des températures élevées et à une forte évaporation engendre une grande sécheresse dans cette région septentrionale du bassin. De plus, la diminution du volume des précipitations sur l'ensemble du bassin versant entraîne une réduction sensible des débits et courants fluviaux ainsi que la hauteur et la durée de la crue. C'est d'ailleurs dans la perspective - entre autres - de corriger cette situation dramatique qui menaçait d'asphyxie toute cette région, vitale à bien des égards, que les barrages de Diama et de Manantali ont été érigés sur le cours du fleuve.

Néanmoins, il est assez réconfortant de constater que durant ces 5 dernières années, une tendance globale à la hausse des hauteurs pluviométriques s'est amorcée même si elle est en dents de scie (ANNEXE I).

B.- HYDROLOGIE

Ce facteur a une grande importance dans les échanges entre eaux souterraines et eaux de surface, échanges dont l'étude des modalités et des mécanismes constitue le principal objectif visé dans ce travail.

Les ouvrages successifs réalisés sur le cours du fleuve Sénégal (bouchons de Kheune en 1983 et 1985, barrages aval à Diama en 1985 et amont à Manantali en 1987) et sur celui du canal de la Taouè (rectification du chenal sinueux en un canal rectiligne de 17 km en 1973 et installation de deux ponts-barrages anti-sel) ont fortement perturbé le fonctionnement hydrologique de l'ensemble. Cela s'est traduit par un profond bouleversement de l'environnement et de l'écosystème fluvio-lacustre.

1.- Le réseau hydrographique

Le fleuve Sénégal prend naissance dans le massif montagneux du Fouta-Djalou (République de Guinée) et finit par déboucher dans l'Atlantique au niveau de Saint-Louis après avoir parcouru près de 1 700 km. Il traverse des régions qui diffèrent nettement par leur climat, leur relief, leur géologie et leur hydrographie.

Dans les limites de la région d'étude (Fig. 1), le fleuve serpente avec de nombreux méandres et reçoit plusieurs marigots en aval de Dagana, les plus importants étant:

- le Garak en rive droite,
- le Diovol, le Natchié et la Taouè en rive gauche.

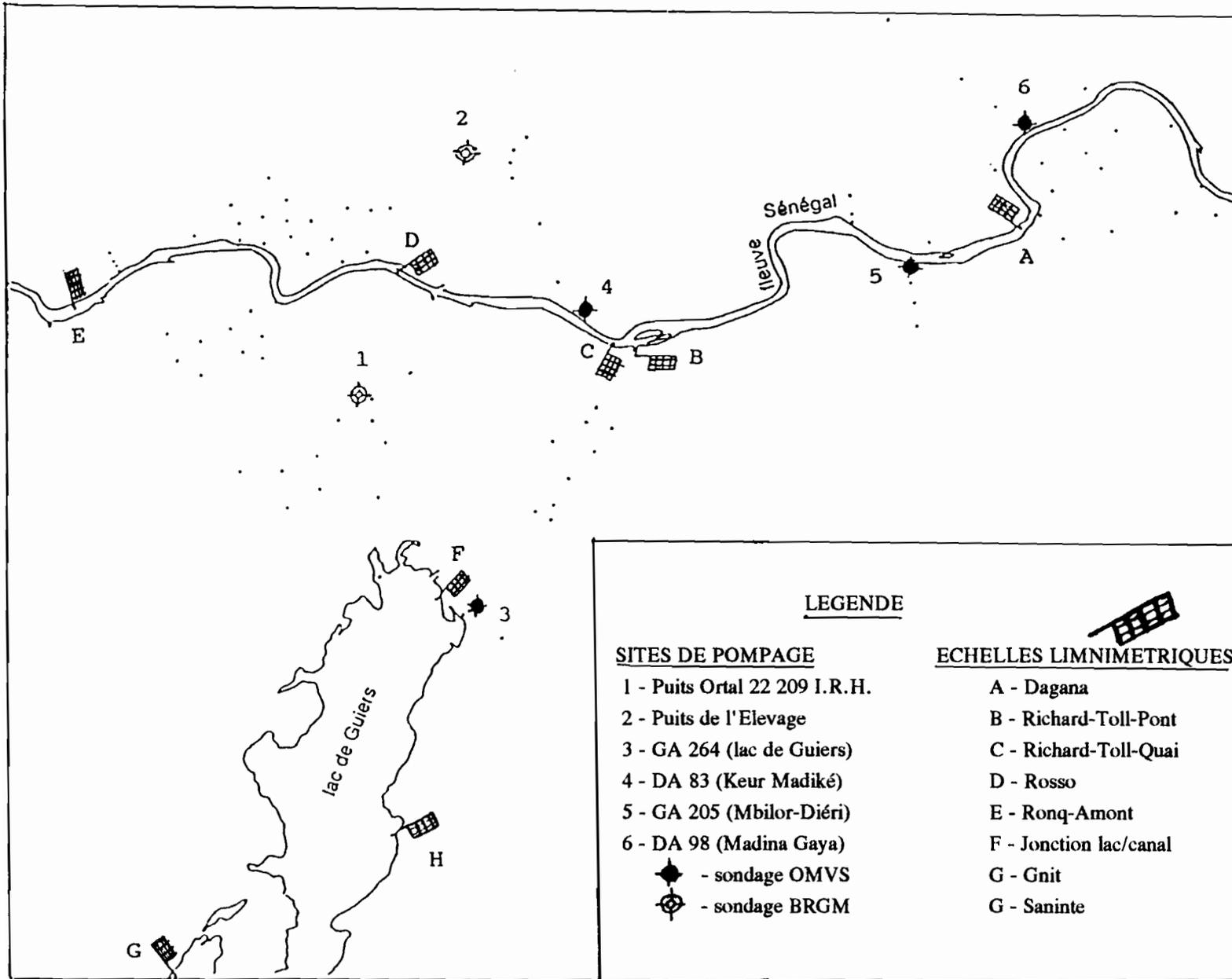


Fig. 12 - Carte de localisation des échelles limnimétriques et des sites de pompages.

La région s'enrichit également de tout un système de canaux desservant plusieurs périmètres hydroagricoles (périmètres de Mpourié en rive droite, du Diovol, de Bally, de Mbilor-Oualo et de Ntiago/Ndombo en rive gauche) et les plantations de canne à sucre de la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS).

En outre, le fleuve alimente plusieurs dépressions (cuvettes et lacs), la plus importante étant le lac de Guiers. Ce dernier se présente comme une dépression peu profonde allongée suivant une direction NNE-SSW et est relié au fleuve par le canal de la Taouè.

Les dimensions du lac sont variables en fonction de son niveau de remplissage mais, en moyenne, sa longueur est de 50 km et sa surface de 210 Km² (COGELS et GAC, 1983). Il constitue la seule importante réserve d'eau douce de surface du Sénégal.

Donc dans la sous-région, il apparaît nettement que le réseau hydrographique est d'une importance vitale tant pour l'alimentation en eau des populations (usine des eaux de Gnit) et du bétail que pour les cultures (riziculture, maraîchage, plantations de canne, etc...).

2.- Le régime hydrologique

2.1.- Le réseau hydrométrique

Dans les limites de la région d'étude, on dénombre une dizaine d'échelles limnimétriques (Fig. 12) dont:

- 3 le long du fleuve: à Dagana, au Quai de Richard-Toll et à Rosso sans compter celle de Ronq située plus en aval,
- 3 le long du canal avec en particulier celle située sous le pont de Richard-Toll,
- 3 sur le pourtour du lac à Saninte (rive est), Gnit (rive ouest) et au niveau de la jonction lac-canal (rive Nord).

L'étude qui va suivre repose uniquement sur les données des 3 stations du fleuve et sur celles de l'échelle de Gnit pour l'ensemble lac-canal, le niveau de celui-ci étant considéré comme horizontal de Richard-Toll à Gnit. En outre, elle sera volontairement limitée aux seules années 1988 et 1989 qui correspondent à la période complète de suivi piézométrique.

2.2.- Evolution des plans d'eau

Durant les années hydrologiques 1988 et 1989 (Fig. 13 et Tab. 5), l'évolution des plans d'eau se présente comme suit:

- Au niveau du fleuve, la crue s'amorce généralement dès le mois de Juin et augmente rapidement pour atteindre son maximum à la fin Septembre-début Octobre. Elle décroît ensuite tout aussi brutalement entre Octobre et Novembre, cette diminution devenant lente et progressive jusqu'à l'étiage maximal qui a lieu entre Avril et Mai.

- Au niveau de l'ensemble lac-canal, le processus d'évolution est à peu près identique au précédent sauf qu'ici, l'étiage est plus tardif (Juin) et le reflux des eaux entre Octobre et Novembre moins brutal.

2.3.- Fonctionnement hydrologique

Au maximum de la crue, le niveau du fleuve est toujours supérieur à celui du lac avec cependant une forte atténuation en 1989 (à peine 0,1 m de différence de hauteur limnimétrique contre 0,5 m en 1988). Cependant durant une bonne moitié de l'année (Novembre à

Ech. limn. (m IGN)	Année					M	O	I	S					moy an.	min. jour.	max. jour.		
Fleuve		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	(m)	J/M	H(m)	J/M	H(m)
	1986	0.96	0.78	0.45	-0.30	-0.32	-0.18	0.15	0.99	2.03	1.85	1.27	1.30	0.77	21-Mai	-0.42	15-Sep	2.25
DAGANA	1987	1.23	1.10	0.82	0.44	0.09	-0.10	0.21	0.80	1.66	1.62	1.14	0.65	0.80	27-Jui	-0.17	1-Oct	1.79
*PK 169	1988	0.97	1.08	1.08	0.80	0.33	0.45	0.92	1.38	2.25	2.18	0.65	0.52	0.96	27-Mai	0.06	7-Oct	2.68
** -0.45	1989	0.42	0.26	0.09	0.10	0.17	0.24	0.61	1.30	2.10	1.69	0.90	0.57	0.78	-	-	2-Oct	2.17
	1990	0.51	0.51	0.59														
	1986	0.98	0.79	0.47	-0.01	-0.33	-0.20	0.15	0.96	1.82	1.67	1.26	1.33	0.74	20-Mai	-0.48	15-Sep	2.00
R-TOLL Quai	1987	1.25	1.14	0.85	0.47	0.10	-0.07	0.21	0.77	1.60	1.55	1.19	0.63	0.81	28-Jui	-0.15	1-Oct	1.71
PK 145	1988	0.95	1.08	1.10	0.79	0.27	0.43	0.91	1.31	1.95	1.96	0.66	0.48	0.98	26-Mai	0.05	5-Oct	2.38
-0.40	1989	0.41	0.22	-	-	0.09	0.15	0.26	1.03	1.69	1.39	0.87	0.49	0.66	-	-	2-Oct	1.80
	1990	0.39	0.38	0.43														
	1986	0.74	0.52	0.16	-0.08	-0.33	-0.22	0.09	0.91	1.77	1.62	1.23	1.29	0.64	-	-	-	-
ROSSO	1987	1.22	1.11	0.81	0.38	0.00	-0.18	0.13	0.73	1.56	1.53	1.13	0.61	0.75	29-Avr	-0.43	1-Oct	1.66
PK 131	1988	0.97	1.08	1.09	0.74	0.23	0.39	0.87	1.29	1.94	1.89	0.59	0.48	0.96	26-Mai	-0.01	7-Oct	2.30
-0.23	1989	0.37	0.20	0.20	0.06	0.13	0.13	0.56	1.21	1.81	1.47	0.85	0.54	0.63	18-Avr	-0.04	19-Sep	1.87
	1990	0.49	0.47	0.55														
Ensemble Lac - Canal																		
	1986	1.14	0.98	0.80	0.58	0.28	0.13	-0.32	0.31	1.33	1.73	1.53	1.37	0.82	28-Jui	-0.46	6-Oct	1.80
GNIT	1987	1.22	1.11	0.93	0.70	0.40	0.15	0.14	0.30	1.15	1.46	1.26	1.10	0.83	16-Jui	-0.28	5-Oct	1.55
39 km / F.S.	1988	0.92	0.90	0.84	0.66	0.43	0.23	0.54	1.11	1.65	1.60	1.40	1.11	0.95	8-Jui	-0.22	22-Sep	1.88
0.00	1989	1.06	0.90	0.59	0.30	-0.02	-0.20	0.21	0.81	1.60	1.66	1.45	1.30	0.80	18-Jui	-0.27	5-Oct	1.77
	1990	1.12	0.96	0.75	0.52	0.27	0.05	0.17	0.84	1.19	1.37	1.28	1.25	0.81	3-Jui	-0.03	9-Oct	1.42

* PK : point kilométrique, PK 0 étant situé sous le pont Faidherbe à Saint-Louis.

** -0,45 : altitude de l'échelle par rapport au 0 IGN.

F.S : Fleuve Sénégal

Tab. 5: Synthèse des principales caractéristiques hydrologiques de la région.

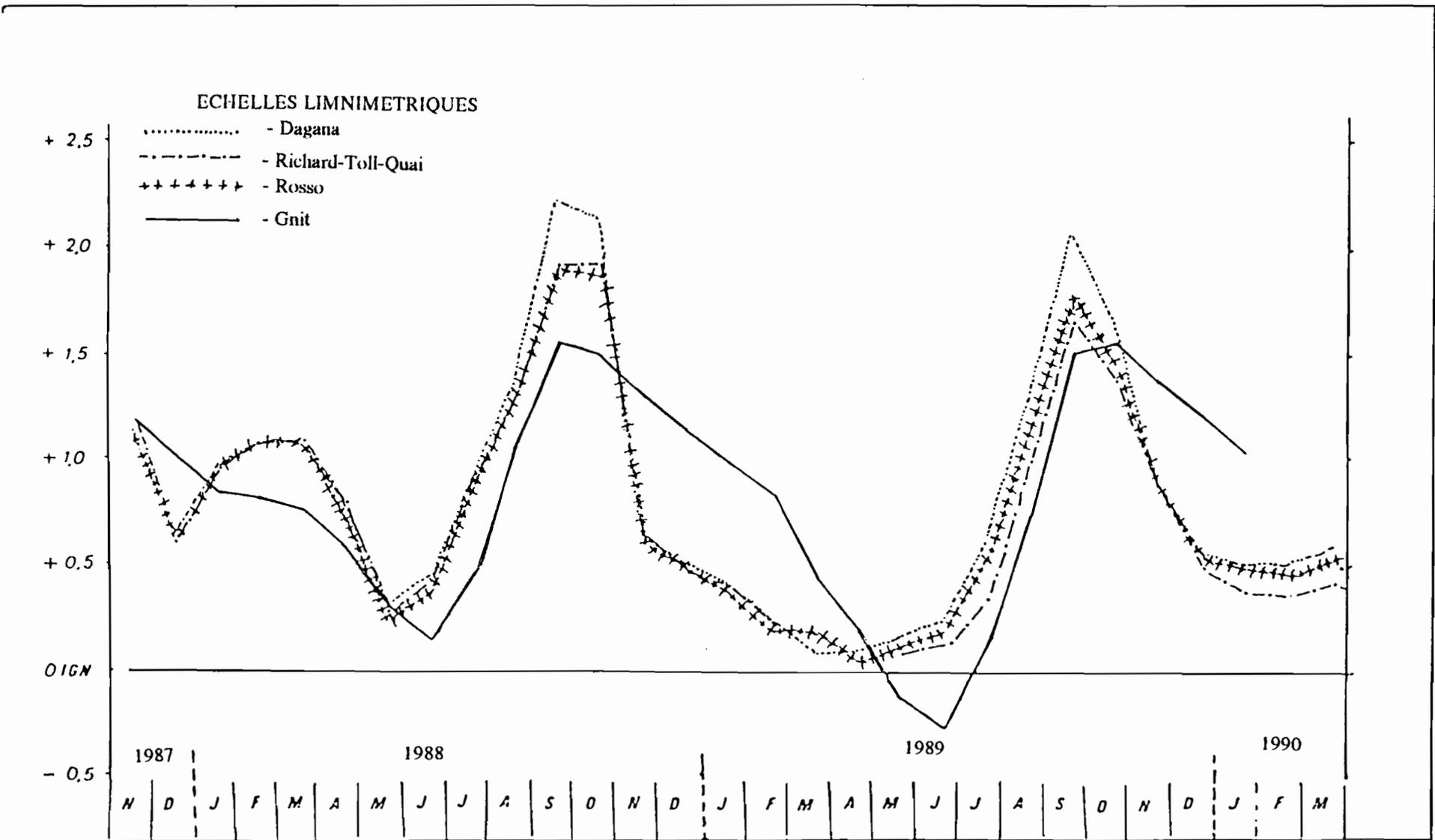


Fig. 13 - Evolution des plans d'eau du fleuve Sénégal et du lac de Guiers.

Avril) le niveau du lac est plus élevé que celui du fleuve. Ce phénomène est sans doute imputable principalement à la fermeture des barrages du canal durant cette période ce qui implique une évolution du lac en "vase clos" alors que l'inversion du flux s'opère au niveau du fleuve au moment de la décrue.

En dehors de l'apport saisonnier par l'onde de crue (ouverture des vannes) le lac de Guiers est faiblement réalimenté par les eaux de ruissellement et pas du tout par les eaux souterraines à cause de sa côte d'exploitation toujours supérieure à celle de la piézométrie avoisinante (OMVS, 1990). Ainsi, le niveau du lac augmente au moment du remplissage par la crue, il diminue par suite des prélèvements de la CSS de la SONEES, des transferts vers le fleuve où des lâchers vers le Ferlo. Cette dernière manoeuvre (lâchers vers le Ferlo) a pour objectif, entre autres, d'adoucir les eaux plutôt saumâtres des nappes de cette région méridionale (en Mai 1990, une conductivité de 70 mS a été relevée au puits de Ganket, localité située un peu plus au Sud de Keur-Momar-Sarr).

Dorénavant avec le barrage de Diama et les lâchers du barrage de Manantali, il est possible d'alimenter le lac de Guiers par le canal de la Taouè en dehors de la période de crue naturelle. Cette nouvelle situation permet également le blocage des invasions marines qui, auparavant, "polluaient" le fleuve - ainsi que ses cours annexes - sur une bonne partie de son parcours aval. En général cette remontée des eaux marines arrivait jusqu'à Dagana mais peut, en certaines périodes, atteindre Podor qui est situé à plus de 300 Km de la côte !

Mais force est de constater que depuis la mise en exploitation des barrages de Diama et Manantali, la côte maximale de 2,5 m n'est pas encore atteinte à la retenue de Diama. Ce retard est sans doute imputable aux travaux d'endiguement de la rive droite encore inachevés mais aussi à la faiblesse des précipitations sur tout le bassin versant du fleuve.

Néanmoins, la possibilité de disposer d'une eau douce en quantité suffisante en toute période de l'année a des répercussions heureuses sur les périmètres hydroagricoles qui fleurissent dans la région (déjà plus de 12 200 ha en exploitation en 1990), à l'instar de toute la vallée.

Le système d'alimentation s'effectue de plusieurs façons:

- par pompage direct des eaux du lac de Guiers et de la Taouè pour les périmètres situés le long de ces cours d'eau,
- par gravité à travers des ouvrages de contrôles en période d'hivernage et par pompage direct au fleuve pendant la contre-saison pour les périmètres situés en bordure de ce dernier.

Le système de drainage actuel s'effectue par gravité ou par pompage d'exhaure vers les dépressions et les marigots.

3.- Conclusion

Aujourd'hui l'homme a "dompté" l'hydrologie de la vallée grâce au contrôle presque total qu'il exerce sur son fonctionnement compte non tenu des aléas climatiques, en particulier de l'irrégularité de la pluviométrie. Ceci a d'ailleurs donné lieu à des essais de modélisation comme celle établie pour l'ensemble lac-canal par COGELS et son équipe en 1990.

Cependant la méconnaissance du volume d'eau en circulation dans les défluent naturels (marigots) et artificiels (canaux d'irrigation) qui sillonnent la région constitue un sérieux handicap dans la tentative de quantification de l'apport des eaux libres de surface à la nappe.

CHAPITRE I: STRUCTURE DU RESERVOIR AQUIFERE ET CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Dans les limites de la région d'étude, la structure du réservoir ainsi que ses caractéristiques hydrodynamiques ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherches dont on donnera un aperçu des principaux résultats dans ce chapitre.

A.- STRUCTURE DU RESERVOIR AQUIFERE

Une étude effectuée par LALEYE (1964-1965) indique le caractère libre de la nappe alluviale du Haut-Delta. En effet, les couches argileuses lenticulaires ne présentent pas une continuité telle qu'on puisse parler d'écran imperméable. De plus, on rencontre rarement de l'argile pure, celle-ci étant toujours plus ou moins mélangée de sable (Fig. 14, coupe A-A'). Cette observation est confirmée par AUDIBERT (1970) qui en conclut que les différences de niveau, inexplicables à première vue, résultent en fait des difficultés de circulations horizontales d'une lentille sableuse à une autre, même si ces mouvements sont aisés au sein d'une même lentille.

Dans le cadre des travaux de l'OMVS relatifs à l'implantation d'un réseau de piézomètres (1988) la géologie rencontrée dans les différents sites de pompage, montre que la géométrie des réservoirs aquifères dans les limites de la carte de Dagana se présente schématique de la façon suivante de haut en bas:

- 1 - Sédiments actuels et subactuels très hétérogènes,
- 2 - Sédiments du Nouakchottien silteuse à la base,
- 3 - Sédiments hétérogènes de l'Inchirien, silteuse à la base
- 4 - Sédiments du Quaternaire Ancien Moyen (QAM) Indifférenciés, l'ensemble étant hétérogène,
- 5 - Sédiments hétérogènes du Continental terminal (CT),
- 6 - Calcaires de l'Eocène, hétérogènes et fracturés avec les interlits de sable,
- 7 - Sables du Maastrichtien, hétérogènes .

L'épaisseur des couche est très variable et selon les secteurs, il arrive qu'un ou plusieurs de ces étages manquent (1^{ère} PARTIE, C).

Dans un document plus récent de l'OMVS (1990), il ressort que le réservoir aquifère du delta - et par extension de toute la région qui intéresse cette étude - peut-être subdiviser en deux niveaux ainsi définis:

- un niveau supérieur géométriquement captif et/ou libre selon qu'il existe ou non une couche semi-perméable (argile et/ou silt) en surface. Il est également hydrogéologiquement captif et/ou libre selon que la cote IGN du niveau d'eau est inférieure ou supérieure à la cote IGN du toit de l'aquifère. Il est donc relativement homogène dans sa nature granulométrique, discontinu dans son épaisseur (de 0 à 12 m) et se localise principalement dans les sédiments du Nouakchottien, parfois dans la partie supérieure de l'Inchirien;

- un niveau inférieur constituant un réservoir aquifère homogène et dont les sédiments, essentiellement formés de sables à grains fins à grossiers avec une fraction silteuse significative, sont localisés dans ceux de l'Inchirien. Son épaisseur n'a pu être déterminée.

Cependant, il est précisé que cette subdivision du réservoir aquifère en deux niveaux ne saurait être généralisée à l'ensemble de la région.

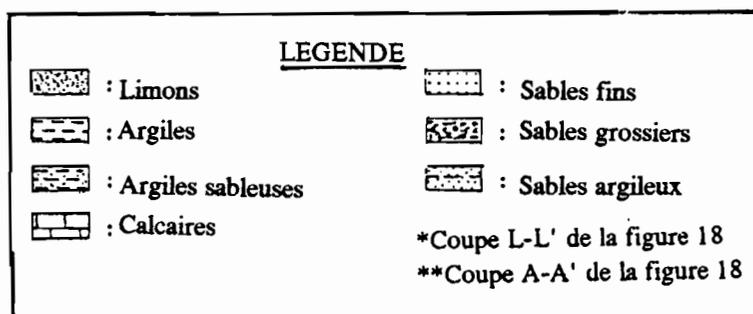
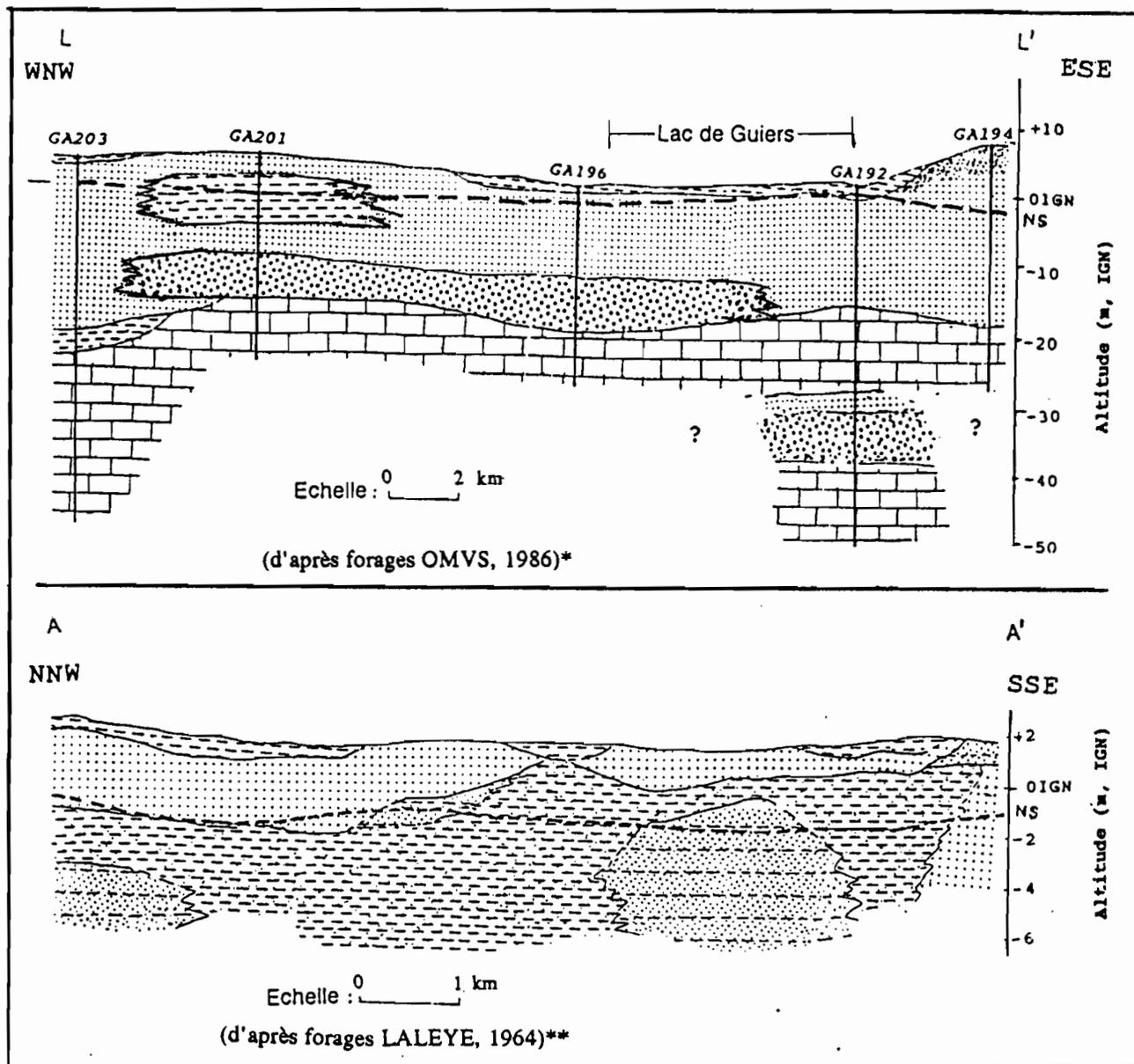


Fig. 14 - Aspects de la structure du réservoir aquifère dans les limites de la zone d'étude.

DEUXIEME PARTIE

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

BONKEL (1988) avait abouti à la même conclusion précisant que la dénomination de 2 nappes (superficielle et inférieure) ne doit être valable que localement; autrement dit il s'agit d'un système aquifère constitué d'une succession de bancs de sables hétérogènes plus ou moins argileux interstratifiés de lits d'argile.

Donc en conclusion, nous dirons avec DIAGANA (1990) que globalement, la structure du réservoir aquifère de la région d'étude, est caractérisée par l'existence de deux systèmes aquifères: l'aquifère complexe des formations quaternaires - présentant les différents cas de figures (Fig. 14) observés localement - qui repose sur un aquifère plus profond du bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien. Ce dernier est essentiellement constitué par les calcaires éocènes (zones de Balky et du lac/canal surtout) et les sables maastrichtiens (est de la région d'étude). La coupe lithostratigraphique L - L' de la figure 14 constitue un exemple assez édifiant de cet aspect.

B.- CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

1.- Les recherches antérieures

Les travaux les plus significatifs que l'on peut retenir sont ceux:

- du BRGM (1964-1965) menés par J. LALEYE et qui intéressent le Sud du périmètre du Diovol et celui du Garak. Les essais de pompage effectués au puits Ortal 22 209 IRH et à celui de l'Elevage (Fig. 12) ont donné une transmissivité de l'ordre de $2 \text{ à } 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emmagasinement S de $1,3 \cdot 10^{-4}$;

- de l'OMVS (1988) intéressant les secteurs du lac de Guiers, de Keur-Madiké, de Mbilor-Diéri et Madina-Gaya et dont les principaux résultats ont été synthétisés dans le tableau 6. Ces travaux de recherche ont permis de voir que d'une façon générale:

- . il existe un gradient hydraulique horizontal qui est orienté du cours d'eau vers l'aquifère;
- . il existe un gradient hydraulique vertical permettant une recharge des horizons profonds;
- . le niveau du cours d'eau (fleuve, lac) est supérieur à celui de la nappe et souvent très largement.

Site de pompage	Distance cours /d'eau (m)	Formation géologique	Transmissivité T (m ³ /j)	Coeff. de stockage(S)	Type de nappe testé	Système aquifère	Gradient hydraulique	
							Horizontal	Vertical
GA 205 Mbilor-Diéri	200 (F.S)	Maastr.	1072 1,24 10 ⁻² m ² /s	*N/A	Semi-confiné	Multicouche	1,60%	0,30%
GA83 Keur Madiké	150 (F.S)	Eocène	1831 2,1 10 ⁻² m ² /s	N/A	Réseau fracturé	Multicouche	1,50%	N/A
DA 98 Madina-Gaya	500 (F.S)	C. T.	200 - 290 2,5 à 0,3 10 ⁻²	N/A	Semi-confiné	Multicouche	1,00%	0,30%
GA 264 Lac de Guiers	10 m du lac	QAM*	98 1,13 10 ⁻³ m ² /s	1,0 10 ⁻⁴	Semi-confiné	Multicouche	1,64%	N/A
*QAM: Quaternaire Ancien et Moyen				* N/A = Non interprétable				

Tab. 6 - Synthèse des essais de pompage (sources: OMVS, 1988).

- de DIAGANA (1990) qui a repris les sites de l'OMVS et refait les essais de pompage afin de vérifier, améliorer ou rectifier si nécessaire les résultats antérieurs. Il conclut à l'existence de deux domaines bien distincts dans la région:

- . les 3 stations de pompage GA 205, DA 83 et DA 98 situées sur le dôme structural de Guiers et de part et d'autre du fleuve ont toutes donné des rabattements absolus très faibles. En outre, si on peut toujours identifier un aquifère multicouche, il n'est pas possible, au stade actuel des études, de différencier la nappe profonde et la nappe superficielle;

- . aux alentours du lac de Guiers (station de pompage GA 264), le rabattement total observé dans le forage reste également faible par rapport à la puissance de nappe. Mais la réaction de tous les piézomètres dont GA 192 (profond de 49,92 m) semble indiquer l'existence d'une drainance ascendante entre la nappe superficielle et la nappe profonde des calcaires éocènes.

Les valeurs moyennes des paramètres de ce secteur sont voisines de celles trouvées par l'OMVS: $T = 1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, $S = 4,5.10^{-4}$ et $K = 6.10^{-3} \text{ cm/s}$.

2.- Synthèse des caractéristiques hydrodynamiques

Les mesures de perméabilité effectuées par l'OMVS lors de la foration de chaque piézomètre donnent des valeurs allant de 10^{-2} à 10^{-8} cm/s . Cette grande disparité observée dans pratiquement toute la région s'explique, entre autres, par la diversité des formations lithologiques. Les valeurs de perméabilité les plus fréquentes sont de l'ordre de 10^{-3} et 10^{-4} cm/s ; elles sont voisines de celles trouvées par la SOGREAH en 1978 (2.10^{-4} cm/s pour la nappe "supérieure" [cotes comprises entre -10 et -14 m] et 6.10^{-4} cm/s pour la nappe "inférieure" [cotes comprises entre -16 et -30 m]).

Les interprétations et les réinterprétations des différents essais de pompage effectués dans des sites couvrant une bonne partie de la région d'étude ont permis d'avoir une idée d'ensemble sur le comportement de la nappe.

En se référant à la répartition du seul paramètre dont on trouve systématiquement la valeur dans les différents essais de pompage - en l'occurrence le coefficient de transmissivité T - on peut distinguer à peu près 3 grandes zones aux comportements hydrodynamiques relativement différents:

- une zone éloignée du fleuve et comprenant 2 secteurs situés de part et d'autre de ce fleuve: la zone du Garak, en rive droite et celle de Balky-CSS (ou du moins la partie NW de celle-ci) en rive gauche. La transmissivité y est de l'ordre de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, ce qui laisse supposer que la perméabilité des formations alluvionnaires est extrêmement faible dans cette zone (BRGM, 1964-1965).

- la zone du lac de Guiers - et probablement de la Taouè vue leur similitude lithostratigraphique - où $T = 1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $K = 10^{-3} \text{ cm/s}$ et où un système aquifère multicouche (au moins bicouche) a pu être identifié. Ce sont la nappe des sables supérieurs (formations du Nouakchottien au Quaternaire Ancien et Moyen) et celle profonde des calcaires éocènes, la perméabilité étant plus faible pour cette dernière formation (environ 10^{-4} cm/s trouvé par l'OMVS).

- enfin, toute la zone bordant les 2 rives du fleuve de Keur-Madiké à Madina-Gaya et caractérisée par un coefficient de transmissivité relativement important, - de l'ordre de $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Par contre, le coefficient d'emmagasinement n'a été déterminé que pour deux sites (Puits Ortal et lac de Guiers) où il est de l'ordre de 10^{-4} . Ailleurs, la difficulté pour trouver ce coefficient est sans doute due à l'extrême faiblesse des rabattements lors des pompages (en moyenne inférieurs à 5 cm). Néanmoins, la moyenne déterminée par DIAGANA (1990) dans toute la basse vallée varie de $2,5 \cdot 10^{-4}$ à $4,5 \cdot 10^{-4}$, elles sont voisines de celles de la SOGREAH ($8 \cdot 10^{-4}$ pour la nappe dite inférieure).

Dans tous les essais de pompage, il n'a nulle part été signalé une réaction synchrone très franche entre le rabattement de la nappe et le niveau du cours d'eau adjacent sauf au niveau du lac où elle est d'ailleurs très peu perceptible (DIAGANA, 1990).

A la lumière de ces résultats, force est de constater qu'au niveau de la région, les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe sont d'une part assez peu connues et d'autre part loin d'être homogènes, T variant de 10^{-2} à 10^{-4} m²/s. Toutefois, elles laissent supposer que le rayon d'influence du fleuve sur la nappe qui ne doit pas être très grand.

Par ailleurs, le caractère fragmentaire des résultats, la répartition et le nombre limité des forages de pompage ne permettent qu'une approximation "large" de la distribution des paramètres dans la région. D'ailleurs, à notre connaissance, la zone de Rosso et celle de Dagana n'ont fait l'objet d'aucune investigation relative à leurs paramètres hydrodynamiques ce qui, vu leur lithostratigraphie et leur situation par rapport au fleuve (présence de "boucles"), aurait été de première importance.

CHAPITRE II: PIEZOMETRIE - CHIMIE DES EAUX

A.- LA PIEZOMETRIE

D'après la distribution des piézomètres et par commodité pour l'étude, la région est subdivisée (arbitrairement) en 5 grandes provinces piézométriques (Fig. 15) qui, globalement, épousent les contours des zones lithostratigraphiques définies précédemment (Fig. 6). Ce sont:

- la province occidentale ou PA qui correspond à la zone de Rosso/Ntiagar (zone lithostratigraphique 1),
- la province colonat Balky/Casiers Sucriers de la CSS ou PB qui correspond à la zone 2,
- la province lac de Guiers/canal de la Taouè (PC) qui se prolonge en rive droite jusqu'au site de pompage de Keur-Madiké; elle regroupe les zones 3 et 5,
- la province de Garak ou PD qui correspond à la zone 4,
- la province orientale ou PE qui englobe les zones 6, 7 et 8.

1.- Les cartes piézométriques

Elles n'ont pu être tracées que dans les zones possédant un réseau de piézomètres suffisamment dense, aussi toutes les cartes ne présentent-t-elles que des fragments de courbes piézométriques. Néanmoins, cela permet d'avoir une idée d'ensemble sur l'allure générale de la surface piézométrique.

Ainsi, pour chacune des 2 années hydrologiques 1988 et 1989 et pour des piézomètres de profondeur inférieure à 19 m, on a:

- 4 cartes représentant des "instantanées" de la surface piézométrique des mois standards de Juin et Octobre (Fig. 16 et 17), qui, le plus souvent, correspondent respectivement aux périodes de niveaux minimal (NPmin)⁽¹⁾ et maximal (NPmax)⁽¹⁾ de la piézométrie,
- 2 cartes où sont reportées les différences entre le NP du mois d'Octobre et celui du mois de Juin c'est-à-dire les fluctuations entre ces 2 périodes ou dNP⁽²⁾ (ANNEXE II, Fig. 1 et 2),
- 2 autres cartes traduisant le maximum de fluctuation relevé au niveau de chaque piézomètre et pour chaque année hydrologique ou DNP⁽²⁾ (ANNEXE II, Fig. 3 et 4).

1.1.- Evolution de la surface piézométrique aux mois de Juin et Octobre

1.1.1.- Province occidentale (PA)

Les cartes de cette province montrent que la nappe se comporte différemment entre la partie Nord (rive droite) et la partie Sud (rive gauche).

En rive gauche: Une élévation sensible de niveau est observée en Octobre 1989 avec une surface piézométrique (SP) comprise entre 0,5 et 1,5 m alors qu'en 1988 cette SP se situe entre 0,0 et 0,5 m. Par contre cette SP ne varie pas au mois de Juin de ces deux années et se situe entre -0,5 et 0,0 m.

(1) - NPmax est le niveau piézométrique le plus élevé obtenu au cours de l'année hydrologique considérée.

- NPmin est le niveau piézométrique le plus bas obtenu au cours de l'année hydrologique considérée.

(2) - dNP est la différence entre le NP du mois d'Octobre et celui du mois de Juin.

- DNP est la différence entre NPmax et NPmin

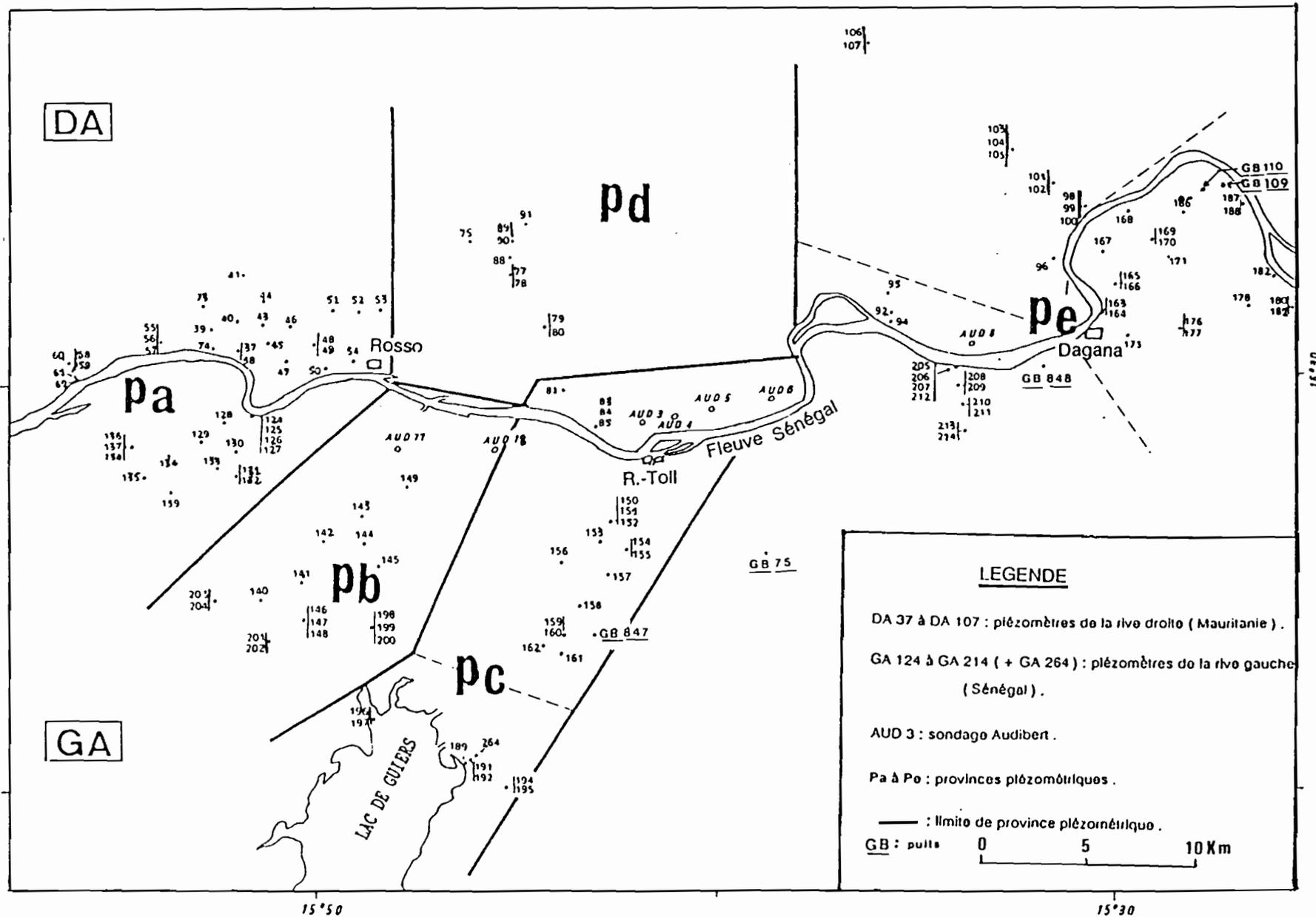


Fig. 15 - Emplacement des ouvrages et des provinces piézométriques.

Cela se traduit aussi bien dans l'amplitude de variation de niveau piézométrique - dNP qui est en moyenne nettement plus importante en 1989 - que dans le gradient hydraulique i . Ce dernier est d'environ $1,4\text{‰}$ en Octobre 1989 et seulement de $0,3\text{‰}$ en Octobre 1988. Celui du mois de Juin est à peu près du même ordre au cours des 2 années avec environ $0,35\text{‰}$ (Fig. 19).

En rive droite: La piézométrie y est plus complexe comme l'indiquent d'une part la sinuosité des courbes équipotentielles, en particulier celles du mois d'Octobre, d'autre part le fait que le piézomètre ayant le plus bas NP (DA 44) et celui ayant le NP le plus élevé (DA 46) sont à peine distants de 1,6 Km.

Tout ceci explique l'existence d'un fort gradient hydraulique, surtout dans l'extrémité Nord du secteur qui, de l'ordre de $1,6\text{‰}$ en Juin, s'accroît considérablement au mois d'Octobre avec environ $2,3\text{‰}$ (Fig. 19).

1.1.2.- Province colonat Balky - Casiers sucriers de la CSS (PB)

En Octobre comme en Juin, la carte piézométrique est relativement simple et présente toujours la même configuration: un dôme piézométrique culminant au piézomètre GA 149 et une ligne de partage des eaux dont l'axe orienté NNE-SSW passe par GA 149 et GA 202. La seule différence notable entre ces 2 périodes réside dans le gradient hydraulique qui passe du simple au double entre Juin et Octobre soit respectivement $0,5\text{‰}$ et $1,0\text{‰}$.

Du Nord au Sud, la SP varie de 2,5 à $0,0\text{ m}^{(1)}$ en Octobre et de 1,5 à -0,5 m en Juin; cela traduit une SP très élevée au Nord mais qui s'abaisse progressivement vers le Sud de la province. Parallèlement, l'amplitude de variation du NP (dNP) est très importante au Nord et se réduit de plus en plus vers le Sud.

Par rapport aux provinces environnantes (Sud de la province occidentale et province canal de la Taouè - Lac de Guiers), elle apparaît comme un dôme piézométrique, une aire d'alimentation de la nappe (Fig. 19, PROFIL I-I').

1.1.3.- Province canal de la Taoué / lac de Guiers (PC)⁽²⁾

Les cartes du mois de Juin 1988 et celles de Juin 1989 sont parfaitement superposables tandis-que celles du mois d'Octobre de ces deux années présentent de fortes similitudes. Cependant, les 2 secteurs de cette province ont une piézométrie légèrement différente.

Secteur du canal: C'est seulement au mois d'Octobre et en quelques rares endroits tels que GA 150 au Nord et GA 161 au Sud, que la SP atteint ou dépasse légèrement le 0,0 m; elle varie alors entre -1,5 m et 0,5 m avec un gradient hydraulique moyen de $1,2\text{‰}$ au mois de Juin par contre, la SP est toujours située sous le 0,0 m (entre -2,0 et -1,0 m), le gradient hydraulique n'étant plus que de l'ordre de $0,75\text{‰}$ environ .

⁽¹⁾ - Les mesures d'altitude sont rapportées au 0,0 m IGN

⁽²⁾ - Le secteur de Keur-Madiké est la troisième composante de cette province; malheureusement nous n'avons pu obtenir les données piézométriques relatives à ce secteur.

Par ailleurs, l'orientation des courbes équipotentielles est plus ou moins perpendiculaire à la direction d'écoulement du canal; il en est de même de la direction de l'axe de drainage orienté Est-Ouest et passant par les points bas GA 156 et GA 157. Tout ceci permet de déduire que les relations hydrauliques entre le canal et la nappe sont nulles ou alors très limitées.

Secteur du lac: Le nombre assez limité de piézomètres ne permet pas de tracer des courbes équipotentielles. Cependant, celles joignant GA 200 (Sud de la PB) et GA 197 (berges occidentales du lac) montrent un parallélisme avec le rivage du lac. Le même cas de figure peut être envisager sur les berges occidentales si on tient compte des piézomètres du site de pompage GA 264 et celui implanté un peu plus au Sud dans le domaine du Diéri (GA 194). On suppose donc que des relations peuvent exister entre la nappe et les eaux du lac.

Les mesures de NP montrent que la SP est plus élevée sur les berges orientales (GA 189) que sur les berges occidentales du lac (GA 197).

1.1.4.- Province de Garak (PD)

La très faible densité du réseau piézométrique (seuls deux piézomètres sont implantés à moins de 19 m de profondeur) ne permet pas de tracer des courbes piézométriques. Néanmoins, les données de NP semblent indiquer que c'est dans cette province que la SP est en moyenne la plus basse, donc où la nappe est la plus déprimée de la région. Elles permettent aussi de savoir qu'en général le niveau de la nappe s'abaisse du marigot Garak vers les dunes situées au Nord-Est.

1.1.5.- Province Orientale (PE)

Des trois zones qui composent cette province, seule la zone 8 présente un réseau de piézomètres suffisamment dense pour permettre le tracé de courbes piézométriques. Elle est localisée à l'intérieur de la "boucle" que décrit le fleuve Sénégal entre Dagana et Bokhol.

a) La zone 8.

Les courbes équipotentielles sont relativement lâches en toute période de l'année d'où un gradient hydraulique moyen à peu près constant et relativement faible pour les 2 périodes considérées ($0,4\text{‰}$ en Octobre et $0,3\text{‰}$ en Juin). Les cartes montrent aussi que la SP évolue à chaque période mais tout en conservant la même configuration générale (Fig. 16 et 17). Elle varie de -0,5 à 1,7 m au mois d'Octobre et de -1,6 à 0,1 m au mois de Juin. Ces fluctuations sont en nettes relations avec celles du niveau du fleuve, du moins dans certains secteurs (Sud-Est par exemple).

De manière générale, les cartes montrent que la province présente 2 secteurs où la SP est élevée (dômes piézométriques des berges ouest et sud-est de la zone) encadrant un secteur central plus déprimé qui part du Sud (GA 176) en s'élargissant de plus en plus vers le Nord où elle englobe toutes les berges septentrionales de la zone.

b) Zones 7 et 6

Les tendances générales de la piézométrie de ces zones se présentent comme suit:

- la SP s'abaisse des berges du fleuve vers les dunes en rive gauche (zone 6) comme en rive droite (zone 7),

- le gradient hydraulique moyen est d'environ $0,2\text{‰}$ en Juin comme en Octobre dans la zone 7 (Fig. 21) mais il n'a pu être mesuré dans la zone 6.

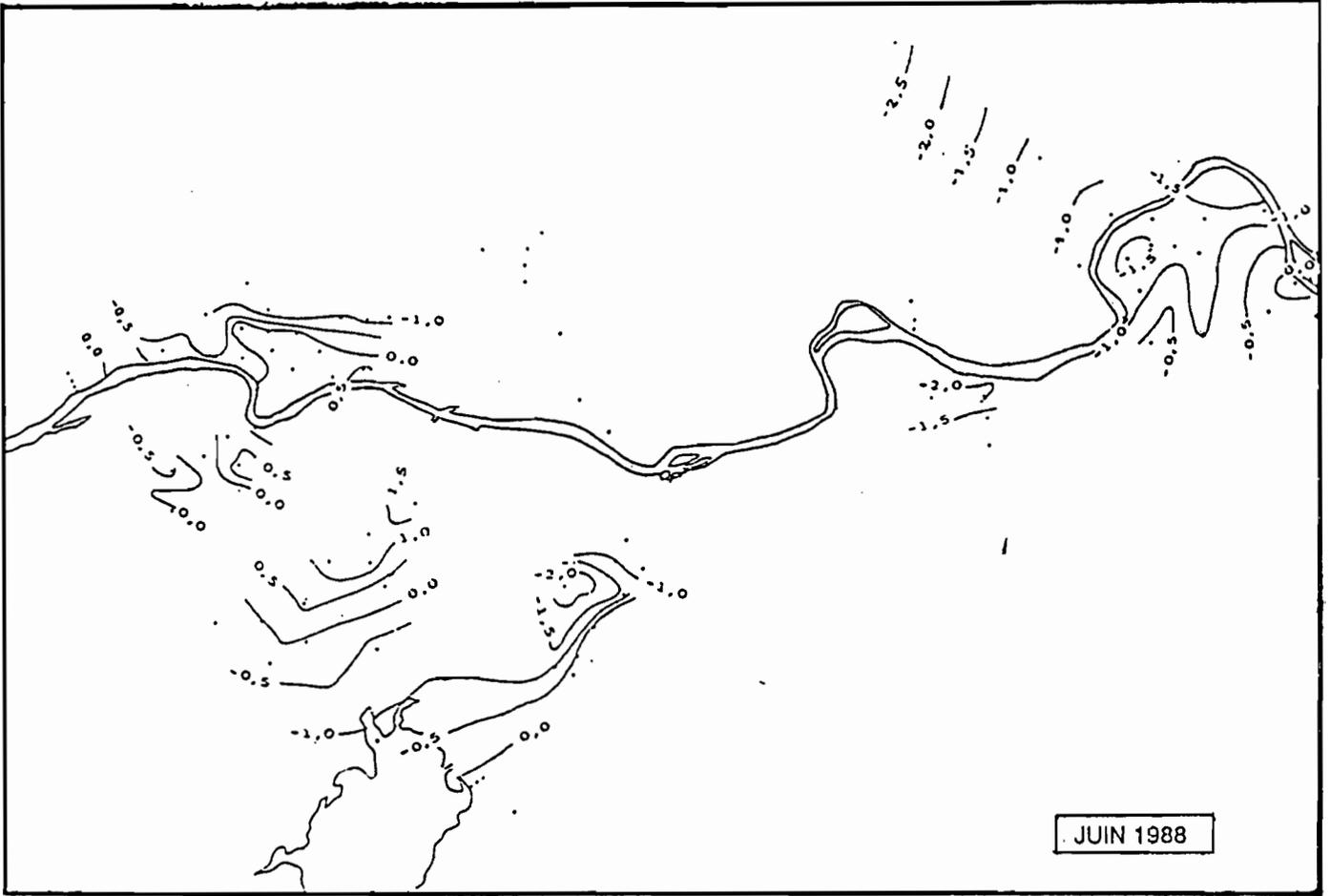
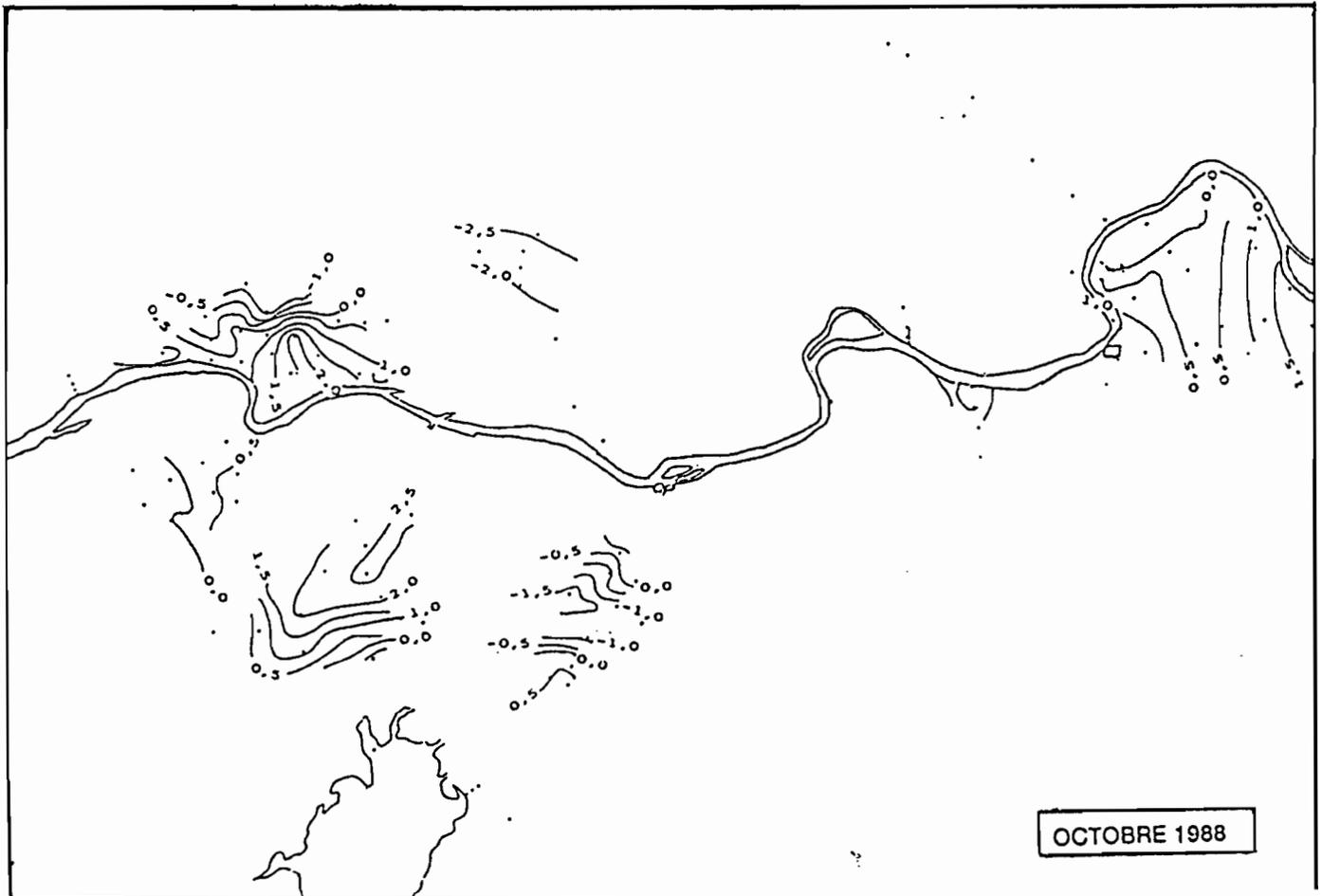


Fig. 16 - Cartes piézométriques de Juin et Octobre 1988.



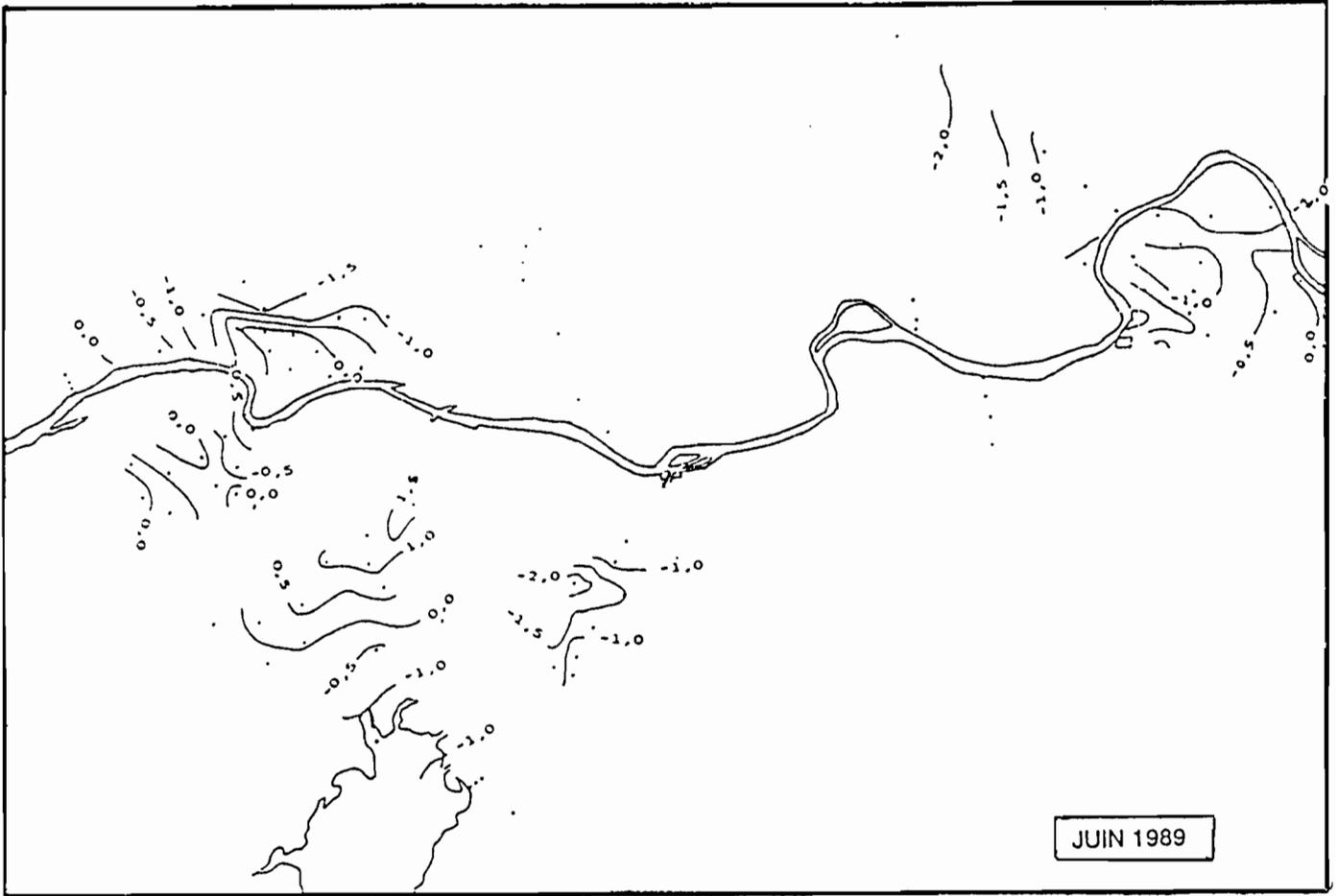
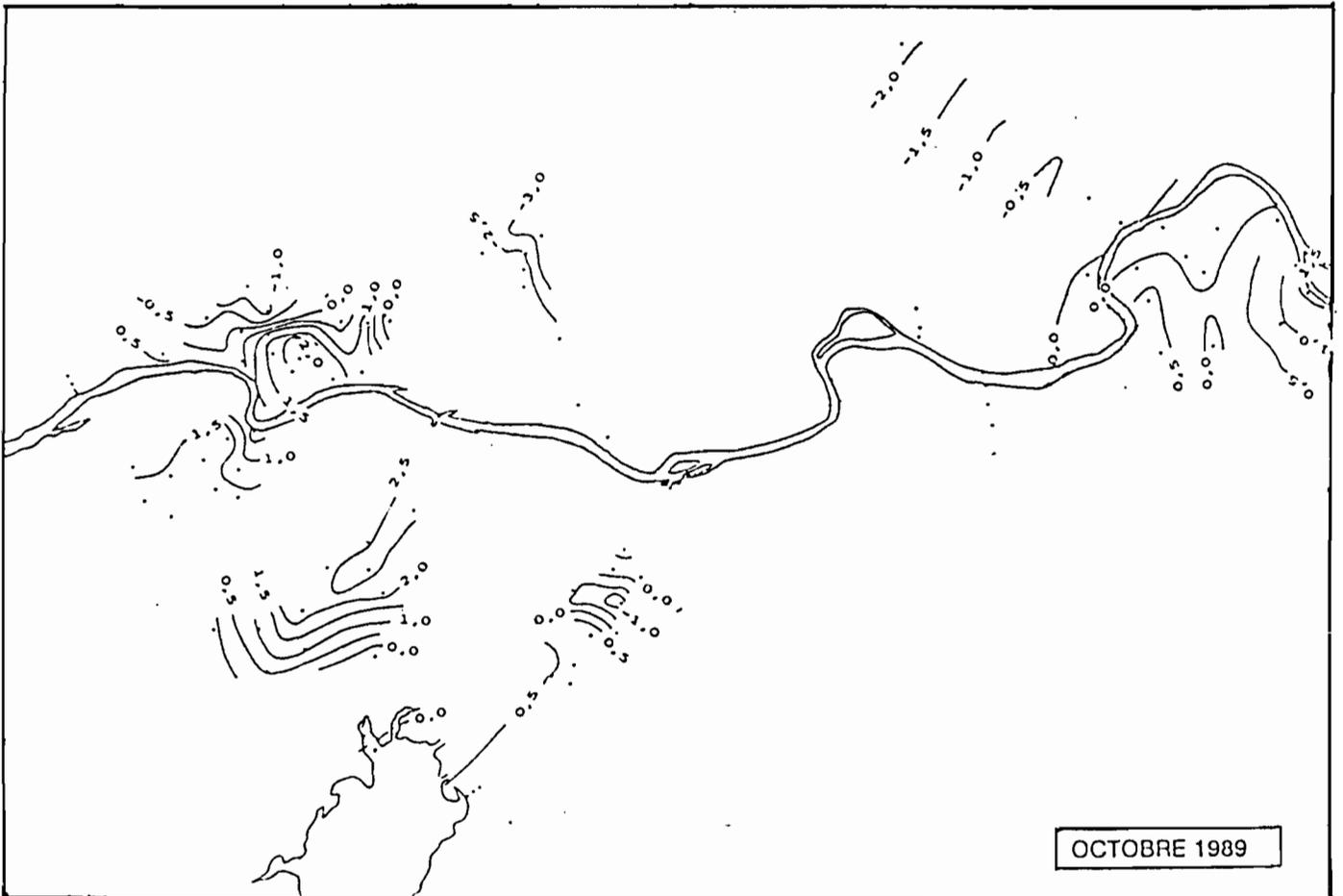


Fig. 17 - Cartes piézométriques de Juin et Octobre 1989.



1.2.- Conclusion

Il apparaît donc que dans son ensemble, la SP de la nappe alluviale conserve pratiquement la même allure générale d'une année sur l'autre. Cela implique que globalement, la nappe subie les mêmes influences aux mêmes périodes: seule la réponse par rapport à ces influences varie selon les secteurs. Cela se traduit par des différences d'amplitude de variation de NP parfois considérables. Plusieurs facteurs plus ou moins combinés, entrent en jeu pour expliquer ce phénomène (Cf. 3^{ème} PARTIE).

1.3.- Les cartes de fluctuations

Ces cartes permettent d'une part de voir l'évolution de la nappe dans le temps et dans l'espace; d'autre part de faire ressortir les zones où les fluctuations sont fortes et d'autres où elles sont faibles voire inexistantes.

Deux types de cartes de fluctuations sont à considérer:

- celles où les fluctuations sont absolues (NPmax - NPmin) donc où les valeurs de la DNP vont de 0,02 m (secteur Sud de la province de Balky-CSS) à près de 2,9 m à Dagana-ville (GA 163),

- celles où les fluctuations sont obtenues entre les mois pris comme standards, c'est-à-dire Juin et Octobre (dNP). Les extrêmes vont de 0,03 m au Nord de la province de Garak (DA 90) à 2,41 m toujours au niveau de la localité de Dagana (GA 165).

Si dans le détail, il est assez délicat de tracer des courbes d'égales valeurs de fluctuations, on peut néanmoins en dégager les traits marquants dans la région (ANNEXE II, Fig. 1 à 4).

1.3.1.- Cartes de fluctuations de 1988.

On y observe 5 secteurs où le NP varie très peu (ANNEXE II, Fig. 1):

- la partie septentrionale de la région qui englobe le Nord du périmètre du Mpourié, toute la province du Garak et la zone 7,
- au niveau de Breune et de toute la zone située dans la rive gauche de la PA (Ntiagar),
- le Sud de la PB sauf au piézomètre GA 202,
- de Richard-Toll à Ntiago le long de la Taouè,
- enfin au niveau de Mbilor.

Par contre la nappe montre d'importantes fluctuations au niveau des dômes piézométriques de Mpourié et des casiers sucriers de la CSS, entre Ntiago et le lac de Guiers et surtout dans la zone 8, en particulier à Dagana (GA 163).

1.3.2.- Carte de fluctuations de 1989

Elle est presque semblable à celle de 1988 avec néanmoins une relative amplification de ces fluctuations, notamment au niveau de la localité de Ntiagar (PA, rive gauche). En effet la dNP moyenne y passe de près de 0,15 m en 1988 (ANNEXE II, Fig. 1) à plus de 1,7 m en 1989. Cette moyenne de 1989 est d'ailleurs la plus forte de la région au contraire de 1988 où elle était la plus faible (ANNEXE II, Fig. 2 et 5)⁽¹⁾.

(1) - Ce curieux phénomène relève probablement d'un problème de mesures. Il aurait été intéressant de vérifier cette hypothèse avec les relevés de NP de 1990 mais malheureusement, ces derniers n'ont pas été effectués de manière complète.

Partout ailleurs, l'augmentation de dNP est moins importante; elle est en moyenne inférieure à 0,5 m sauf en de rares endroits où elle avoisine 1,0 m (au piézomètre DA 52 par exemple).

L'autre différence notable par rapport à 1988 s'observe au niveau de la zone 8 où dans l'ensemble la dNP a sensiblement diminué.

1.3.3.- Les cartes de fluctuations absolues

Les valeurs sont plus grandes que pour les cartes précédentes mais l'allure générale est sensiblement la même (ANNEXE II, Fig. 3 et 4). L'intérêt de ces cartes est de mettre en évidence les décalages enregistrés aux périodes de maximum de recharge ou d'étiage de la nappe entre les différentes provinces.

2.- Evolution détaillée de la piézométrie

Cette étude a été faite à partir des relevés mensuels du niveau piézométrique (NP) effectués à l'OMVS et consignés dans la banque de données du projet de la "Cellule des Eaux Souterraines" basé à Saint-Louis.

Le suivi piézométrique effectué pour chaque piézomètre permet de voir l'évolution de la nappe au niveau des différentes provinces de la région.

Cette étude porte sur les trois aspects principaux que sont:

- les fluctuations verticales ou variations du NP en fonction de la profondeur notamment pour des piézomètres implantés dans un même site;
- l'évolution de la nappe au cours du temps, l'intervalle de temps allant de Novembre 1987 à Février - parfois Mars - 1990 (ANNEXE II, Fig. 5 à 10). L'ensemble des observations piézométriques porte donc sur un total de 28 mois dont 2 années hydrologiques consécutives (1988 et 1989);
- l'évolution latérale de la nappe, principalement en fonction de l'éloignement par rapport aux cours d'eau. Elle s'appuie sur différents profils piézométriques effectués (Fig. 19 à 21) dans la région d'étude (Fig. 18).

2.1.- La province occidentale (PA)

Généralement pour les piézomètres couplés, le moins profond des deux est celui qui a le NP le plus élevé, ce qui pourrait traduire l'existence de deux voire plusieurs nappes différentes. Mais l'importance des différences de NP est variable selon les sites, les périodes de mesure et la profondeur.

Par ailleurs dans la province, le comportement de la nappe est relativement différent entre la rive droite et la rive gauche.

RIVE DROITE

* La position du NP par rapport au 0,0 m IGN est variable selon les secteurs. Il est en moyenne:

- toujours situé au dessus de celui-ci à Breune et environs,
- toujours situé au dessous de celui-ci au Nord de la province (DA 41 et DA 44) et pour certains piézomètres relativement profonds localisés dans le périmètre du Mpourié (DA 48 et DA 37),
- le NPmax est au moins plus grand que celui-ci pour tous les autres piézomètres.

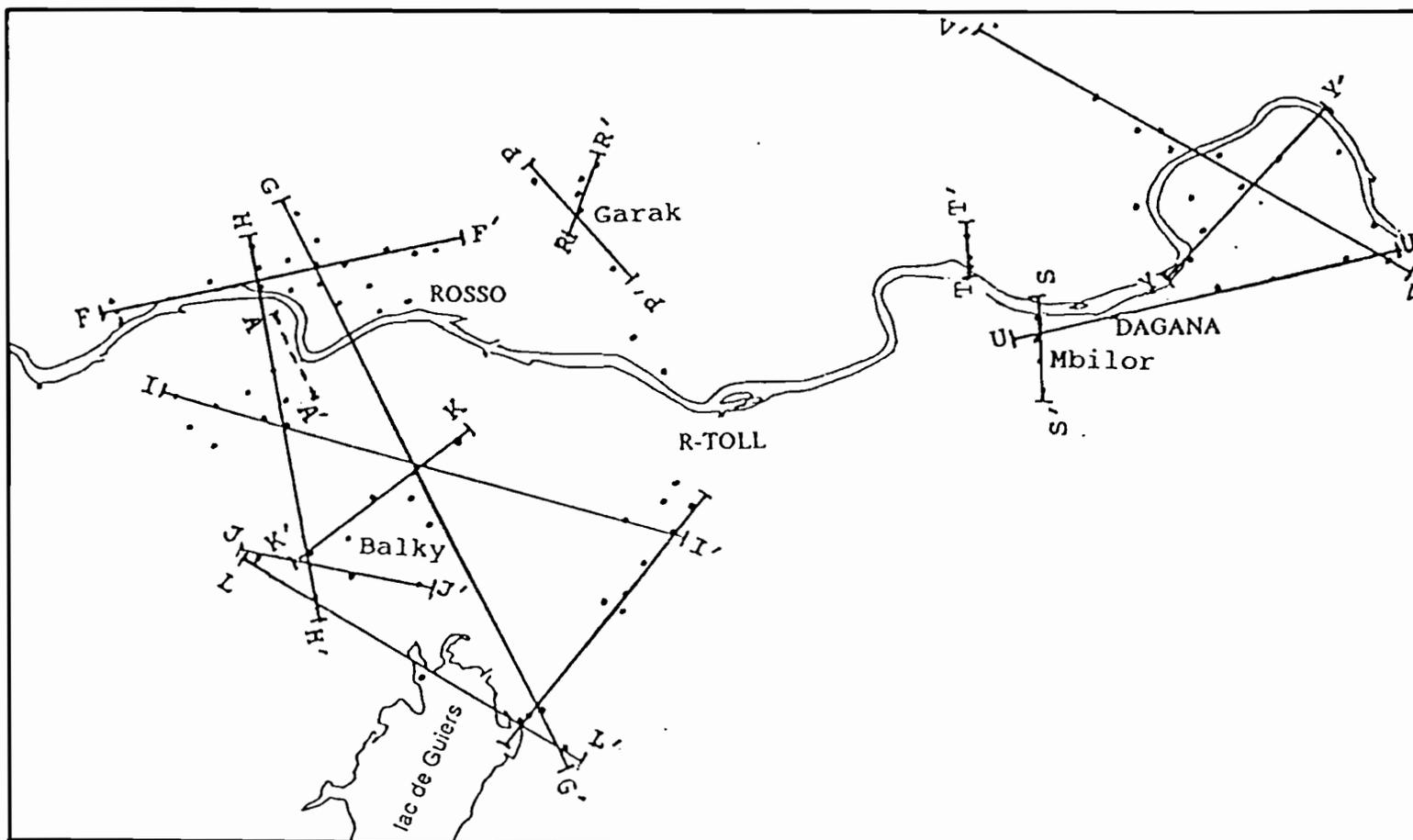


Fig. 18 - Carte de position des profils piézométriques.

* L'amplitude de variation dNP est en général plus importante en 1988 qu'en 1989. Elle est souvent supérieure à 1,0 m et parvient même à dépasser 2,0 m en certains endroits (DA 146 au centre du périmètre de Mpourié ainsi qu'aux piézomètres DA 50 et DA 52 situés plus à l'Est). Cette dNP est beaucoup plus faible au piézomètre DA 38 même si celui-ci est nettement plus proche du fleuve (300 m environ).

* Les profils effectués dans cette partie de la province renseignent sur l'évolution latérale de la nappe (Fig. 19):

- *parallèlement au fleuve (profil F-F')*: De Breune au centre du périmètre de Mpourié, le NP est quasi-horizontal en Juin mais donne une pente qui s'élève doucement en Octobre. De Mpourié à Rosso (Est de la province), le NP baisse progressivement en Juin mais se complique singulièrement au mois d'Octobre, notamment par une alternance de "bosses" correspondant sans doute à des aires privilégiées d'alimentation (DA 46 et DA 52), et de "creux" qui alors représenteraient des axes de drainage (DA 51 et DA 53).

- *perpendiculairement au fleuve (profils G-G'et H-H')*:

. dans la partie occidentale de la province, plus précisément à l'Ouest d'une ligne joignant les piézomètres DA 38 et DA 40, le NP s'abaisse rapidement quand on s'éloigne du fleuve et il est nettement plus bas que le niveau de ce dernier;

. à l'Est de cette ligne, le NP s'abaisse plus lentement avec l'éloignement du fleuve. Il s'approche - et même égale par endroits tels qu'aux piézomètres DA 46 et DA 47 - du niveau du fleuve et les deux (nappe-fleuve) fluctuent en même temps;

. enfin à l'extrême Nord du périmètre de Mpourié se situe une dépression piézométrique car le NP y est très bas et fluctue très peu.

RIVE GAUCHE

* Le NP est toujours situé au-dessus de la cote 0 (sauf au piézomètre profond GA 125) alors qu'à l'exception des piézomètres GA 127, GA 129 et GA 137, le NPmin est situé sous le 0,0 IGN . On constate aussi que le NP du mois d'Octobre 1989 est largement plus élevé que celui d'Octobre 1988 et inversement pour le NP de Juin (Cf. Etude des cartes piézométriques).

* Ainsi l'amplitude de variation du NP est plus importante en 1989 (la dNP dépasse régulièrement 1,0 m et parvient même à atteindre plus de 2,0 m par endroits) qu'en 1988 où elle varie de 0,4 m à 1,45 m.

* Le *profil I-I'* parallèle au fleuve indique une tendance au relèvement de la nappe d'Ouest (GA 138) en Est (DA 132).

Le *profil H-H'* perpendiculaire au fleuve montre que le NP diminue assez lentement lorsque l'on s'éloigne de celui-ci mais augmente notablement à proximité des cours d'eau secondaires (Diovol, Natchié, etc...). D'où l'aspect légèrement ondulé de la SP.

Par ailleurs les profils montrent que la différence entre le niveau du fleuve et celui de la SP est beaucoup plus marquée en Octobre 1988 qu'en Octobre 1989.

Dans l'ensemble de la province, la recharge s'opère assez rapidement (3 à 4 mois) et le maximum du NP est atteint entre Octobre et Novembre. Par contre, la baisse du niveau de la nappe se fait progressivement sur une longue période (8 à 9 mois), l'étiage étant enregistré à des périodes variables allant de Mai à Juillet.

Toutes ces observations ajoutées aux suivis de NP effectués de Novembre 1987 à Février 1990 (ANNEXE II, Fig. 5), permettent d'estimer que:

- en rive gauche, nonobstant les éventuels problèmes de mesures soulevés lors de l'étude des cartes piézométriques, on assiste à une baisse de niveau de la nappe en 1988 suivie d'une légère remontée en 1989.

- par contre en rive droite, on tend vers une baisse généralisée du niveau de la nappe depuis 1987.

2.2.- Province Balky/CSS (PB)

* Il arrive souvent que sur un même site, le NP d'un piézomètre profond soit à la même altitude voire légèrement plus élevé que celui d'un piézomètre moins profond. Ainsi par exemple le NP du piézomètre GA 203 (profond de 51,03 m) est plus élevé d'environ 17 cm par rapport à celui de GA 204 (7,57 m). Cela traduit que dans certains secteurs de la province soit la nappe est captive, soit elle est continue sur toute la puissance de l'aquifère.

Par ailleurs, la surface piézométrique est relativement élevée dans la province avec un NPmax toujours situé au-dessus du 0,0 m IGN (sauf au piézomètre GA 204 implanté à l'extrême SW); cette SP décroît du Nord au Sud de la province.

Parallèlement, l'amplitude de variation du NP est importante au Nord et au centre où elle dépasse régulièrement 1,0 m. Elle est par contre insignifiante voire nulle au Sud (avec respectivement 0,13 et 0,19 m en 1988 et 1989 au GA 146) où le NP évolue de façon pratiquement linéaire.

* Si l'étiage a généralement lieu en Juin (parfois Juillet), le maximum de la recharge est, par contre, très variable (entre Août et... Décembre). Néanmoins dans son ensemble, l'évolution de la SP se répète au fil des années comme en témoignent les relevés de NP effectués entre fin 1987 et début 1990 (ANNEXE II, Fig. 6).

* D'après les différents profils réalisés dans la province (Fig. 20, *profils K-K' et J-J'*), la SP s'abaisse du Nord au Sud et aussi du centre vers les limites ouest et est de la province.

Par ailleurs, tous les profils reliant la PA à la PC et traversant la PB (*profils I-I' et G-G'*) font apparaître cette dernière comme un dôme piézométrique (aire d'alimentation?) par rapport aux provinces environnantes.

2.3.- Province canal de la Taouè/lac de Guiers (PC)

Dans cette province qui englobe les zones lithostratigraphiques 3 et 5⁽¹⁾, on distinguera la zone lacustre de celle du canal de la Taoué.

2.3.1.- Zone du lac

* Tous les piézomètres implantés dans le site de pompage GA 264, bien que captant des niveaux différents (de 6,80 à près de 50 m), ont un NP qui évolue en même temps et de la même manière. Si le même constat est fait à l'Ouest du lac, le NP y est plus bas et la dNP plus importante que sur les berges orientales. Seul le piézomètre GA 194 montre une évolution différente - celle-ci y est quasi-linéaire - avec un NP largement situé sous la cote 0 et une dNP faible qui atteint à peine 0,30 m.

⁽¹⁾- Données de cette dernière zone non disponibles (cf. Cartes piézométriques).

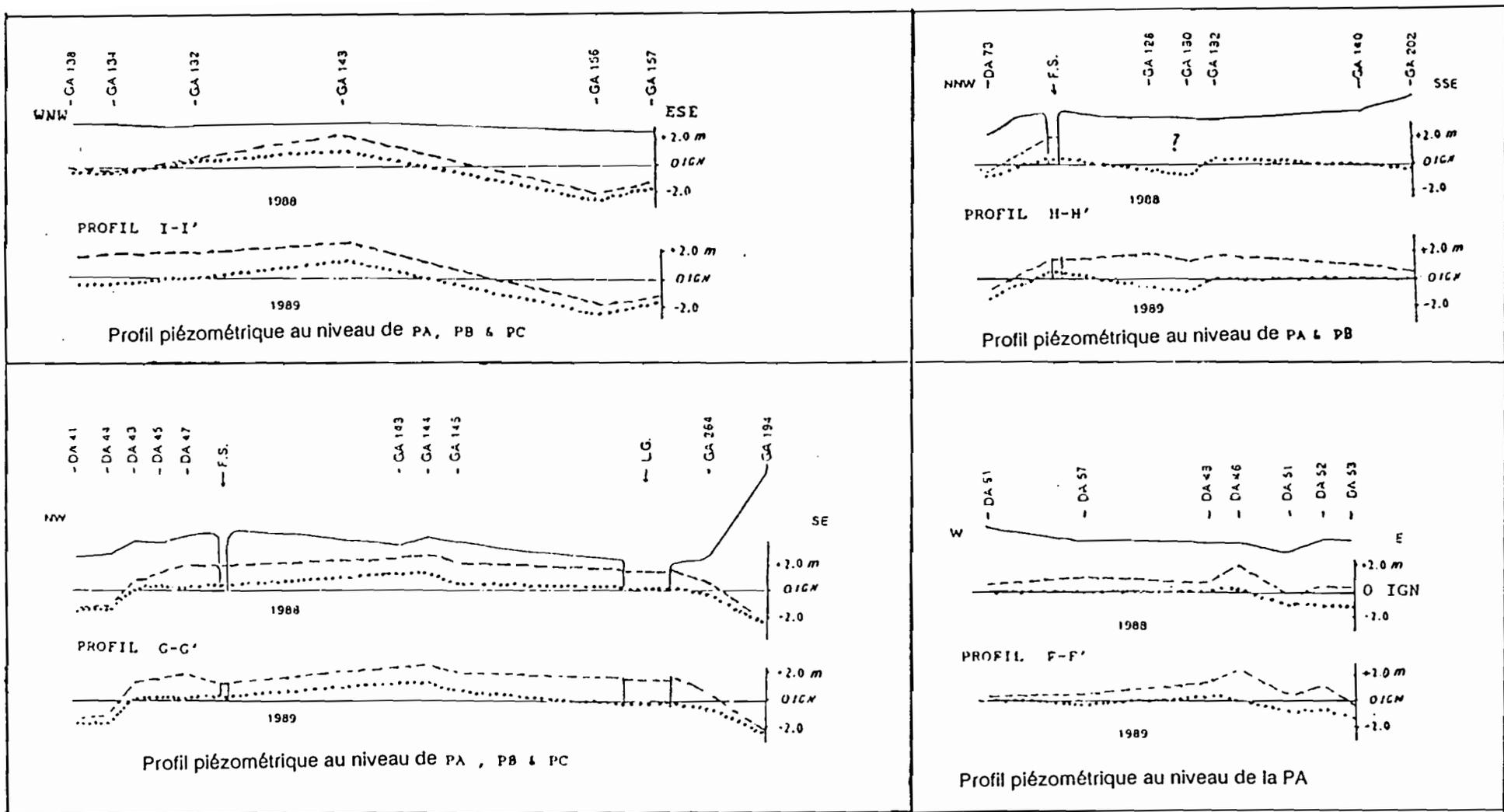


Fig. 19 - Profils piézométriques des secteurs Rosso et Balky.

0 3 Km

- : Echelle horizontale
- - - : profil de la surface piézométrique au mois d'Octobre
- : profil de la surface piézométrique au mois de Juin
- : profil de la surface topographique

F.S: Fleuve Sénégal L.G: Lac de Guiers

* Au niveau du site de pompage GA 264, le maximum de la recharge est atteinte en Septembre, l'étiage en Juin. Ces périodes sont légèrement décalées à l'Ouest du lac (GA 197/GA 196) où on les relève respectivement en Novembre et en Juillet. Par contre, l'évolution quasi-linéaire du NP au piézomètre GA 194 permet à peine de faire la distinction entre le NPmax et le NPmin (ANNEXE II, Fig. 7).

Ainsi à part le piézomètre GA 194 où elle est en augmentation constante, la SP présente en moyenne entre fin 1987 et début 1990:

- une sensible élévation entre 1987 et 1988,
- une légère baisse entre 1988 et 1989,
- une tendance vers une légère remontée au début de 1990.

* Au mois d'Octobre, un gradient semble s'établir du lac vers les berges et inversement au mois de Juin (*profils L-L'* et *G-G'*). Cependant, tous ces mouvements et inversions du sens de l'écoulement sont à peine perceptibles et globalement, la SP apparaît plane, du moins sur les 50 premiers mètres de la berge.

2.3.2.- Zone du canal

* Dans la partie septentrionale de la zone on constate que sur des piézomètres situés sur un même site, le NP est d'autant plus élevé que le piézomètre est superficiel - du moins pour les 20 premiers mètres. Ce n'est plus le cas dans la partie méridionale où quelque soit la profondeur, les couples de piézomètres ont un NP qui évolue de manière identique; la dNP y est plus importante.

* L'étiage est enregistré entre fin Juin et début Juillet, le maximum de recharge fin Septembre. Globalement, les NPmax et NPmin relevés en 1988 sont à peu près identiques à ceux de 1989: la SP se répète d'une année à l'autre. Ce constat est d'ailleurs étayé par les mesures de NP effectués en fin 1987 et en début 1990.

* La distance par rapport au canal ne semble pas avoir une très grande influence sur la piézométrie (ANNEXE II, Fig. 6). Ainsi le piézomètre GA 154 (6,35 m de profondeur) bien que distant d'à peine 50 m du canal, présente un NP légèrement plus bas que celui de GA 159 (6,94 m) qui, lui, en est éloigné d'environ 600 m.

Une coupe effectuée parallèlement à la direction du canal au mois de Juin (Fig. 20, *profil O-O'*) montre une partie centrale où la SP est très basse entre GA 157 et GA 158 (environ -1,5 m) encadrée au NNE (GA 154 et GA 150) et au SSW (GA 159 et GA 161) par des zones où la SP est plus élevée (-0,7 m en moyenne). Cette SP se relève nettement en direction du lac où le NP n'est plus qu'à -0,28 m au GA 189.

En conclusion, la zone du canal se présente comme une dépression piézométrique, le niveau de la nappe étant, en moyenne plus bas que dans les zones voisines (secteur du lac, PB). D'autre part, ces résultats confirment ceux obtenus à partir des cartes piézométriques (Fig. 16 et 17) précédemment étudiées.

2.4.- Province de Garak (PD)

Il y a inversion dans ce que l'on observe habituellement pour des piézomètres couplés, le NP du piézomètre profond étant cette fois ci régulièrement plus élevé que celui du piézomètre moins profond (ANNEXE II, Fig. 8). Ainsi DA 75, le plus profond des piézomètres (50,62 m), présente en moyenne et au même titre que DA 79 (25,30 m), le NP le plus élevé de la province (ce dernier piézomètre est deux fois moins profond et beaucoup plus proche du fleuve). Ce phénomène implique qu'il existe, en dessous de la nappe libre, une autre qui est semi-captive ou même captive.

On constate que la SP est la plus déprimée de la région, le NP de l'ensemble des piézomètres de la province fluctuant entre -1,4 m et -2,8 m, phénomène encore plus accentué dans la partie septentrionale de la province. Par ailleurs, la dNP y est relativement faible (entre 0,30 et 0,80 m).

* L'étiage de la nappe est observé entre Mai et Juin alors que le maximum de la recharge est obtenu au mois d'Octobre en 1989 (sauf au piézomètre DA 75 où il se situe en Novembre); il est plus tardif en 1988, et est enregistré à des périodes variables selon les secteurs (Cf. ANNEXE II, Fig. 8).

Sur toute la période couverte par les observations (Novembre 1987 - Mars 1990), on constate:

- qu'il y a une remontée du niveau de la nappe entre 1987 et 1988,
- que par contre, une baisse de niveau s'amorce en 1990, sans doute causée par la faiblesse de la recharge maximale observée en 1989 (inférieure à celle de 1988).

* A partir de 2 coupes effectuées dans la province (Fig. 20), il est possible de voir l'état de la nappe en fonction de la distance par rapport au marigot Garak.

- Coupe NNW-SSE: Le *profil P-P'* joignant les piézomètres DA 75 et DA 79 et traversant le Garak montre que la nappe est légèrement déprimée au niveau du marigot, dépression qui s'amplifie au moment du maximum de recharge (Octobre). Tout se passe donc comme si le Garak drainait la nappe, même si les pentes sont très faibles.

- Coupe SSW-NNE: Le *profil R-R'* obtenu dans la partie septentrionale de la province et qui va des dunes ogoliennes (piézomètre DA 91) au marigot (piézomètre DA 77) donne une pente relativement faible de la SP, de l'ordre de 0,25‰. Donc, le niveau de la nappe s'abaisse régulièrement en direction des dunes.

De ces observations, on déduit que globalement, l'influence du Garak sur la piézométrie de la zone est faible voire négligeable.

2.5.- Province orientale

La piézométrie dans les 3 zones lithostratigraphiques (6, 7 et 8) qui composent cette vaste province, sera décrite séparément.

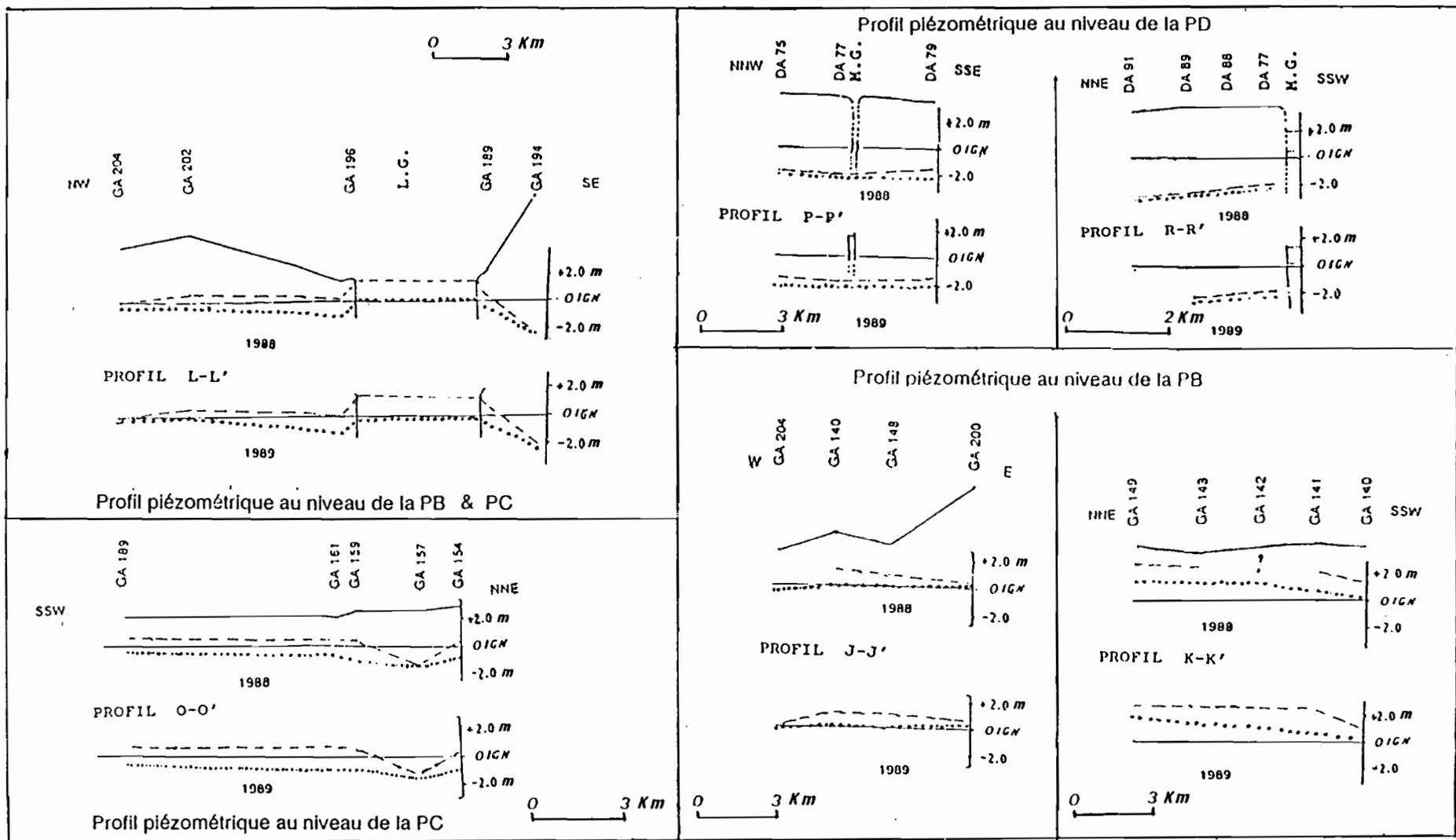


Fig. 20 - Profils piézométriques des secteurs

Garak, Richard-Toll et lac de Guiers.

- : profil de la surface piézométrique au mois d'Octobre
-: profil de la surface piézométrique au mois de Juin
- : profil de la surface topographique
- LG: lac de Guiers MG: marigot Garak

2.5.1.- Zone 6

* Dans la rive gauche de la zone (Mbilor-Diéri et environs), le NP est très bas (entre -1,4 et -2,2 m) sauf pour le couple de piézomètres GA 210/GA 211 et pour le piézomètre GA 213 (situé tout au Sud de la zone) où il fluctue entre -1,0 et -1,45 m. La dNP est relativement faible, de l'ordre de 0,7 à 0,8 m.

L'évolution du NP en fonction de la profondeur est variable dans la zone:

- à 900 m du fleuve, on observe une élévation appréciable du NP du piézomètre superficiel (GA 209 avec 7,61 m) par rapport au piézomètre plus profond (GA 208 avec 30,50 m);
- par contre à 100 m (GA 206, GA 207 et GA 212) comme à 1700 m (GA 210/GA 211), le NP reste invariable quelque soit la profondeur.

Ce phénomène n'a pu être vérifié en rive droite (Khairé et environs) car il n'y a aucun couple de piézomètres implantés. Mais mis à part DA 95 dont le NP fluctue entre -2,22 et -1,65 m et dont la dNP est d'environ 0,40 m, le NP est en moyenne plus élevé (de -1,80 et -0,40 m) et la dNP plus forte (environ 1,0 m) qu'en rive gauche.

* Le maximum de la recharge est toujours atteint entre les mois d'Octobre et Novembre tandis-que l'étiage est enregistré à des périodes variables: au mois d'Avril en 1989, à la fin Mars et la fin Juin en 1988.

Le suivi piézométrique durant toute la période d'observation (Novembre 1987 - Février 1990) indique une tendance à la remontée de la nappe, légère certes mais très régulière. Seule la surface piézométrique (SP) du couple de piézomètres GA 210/GA 211 demeure statique (ANNEXE II, Fig. 9).

* En rive gauche, le *profil S-S'* (Fig. 21) orienté Nord-Sud et obtenu à partir de piézomètres ayant à peu près la même profondeur de crépine, montre que la SP s'abaisse progressivement lorsqu'on s'éloigne du fleuve; il y a néanmoins une légère remontée de celle-ci au niveau du site GA 210/GA 211.

Un autre profil réalisé sur la rive droite (*profil T-T'*) confirme cette tendance bien que cette fois, les 3 piézomètres d'observation soient crépinés à des profondeurs différentes.

Par ailleurs l'amplitude de variation du niveau piézométrique entre Octobre et Juin (dNP) relativement élevée des piézomètres proches du fleuve (DA 94 à 100 m et DA 92 à 400 m) et celle très faible de DA 95 (1 300 m du fleuve) peuvent inciter à avancer qu'à priori, le rayon d'influence du fleuve atteint au moins 400 m dans ce secteur de la zone.

2.5.2.- Zone 7

* Sauf au niveau du site DA 101/DA 102 où, malgré la différence de profondeur, le NP reste invariable, on a partout ailleurs un NP d'autant plus élevé que le piézomètre est moins profond.

La SP est relativement basse dans la zone: elle est comprise entre -1,8 et -0,4 m (même position qu'en rive droite de la zone 6) à l'exception du piézomètre DA 106 (30,56 m de profondeur) implanté dans les dunes ogoliennes et dont la SP varie entre -2,7 et -2,1 m.

* Au contraire de la zone 6, l'étiage de la nappe est observé au mois de Juin (fin Avril pour DA 105) alors que le NPmax est variable et s'échelonne entre Septembre et Décembre selon les secteurs et selon les années (ANNEXE II, Fig. 9).

En moyenne, le niveau de la nappe a légèrement augmenté entre 1988 et 1989, les NPmin et NPmax de 1989 étant plus élevés que ceux de 1988 avec cependant toujours une exception au piézomètre DA 105 où on note un processus inverse. D'ailleurs, sur l'ensemble de la période d'observation (Novembre 1987/Février 1990), la tendance générale de la nappe est à la remontée.

* Le *profil V-V'* (Fig. 21) orienté SE-NW et reliant le fleuve aux dunes ogoliennes montre l'existence d'une pente piézométrique d'abord quasi-horizontale jusqu'au piézomètre DA 104 (située à 4 300 m du fleuve) puis devenant plus forte (environ $0,22\%$) vers les dunes. Ce phénomène est d'ailleurs mieux perçu en Juin, période d'étiage de la nappe. Pour une profondeur inférieure à 20 m, on observe globalement la même évolution de la SP avec cependant une nette remontée du NP au DA 105 (situé aux environs de Séïloufa) créant à ce niveau une sorte de dôme piézométrique. Il serait peut-être imputable au caractère superficiel du piézomètre (6,5 m) et/ou à la présence d'une mare temporaire (limite d'alimentation?) à proximité de ce piézomètre.

2.5.3.- Zone 8

De par sa situation particulière à l'intérieur de la "boucle" que décrit le fleuve Sénégal entre Dagana à l'Ouest et Bokhol à l'Est, cette zone présente une piézométrie très complexe dans le détail.

* L'influence de la profondeur sur la piézométrie se manifeste diversement comme dans la zone 6. Ainsi, pour des piézomètres situés sur un même site mais captant des niveaux de profondeur différente:

- soit l'évolution du NP est partout identique comme entre GA 165 (9,7 m) et GA 166 (20,5 m) à l'Ouest, entre GA 180 (7,5 m) et GA 181 (15,53 m) au SE et enfin entre GA 176 (9,5 m) et GA 177 (20,40 m) au Sud.

- soit le piézomètre le moins profond a le NP le plus élevé. Ce cas de figure est rencontré aux couples de piézomètres GA 163 (5,58 m) / GA 164 (20,59m) et GA 169 (9,43 m) / GA 170 (20,54 m).

La position de la SP est également variable et en choisissant 1988 comme cycle-repère, on distingue 3 types de piézomètres (ANNEXE II, Fig. 10):

- ceux dont le NP est compris entre 1,2 et environ 0,0 m IGN: ils sont localisés sur les berges ouest et sud-est de la "boucle" (GA 164, GA 173, GA 180 et GA 182);

- ceux dont le NP oscille entre 1,0 m et environ -1,0 m: on les retrouve à peu près au centre et au Sud de la zone (GA 176, GA 165 et GA 169);

- ceux dont le NP est toujours situé sous la cote 0: ils sont rencontrés au Nord et à l'Est de la zone (GA 168, GA 186 et GA 187) et dans certains piézomètres profonds (GA 164 et GA 170).

Au cours de cette même année 1988, l'amplitude de variation dNP est très grande. Elle est partout supérieure à 1,0 m sauf au piézomètre GA 164 où elle est de 0,66 m. D'ailleurs, si on se limite aux piézomètres très superficiels (profondeur inférieure à 10 m), la dNP varie de 1,30 m (GA 186) à plus de 2,5 m (GA 167).

L'année 1989 présente à peu près les mêmes caractères généraux avec cependant des valeurs de NP et de dNP parfois beaucoup moins élevées.

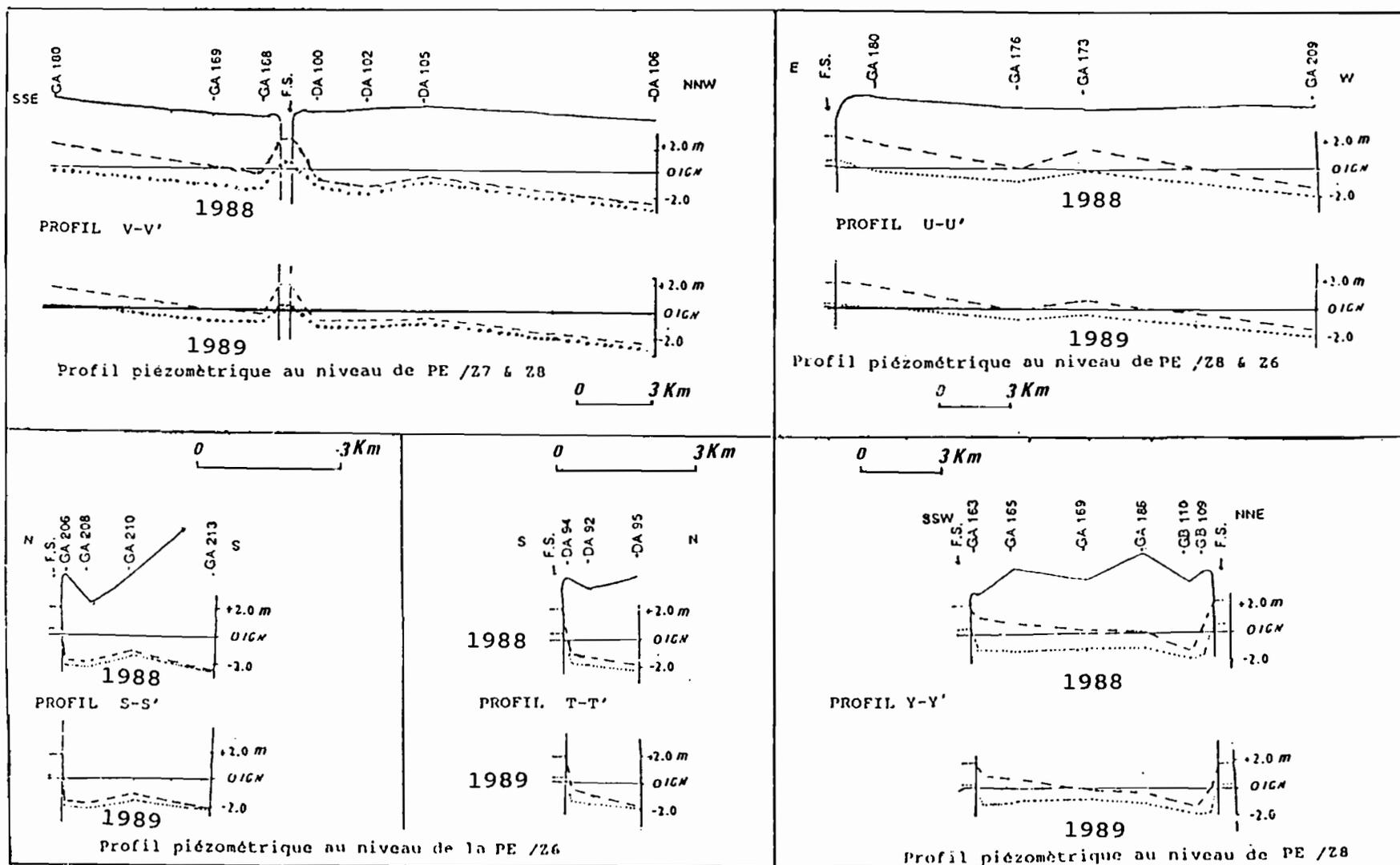


Fig. 21 - Profils piézométriques des secteurs

Mbilor et Dagana.

- - - - : profil de la surface piézométrique au mois d'Octobre
- : profil de la surface piézométrique au mois de Juin
- ~~~~~ : profil de la surface topographique
- FS: fleuve Sénégal

* Généralement l'étiage est observé entre Juin et Juillet alors que le maximum de la recharge a lieu au mois d'Octobre en 1988 et s'étale de la fin Septembre à la fin Novembre en 1989. Seul le couple de piézomètres GA 176/GA 177 accuse du retard par rapport aux autres piézomètres (ANNEXE II, Fig. 9).

L'alimentation de la nappe se fait sur une assez courte période allant de 3 à 4 mois (Juillet à Octobre). Par contre, la baisse de niveau de la nappe est plus longue et se fait en 2 phases: d'abord assez rapidement entre Novembre et Janvier puis progressivement jusqu'en Juin avec cependant une légèrement élévation observée aux mois de Mars en 1988 et Mai en 1989.

Dans la période d'observation (Novembre 1987 - Février 1990), il apparaît que le niveau de la nappe varie très nettement d'une année sur l'autre. Les mesures de Novembre et Décembre 1987 donnent un NPmax très bas mais qui s'élève considérablement en 1988 avant de décroître légèrement en 1989. La tendance amorcée en 1990 indique que le NP sera peu différent de celui de 1989.

* A partir des trois profils piézométriques réalisés (Fig. 21), on peut avoir une idée générale sur l'évolution de la nappe dans la province en général, dans la zone en particulier.

Dans la partie méridionale de la province, le *profil U-U'* orienté Est-Ouest montre l'existence d'une dépression piézométrique au centre (GA 176) séparant deux dômes piézométriques situés à l'Est (GA 173) et à l'Ouest (GA 180). Ce phénomène s'accroît pendant le mois d'Octobre - surtout celui de 1988 - l'altitude de la dépression étant voisine du 0 IGN, celle des dômes de 1,70 m en moyenne.

Parallèlement à cela, la dNP est nettement plus importante au niveau des dômes avec respectivement 2,0 m et 1,6 m aux piézomètres GA 180 et GA 173; elle est de l'ordre de 0,7 à 1,0 m au niveau de la dépression (GA 176).

Ce profil montre aussi que les niveaux des dômes piézométriques et celui du fleuve Sénégal sont assez voisines et fluctuent ensemble.

Le prolongement de ce profil vers l'Ouest (zone 6) met en évidence les différences de comportement de la nappe entre ces 2 zones. Ainsi le NP est beaucoup plus bas et est toujours sous la cote 0 (entre -1,4 et -2,0 m) dans la zone 6; de même la dNP y est plus faible (environ 0,4 m).

Le profil Y-Y'(Fig. 21) orienté SW-NE et joignant les berges occidentales (GA 163) et orientales (GA 186) laisse apparaître:

- une pente qui s'abaisse régulièrement de Dagana à Gaé, se déprime ensuite profondément (d'après les données du puits GB 110) avant d'amorcer une remontée assez brutale à proximité de la rive orientale (puits GB 109 et piézomètre GA 188). Cette pente s'observe au mois d'Octobre mais s'estompe au mois de Juin durant lequel la SP devient quasi-horizontale;

- parallèlement à la baisse du NP, il y a une diminution progressive de la dNP des rives (GA 163 et GB 109) vers l'intérieur des terres;

- pour les deux années hydrologiques, on assiste globalement à une baisse généralisée du NP du mois d'Octobre tandis-que celui du mois de Juin reste à peu près inchangé.

Le profil V-V' orienté SE-NW et reliant les piézomètres GA 180 et GA 168 présente une pente qui s'abaisse du SE vers le NW. Elle est relativement forte entre GA 180 et GA 170 mais devient ensuite beaucoup plus douce en direction du fleuve (GA 168).

En outre, il est intéressant de voir que la dénivellation de plus de 2,0 m qui existe entre le fleuve et la nappe dans la partie septentrionale du profil (GA 168) est inférieure à 0,2 m au SE. Tout ceci laisse supposer que des relations hydrauliques assez franches entre le fleuve et la nappe ont pu s'établir au SE alors qu'elles sont quasi-nulles au Nord de la zone 8 et même dans la partie méridionale de la zone 7 située dans le prolongement du profil (DA 100).

Par ailleurs ce profil montre qu'en dehors du SE (GA 180), la SP est partout déprimée sous la cote 0. Parallèlement, si la dNP atteint environ 1,3 m au SE, elle reste inférieure à 0,5 m dans le reste de la zone (le centre et le Nord).

Donc en résumé, une synthèse des différents profils donne une idée globale sur la configuration générale de la nappe dans la zone:

- elle présente des dômes piézométriques sur les berges ouest (GA 163, GA 165 et même GA 173) et sud-est (GA 180 et GA 182),
- elle est par contre déprimée au centre (GA 169), au Sud (GA 176) et au NNE (GA 186, GA 168 et GA 188).

B - LA CHIMIE DES EAUX

L'objectif principal de cette étude n'étant pas la détermination de la qualité des eaux, nous essayerons d'indiquer les principales tendances hydrochimiques rencontrées dans les nappes de la région.

Cette étude repose sur les résultats d'analyses chimiques des campagnes d'échantillonnage suivantes (ANNEXE III):

- celle de 1989/1991 effectuée par l'ORSTOM et portant sur 90 échantillons prélevés en rive gauche,
- celle de 1987/1988 effectuée par BONKEL et portant sur 36 ouvrages situés en rive droite.
- enfin celle de 1964/1965 effectuée par le BRGM et couvrant les casiers du Diovol, de Rosso et de Keur-Madiké.

1.- Les paramètres physico-chimiques

1.1.- Le pH

Les différentes mesures de pH effectuées dans la région donnent des valeurs allant de 4,0 (DA 78) à 8,3 (GA 264), la zone la plus acide étant celle de Garak au niveau de la province D. Cependant dans la plupart des cas, le pH des eaux est neutre.

1.2.- La conductivité (E.C.)

Les valeurs de conductivité trouvées sont très variables. On peut cependant dégager quelques tendances générales quant à la répartition de ce paramètre:

E.C. = 10 mS: elles se rencontrent au Nord de la plaine de Mpourié, dans toute la cuvette du Djeuleuss, dans la majeure de la PB et enfin dans d'autres provinces mais de manière plus ponctuelle (GA 154 dans la PC, GB 75, GA 209, GA 165, GA 186 et GA 182 dans la PE etc...).

E.C. = 2 mS: ces faibles valeurs de conductivité caractérisent la partie septentrionale de la région c'est-à-dire dans les dunes situées tout au Nord de la plaine de Mpourié, du marigot Garak et de son bassin versant mais aussi toute dans la PC et la zone 8 (boucle de Dagana).

$2 < E.C. > 10 mS$: ces valeurs intermédiaires de conductivité caractérisent toutes les zones restantes, en particulier le domaine du Diéri de la PE situé au Sud de l'axe Dagana/Mbilor-Diéri (Mô-Poudjé, Souillèle, etc...).

Dans le détail, le suivi mensuel de la conductivité (données OMVS) et les campagnes de mesures que nous avons effectués en Novembre 1989, Février- Mai 1990 et Mai 1991 (ANNEXE III) indiquent que les variations de la conductivité semblent s'opérer indépendamment de la recharge de la nappe. Ce constat a d'ailleurs été fait par BONKEL (1989).

1.3.- Les températures

Les températures des eaux de la région vont de 24 à 34°C, avec une moyenne de 30°5 C, ce qui est nettement élevé pour des eaux souterraines. Comme pour la conductivité, il n'a pas été possible d'établir une relation très nette entre les variations de température et la période de l'année.

2.- Faciès chimiques et répartition

2.1.- Les faciès chimiques

Trois types d'anions prédominent dans les eaux de la région (Fig. 22 et ANNEXE III): les chlorures (82% des anions), les bicarbonates (10,8%) et les sulfates (7,2%). Ils sont le plus souvent combinés au sodium (92,5% des échantillons) donnant les faciès chloruré-sodique, bicarbonaté-sodique et sulfaté-sodique. De plus dans la plupart des échantillons analysés (65% des cas), le pourcentage de Na dépasse régulièrement la moyenne de 30% des ions.

Une comparaison a été faite entre la composition chimique des eaux de la nappe (échantillonnée au puits GB 847) avec d'une part, la composition, moyenne d'une eau de mer (SAOS et ZANTE, 1985) et d'autre part avec celle de l'eau de fleuve prélevée au niveau de Dagana en période de crue (Fig. 22). Les principales conclusions que l'on peut tirer de l'étude des faciès chimiques sont:

a)- Par endroits, l'eau de la nappe a une charge minérale égale ou supérieure - et même très largement parfois - à celle de l'eau de mer: c'est ce qu'on observe dans la plaine du Mpourié mais aussi dans la partie méridionale de la PB et dans la cuvette du Djeuleuss où les concentrations peuvent dépasser 1 500 méq/l (44,5 g/l au GA 204 et 46,7 g/l au GA 134).

b)- Les eaux souterraines sont cependant toutes plus minéralisées que l'eau du fleuve (de 3 fois au puits DB 246 à plus de ...1 700 fois au piézomètre GA 134 !) et s'en différencient d'un point de vue composition chimique. En effet, à l'instar de la plupart des eaux douces, celles du fleuve est essentiellement bicarbonatée à sulfatée-magnésienne.

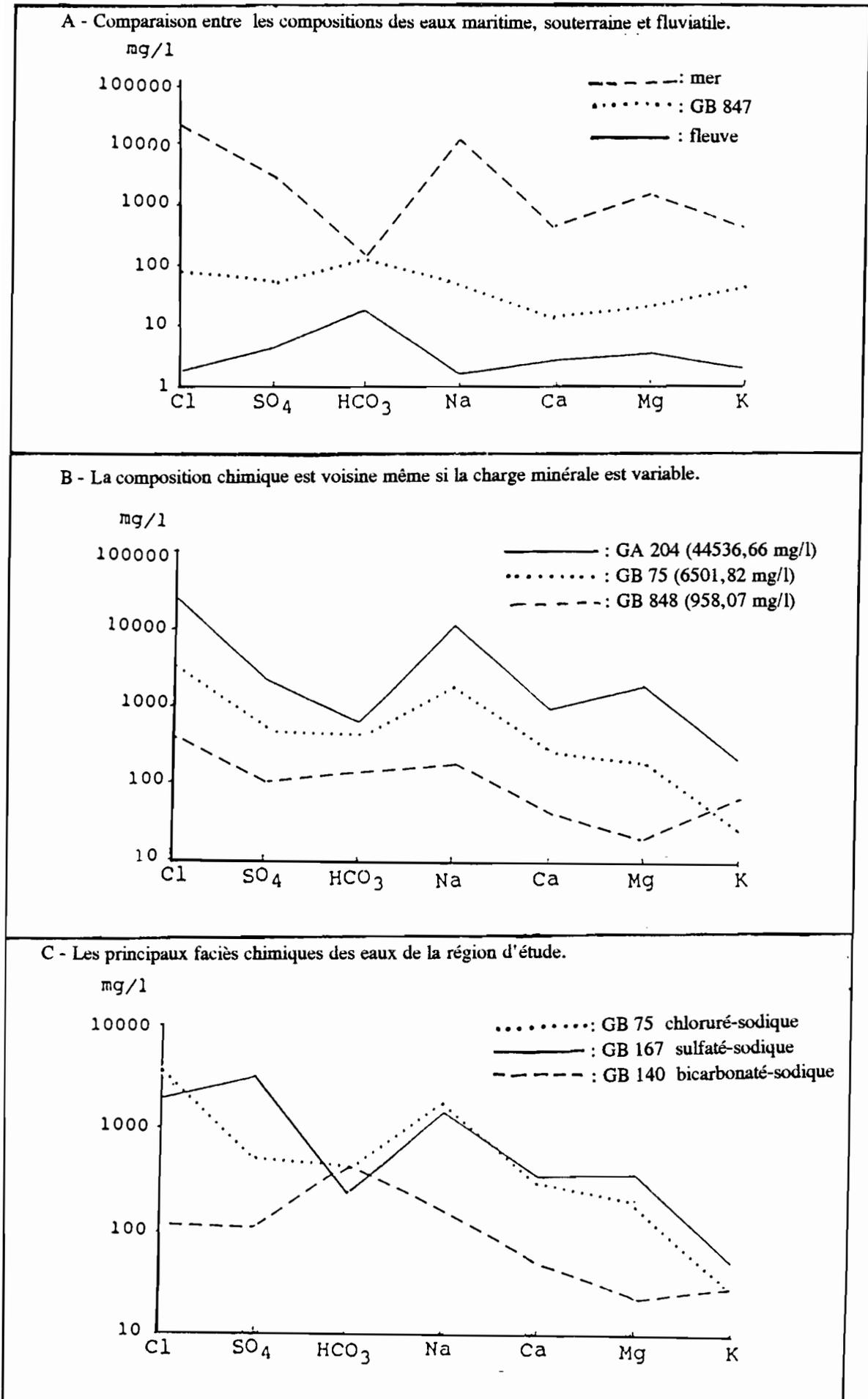


Fig. 22 - Composition et variabilité de la chimie des eaux.

c)- Même si elles sont en grande majorité de nature chlorurée-sodique, les eaux de la nappe présentent des différences notables avec l'eau de mer. Ainsi globalement, elles sont plus calciques et plus carbonatées mais moins potassiques. Cependant, les rapports Cl^-/Na^+ et $Na^+/Ca^{2+} + Mg^{2+}$ sont sensiblement identiques.

Néanmoins, cette comparaison n'est que très schématique car au sein des différents faciès, on rencontre pratiquement toutes les compositions chimiques possibles.

2.2.- Répartition des faciès chimiques

Le tableau 7 et la figure 23 résument assez bien la répartition des différents faciès chimiques rencontrés dans la région.

2.2.1.- En fonction de la minéralisation

On distingue schématiquement 3 types de zones (Fig. 23):

- les zones peu minéralisées qui sont généralement localisées aux pieds des dunes ogoliennes et dans la zone haute et fracturée du dôme de Guiers. Plus précisément, elles sont observées de part et d'autre du fleuve entre Guidakar et Bokhol, dans les bassins versants du Garak, du canal de la Taoué et du lac de Guiers,
- les zones fortement minéralisées rencontrées dans la PA (plaine de Mpourié, cuvette de Djeuleuss), dans les parties méridionales des provinces B,
- les zones restantes sont caractérisées par un degré de minéralisation intermédiaire.

2.2.2.- En fonction des provinces

PROVINCE A:

Faiblement minéralisée dans les dunes du Nord de la plaine de Mpourié et très fortement dans le reste, la province est caractérisée par le faciès chloruré-sodique. C'est là et au Sud de la PB que l'on a trouvé les charges minérales supérieures à celle de l'eau de mer.

PROVINCE B:

On peut la subdiviser en 3 secteurs:

- au Nord et à l'intérieur des casiers sucriers de la CSS, les échantillons analysés indiquent une charge minérale faible (19,94 méq/l au piézomètre GA 149 et 27,7 au piézomètre GA 140) et un faciès bicarbonaté sodique,
- au SW de ces casiers, la charge est très élevée (> 1 500 méq/l au piézomètre GA 204) et le faciès chimique y est exclusivement chloruré-sodique,
- au Sud de ces casiers, la charge est relativement importante en profondeur (238,23 < [C] < 619,82 méq/l); il diminue sensiblement en surface (49,5 < [C] < 134,1 méq/l à -10 m de profondeur); le faciès est également chloruré-sodique.

PROVINCE C:

Le faciès chimique des eaux souterraines est:

- carbonaté-sodique autour du lac,
- mixte (carbonaté-sodique et chloruré sodique) le long du canal,
- chloruré-sodique en rive droite (aux environs de Keur-Madiké).

Pr / Ri	Zone ou localité	Faciès chimique	Eléments majeurs du faciès (%)	charge minérale [C] (meq/l)
A / D	Nord de Mpourié	ClNa	62.00	10.9 � 53.45
A / D	Mpourié	ClNa	84.00	97 � 841
A / G	Djuleuss	ClNa	80.00	364 � 1655
	Nord et SW de la PB			
B / G	. GA 140 / GA 149	HCO ₃ Na et HCO ₃ NO ₃ ,Na	60.00 et 80.80	27.7 et 19.94
	. GA 201 � GA 204	ClNa	83.10	396.6 � 1550.7
	Est et SE de la PB			
B / G	. Est	ClNa	72.20	254.78 � 789.42
	. Sud-Est : (< 12 m)	ClNa	82.68	53.84 à 136.46
	: (> 20 m)	ClNa	88.05	240.09 � 620.72
C / D	Keur-Madiké	ClNa	76.00	38.43
C / G	Canal de la Taou�	HCO ₃ Na	51.80	10.16 � 31.22
C / G	Lac de Guiers	HCO ₃ Na	56.34	19.66 � 24.23
D / D	Garak	ClNa/HCO ₃ Na/SO ₄ Ca		4.56 � 48.51
		SO ₄ Na/etc...		
E / G+D	Guidakar-Dagana (Z.6)	SO ₄ Na/ClNa/HCO ₃ Na		3.31 � 811.13
E / G	Sud de la Z.6	ClNa	67.50	68.91 � 269.73
E / G+D	Madina Gaya-Ga�			
	. Zone 7	ClNa	75.60	8.63 � 324.65
	. Zone 8	ClNa/HCO ₃ Na	62.93 et 53.37	3.47 � 680.55

Tab. 7 - Répartition des faciès chimiques des eaux souterraines de la région.

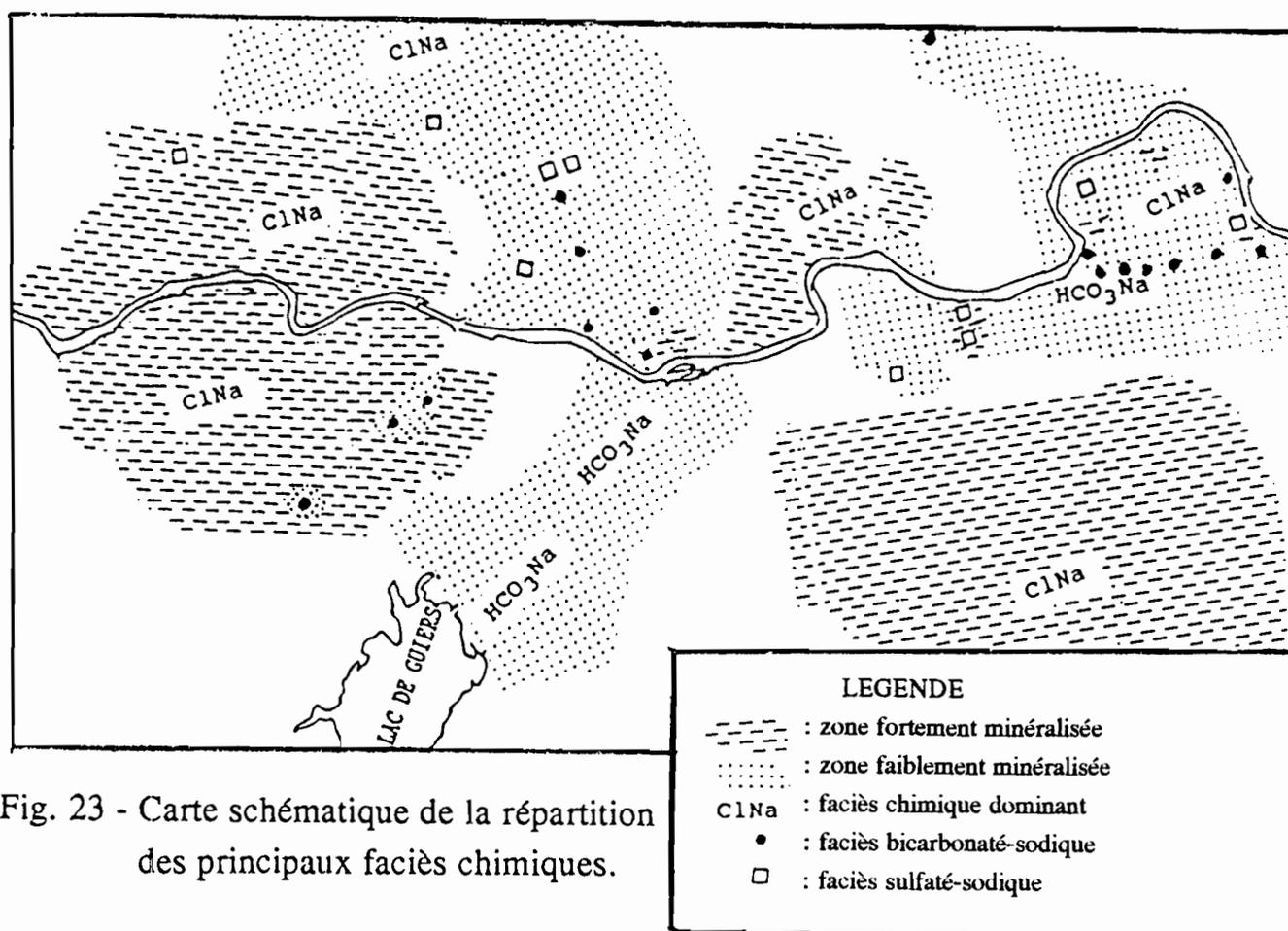


Fig. 23 - Carte schématique de la répartition des principaux faciès chimiques.

A l'exception du piézomètre GA 154 où elle atteint la valeur anormalement élevée de 422,1 méq/l, la charge minérale est très faible (entre 10,1 et 63,3 méq/l) et la plupart des principaux ions sont assez bien représentés dans la composition chimique des eaux.

PROVINCE D:

Elle présente les charges minérales les plus faibles (entre 4,56 et 42,7 méq/l) et des faciès chimiques divers (chloruré-sodique, sulfaté-sodique, sulfaté-calcique et magnésien, etc...). En outre, la minéralisation diminue en fonction de la profondeur mais aussi en direction des dunes septentrionales.

PROVINCE E:

Elle laisse apparaître 3 principales zones:

- de part et d'autre du fleuve entre Guidakar et Dagana (zone 6), la charge minérale est généralement faible mais peut dépasser 100 méq/l par endroits (GA 206, GA 209, etc...); le faciès est chloruré-sodique dans la zone 6 et mixte (chloruré-sodique et sulfaté-sodique) dans la zone 8.

- le Sud de la zone 6 montre une charge faible à moyenne et un faciès chloruré-sodique (Souillèle, Mô-Poudjé, etc...);

- enfin dans la zone lithostratigraphique 7, le peu de renseignements obtenus sur la chimie montrent une charge minérale moyenne (324,65 méq/l au DA 100) du moins à proximité immédiate du fleuve; mais ils ne permettent pas d'envisager, même de manière approximative, la répartition des faciès.

OBSERVATIONS

Au terme de cette étude, il est bien difficile d'individualiser les différentes nappes à partir des seules caractéristiques chimiques des eaux. Il est possible néanmoins de tirer les observations suivantes:

1°- Le faciès chloruré-sodique caractérise la chimie des eaux souterraines de cette partie de la vallée du fleuve Sénégal. Les autres faciès (essentiellement carbonaté-sodique et sulfaté-sodique), s'ils existent, sont généralement rencontrés dans les zones de faible minéralisation, en particulier le long des grands affluents du fleuve (Taouè, Garak, lac de Guiers) et de leurs bassins versants ainsi que dans une bonne partie du boucle de Dagana.

2°- Le tableau 8 montre qu'il existe un gradient:

- de pH généralement décroissant avec la profondeur,
- de température croissant avec la profondeur bien que la température atmosphérique puisse perturber ce gradient en surface,

- de conductivité - et par conséquent de charge minérale - tantôt croissant avec la profondeur (SW de la PB), tantôt décroissant (PD, PA et PE) ou alors tout à fait nul (site de pompage GA 264).

Il y a donc possibilité de stratification chimique en fonction de la profondeur. Ce constat est valable à l'intérieur de la colonne piézométrique et probablement au niveau des nappes.

N°Piézomètre: GA 201			N°Piézomètre: GA 201			N°Piézomètre: GA 192		
Date: 19 Février 1990			Date: 14 Mai 1990			Date: 15 Mai 1990		
profondeur totale: 25.0 m			profondeur totale: 26,45 m			profondeur totale: 46,37 m		
pH: 7,28 (à 17°28)			pH: 7,28 (à 35°2)			pH: 7,48 (à 36°5)		
pf.(m)	T(°C)	EC(mS)	pf.(m)	T(°C)	EC(mS)	pf.(m)	T(°C)	EC(mS)
4,52	30°9	17,4	5,06	32°5	17,1	2,37	29°9	0,890
5,0	31°6	17,3	6,06	31°7	17,1	3,37	29°5	0,875
6,0	31°8	18,2	7,06	31°6	18,8	4,37	28°7	0,856
7,0	31°9	20,7	8,06	31°7	20,9	5,37	28°3	0,856
8,0	32°0	23,5	9,06	31°8	23,4	6,37	27°9	0,853
9,0	32°1	26,5	10,06	31°9	25,5	7,37	27°8	0,853
10,0	32°1	28,9	11,06	31°79	27,2	8,37	27°8	0,852
11,0	32°1	30,7	12,06	31°9	28,6	9,37	27°7	0,850
12,0	32°1	32,0	13,06	32°0	29,5	10,37	27°7	0,817
13,0	32°0	32,8	14,06	32°0	30,2	11,37	27°5	0,816
14,0	32°0	33,5	15,06	32°0	30,7	12,37	27°5	0,819
15,0	32°0	34,0	16,06	32°0	31,2	13,37	27°4	0,822
16,0	32°0	34,5	17,06	32°0	31,7	14,37	27°4	0,828
17,0	32°0	34,8	18,06	32°0	32,1	15,37	27°3	0,832
18,0	32°0	35,2	19,06	32°0	32,4	16,37	27°2	0,833
19,0	32°0	35,5	20,06	32°0	32,7	17,37	27°2	0,837
20,0	32°1	35,9	21,06	32°1	33,1	18,37	27°3	0,863
21,0	32°1	35,9	22,06	32°1	33,1	19,37	27°3	0,866
22,0	32°1	36,0	23,06	32°1	33,2	20,37	27°2	0,866
23,0	32°1	36,0	24,06	32°1	33,2	21,37	27°3	0,866
24,0	32°2	36,1	25,06	32°2	33,3	22,37	27°3	0,866
24,5	32°2	36,3	26,06	32°2	33,7	23,37	27°3	0,866
25,0	32°2	26,8	26,45	32°3	24,0	24,37	27°3	0,866
						25,37	27°4	0,866
						26,37	27°4	0,866
						27,37	27°4	0,866
						28,37	27°4	0,866
						29,37	27°4	0,866
						30,37	27°4	0,867
						31,37	27°5	0,867
						32,37	27°5	0,867
						33,37	27°6	0,867
						34,37	27°6	0,867
						35,37	27°7	0,867
						36,37	27°7	0,867
						37,37	27°7	0,867
						38,37	27°8	0,867
						39,37	27°8	0,867
						40,37	27°9	0,867
						41,37	27°9	0,867
						42,37	28°0	0,867
						43,37	28°1	0,868
						44,37	28°2	0,867
						45,37	28°2	0,867
						46,37	28°2	0,867

Variations relativement forte de la conductivité (EC) et faible variation de la température (T).

Faible variation des paramètres EC et T

Tab. 8 - Evolution de quelques paramètres physico-chimiques en fonction du temps.

3°- Le nombre élevé de périmètres hydroagricoles existant dans la région devrait légitimement susciter de sérieuses appréhensions quant à l'évolution de la qualité des eaux souterraines. En effet l'utilisation massive d'engrais (urée et phosphates d'ammoniac essentiellement) et de produits phytosanitaires (herbicides et pesticides) qui accompagne habituellement l'exploitation de ces périmètres constitue une source potentielle de pollution des eaux environnantes.

Cependant ni les résultats de dosage des phosphates ni ceux d'analyses liées aux produits phytosanitaires ne sont obtenus, ce qui empêche toute tentative de faire un bon diagnostic de l'état de pollution des eaux de la région.

Mais pour les nitrates par exemple, le taux le plus élevé (20 mg/l au puits GB 847 dans la localité de Ntiago) est encore en deçà du seuil de tolérance fixé à 50 mg/l. De plus, les eaux des périmètres hors cultures semblent épargnés - du moins pour le moment - par cette pollution agricole.

REMARQUES:

Il est opportun de souligner que cet aperçu sur l'hydrogéochimie de la région peut souffrir de l'existence d'erreurs dont les sources potentielles peuvent découler:

- des intervalles de temps parfois considérables qui existent entre les différentes campagnes d'échantillonnage et d'analyses (1964-1965, 1986-1987 et 1989-1991),
- de la diversité des laboratoires d'analyse (SONADER en Mauritanie, BRGM et ORSTOM au Sénégal) et par conséquent de méthodes différentes de prélèvement, de conservation et éventuellement de dosage.

Par ailleurs, les inadéquations manifestes entre les valeurs de la conductivité et celles de la minéralisation relevées dans les résultats d'analyses des ouvrages situés en rive droite, incitent à plus de prudence quant à l'exploitation de ces résultats (ANNEXE III).

TROISIEME PARTIE

POINT DE VUE SUR LE FONCTION- NEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION

INTRODUCTION

Cette dernière partie de l'étude est consacrée à l'interprétation des mécanismes qui régissent les différents flux verticaux et latéraux observés dans la piézométrie de la région. Elle sera surtout axée sur les rapports entre la piézométrie avec d'une part les caractéristiques physiques et chimiques du site aquifère et de la nappe qu'il contient et, d'autre part avec la trilogie: hydrologie - pluviométrie - évaporation.

Les principales observations résultant de l'étude détaillée de la piézométrie montrent des zones où:

- le niveau piézométrique (NP) varie fortement et d'autres où, au contraire, les variations du NP sont faibles voire nulles;
- la surface piézométrique (SP) est fortement déprimée mais aussi de zones où cette SP constitue un dôme piézométrique;
- la SP s'élève progressivement entre fin 1987 et début 1990 et d'autres où elle est plutôt statique.

D'après toutes ces observations, il devient évident qu'une bonne interprétation de ces phénomènes aurait nécessité:

- une étude très fine du milieu aquifère au point de vue stratification des couches, granulométrie, tectonique, etc...,
- tout un appareillage complémentaire de mesure des paramètres hydrologiques surtout au niveau des périmètres irrigués afin de pouvoir quantifier les volumes d'eau pompés, drainés, ou transitant par les canaux, etc...
- un réseau pluviométrique plus dense impliquant entre autres la remise en fonction de l'ensemble du réseau de la CSS (14 postes pluviométriques),
- une étude géochimique plus rigoureuse et plus systématique,
- etc...

Néanmoins, nos investigations permettent d'émettre quelques remarques et hypothèses relatives aux caractéristiques hydrogéologiques et au mode d'alimentation de la nappe au niveau de la région.

A - PIEZOMETRIE ET CONTEXTE AQUIFERE

La grande discontinuité observée au sein des formations géologiques (lentilles, biseaux, lacunes, etc...) ainsi que dans la géomorphologie (cuvettes, dunes, cuirasses, terrasses, etc...) ne permet pas à priori de définir avec précision la nature et la géométrie du système aquifère. L'hétérogénéité du milieu aquifère se manifeste très souvent sur la piézométrie, notamment par une différence ou par une identité de comportement observées sur des piézomètres implantés dans un même site mais captant différents niveaux de profondeur.

La tentative de subdivision du réservoir aquifère du delta - et par extension de toute la région d'étude - en deux niveaux (2^{ème} PARTIE, Chap.I) ne saurait être valablement généralisée à l'ensemble de la région. En effet il existe des zones où l'absence d'une couche imperméable intercalaire entre les dits-compartiments entraîne une communication hydraulique continue sur toute la puissance de l'aquifère.

Ce phénomène a pu être vérifié au site de pompage GA 264 situé à proximité du lac de Guiers où la réaction synchrone et positive du piézomètre profond GA 192 (près de 50 m de profondeur) lors du pompage d'essai implique que l'on a soit un seul et même aquifère continu, soit une alimentation très franche de la nappe par le lac. La figure 7 de l'ANNEXE II qui montre une superposition quasi-parfaite entre les courbes d'évolution des quatre piézomètres du site (les profondeurs allant de 6 à 50 m) fait pencher en faveur de la première hypothèse. Ce cas de figure est également rencontré aux environs de la localité de Dieuk (DA 55) mais pas au niveau de celle de Ntiagar (GA 125, ANNEXE II, Fig. 5).

Toutes ces observations nous incitent à plus de prudence et à nous limiter à signaler le caractère multicouche de l'aquifère, en attendant que des investigations plus poussées permettent une meilleure précision de sa géométrie.

Cet aquifère peut effectivement être captif, semi-captif ou libre selon que son toit est imperméable, semi-perméable (argileux et/ou limoneux) ou perméable (sableux). A ce sujet, il est tout à fait remarquable de constater l'existence de relations entre les cartes de fluctuation (ANNEXE II, Fig. 1 à 4), la répartition des faciès hydrogéochimiques (Tab. 7 et Fig. 23) et la géométrie de l'aquifère. Ainsi, les zones où la nappe est captive coïncident en général d'une part avec celle de faibles variations du NP (relations entre les eaux de la nappe et celles de la surface très limitées voire nulles car la nappe ne reçoit pas un apport d'eau effectif mais enregistre simplement une surcharge hydrostatique) et d'autre part avec celle de fort taux en solides totaux dissous (TDS) les eaux étant piégées sous un recouvrement argileux efficace.

Les zones où la nappe est libre, correspondraient à celles où la SP est élevée et les amplitude de variation du NP (dNP et DNP) importantes; elles constitueraient des aires privilégiées de recharge (mais aussi d'évaporation intense).

B - PIEZOMETRIE ET MODE D'ALIMENTATION

Les deux principaux facteurs d'alimentation de la nappe sont constitués par les réseaux hydrographiques naturel (fleuve, lac, marigots) ou artificiel (canaux d'irrigation) et par les précipitations. Cette alimentation se traduit par des apports à la fois latéraux par infiltration à travers les berges, et verticaux par infiltration ou percolation des eaux d'inondation et de pluie.

Il est évident que ces deux facteurs sont intimement liés, la crue maximale s'observant généralement deux mois après le maximum de précipitations.

Il n'est pas aisé de déterminer, d'identifier avec certitude le facteur prépondérant dans l'alimentation de la nappe ou le volume des apports de chacun d'eux. Cependant, à partir d'une série de recoupements, on peut concevoir deux et même en définitive trois schémas possibles dans le mode de recharge de la nappe:

- infiltration latérale à partir du réseau hydrographique,
- infiltration verticale à partir des précipitations,
- apport double à partir de ces deux facteurs.

1.- Schéma 1: Piézométrie et hydrologie

Pratiquement tous les rapports des travaux hydrogéologiques et hydrologiques effectués dans la région s'accordent sur un point: la réalimentation saisonnière - ou permanente - effective de la nappe par les eaux courantes de surface.

Nous avons tenté de vérifier ce phénomène en faisant une comparaison entre l'évolution du NP de piézomètres implantés aux abords de cours d'eau et celle de piézomètres qui en sont éloignés et cela, en dehors de tout autre facteur d'influence (égalité de la profondeur de crépine, de l'épaisseur du recouvrement, etc...). Ainsi les groupes de piézomètres suivants (ANNEXE II, Fig. 5 à 9): DA 94 (100 m du cours d'eau) et DA 95 (1 300 m); DA 62 (50 m), DA 38 (300 m) et DA 44 (3 500 m); DA 37 (300 m) et DA 106 (12 500 m); GA 150 (1 000 m) et GA 156 (2 400 m); etc... montrent que le NP est d'autant plus sensible aux variations de niveau du cours d'eau que le piézomètre est plus proche de ce dernier.

Par ailleurs, les graphiques associant l'évolution piézométrique, l'évolution hydrologique et les précipitations (Fig. 24 et surtout 25) et affichant un parallélisme très net entre l'hydrologie et la piézométrie témoignent amplement en faveur de cette hypothèse.

Une autre manifestation de cet apport par les eaux superficielles se traduit par une élévation sensible du NP dans les périmètres hydroagricoles qui constituent autant de zones d'irrigation (casiers CSS/Colonat Balky, périmètres de Mpourié, de Ndombo/Ntiago et, dans une moindre mesure, ceux assez récents de Mbilor et de Dagana/Gaé). Ce phénomène est particulièrement amplifié le long des noeuds du réseau de canaux (cas de GA 149 à la PB).

En fait la principale controverse réside dans l'importance accordée à cet apport. Celui-ci dépend de plusieurs facteurs entre autres, de l'influence du fleuve ou de son cours annexe, du volume et du temps de transit des eaux de crue mais aussi comme nous l'avons souligné plus haut, de la nature granulométrique (porosité, perméabilité, etc...) de l'aquifère ainsi que de l'importance de la couverture.

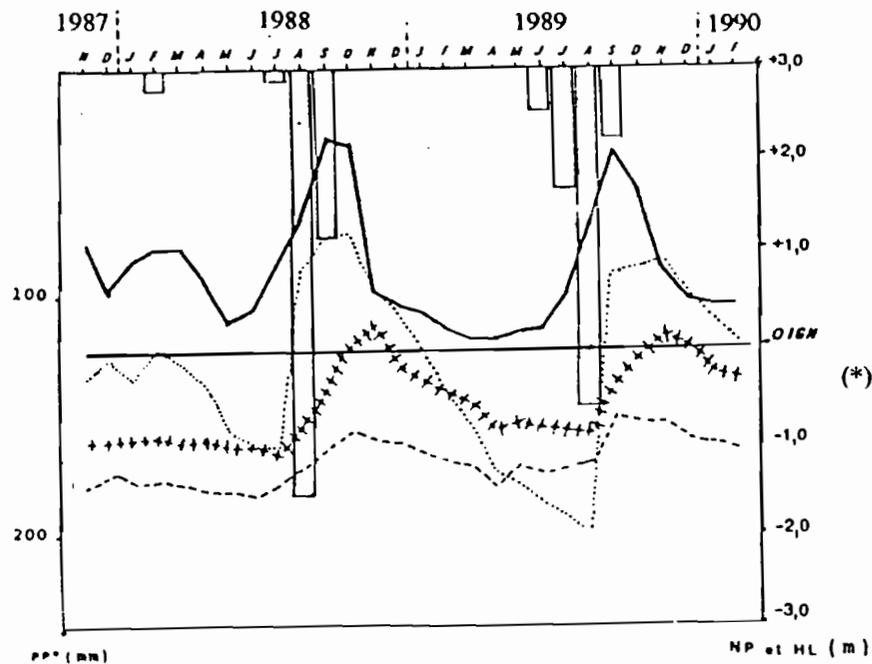
A l'état actuel des investigations, il ne nous est pas possible de quantifier - voire de donner une valeur approximative - le volume d'eau qui rejoint ainsi la nappe à partir de ces eaux de surface. Mais on peut supposer qu'il tend à augmenter compte tenu:

- d'une part, du nombre sans cesse croissant de périmètres hydroagricoles aménagés,
- d'autre part, des développements récents induits par l'exploitation des ouvrages réalisés sur le cours du fleuve et sur son réseau annexe.

2.- Schéma 2: Piézométrie et pluviométrie.

L'étude de l'apport pluviométrique à la nappe est difficile à faire au niveau de la région à cause de la faiblesse du réseau de postes pluviométriques (deux seulement) mais aussi de la variabilité du volume des précipitations.

A l'évidence, pour qu'une zone puisse constituer une bonne aire d'alimentation, il faut une conjonction de plusieurs facteurs tels qu'une couverture de bonne perméabilité et suffisamment épaisse pour à la fois permettre l'infiltration et atténuer l'effet de l'évaporation et, bien entendu, une bonne pluviométrie.



LEGENDE

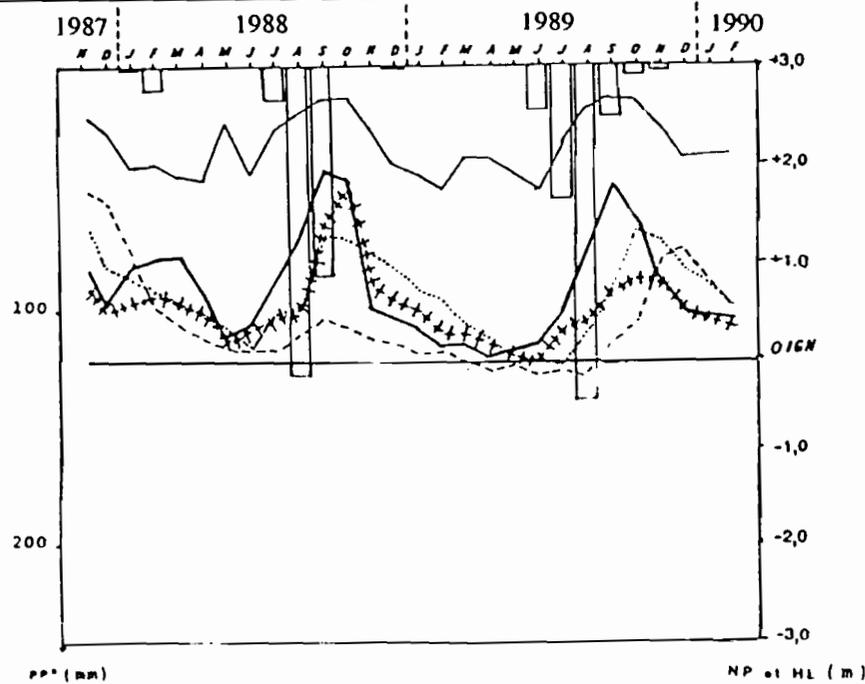
— Hauteur limnimétrique (HL) du fleuve - échelle de Dagana
 █ Hauteur des précipitations (PP°) - poste pluviométrique de Dagana

(*)

NP	n°P	C/S (m)	C/IGN (m)	IGN (m)	D/FS (m)
.....	GA 163	5,58	2,67	2,91	200
+ + + + +	GA 176	9,50	5,05	4,45	4700
- - - - -	GA 164	20,59	17,63	2,96	200

Dagana

(*) - (cf. ANNEXE II, LEGENDE FIG. 5 à 10)

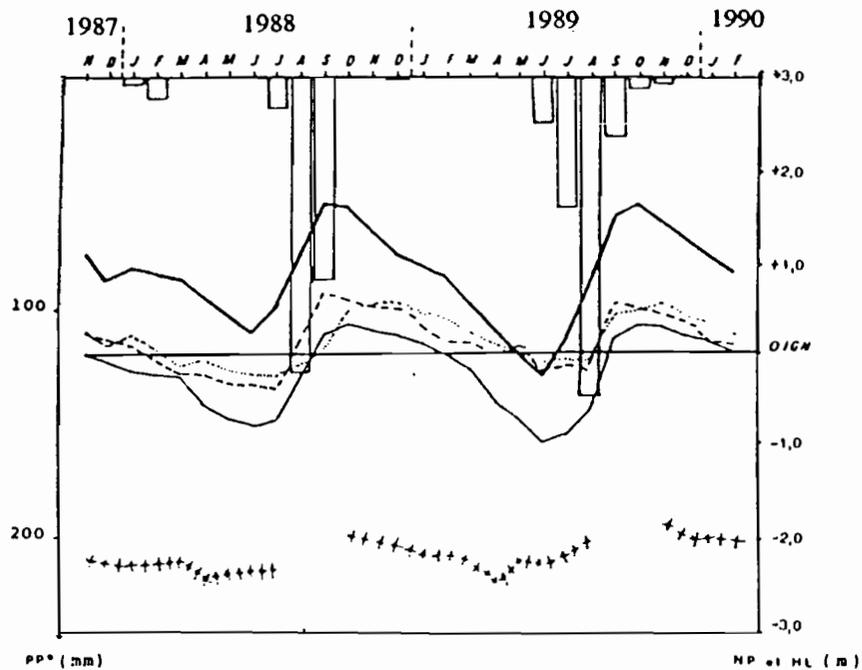


— Hauteur limnimétrique (HL) du fleuve - échelle de Rosso
 █ Hauteur des précipitations (PP°) - poste pluviométrique de Richard-Toll

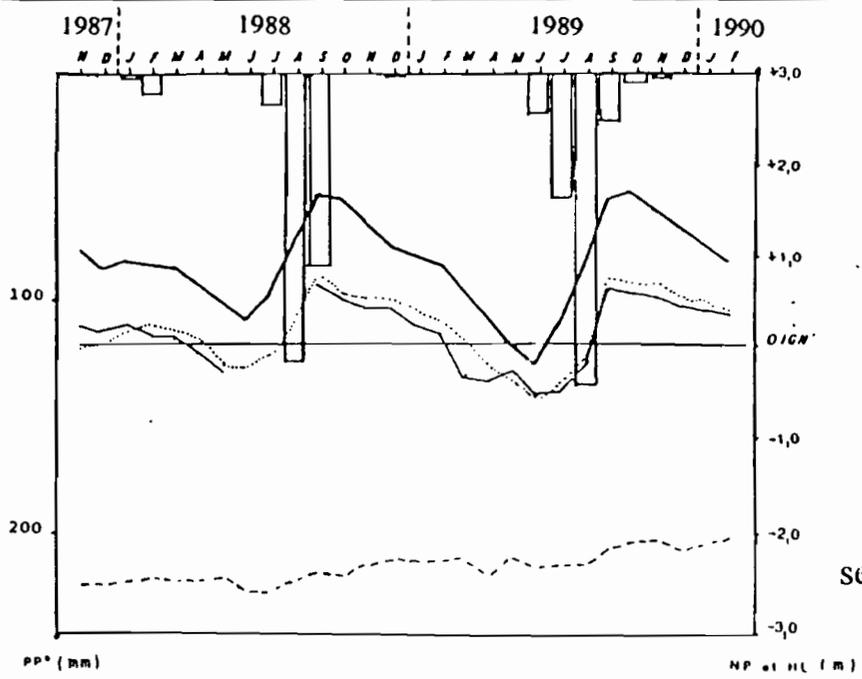
NP	n°P	C/S (m)	C/IGN (m)	IGN (m)	D/FS (m)
———	GA 149	6,61	2,69	3,92	4000
.....	DA 54	6,51	3,48	3,03	300
+ + + + +	DA 61	6,47	3,21	3,26	200
- - - - -	GA 127	7,58	4,18	3,40	50

Rosso

Fig. 24 - Hydrologie, précipitations et piézométrie dans les secteurs de Rosso et Dagana.



Bally - Ndombo



Site GA 264

Fig. 25 - Hydrologie, précipitations et piézométrie dans les secteurs du site de pompage GA 264 et Bally - NDombo.

Ainsi les eaux infiltrées sont stockées dans la portion non saturée du réservoir aquifère des zones à nappe libre et seule une infime partie parvient - si les conditions idéales énoncées plus haut sont réunies - à rejoindre la nappe. La plus grande partie de ce volume est progressivement reprise par l'évaporation et l'évapotranspiration.

Dans la région d'étude, les zones imperméables ou peu perméables sont très peu alimentées directement par les pluies sauf en début d'hivernage lorsque les larges fentes de dessiccation - formées sur la couche argileuse de surface - parviennent à atteindre les strates perméables (AUDIBERT, 1970). Ces fentes se referment dès les premières pluies car la couverture argileuse ainsi imbibée tend à se gonfler, ce qui empêche tout échange ultérieur entre la nappe et la surface, au moins durant une bonne partie de l'année.

Dans ce schéma aussi, comme au précédent, il est difficile de préciser et même d'estimer le volume d'eau infiltré. En effet, cela aurait nécessité une maîtrise plus parfaite de plusieurs paramètres qui intègrent ce calcul tels que la morphologie, la perméabilité, la porosité efficace, la lame d'eau précipitée, etc... et cela pour chaque portion de terrain.

Cependant comparée à l'évaporation qui est d'environ 2 400 mm/an dans la région, la pluviométrie s'avère largement déficitaire. Ce déficit hydrique auquel s'ajoutent la faiblesse des pluies efficaces, la médiocrité fréquente de la perméabilité des terrains de surface et la moyenne élevée des températures laisse à penser qu'au total la recharge directe de la nappe par les eaux de pluie doit être relativement faible.

3.- Schéma 3: Alimentation mixte

L'hypothèse d'une recharge mixte à la fois par le réseau hydrographique et par les précipitations, est la plus plausible et correspond mieux au contexte aquifère.

Entre fin 1987 et début 1990, on a observé une assez nette remontée de la surface piézométrique (SP) dans la plupart des provinces, surtout dans leurs piézomètres profonds. Il faudra cependant excepter la province occidentale où l'on observe plutôt une tendance à la baisse de cette SP ainsi que la zone 8 de la province orientale (ANNEXE II, Fig. 5 et 10). En fait elles sont, comme la province lac-canal, caractérisées par l'existence d'une couverture argileuse relativement épaisse.

Dans le même intervalle de temps, la pluviométrie n'a pas varié (mêmes quantités d'eau tombées en 1988 et 1989); ce qui nous incite à avancer trois hypothèses:

- le niveau de la nappe de 1989 a pu bénéficier de la pluviométrie assez correcte de 1988 (248,8 mm en moyenne), ce qui n'est point le cas du niveau de la nappe en 1988, les précipitations de 1987 étant très médiocres (144,1 mm seulement),
- la multiplication des périmètres hydroagricoles qui sont donc autant de périmètres irrigués et, par conséquent, de sources potentielles d'alimentation de la nappe,
- enfin, cette élévation de la SP est relative à la mise en fonction des barrages (Diama surtout) ajoutée aux manoeuvres de régulation opérées sur les eaux de l'ensemble lac-canal.

La diminution du volume des précipitations en 1990 aurait pu permettre de vérifier la première hypothèse: malheureusement la campagne de mesures piézométriques de cette année a été très insuffisante car il n'y pas eu de mesures en rive droite et celles de la rive gauche sont incomplètes.

On peut néanmoins penser que ces trois mécanismes se conjuguent à des degrés divers pour expliquer les fluctuations de la SP.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est de définir les caractéristiques hydrogéologiques des nappes de l'aquifère alluvial ainsi que les relations existant entre ces nappes et les eaux de surface. Afin de parvenir à une meilleure interprétation des phénomènes d'échange, il était apparu fondamental d'étudier en détail tous les facteurs et paramètres susceptibles d'y contribuer à savoir les composantes physiques, dynamiques et chimiques.

Ainsi donc, la région qui, d'Est en Ouest, s'étend de Ronq à Bokhol et, du Nord au Sud, depuis les contreforts des dunes ogoliennes en Mauritanie jusqu'à la partie septentrionale du lac de Guiers, présente une hydrogéologie fort complexe. Cette complexité découle de la combinaison de plusieurs facteurs physiques (cf. pédologie, géomorphologie, lithostratigraphie, etc...) et dynamiques (cf. pluviométrie, hydrologie, piézométrie, etc...) qui ont été amplement décrits tout au long de ce document.

Cette étude a permis de voir que la géométrie du réservoir aquifère de la région n'est pas encore très bien déterminée quand bien même on définit schématiquement un aquifère alluvial complexe et multicouche dans les formations quaternaires et un aquifère profond, essentiellement des calcaires éocènes ou des sables maastrichtiens. De même, les caractéristiques hydrodynamiques sont tout aussi variables que la géométrie de l'aquifère avec une transmissivité T comprise entre 10^{-2} et 10^{-4} m^2/s , une perméabilité K de l'ordre de 10^{-3} - 10^{-4} cm/s en moyenne et un coefficient d'emmagasinement S d'environ 10^{-4} .

Cette variabilité du contexte aquifère influe notablement sur l'évolution de la piézométrie de la région. Ainsi une étude spatio-temporelle de cette dernière effectuée grâce à des fragments de cartes, à des profils et à des suivis piézométriques a abouti à deux types de résultats principaux que sont:

- l'individualisation de zones de recharge, de drainage, de confinement, d'évaporation intense, de fortes ou faibles fluctuations de niveaux piézométriques, etc...
- le constat que l'allure générale de la surface piézométrique de la nappe alluviale se répète pratiquement d'une année à l'autre car elle subit les mêmes influences aux mêmes périodes de l'année. Seules les réponses vis-à-vis de ces influences diffèrent suivant les caractéristiques lithostratigraphiques, pédologiques et hydrodynamiques du secteur considéré.

La chimie des eaux souterraines montre une prédominance du faciès chloruré-sodique sur les autres faciès (bicarbonaté-sodique et sulfaté-sodique essentiellement), qui sont rencontrés de manière ponctuelle dans la région. Cette prédominance du faciès chloruré-sodique serait en fait liée à des facteurs "originels" tels les reliques d'eau de mer piégée dans la région dans un passé récent.

Enfin de compte, tous ces facteurs sont interdépendants aussi des relations plus ou moins franches ont pu être mises en évidence entre les fluctuations piézométriques, la répartition des différents faciès hydrogéochimiques et la géométrie du réservoir aquifère.

On a pu également définir dans la région les modes possibles d'alimentation de la nappe. La recharge peut se faire de manière:

- latérale par infiltration à travers les berges des cours d'eau et des canaux d'irrigation;
- verticale par infiltration ou percolation directes des eaux de précipitations et des eaux piégées dans les cuvettes de décantation;

- mixte par association des deux modes précédents.

Cependant la part exacte du volume apporté par chacun des facteurs (pluviométrie et hydrologie) reste à déterminer.

RECOMMANDATIONS

Il apparaît clairement que suivre sur uniquement deux années la piézométrie d'une région aussi complexe et pendant une période aussi délicate (démarrage de l'exploitation des barrages et multiplication du nombre de périmètres hydroagricoles) est insuffisant pour répondre aux nombreuses interrogations que suscite l'évolution de l'hydrogéologie de cette partie de la vallée. Aussi, il serait intéressant de poursuivre cette recherche sur une période d'observation plus longue, ce qui pourrait permettre la confirmation et par conséquent l'amélioration des tendances générales dégagées dans cette présente étude ou, le cas échéant, leurs réajustements.

Cette recherche éventuelle devrait:

- s'appuyer sur l'exploitation des données de la banque du projet "Cellule des Eaux Souterraines" de l'OMVS sise à Saint-Louis. Cette banque constitue un outil précieux de documentation et d'information et les améliorations sensibles (notamment avec le remplacement des appareils de mesures et d'analyses *in-situ* et du support informatique d'exploitation qui étaient inadaptés) qui lui ont été récemment apportées (1990) l'ont rendu plus performant;

- accorder une place de choix aux volets "chimie des eaux" et "aménagements" afin de trouver une solution au problème crucial que pose actuellement la sursalinisation des sols, notamment des terres destinées à la culture. Ce phénomène s'est considérablement amplifié ces dernières années sans doute à cause d'une part de l'accroissement des surfaces irriguées ainsi que du nombre de campagnes agricoles (jusqu'à 3 par an d'après le rapport final de l'OMVS, 1990) et, d'autre part, à la nouvelle situation hydrologique induite par les ouvrages construits le long des cours d'eau. Donc une solution diligente est impérative pour désamorcer cette véritable "bombe" socio-économique vu le formidable enjeu agro-économique que représente déjà cette région, à plus forte raison lorsque les parcelles à aménager dans le cadre de l'après-barrage seront mises en fonction.

Par ailleurs, il est tout aussi urgent de se préoccuper du phénomène de pollution en menant de sérieuses études sur l'impact de l'utilisation massive des engrais et produits phytosanitaires (herbicides et pesticides) sur la qualité des eaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUDIBERT M. - 1960 - Delta du fleuve Sénégal. Etude Hydrogéologique - Projet hydroagricole du Bassin du fleuve Sénégal : Rapport Projet AFR-REG-61 - 4 tomes.
- BELLION Y., DEBENAY J.P. - 1986 - Le bassin sédimentaire Sénégal-Mauritanien, présentation générale - in : Les changements globaux en Afrique durant le Quaternaire - Symposium International Dakar - Avril 1986.
- BONKEL A. - 1989 - Etude de la répartition des paramètres hydrochimiques des eaux souterraines de l'aquifère alluvial situé en rive droite du fleuve Sénégal entre Keur-Macène et Dagana (Mauritanie) - 78 Inst. Sci. Terre (I.S.T.) Univ. C.A. DIOP, Dakar.
- COGELS F. X., GAC J.Y. - 1983 - La chlorinité des eaux du lac de Guiers (Sénégal) : bilan quantitatif, qualitatif et perspectives futures. Actes du colloque "Le lac de Guiers : problématique d'environnement et de développement" - 9.11 Mai 1983, Dakar (Sénégal).
- COGELS F.X. et al. - 1990 - Fonctionnement et bilans hydrologiques du lac de Guiers de 1976 à 1989 - Projet CEE (EQUESEN) TS 2 0198 F.E.D.B.
- DEGALLIER R. - 1956 - Géologie de la région de Richard-Toll - Rapport D.F.M.G. AOF, Dakar (inédit).
- DIAGANA A. - 1990 - Etude des paramètres hydrodynamiques des aquifères de la basse vallée du Fleuve Sénégal entre Saint-Louis et Podor - Mémoire de D.E.A. - Dépt. Géol., Fac. Sci., Univ. C.A. DIOP, Dakar.
- LALEYE J. - 1964 - Etude hydrogéologique de la nappe phréatique du Haut-Delta du Fleuve Sénégal (Sénégal-Mauritanie). BRGM-DAK 64 - A 18.
- LALEYE J. - 1965 - Interprétation des fluctuations des nappes du Haut-Delta du fleuve Sénégal (Sénégal-Mauritanie) - BRGM - DAK 65 - A 24.
- LE PRIOL J. - 1985 - Synthèse hydrogéologique du Sénégal - Ministère de l'Hydraulique N° 065/85/DEH, 1985.
- LOYER J.Y. - 1989 - Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation, distribution et évolution sous cultures - Etudes et Thèses, Edition de l'ORSTOM.
- MAYMARD J. - 1960 - Etudes Pédologiques dans la vallée alluviale du Sénégal - MAS div. agronomique, bull n° 122.

- MICHEL P.- 1973 - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Mémoires ORSTOM n° 63, 3 tomes, 752 p.
- MONCIARDINI C. - 1966 - La sédimentation éocène au Sénégal. Mémoires BRGM N° 43.
- MONTEILLET J. - 1988 - Environnements sédimentaires et paléo-écologie du Delta du Sénégal au Quaternaire.
- OMVS. - 1990 - Rapport de synthèse hydrogéologique - Delta du fleuve Sénégal - Projet OMVS/USAID 625-0958 - Rapport final, Vol. II.
- PIEKUTOWSKI T. - 1990 - Paramètres climatiques de la vallée du fleuve Sénégal observés sur la période 1986/1989 - Rapport pour OMVS/USAID, Projet Eaux Souterraines, 20 p.
- ROCHETTE C. - 1974 - Le bassin du fleuve Sénégal. Monographie hydrologique de l'ORSTOM, Paris, N° 1, 391 p.
- SAOS J.L., ZANTE P. - 1985 - Le "bouchon-barrage" de Kheune, son influence sur les eaux de la nappe alluviale et du fleuve Sénégal ORSTOM, Dakar.
- SOGREAH et al. - 1978 - Rapport de phase II, Dossier technique, Mémoires, chapitre 3.
- TRENOUS J.Y. - 1971 - Etude de la structure du dôme de Guiers (Sénégal Nord-Occidental) -. Bull. Soc. Géol. France/7, XIII, 1971, 1-2/133.

PREPCIPITATIONS

ANNEE	STATION	
	Dagana	R - Toll
1960	342,3	-
1961	315,3	-
1962	225,1	181,6
1963	330,7	293,2
1964	278,3	298,2
1965	291,2	327,2
1966	403,0	298,6
1967	366,6	339,1
1968	220,6	155,6
1969	374,3	302,7
1970	174,7	122,2
1971	314,9	155,7
1972	79,5	60,6
1973	222,8	177,2
1974	205,8	186,5
1975	263,9	180,2
1976	293,1	308,0
1977	155,7	150,7
1978	328,5	406,1
1979	267,5	325,9
1980	180,1	277,5
1981	176,3	304,8
1982	141,9	160,2
1983	68,0	34,7
1984	57,9	105,4
1985	202,7	150,9
1986	138,3	204,1
1987	155,9	132,3
1988	261,3	236,2
1989	251,0	236,9
1990	183,2	186,7

Tableau des précipitations enregistrées à Dagana et à Richard-Toll au cours de ces 3 dernières decennies (1960 - 1990).

(Sources: ASECNA et ORSTOM).

A - TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DE LA PIEZOMETRIE

Pr./ Ri. : province / rive

N°ouvr. : N° ouvrage

Int. pr. : intervalle de profondeur

Crép. : profondeur totale du piézomètre

Couv. : hauteur de la couverture / 0 IGN

/ 0 IGN : profondeur de crépine / 0 IGN

D/c. e. : distance de l'ouvrage / cours d'eau

NPmin : niveau piézométrique minimal

NPmax : niveau piézométrique maximal

NPJuin : niveau piézométrique du mois de Juin

NPOct. : niveau piézométrique du mois d'Octobre

Dif. M-m : différence entre NPmax et NPmin

Dif. O-J : différence entre NPOct. et NPJuin

Pr./Ri.	N° ouvr.	Int.pr	Crép.	Couv.	/OIGN	D/c. e.	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1989	1989	1989	1989	1989	1989
							NPmin	NPJuin	NPmax	NP Oct.	Dif.M-rn	Dif.O-J	NPmin	NPJuin	NPmax	NP Oct.	Dif.M-rn	Dif.O-J
							(m)	(m)	(m)	(m)	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
A / D	DA 52	0-19	6.35	3.86	2.49	2.50	-1.00	-1.00	1.50	0.43	2.50	1.43	-0.77	-0.77	1.08	1.08	1.85	1.85
A / D	DA 61	0-19	6.47	3.26	3.21	0.20	0.19	0.35	1.82	1.82	1.63	1.47	0.02	0.02	0.86	0.86	0.84	0.84
A / D	DA 49	0-19	6.45	2.73	3.72	1.45	0.18	0.21	1.58	1.58	1.40	1.37	0.17	0.21	1.63	1.63	1.46	1.42
A / G	GA 129	0-19	6.45	3.44	3.01	2.60	0.29	0.42	1.05	0.37	0.76	-0.05	0.11	0.11	1.89	1.80	1.78	1.69
A / G	GA 134	0-19	6.48	3.27	3.21	3.85	-0.51	-0.51	0.94	-0.29	1.45	0.22	-0.83	-0.46	1.70	1.55	2.53	2.01
A / G	GA 135	0-19	6.52	3.47	3.05	5.40	-0.01	-0.01	0.80	0.05	0.81	0.06	-0.30	-0.19	1.98	1.95	2.28	2.14
A / G	GA 138	0-19	6.52	3.31	3.21	3.55	-0.28	-0.27	0.12	-0.13	0.40	0.14	-0.58	-0.58	1.23	1.19	1.81	1.77
A / G	GA 132	0-19	6.54	3.19	3.35	3.00	0.38	0.54	1.13	0.70	0.75	0.16	0.13	0.13	1.69	1.69	1.56	1.56
B / G	GA 143	0-19	6.54	3.41	3.13	6.30	1.26	1.26	2.51	2.40	1.25	1.14	1.24	1.27	2.47	2.47	1.23	1.20
A / D	DA 54	0-19	6.51	3.03	3.48	0.30	0.16	0.16	1.41	1.29	1.25	1.13	-0.03	0.02	1.36	1.36	1.39	1.34
A / D	DA 43	0-19	6.58	3.71	2.87	1.70	0.18	0.18	1.32	0.69	1.14	0.51	0.17	0.26	1.39	1.36	1.22	1.10
A / D	DA 59	0-19	6.56	4.22	2.34	0.40	0.23	0.32	0.87	0.23	0.64	-0.09	0.27	0.27	0.79	0.79	0.52	0.52
B / G	GA 149	0-19	6.61	3.92	2.69	4.00	1.82	1.89	2.66	2.64	0.84	0.75	1.76	1.76	2.63	2.63	0.87	0.87
A / D	DA 40	0-19	6.62	3.84	2.78	1.40	0.17	0.25	0.68	0.68	0.51	0.43	-0.03	-0.03	0.38	0.16	0.41	0.19
A / D	DA 50	0-19	7.33	3.47	3.86	0.20	0.04	0.04	2.10	2.10	2.06	2.06	-0.05	0.06	1.68	1.68	1.73	1.62
A / G	GA 126	0-19	7.55	3.94	3.61	0.05	0.04	0.10	0.85	0.59	0.81	0.49	-0.13	-0.06	0.82	0.38	0.95	0.44
A / G	GA 127	0-19	7.58	3.40	4.18	0.05	0.12	0.12	1.15	0.37	1.03	0.25	-0.14	-0.20	1.17	0.40	1.31	0.60
A / G	GA 124	0-19	7.59	3.39	4.20	0.05	0.03	0.10	1.20	0.34	1.17	0.24	-0.19	-0.18	1.31	0.67	1.50	0.85
A / D	DA 45	0-19	8.57	3.57	5.00	1.25	0.15	0.34	1.84	1.30	1.69	0.96	0.31	0.31	1.69	1.69	1.38	1.38
A / D	DA 46	0-19	8.48	3.75	4.73	2.40	0.21	0.21	2.32	2.04	2.11	1.83	-0.02	-0.02	2.32	2.32	2.34	2.34
A / D	DA 47	0-19	8.47	4.01	4.46	1.20	0.12	0.18	2.00	1.96	1.88	1.78	0.23	0.23	2.01	1.96	1.78	1.73
A / D	DA 57	0-19	8.47	3.80	4.67	0.30	-0.09	-0.09	1.12	1.12	1.21	1.21	-0.31	-0.31	0.49	0.48	0.80	0.79
D / D	DA 90	0-19	9.63	3.85	5.78	1.60	-2.60	-2.60	-2.12	-2.35	0.48	0.25	-2.43	-2.24	-2.12	-2.21	0.31	0.03
A / D	DA 38	0-19	12.29	3.31	8.98	0.30	-0.20	-0.12	0.66	0.66	0.86	0.78	-0.43	-0.43	0.10	0.10	0.53	0.53
A / D	DA 41	0-19	12.38	2.53	9.85	3.55	-1.49	-1.49	-1.20	-1.33	0.29	0.16	-1.65	-1.65	-1.33	-1.30	0.32	0.35
A / D	DA 44	0-19	12.52	2.67	9.85	2.75	-1.42	-1.40	-1.08	-1.14	0.34	0.26	-1.51	-1.51	-1.10	-1.14	0.41	0.37
A / D	DA 62	0-19	15.45	3.13	12.32	0.05	0.21	0.42	1.44	1.44	1.23	1.02	0.11	0.11	1.02	1.02	0.91	0.91
A / D	DA 73	0-19	13.56	2.13	11.43	2.10	-0.99	-0.99	-0.51	-0.60	0.48	0.39	-1.39	-1.39	-0.76	-0.78	0.63	0.61
A / D	DA 51	19-31	12.51	2.97	9.54	2.80	-0.94	-0.94	0.41	0.02	1.35	0.96	-0.93	-0.93	0.28	0.28	1.21	1.21
A / D	DA 58	19-31	19.54	4.13	15.41	0.40	0.10	0.10	0.74	0.59	0.64	0.49	0.02	0.02	0.55	0.55	0.53	0.53
D / D	DA 80	0-19	17.43	3.52	13.91	2.40	-2.16	-2.16	-1.61	-1.61	0.55	0.55	-2.10	-2.10	-1.73	-1.73	0.37	0.37
A / D	DA 48	19-31	22.56	2.81	19.75	1.50	-1.05	-0.89	0.10	-0.36	1.15	0.53	-1.08	-1.08	-0.02	-0.05	1.06	1.03
A / D	DA 56	19-31	23.38	3.74	19.64	0.30	-0.45	-0.30	1.11	1.11	1.56	1.41	-0.30	-0.29	0.47	0.47	0.77	0.76
A / D	DA 37	19-31	30.66	3.49	27.17	0.30	-0.92	-0.88	-0.10	-0.10	0.82	0.78	-1.10	-1.00	-0.40	-0.40	0.70	0.60
A / G	GA 125	19-31	30.48	3.93	26.55	0.05	-0.72	-0.72	0.04	0.04	0.76	0.76	-0.72	-0.72	-0.13	-0.13	0.59	0.59
A / G	GA 131	19-31	30.05	3.22	26.83	3.00	0.16	0.29	0.80	0.58	0.64	0.29	-0.07	-0.07	1.45	1.45	1.52	1.52
D / D	DA 77	19-31	30.81	3.76	27.05	0.30	-2.23	-2.18	-1.74	-1.96	0.49	0.22	-2.11	-2.11	-1.72	-1.72	0.39	0.39
D / D	DA 89	19-31	30.77	3.84	26.93	1.60	-2.65	-2.55	-2.00	-2.34	0.65	0.21	-2.31	-2.31	-2.01	-2.13	0.30	0.18
A / G	GA 137	>31	40.40	3.34	37.06	3.55	0.04	0.04	0.76	0.76	0.72	0.72	0.00	0.00	0.67	0.67	0.67	0.67
A / D	DA 55	>31	50.54	3.86	46.68	0.30	-0.42	-0.27	0.98	0.98	1.40	1.25	-1.10	-1.10	0.37	0.34	1.47	1.44
B / G	GA 141	0-19	6.41	4.06	2.35	5.60	0.60	0.60	2.45	2.09	1.85	1.49	0.64	0.64	2.42	2.42	1.78	1.78
B / G	GA 144	0-19	6.62	3.98	2.64	6.10	1.06	1.26	2.70	2.68	1.64	1.42	1.24	1.24	2.59	2.59	1.35	1.35
B / G	GA 145	0-19	7.35	3.58	3.77	5.40	0.42	0.42	2.07	2.07	1.65	1.65	0.68	0.72	2.14	2.07	1.46	1.35
B / G	GA 148	0-19	8.73	2.99	5.74	4.00	-0.06	-0.06	1.21	1.09	1.27	1.15	0.04	0.04	1.02	1.02	0.98	0.98
B / G	GA 202	0-19	9.66	4.95	4.71	4.30	-0.36	-0.33	0.69	0.64	1.05	0.97	-0.16	-0.14	0.58	0.53	0.74	0.67
C / G	GA 154	0-19	6.35	2.90	3.45	0.05	-0.74	-0.74	0.36	0.36	1.10	1.10	-0.94	-0.94	0.34	0.34	1.28	1.28
C / G	GA 157	0-19	6.52	2.59	3.93	0.10	-1.43	-1.43	-0.86	-1.26	0.57	0.17	-1.55	-1.55	-1.18	-1.23	0.37	0.32
C / G	GA 159	0-19	6.94	2.60	4.34	0.60	-0.94	-0.94	0.58	0.46	1.52	1.40	-0.85	-0.85	0.59	0.59	1.44	1.44
C / G	GA 161	0-19	6.46	2.14	4.32	0.30	-0.66	-0.66	0.70	0.53	1.36	1.19	-1.22	-1.01	0.96	0.81	2.18	1.82
C / G	GA 162	0-19	6.52	2.07	4.45	1.00	-1.34	-1.34	0.44	0.44	1.78	1.78	-1.36	-1.36	0.46	0.46	1.82	1.82
C / G	GA 189	0-19	6.80	2.13	4.67	0.20	-0.28	-0.28	0.83	0.62	1.11	0.90	-0.61	-0.61	0.76	0.69	1.37	1.30
B / G	GA 200	0-19	11.56	6.31	5.25	2.00	0.29	0.29	0.47	0.42	0.18	0.13	0.40	0.41	0.59	0.54	0.19	0.13
C / G	GA 191	0-19	18.79	2.04	16.75	0.30	-0.32	-0.32	0.73	0.55	1.05	0.87	-0.57	-0.57	0.71	0.63	1.28	1.20
C / G	GA 264	0-19	18.51	2.50	16.01	0.50	-0.31	-0.31	0.63	0.49	0.94	0.80	-0.57	-0.57	0.59	0.55	1.16	1.12
C / G	GA 155	19-31	20.63	2.87	17.76	0.05	-2.50	-2.52	-2.28	-2.29	0.22	0.23	-2.48	-2.33	-2.10	-2.14	0.38	0.19
C / G	GA 158	19-31	20.45	2.71	17.74	0.60	-1.71	-1.71	-0.85	-1.01	0.86	0.70	-2.09	-1.93	1.01	1.01	3.10	2.94
C / G	GA 160	19-31	20.52	2.57	17.95	0.60	-1.03	-1.03	0.48	0.45	1.51	1.48	-0.85	-0.84	0.57	0.43	1.42	1.27
C / G	GA 194	19-31	25.75	7.93	17.82	1.00	-2.55	-2.55	-2.24	-2.40	0.31	0.15	-2.41	-2.33	-2.07	-2.08	0.34	0.25
B / G	GA 201	19-31	26.45	5.00	21.45	4.30	-0.24	-0.20	0.61	0.49	0.85	0.69	-0.06	-0.06	0.60	0.51	0.66	0.57
C / G	GA 151	19-31	30.63	2.33	28.30	1.00	-2.53	-2.53	-2.18	-2.18	0.35	0.35	-2.47	-2.29	-2.01	-2.02	0.46	0.27
B / G	GA 199	19-31	30.60	7.28	23.32	2.80	0.15	0.27	0.51	0.44	0.36	0.17	0.37	0.43	0.63	0.54	0.26	0.11
B / G	GA 147	19-31	31.00	2.92	28.08	5.50	0.49	0.54	1.05	0.92	0.56	0.38	0.03	0.43	1.03	0.87	1.00	0.44
C / G	GA 152	>31	43.30	2.36	40.94	1.00	-2.44	-2.40	-2.13	-2.13	0.31	0.27	-2.44	-2.27	-1.79	-1.79	0.65	0.48
C / G	GA 192	>31	49.92	2.05	47.87	0.03	-0.27	-0.27	0.72	0.56	0.99	0.83	-0.62	-0.62	0.72	0.64	1.34	1.26
B / G	GA 146	>31	50.00	3.02	46.98	5.50	0.47	0.54	0.66	0.61	0.19	0.07	0.52	0.57	0.65	0.56	0.13	-0.01
B / G	GA 198	>31	49.48	7.27	42.21	2.80	0.30	0.33	0.79	0.71	0.49	0.38	0.37	0.39	0.80	0.66	0.43	0.27
B / G	GA 203	>31	51.03	3.98	47.05	7.60	-0.49	-0.33	0.11	0.04	0.60	0.37	-0.25	-0.21	0.08	0.03	0.33	0.24

Pr./Ri.	N° ouvr.	Int.pr	Crép.	Couv.	/OIGN	D/c. e.	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1989	1989	1989	1989	1989	1989
							NPmin	NPJuin	NPmax	NP Oct.	Dif.M-r	Dif.O-J	NPmin	NPJuin	NPmax	NP Oct.	Dif.M-r	Dif.O-J
							(m)	(m)	(m)	(m)	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
E z6 / D	DA 94	0-19	6.64	4.45	2.19	0.10	-1.65	-1.65	-0.57	-0.95	1.08	0.70	-1.35	-1.34	-0.45	-0.54	0.90	0.80
E z6 / G	DA 95	0-19	9.03	4.52	4.51	1.30	-2.22	-2.21	-1.79	-1.79	0.43	0.42	-2.02	-1.78	-1.65	-1.70	0.37	0.08
E z6 / G	GA 211	0-19	8.50	3.98	4.52	1.70	-1.70	-1.39	-1.05	-1.05	0.65	0.34	-1.46	-1.46	-1.02	-1.02	0.44	0.44
E z8 / G	GA 163	0-19	5.58	2.91	2.67	0.25	-1.09	-1.09	1.32	1.32	2.41	2.41	-1.93	-1.60	0.96	0.85	2.89	2.45
E z8 / G	GA 165	0-19	9.68	4.70	4.98	1.10	-1.13	-1.12	0.79	0.79	1.92	1.91	-0.94	-0.94	0.80	0.65	1.74	1.59
E z8 / G	GA 169	0-19	9.43	3.93	5.50	1.85	-1.15	-1.10	0.20	0.20	1.35	1.30	-0.97	-0.93	0.10	-0.15	1.07	0.78
E z8 / G	GA 173	0-19	9.49	4.36	5.13	2.10	-0.21	-0.21	1.44	1.43	1.65	1.64	-0.49	-0.46	0.86	0.64	1.35	1.10
E z8 / G	GA 176	0-19	9.50	4.45	5.05	3.95	-1.20	-1.01	0.27	0.04	1.47	1.05	-0.88	-0.82	0.15	-0.11	1.03	0.71
E z8 / G	GA 180	0-19	7.51	5.11	2.40	0.70	-0.35	-0.35	2.03	1.70	2.38	2.05	-0.04	0.06	1.51	1.42	1.55	1.36
E z8 / G	GA 182	0-19	8.56	6.16	2.40	0.05	0.26	0.26	1.91	1.91	1.65	1.65	-0.44	0.10	1.64	1.58	2.08	1.48
E z8 / G	GA 186	0-19	8.54	5.67	2.87	1.60	-1.36	-1.36	-0.05	-0.05	1.31	1.31	-1.16	-1.13	-0.18	-0.28	0.98	0.85
E z7 / D	DA 100	0-19	15.47	4.25	11.22	0.30	-1.18	-1.18	-0.76	-0.76	0.42	0.42	-1.17	-1.17	-0.75	-0.85	0.42	0.32
E z6 / G	GA 207	0-19	17.66	4.70	12.96	0.10	-2.07	-2.07	-1.59	-1.59	0.48	0.48	-2.00	-1.93	-1.50	-1.56	0.50	0.37
E z8 / G	GA 164	19-31	20.59	2.96	17.63	0.25	-1.49	-1.49	-0.83	-0.83	0.66	0.66	-1.44	-1.24	-0.83	-0.86	0.61	0.38
E z8 / G	GA 166	19-31	20.53	4.75	15.78	1.10	-1.12	-1.12	0.82	0.82	1.94	1.94	-0.91	-0.88	0.82	0.71	1.73	1.59
E z8 / G	GA 170	19-31	20.54	3.93	16.61	1.85	-1.25	-1.23	-0.15	-0.15	1.10	1.08	-1.14	-0.99	-0.27	-0.34	0.87	0.65
E z8 / G	GA 177	19-31	20.45	4.47	15.98	3.95	-1.06	-0.99	0.18	0.04	1.24	1.03	-0.89	-0.83	0.17	-0.12	1.06	0.71
E z7 / D	DA 101	19-31	21.56	4.37	17.19	2.15	-1.61	-1.61	-0.85	-1.13	0.76	0.48	-1.21	-1.21	-0.78	-0.85	0.43	0.36
E z7 / D	DA 96	19-31	23.20	5.04	18.16	0.10	-1.11	-1.11	-0.45	-0.72	0.66	0.39	-0.88	-0.88	-0.35	-0.38	0.53	0.50
E z6 / D	DA 92	19-31	23.30	3.70	19.60	0.40	-1.76	-1.76	-0.96	-1.42	0.80	0.34	-1.60	-1.60	-0.50	-0.75	1.10	0.85
E z6 / G	GA 210	19-31	25.42	3.92	21.50	1.70	-1.72	-1.42	-1.05	-1.05	0.67	0.37	-2.28	-1.52	-1.05	-1.05	1.23	0.47
E z6 / G	GA 213	19-31	27.47	10.28	17.19	3.00	-2.45	-2.38	-2.08	-2.19	0.37	0.19	-2.22	-2.11	-1.92	-1.98	0.30	0.13
E z8 / G	GA 188	19-31	29.80	5.84	23.96	0.40	-1.31	-1.31	-0.26	-0.26	1.05	1.05	-1.31	-1.10	-0.39	-0.47	0.92	0.63
E z6 / G	GA 206	19-31	30.59	4.76	25.83	0.10	-2.32	-2.07	-1.62	-1.62	0.70	0.45	-2.04	-1.90	-1.24	-1.54	0.80	0.36
E z6 / G	GA 208	19-31	30.55	2.25	28.30	0.90	-2.23	-2.23	-1.84	-1.84	0.39	0.39	-2.20	-2.04	-1.65	-1.73	0.55	0.31
E z7 / D	DA 99	>31	36.34	4.16	32.18	0.30	-1.55	-1.55	-0.73	-1.33	0.82	0.22	-1.24	-1.24	-0.69	-0.72	0.55	0.52
E z6 / G	GA 212	>31	50.09	4.79	45.30	0.10	-2.03	-1.98	-1.55	-1.56	0.48	0.42	-1.91	-1.77	-1.39	-1.43	0.52	0.34
E z7 / D	DA 98	>31	58.24	4.07	54.17	0.40	-1.66	-1.66	-0.93	-1.48	0.73	0.18	-1.50	-1.50	-0.79	-0.80	0.71	0.70
E z8 / G	GA 168	0-19	8.49	3.85	4.64	0.45	--	--	--	--	--	--	-0.95	-0.95	-0.36	-0.42	0.59	0.53
A / D	DA 53	0-19	6.38	3.81	2.57	2.70	-1.08	--	0.27	--	1.35	--	-1.22	-1.20	-0.33	-0.33	0.89	0.87
A / D	DA 60	0-19	6.55	4.58	1.97	1.10	-0.05	-0.03	0.56	--	0.61	--	0.08	0.20	0.52	0.26	0.44	0.06
B / G	GA 140	0-19	9.46	3.77	5.69	7.50	-0.01	-0.01	1.22	--	1.23	--	0.15	0.15	1.01	1.01	0.86	0.86
B / G	GA 142	0-19	6.38	3.83	2.55	6.40	--	--	--	--	--	--	1.09	1.09	2.83	2.47	1.74	1.38
B / G	GA 204	0-19	7.57	3.98	3.59	7.60	--	--	--	--	--	--	-0.33	-0.29	-0.11	-0.14	0.22	0.15
C / G	GA 153	0-19	6.34	2.45	3.89	1.10	--	-0.96	--	--	--	--	--	-0.79	--	--	--	--
C / G	GA 197	0-19	6.67	1.17	5.50	0.05	-1.26	-1.21	0.55	--	1.81	--	-1.42	-1.42	0.17	0.06	1.59	1.48
C / G	GA 196	19-31	30.68	1.19	29.49	0.02	-1.09	-1.03	0.19	--	1.28	--	-1.41	-1.33	0.14	0.08	1.55	1.41
C / D	DA 81	19-31	23.26	2.97	20.29	1.00	-1.86	-1.86	-1.25	--	0.61	--	-1.71	-1.71	-1.26	--	0.45	--
C / D	DA 84	19-31	20.60	3.53	17.07	0.30	--	--	--	--	--	--	-1.80	-1.80	-0.31	--	1.49	--
C / D	DA 85	19-31	25.61	3.63	21.98	0.30	--	--	--	--	--	--	-1.76	-1.76	0.27	--	2.03	--
C / D	DA 83	>31	39.71	3.07	36.64	0.30	--	--	--	--	--	--	-1.85	-1.85	-1.66	--	0.19	--
D / D	DA 79	19-31	25.30	3.46	21.84	2.40	-2.14	-2.14	-1.43	--	0.71	--	-1.95	-1.95	-1.46	-1.46	0.49	0.49
D / D	DA 88	19-31	21.42	3.75	17.67	1.10	-2.44	--	-2.10	-2.16	0.34	--	-2.10	-2.10	-1.85	-1.85	0.25	0.25
E z7 / D	DA 102	0-19	10.44	4.35	6.09	2.00	-1.73	--	-0.90	-1.21	0.83	--	-1.29	-1.29	-0.76	-0.87	0.53	0.42
E z7 / D	DA 106	19-31	30.56	3.84	26.72	12.20	-2.70	-2.70	-2.16	--	0.54	--	--	-2.47	-2.16	--	--	--
C / G	GA 150	0-19	7.53	2.39	5.14	1.00	-0.62	-0.62	0.11	0.05	0.73	0.67	-0.74	-0.74	0.36	0.20	1.10	--
E z8 / G	GA 167	0-19	7.54	3.95	3.59	1.30	-1.63	-1.63	0.91	-0.29	2.54	1.34	--	--	--	--	--	--
E z6 / G	GA 209	0-19	7.61	2.25	5.36	0.90	-2.02	-2.02	-0.80	-1.63	1.22	0.39	--	-1.87	-1.32	-1.41	--	0.46
E z7 / D	DA 103	>31	50.12	4.69	45.43	4.40	-1.82	-1.82	-0.98	-1.64	0.84	0.18	-1.32	-1.32	-0.68	--	0.64	--
E z7 / D	DA 104	19-31	26.57	4.70	21.87	4.30	-1.66	-1.66	-0.81	-0.42	0.85	1.24	-1.21	-1.21	-0.57	--	0.64	--
E z7 / D	DA 105	0-19	6.53	4.69	1.84	4.30	-0.83	-0.78	-0.44	-0.44	0.39	0.34	-0.89	-0.89	-0.50	--	0.39	--
D / D	DA 91	19-31	27.44	3.47	23.97	1.80	-2.79	-2.79	-2.09	-2.65	0.70	0.14	--	--	--	--	--	--
D / D	DA 75	>31	50.62	3.95	46.67	1.50	-1.98	-1.98	-1.65	-1.71	0.33	0.27	-2.14	--	-1.44	--	0.70	--
D / D	DA 78	0-19	9.61	3.85	5.76	0.30	-2.50	-2.46	-1.69	-2.23	0.81	0.23	--	--	--	--	--	--
C / G	GA 156	0-19	7.73	2.71	5.02	2.40	-2.38	-2.34	-1.94	-1.94	0.44	0.40	-2.45	-2.26	-1.81	--	0.64	--
E z8 / G	GA 178	0-19	8.94	5.28	3.66	1.75	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
E z8 / G	GA 171	0-19	7.12	2.96	4.16	3.15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
A / G	GA 128	0-19	7.48	3.35	4.13	1.30	--	--	--	--	--	--	-0.61	-0.61	1.83	1.83	2.44	2.44
A / G	GA 130	0-19	6.57	3.21	3.36	2.00	-0.86	--	--	--	--	--	0.91	0.90	1.31	1.31	0.40	0.41
A / D	DA 53	0-19	6.38	3.81	2.57	2.70	-1.08	--	0.27	--	1.35	--	-1.22	-1.20	-0.33	-0.33	0.89	0.87
A / G	GA 139	0-19	6.46	2.85	3.61	5.20	--	--	--	--	--	--	-0.81	-0.81	0.42	--	1.23	--
E z8 / G	GA 181	0-19	15.53	5.09	10.44	0.70	--	--	--	--	--	--	0.10	0.10	1.47	1.40	1.37	1.30

B - CARTES DE FLUCTUATIONS

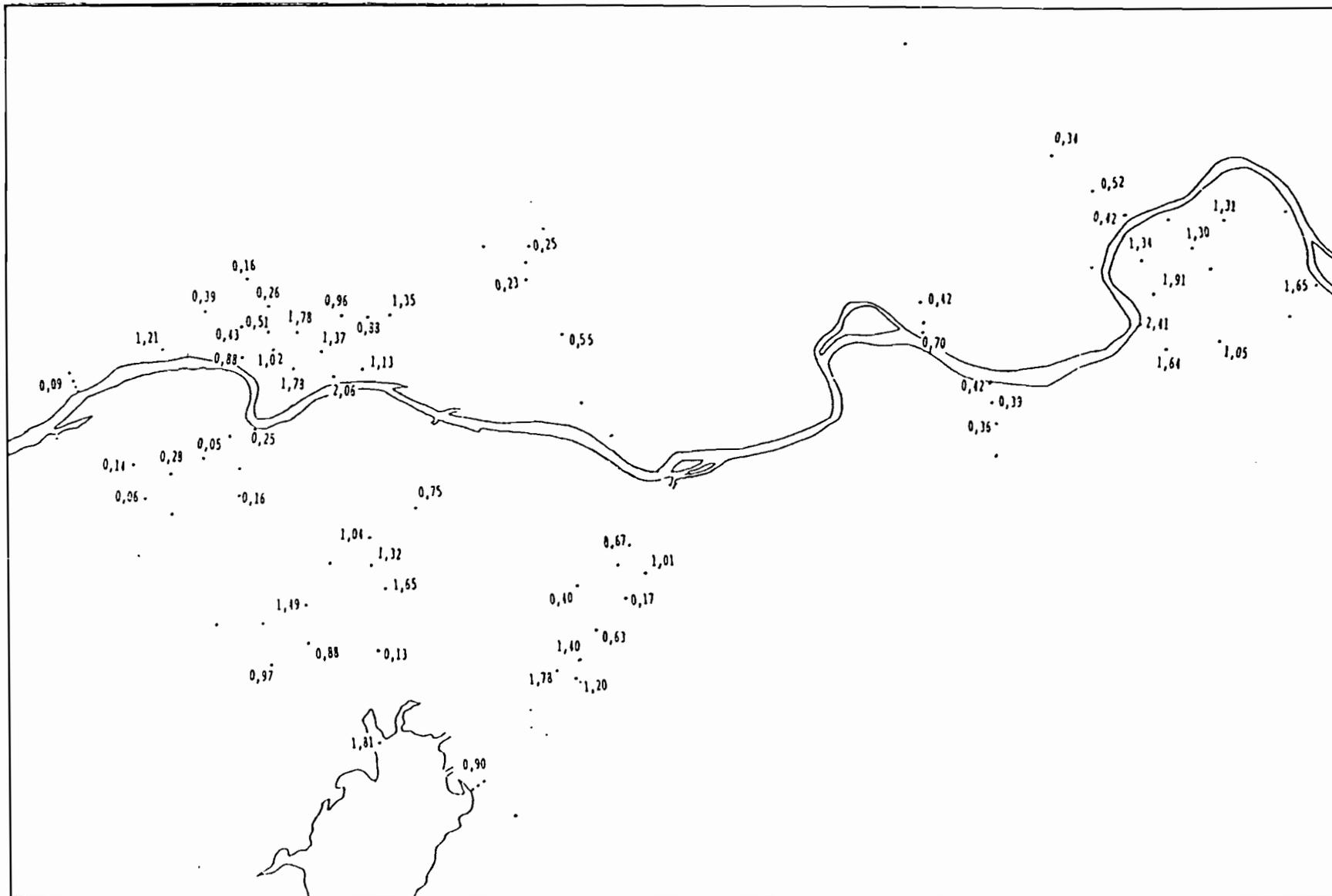


Fig. 1 - Différence entre le NP Juin et le NP Octobre 1988.

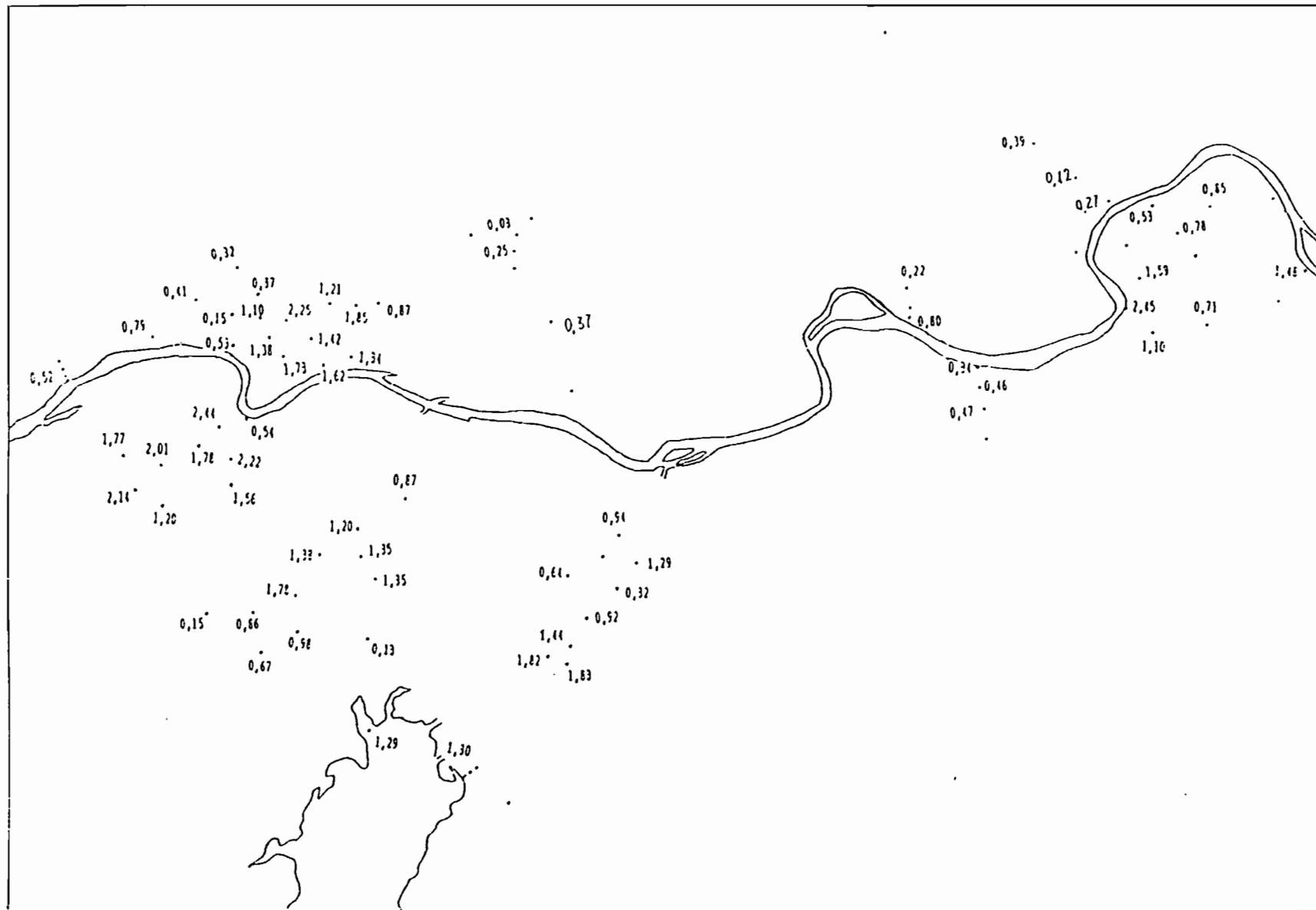


Fig. 2 - Différence entre le NP Juin et le NP Octobre 1989.

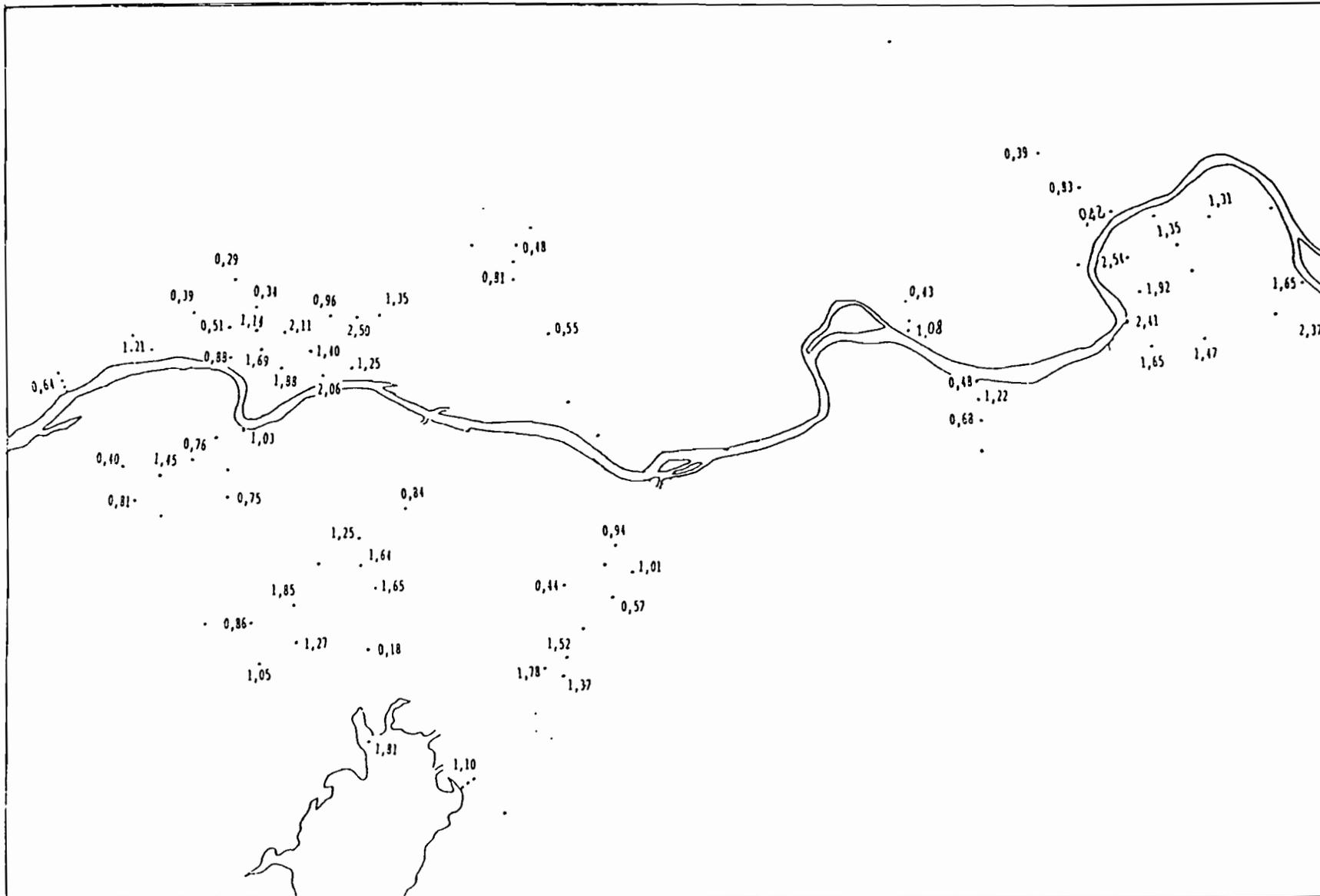


Fig. 3 - Différence entre le NPmax et le NPmin 1988.

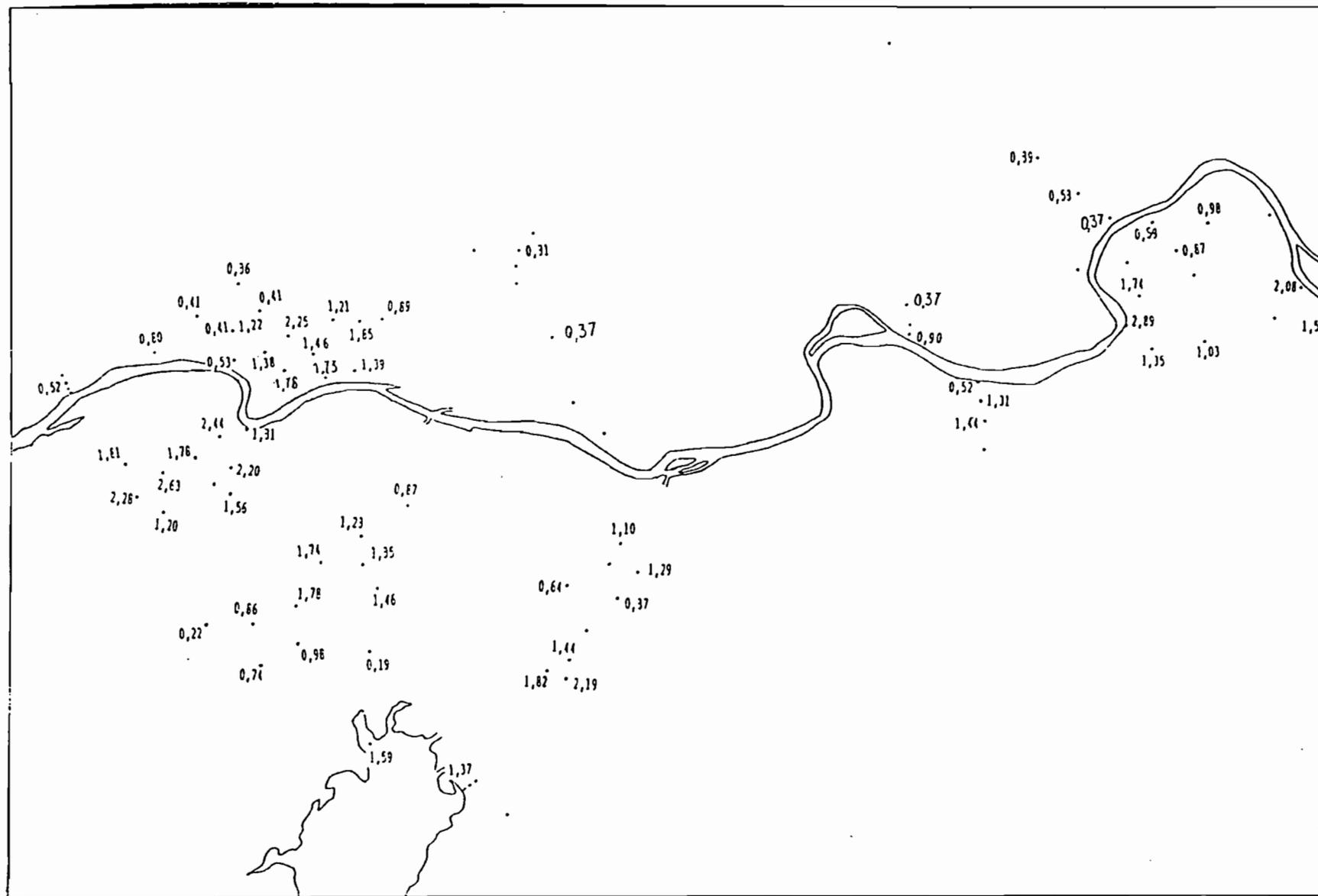


Fig. 4 - Différence entre le NPmax et le NPmin 1989.

C - SUIVIS PIEZOMETRIQUES

NP : niveau piézométrique

P : N° du piézomètre

C/S : profondeur de la crépine / surface du sol

C/ IGN : profondeur de la crépine / 0 IGN

IGN : épaisseur de la couverture au dessus du 0 IGN

D/FS : distance du piézomètre / Fleuve Sénégal

D/LG : distance du piézomètre / Lac de Guiers

D/CT : distance du piézomètre / Canal de la Taoué

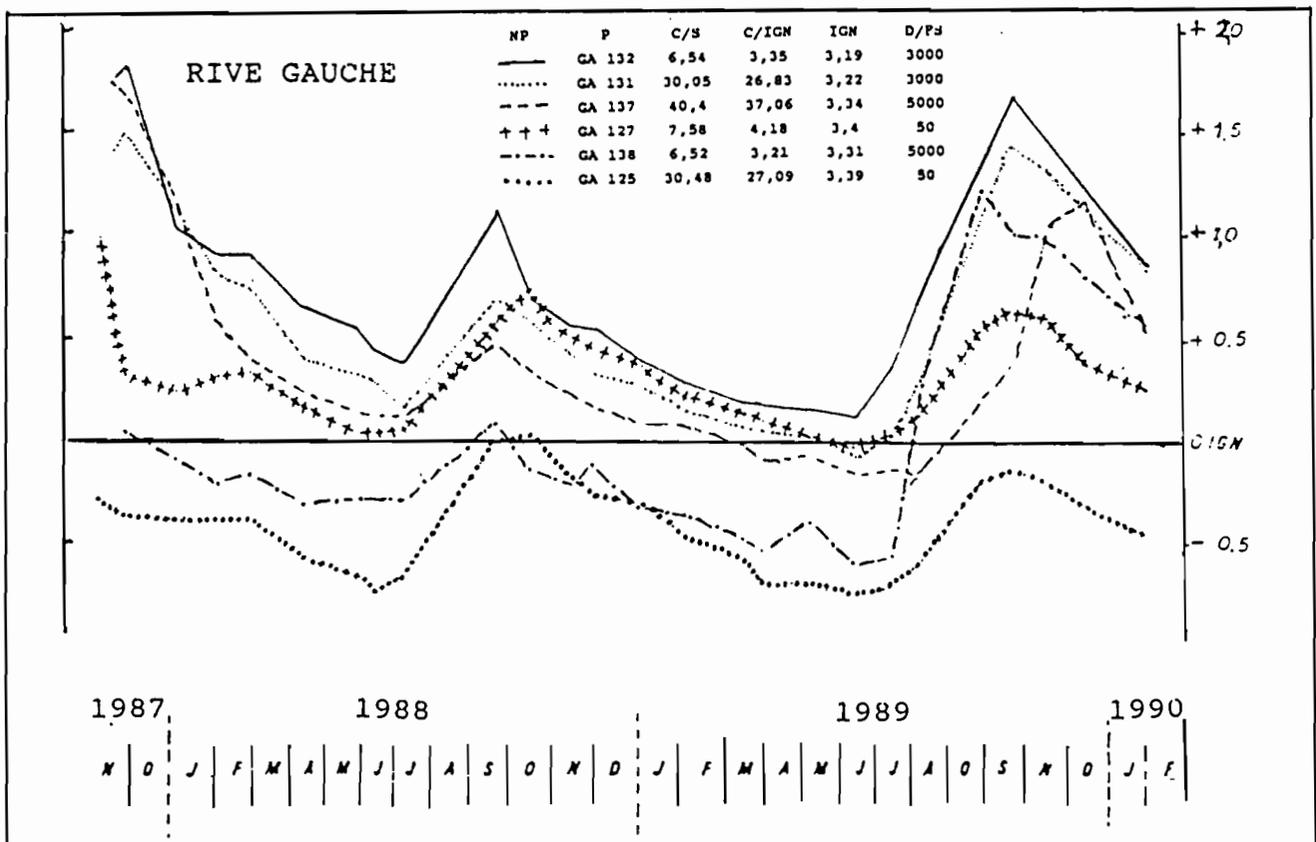
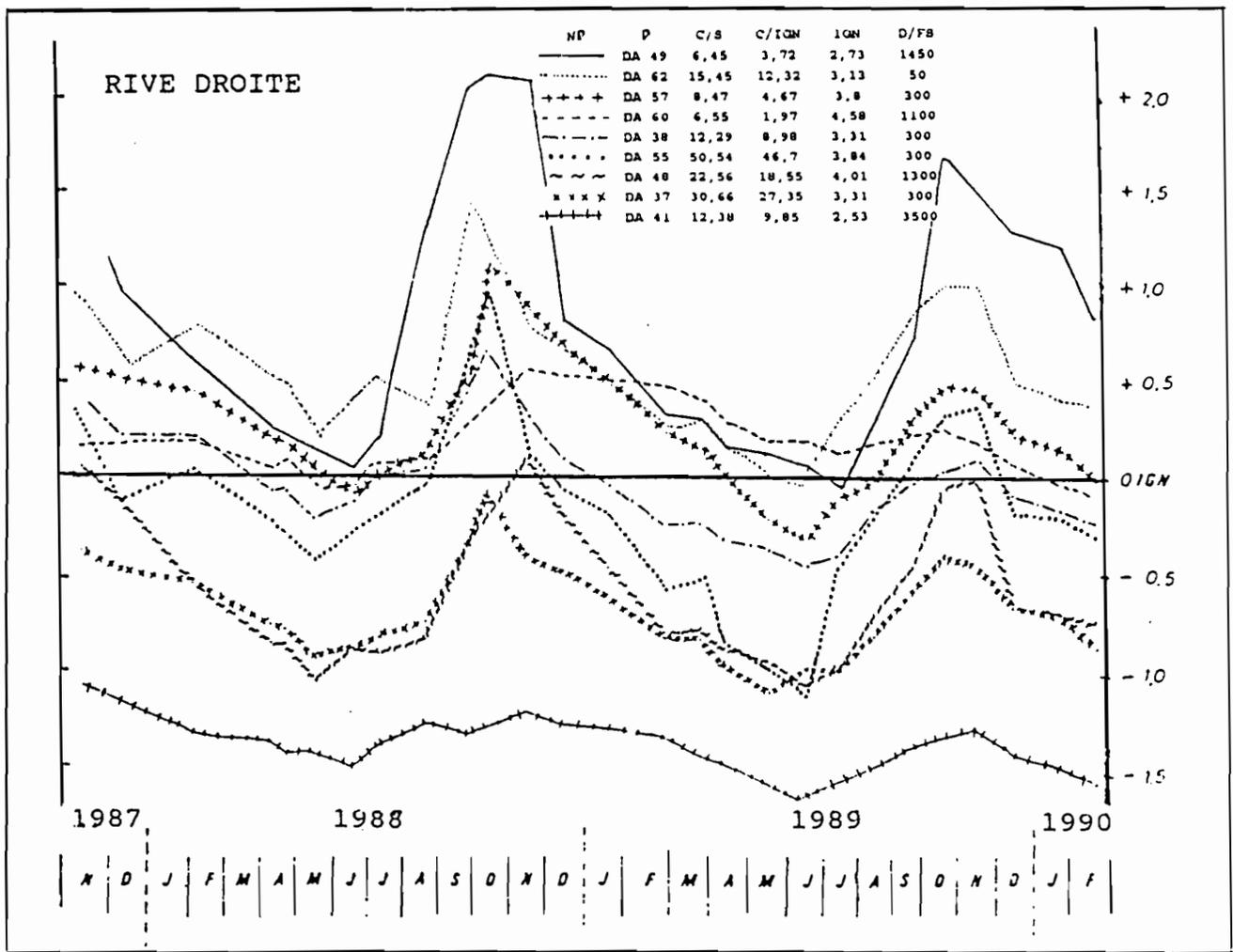


Fig. 5 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PA).

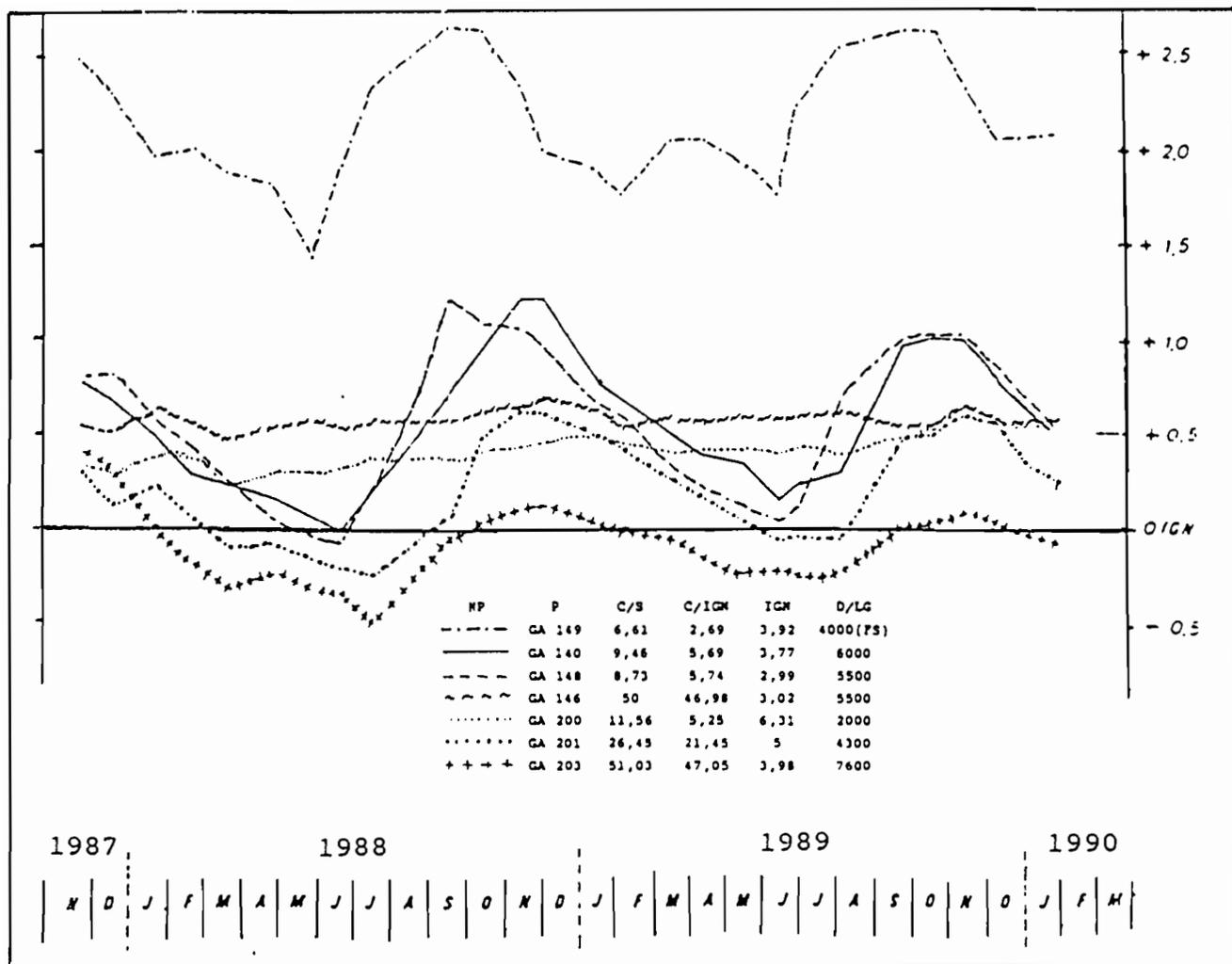


Fig. 6 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PB).

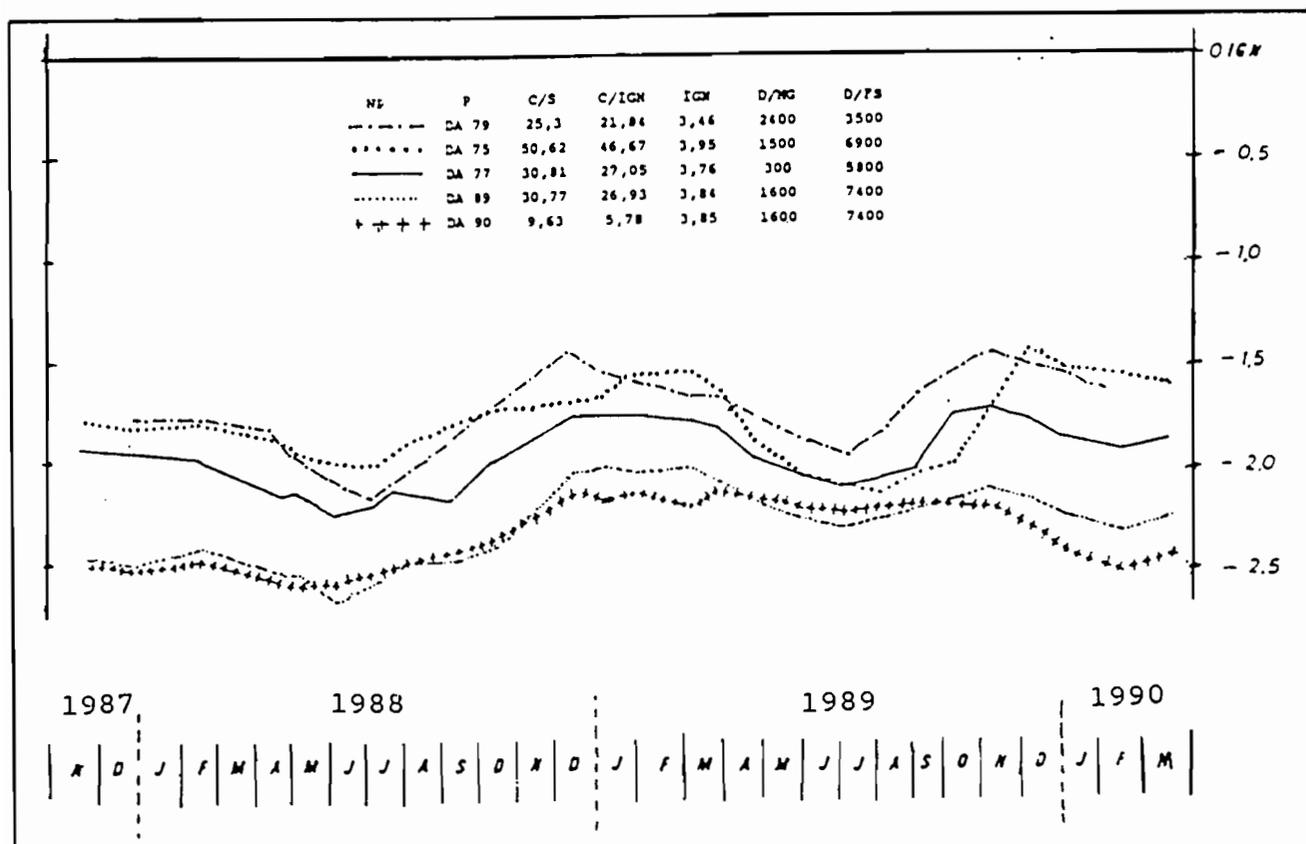


Fig. 7 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PD).

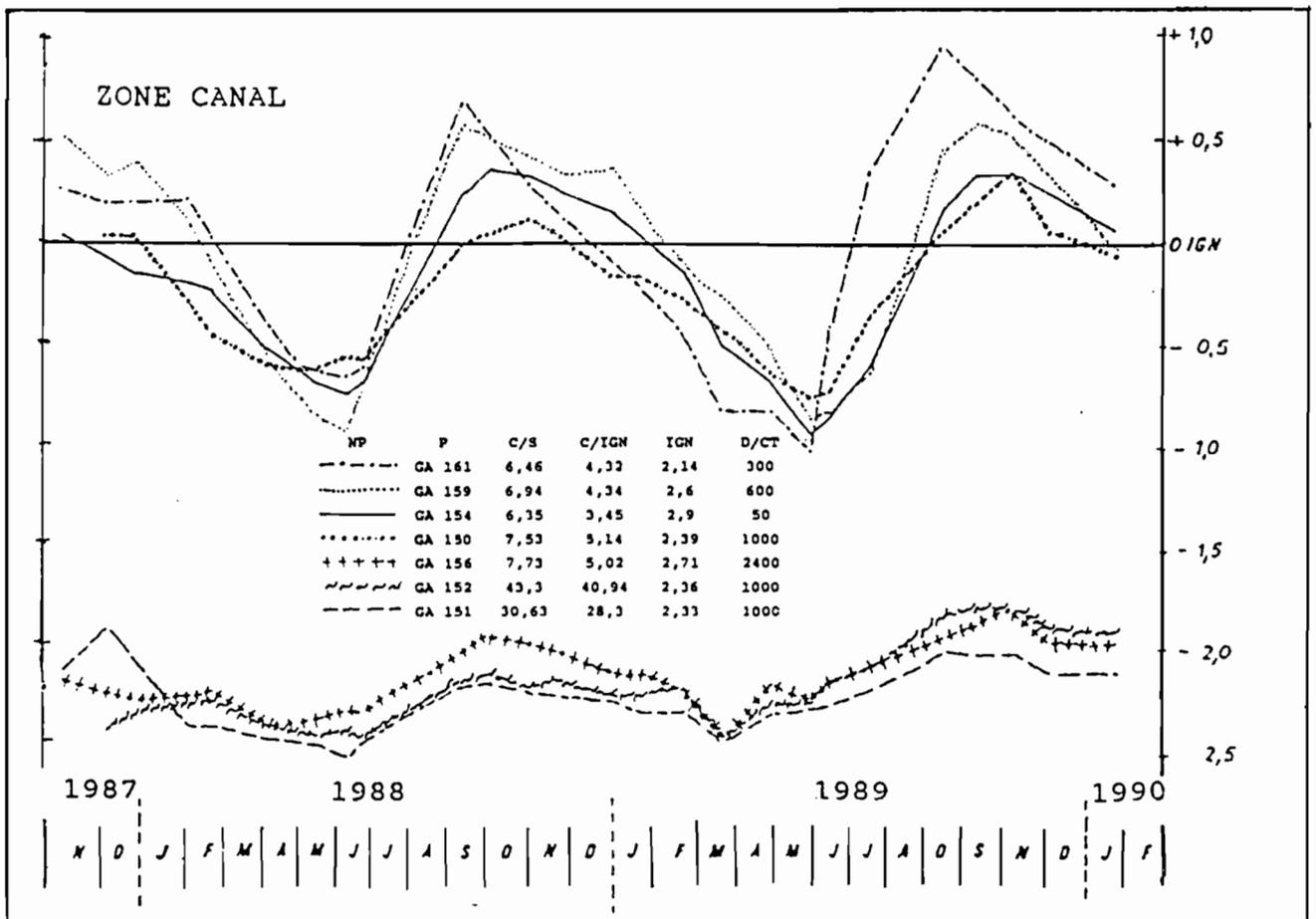
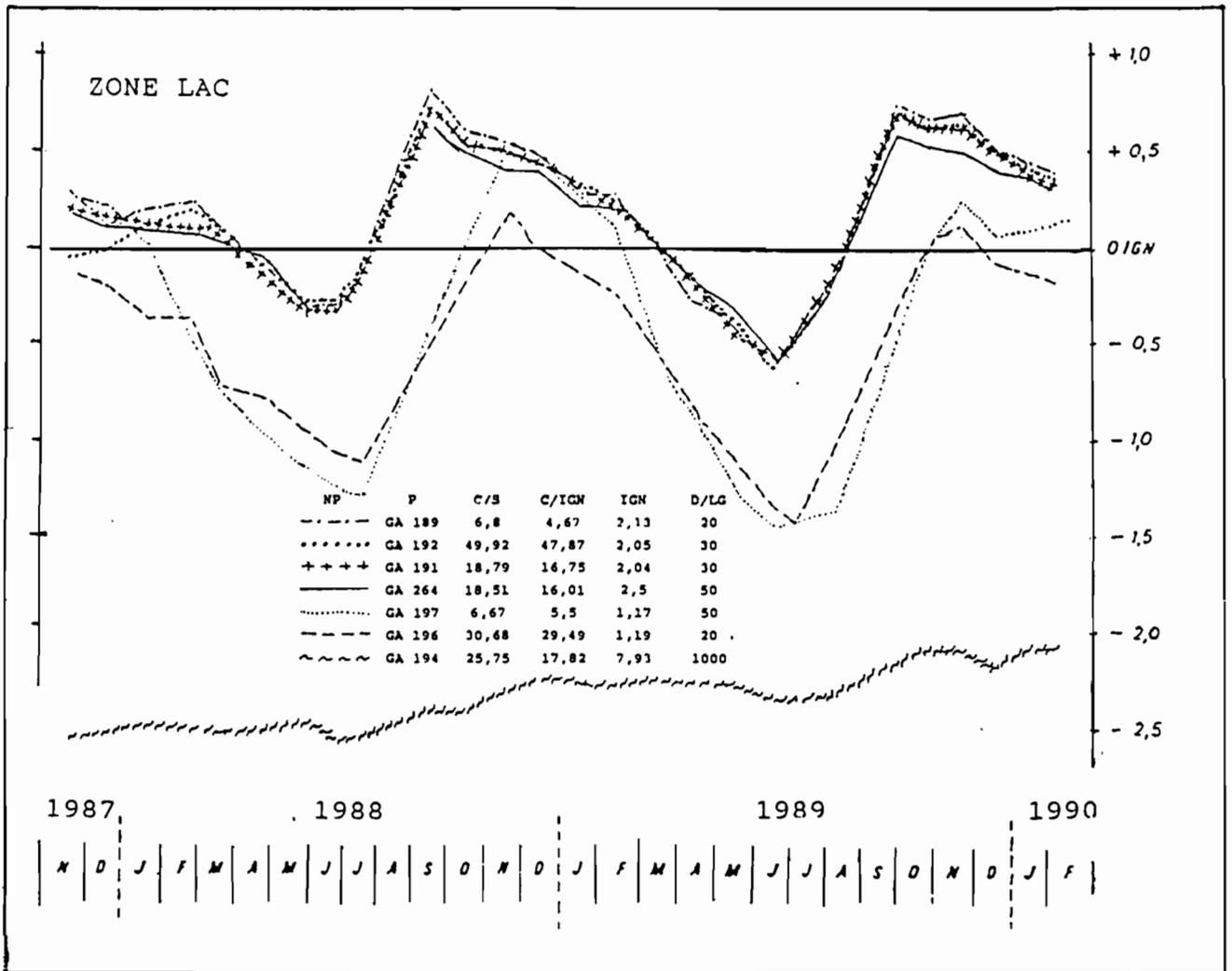


Fig. 8 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PC).

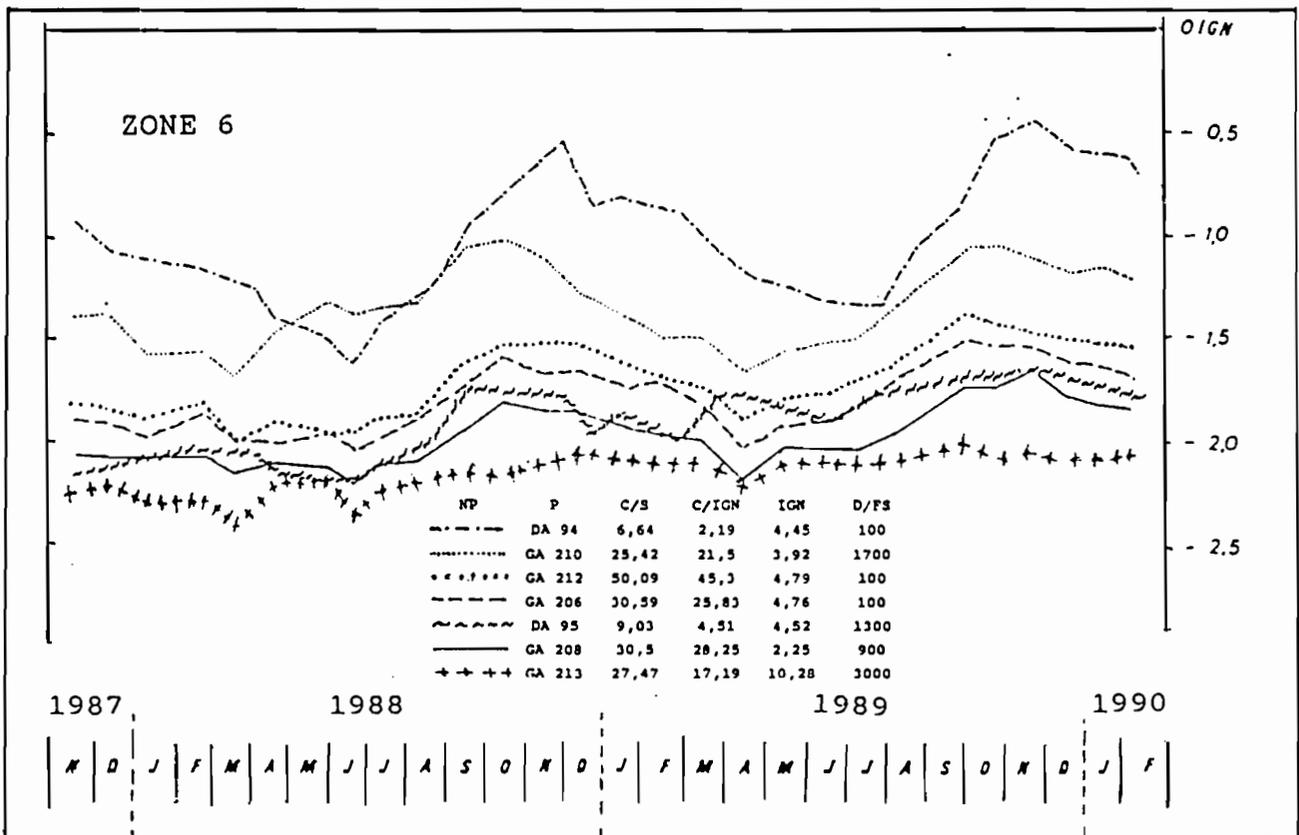
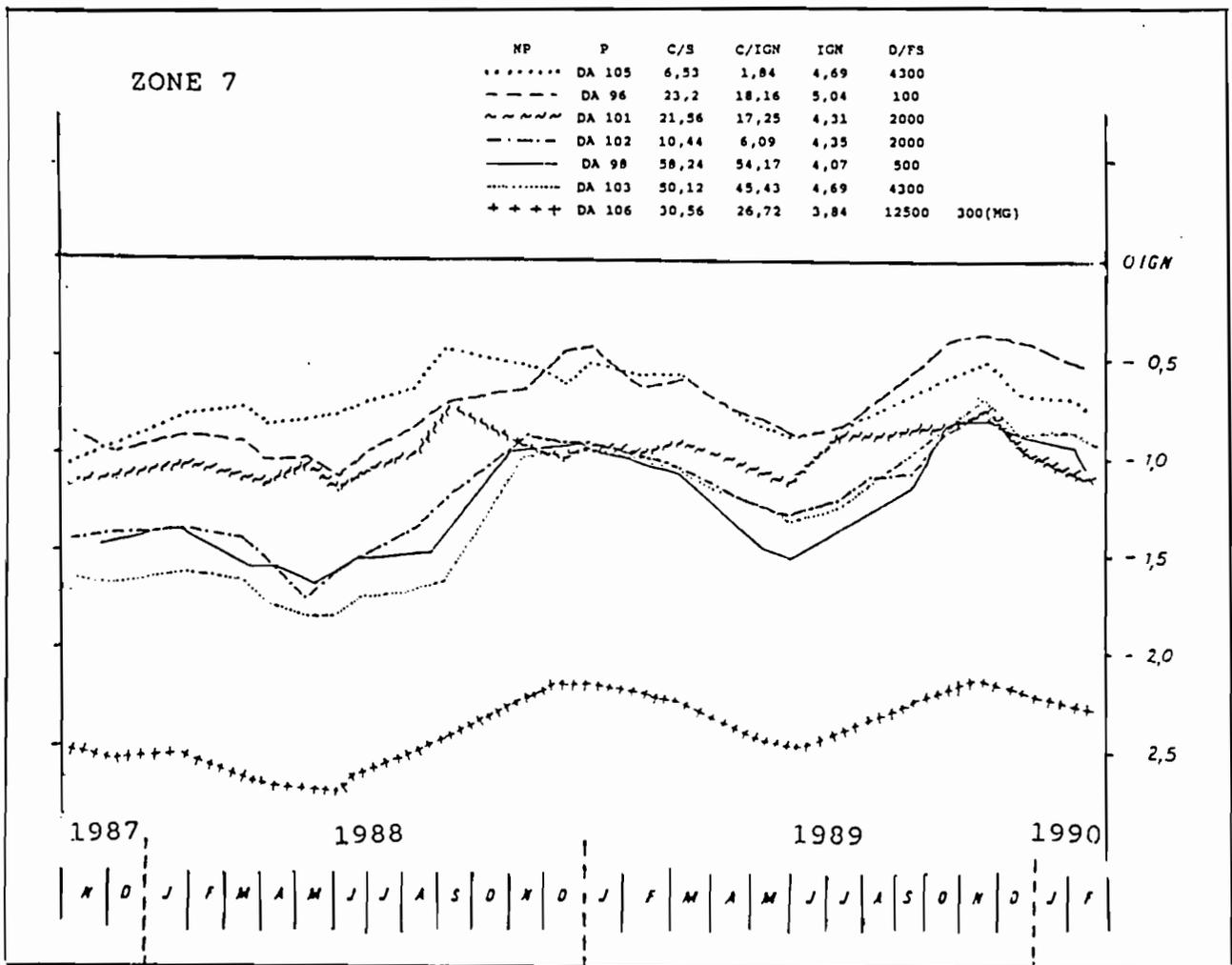


Fig. 9 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PE, Z6 & Z7).

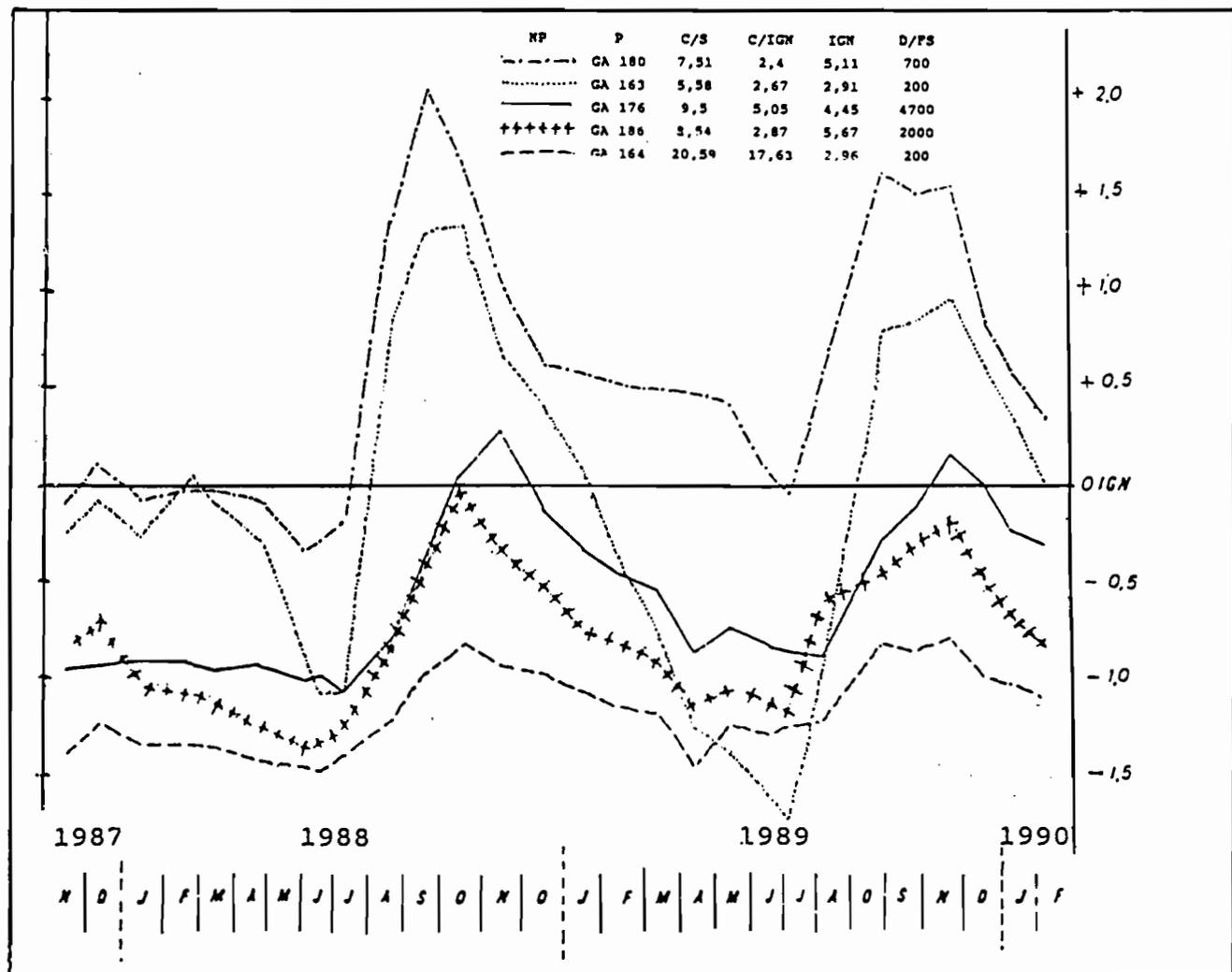


Fig. 10 - Evolution de la piézométrie en fonction du temps (PE, Z8).

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DE LA CHIMIE DES EAUX

N° ouvrage	Pr/Riv	pf.crep (m)	Charge mle		Cl		SO4		HCO3		NO3		CO3		Som. anions		Ca		Mg		Na		K		Som. cations		Condu mS	pH	SiO2 mg/l	Cl/Na Cl/SO4	Mg/Ca Na/K	Na+K/Na Ca+M Ca+M	Année d'analyse			
			meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%								meq/l	r%	meq/l
DA 37	A/D	30.66	249.76	100	126.70	50.73	0.00	0.00	4.66	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00	131.36	52.59	3.90	1.56	6.80	2.72	107.70	43.12	--	--	118.40	47.41	6.50	6.50	15.00	1.18	--	1.74	--	--	10.07	1988
DA 38	A/D	12.29	668.96	100	338.00	50.53	7.66	1.10	15.00	2.24	0.00	0.00	0.00	0.00	360.66	53.91	18.60	2.78	28.70	4.29	261.00	39.02	--	--	308.30	46.09	2.43	8.00	15.00	1.30	44.13	1.54	--	--	5.52	1988
DA 41	A/D	12.38	216.33	100	92.90	42.94	20.83	9.60	7.30	3.37	0.00	0.00	0.00	0.00	121.03	55.95	16.50	7.63	6.80	3.14	72.00	33.28	--	--	95.30	44.05	3.70	7.00	50.00	1.29	4.46	0.41	--	--	3.09	1988
DA 43	A/D	6.58	97.43	100	43.90	45.06	8.33	8.55	2.40	2.46	0.00	0.00	0.00	0.00	54.63	56.07	3.90	4.00	4.90	5.03	34.00	34.90	--	--	42.80	43.93	2.91	7.50	40.00	1.29	5.27	1.26	--	--	3.86	1988
DA 44	A/D	12.52	573.89	100	287.30	50.06	13.89	2.42	5.50	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	306.69	53.44	13.40	2.33	31.80	5.54	222.00	38.68	--	--	267.20	46.56	10.00	8.00	15.00	1.29	20.68	2.37	--	--	4.91	1988
DA 55	A/D	50.54	841.63	100	405.30	48.16	8.30	0.99	5.33	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	418.93	49.78	20.70	2.46	43.00	5.11	359.00	42.66	--	--	422.70	50.22	14.00	6.50	35.00	1.13	48.83	2.08	--	--	5.64	1988
DA 60	A/D	6.55	208.23	100	105.60	50.71	8.33	4.00	3.10	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	117.03	56.20	5.70	2.74	5.50	2.64	80.00	38.42	--	--	91.20	43.80	4.80	7.50	35.00	1.32	12.67	0.96	--	--	7.14	1988
DA 61	A/D	6.47	336.72	100	169.00	50.19	10.42	3.09	2.70	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	182.12	54.09	14.40	4.28	10.20	3.03	130.00	38.61	--	--	154.60	45.91	7.00	7.00	30.00	1.30	16.22	0.71	--	--	5.28	1988
DA 62	A/D	15.45	212.07	100	101.10	47.67	6.70	3.16	2.17	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	109.97	51.86	6.20	2.92	5.90	2.78	90.00	42.44	--	--	102.10	48.14	1.65	6.50	15.00	1.12	15.09	0.95	--	--	7.44	1988
DA 65	A/D	--	128.23	100	38.90	30.34	33.33	25.99	1.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	73.23	57.11	7.50	5.85	17.50	13.65	30.00	23.40	--	--	55.00	42.89	4.50	6.00	70.00	1.30	1.17	2.33	--	--	1.20	1988
DA 73	A/D	13.56	214.03	100	101.50	47.42	8.33	3.89	4.40	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	114.23	53.37	11.40	5.33	10.40	4.86	78.00	36.44	--	--	99.80	46.63	7.90	7.00	20.00	1.30	12.18	0.91	--	--	3.58	1988
DB 229	A/D	--	36.10	100	9.70	26.87	5.60	15.51	2.00	5.54	0.00	0.00	0.40	1.11	17.70	49.03	3.60	9.97	7.30	20.22	7.50	20.78	--	--	18.40	50.97	1.34	6.50	35.00	1.29	1.73	2.03	--	--	0.69	1988
DB 230	A/D	--	53.45	100	12.00	22.45	13.75	25.72	0.60	1.12	0.00	0.00	0.20	0.37	26.55	49.67	6.20	11.60	11.40	21.33	9.30	17.40	--	--	26.90	50.33	0.78	5.50	45.00	1.29	0.87	1.84	--	--	0.53	1988
DB 231	A/D	--	140.43	100	44.80	31.90	33.33	23.73	1.70	1.21	0.00	0.00	0.10	0.07	79.93	56.92	9.20	6.55	16.70	11.89	34.60	24.64	--	--	60.50	43.08	5.10	8.00	30.00	1.29	1.34	1.82	--	--	1.34	1988
DB 232	A/D	--	22.14	100	8.00	36.13	1.04	4.70	1.40	6.32	0.00	0.00	0.50	2.26	10.94	49.41	3.10	14.00	2.10	9.49	6.00	27.10	--	--	11.20	50.59	0.98	6.50	27.00	1.33	7.69	0.68	--	--	1.15	1988
DB 233	A/D	--	18.50	100	8.40	45.41	0.00	0.00	1.70	9.19	0.00	0.00	0.10	0.54	10.20	55.14	0.60	3.24	1.20	6.49	6.50	35.14	--	--	8.30	44.86	1.49	7.00	35.00	1.29	--	2.00	--	--	3.61	1988
DB 234	A/D	--	15.60	100	5.10	32.69	0.00	0.00	1.00	6.41	0.00	0.00	0.30	1.92	6.40	41.03	2.10	13.46	3.10	19.87	4.00	25.64	--	--	9.20	58.97	0.60	7.60	38.00	1.28	--	1.48	--	--	0.77	1988
DB 236	A/D	--	10.90	100	5.00	45.87	0.00	0.00	0.40	3.67	0.00	0.00	0.10	0.92	5.50	50.46	0.40	3.67	1.00	9.17	4.00	36.70	--	--	5.40	49.54	0.30	6.50	35.00	1.25	--	2.50	--	--	2.86	1988
DB 239	A/D	--	29.22	100	11.00	37.65	0.02	0.07	2.10	7.19	0.00	0.00	0.10	0.34	13.22	45.24	5.50	18.82	2.50	8.56	8.00	27.38	--	--	16.00	54.76	1.37	8.20	33.00	1.38	--	0.45	--	--	1.00	1988
DB 240	A/D	--	16.90	100	5.40	31.95	1.50	8.88	0.70	4.14	0.00	0.00	0.10	0.59	7.70	45.56	1.30	7.69	3.90	23.08	4.00	23.67	--	--	9.20	54.44	0.57	6.50	35.00	1.35	3.60	3.00	--	--	0.77	1988
DB 241	A/D	--	84.28	100	31.70	37.61	7.30	8.66	3.78	4.49	0.00	0.00	0.00	0.00	42.78	50.76	8.00	9.49	5.50	6.53	28.00	33.22	--	--	41.50	49.24	4.30	8.00	40.00	1.13	4.34	0.69	--	--	2.07	1988
GA 124	A/G	7.59	1444.15	100	610.00	42.24	105.00	7.27	5.48	0.38	0.87	0.06	0.00	0.00	721.35	49.95	63.00	4.36	243.00	16.83	413.00	28.60	3.80	0.26	722.80	50.05	59.00	6.45	--	1.48	5.81	3.86	108.68	1.36	1.35	1991
GA 125	A/G	30.48	180.18	100	84.00	46.62	0.74	0.41	2.80	1.55	0.87	0.48	0.00	0.00	88.41	49.07	15.00	8.33	16.00	8.88	60.00	33.30	0.77	0.43	91.77	50.93	8.20	6.58	--	1.40	113.51	1.07	77.92	1.96	1.94	1991
GA 127	A/G	7.58	1362.90	100	567.00	41.60	96.00	7.04	7.66	0.56	1.14	0.08	0.00	0.00	671.80	49.29	53.00	3.89	243.00	17.83	391.00	28.69	4.10	0.30	691.10	50.71	49.70	6.66	--	1.45	5.91	4.58	95.37	1.33	1.32	1991
GA 128	A/G	7.48	511.74	100	175.00	34.20	72.00	14.07	7.70	1.50	1.24	0.24	0.00	0.00	255.94	50.01	22.00	4.30	89.00	17.39	142.00	27.75	2.80	0.55	255.80	49.99	21.00	7.01	--	1.23	2.43	4.05	50.71	1.30	1.28	1991
GA 129	A/G	6.45	732.45	100	349.00	47.65	3.20	0.44	8.62	1.18	1.03	0.14	0.00	0.00	361.85	49.40	19.00	2.59	82.00	11.20	267.00	36.45	2.60	0.35	370.60	50.60	31.10	7.15	--	1.31	109.06	4.32	102.69	2.67	2.64	1991
GA 130	A/G	6.57	1216.93	100	534.00	43.88	61.00	5.01	5.85	0.48	0.48	0.04	0.00	0.00	601.33	49.41	72.00	5.92	140.00	11.50	399.00	32.79	4.60	0.38	615.60	50.59	45.70	6.61	--	1.34	8.75	1.94	86.74	1.90	1.88	1991
GA 131	A/G	30.05	1042.40	100	531.00	50.94	0.28	0.03	12.80	1.23	0.69	0.07	0.93	0.09	545.70	52.35	15.00	1.44	100.00	9.59	376.00	36.07	5.70	0.55	496.70	47.65	41.60	7.33	--	1.41	1896.43	6.67	65.96	3.32	3.27	1991
GA 134	A/G	6.48	1655.07	100	771.00	46.58	40.00	2.42	7.86	0.47	1.21	0.07	0.00	0.00	820.07	49.55	49.00	2.96	214.00	12.93	559.00	33.78	13.00	0.79	835.00	50.45	61.60	6.67	--	1.38	19.28	4.37	43.00	2.17	2.13	1991
GA 135	A/G	6.52	891.98	100	423.00	47.42	1.80	0.20	12.13	1.36	1.34	0.15	1.11	0.12	439.38	49.26	40.00	4.48	110.00	12.33	298.00	33.41	4.60	0.52	452.60	50.74	36.80	7.31	--	1.42	235.00	2.75	64.78	2.02	1.99	1991
GA 137	A/G	40.40	531.25	100	245.00	46.12	2.30	0.43	10.32	1.94	0.48	0.09	1.15	0.22	259.25	48.80	12.00	2.26	43.00	8.09	214.00	40.28	3.00	0.56	272.00	51.20	23.10	7.40	--	1.14	106.52	3.58	71.33	3.95	3.89	1991
GA 138	A/G	6.52	578.16	100	271.00	46.87	0.14	0.02	9.86	1.71	0.79	0.14	1.17	0.20	282.96	48.94	8.20	1.42	53.00	9.17	231.00	39.95	3.00	0.52	295.20	51.06	25.50	7.62	--	1.17	1935.71	6.46	77.00	3.82	3.77	1991
GA 139	A/G	6.46	580.56	100	250.00	43.06	7.00	1.21	19.35	3.33	0.00	0.00	1.11	0.19	277.46	47.79	14.00	2.41	57.00	9.82	229.00	39.44	3.10	0.53	303.10	52.21	24.30	7.66	--	1.09	35.71	4.07	73.87	3.27	3.23	1991
LAL D1	A/G	--	1041.61	100	447.25	42.94	79.76	7.66	0.33	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	527.34	50.63	46.00	4.42	118.73	11.40	346.19	33.24	3.35	0.32	514.27	49.37	--	--	--	1.29	5.61	2.58	103.34	2.12	2.10	1964
LAL D1 bis	A/G	--	1500.78	100	730.10	48.65	86.82	5.78	0.33	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	817.25	54.46	49.50	3.30	239.95	15.99	388.50	25.89	5.58	0.37	683.53	45.54	--	--	--	1.88	8.41	4.85	69.62	1.36	1.34	1964

N° ouvrage	Pr/Riv	pf.crep (m)	Charge mie		Cl		SO4		HCO3		NO3		CO3		Som. anions		Ca		Mg		Na		K		Som. cations		Condu mS	pH	SiO2 mg/l	Cl/Na	Cl/SO4	Mg/Ca	Na/K	Na+K Na	Na+K Na	Année d'analyse
			meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%	meq/l	r%										
GA 189	C/G	6.80	23.25	100	8.00	34.41	0.20	0.86	4.16	17.89	0.04	0.17	0.00	0.00	12.40	53.33	3.60	15.48	2.50	10.75	4.40	18.92	0.35	1.51	10.85	46.67	1.18	7.59	--	1.82	40.00	0.69	12.57	0.78	0.72	1990
GA 191	C/G	18.79	23.39	100	3.50	14.96	1.80	7.70	6.69	28.60	0.14	0.60	0.00	0.00	12.13	51.86	1.50	6.41	1.50	6.41	7.80	33.35	0.46	1.97	11.26	48.14	1.09	6.87	--	0.45	1.94	1.00	16.96	2.75	2.60	1990
GA 192	C/G	49.92	24.23	100	3.80	15.68	1.90	7.84	6.87	28.35	0.03	0.12	0.00	0.00	12.60	52.00	1.80	7.43	1.80	7.43	7.40	30.54	0.63	2.60	11.63	48.00	1.13	7.35	--	0.51	2.00	1.00	11.75	2.23	2.06	1990
GA 264	C/G	18.51	19.66	100	2.10	10.68	1.40	7.12	5.91	30.06	0.07	0.36	0.50	2.54	9.98	50.76	0.91	4.63	1.10	5.60	7.40	37.64	0.27	1.37	9.68	49.24	0.91	8.28	--	0.28	1.50	1.21	27.41	3.82	3.68	1990
GB 847	C/G	9.75	10.66	100	2.10	19.70	1.10	10.32	1.94	18.20	0.32	3.00	0.00	0.00	5.46	51.22	0.60	5.63	1.50	14.07	1.90	17.82	1.20	11.26	5.20	48.78	0.58	6.89	--	1.11	1.91	2.50	1.58	1.48	0.90	1990
Ntiago	C/G	8.50	14.12	100	1.70	12.04	1.00	7.08	4.61	32.65	0.01	0.07	0.00	0.00	7.32	51.84	1.60	11.33	2.30	16.29	1.70	12.04	1.20	8.50	6.80	48.16	0.67	7.39	--	1.00	1.70	1.44	1.42	0.74	0.44	1990
DA 75	D/D	50.62	4.56	100	1.60	35.09	0.00	0.00	0.76	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36	51.75	0.60	13.16	0.60	13.16	1.00	21.93	--	--	2.20	48.25	0.26	8.00	12.50	1.60	--	1.00	--	--	0.83	1988
DA 77	D/D	30.81	4.93	100	1.60	32.45	0.00	0.00	0.83	16.84	0.00	0.00	0.00	0.00	2.43	49.29	1.00	20.28	0.50	10.14	1.00	20.28	--	--	2.50	50.71	0.25	6.50	7.50	1.60	--	0.50	--	--	0.67	1988
DA 78	D/D	9.61	48.51	100	19.00	39.17	0.21	0.43	1.30	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	20.51	42.28	5.70	11.75	7.30	15.05	15.00	30.92	--	--	28.00	57.72	1.22	4.00	15.00	1.27	90.48	1.28	--	--	1.15	1988
DA 81	D/D	23.26	38.43	100	15.20	39.55	0.00	0.00	2.73	7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	17.93	46.66	2.10	5.46	4.40	11.45	14.00	36.43	--	--	20.50	53.34	0.72	7.50	15.00	1.09	--	2.10	--	--	2.15	1988
DA 90	D/D	9.63	42.70	100	18.80	44.03	0.00	0.00	3.70	8.67	0.00	0.00	0.00	0.00	22.50	52.69	3.10	7.26	3.10	7.26	14.00	32.79	--	--	20.20	47.31	0.47	6.50	20.00	1.34	--	1.00	--	--	2.26	1988
DA 91	D/D	27.44	6.86	100	0.40	5.83	2.50	36.44	0.66	9.62	0.00	0.00	0.00	0.00	3.56	51.90	2.80	40.82	0.20	2.92	0.30	4.37	--	--	3.30	48.10	0.25	6.50	35.00	1.33	0.16	0.07	--	--	0.10	1988
DB 242	D/D	--	21.13	100	3.40	16.09	8.33	39.42	0.60	2.84	0.00	0.00	0.00	0.00	12.33	58.35	3.10	14.67	3.10	14.67	2.60	12.30	--	--	8.80	41.65	0.13	5.50	50.00	1.31	0.41	1.00	--	--	0.42	1988
DB 244	D/D	--	7.60	100	0.40	5.26	2.50	32.89	0.30	3.95	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	42.11	1.30	17.11	0.80	10.53	2.30	30.26	--	--	4.40	57.89	0.24	5.50	40.00	0.17	0.16	0.62	--	--	1.10	1988
DB 246	D/D	--	2.80	100	0.60	21.43	0.00	0.00	1.00	35.71	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	57.14	0.50	17.86	0.30	10.71	0.40	14.29	--	--	1.20	42.86	1.10	6.50	31.00	1.50	--	0.60	--	--	0.50	1988
DA 92	E/D	23.30	9.13	100	3.40	37.24	0.00	0.00	1.13	12.38	0.00	0.00	0.00	0.00	4.53	49.62	1.00	10.95	1.00	10.95	2.60	28.48	--	--	4.60	50.38	0.11	6.50	12.50	1.31	--	1.00	--	--	1.30	1988
DA 95	E/D	9.03	811.13	100	350.70	43.24	45.83	5.65	4.40	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	400.93	49.43	7.20	0.89	132.00	16.27	271.00	33.41	--	--	410.20	50.57	3.32	7.00	20.00	1.29	7.65	18.33	--	--	1.95	1988
DA 99	E/D	36.34	8.63	100	3.30	38.24	0.00	0.00	0.73	8.46	0.00	0.00	0.00	0.00	4.03	46.70	1.00	11.59	1.00	11.59	2.60	30.13	--	--	4.60	53.30	0.11	6.50	15.00	1.27	--	1.00	--	--	1.30	1988
DA 100	E/D	15.45	324.65	100	152.10	46.85	5.95	1.83	8.00	2.46	0.00	0.00	0.00	0.00	166.05	51.15	6.40	1.97	35.20	10.84	117.00	36.04	--	--	158.60	48.85	3.92	7.50	22.50	1.30	25.56	5.50	--	--	2.81	1988
GA 206	E/G	30.59	105.66	100	25.00	23.66	25.00	23.66	4.72	4.47	0.20	0.19	0.00	0.00	54.92	51.98	4.00	3.79	11.00	10.41	35.00	33.13	0.74	0.70	50.74	48.02	4.72	7.83	--	0.71	1.00	2.75	47.30	2.38	2.33	1991
GA 207	E/G	17.66	128.58	100	29.00	22.55	27.00	21.00	7.81	6.07	0.06	0.05	0.69	0.54	64.56	50.21	4.30	3.34	13.00	10.11	46.00	35.78	0.72	0.56	64.02	49.79	5.60	7.95	--	0.63	1.07	3.02	63.89	2.70	2.66	1991
GA 208	E/G	30.55	212.73	100	84.00	39.49	23.00	10.81	3.60	1.69	0.48	0.23	0.25	0.12	111.33	52.33	12.00	5.64	20.00	9.40	68.00	31.97	1.40	0.66	101.40	47.67	9.52	7.59	--	1.24	3.65	1.67	48.57	2.17	2.13	1991
GA 209	E/G	7.61	305.02	100	118.00	38.69	39.00	12.79	0.18	0.06	0.27	0.09	0.47	0.15	157.92	51.77	18.00	5.90	36.00	11.80	91.00	29.83	2.10	0.69	147.10	48.23	12.66	6.83	--	1.30	3.03	2.00	43.33	1.72	1.69	1991
GA 212	E/G	50.09	25.15	100	8.50	33.80	2.40	9.54	1.57	6.24	0.07	0.28	0.26	1.03	12.80	50.89	1.40	5.57	2.20	8.75	8.50	33.80	0.25	0.99	12.35	49.11	1.33	7.84	--	1.00	3.54	1.57	34.00	2.43	2.36	1991
GB 848	E/G	--	30.76	100	11.00	35.76	2.20	7.15	2.34	7.61	0.02	0.07	0.25	0.81	15.81	51.40	2.70	8.78	1.80	5.85	10.00	32.51	0.45	1.46	14.95	48.60	1.59	7.62	--	1.10	5.00	0.67	22.22	2.32	2.22	1991
GB 851	E/G	--	7.00	100	1.30	18.57	0.73	10.43	1.56	22.29	0.09	1.29	0.00	0.00	3.68	52.57	1.20	17.14	0.69	9.86	1.30	18.57	0.13	1.86	3.32	47.43	0.34	7.42	--	1.00	1.78	0.58	10.00	0.76	0.69	1991
GB 852	E/G	--	3.47	100	0.24	6.92	0.52	14.99	1.03	29.68	0.02	0.58	0.00	0.00	1.81	52.16	0.32	9.22	0.15	4.32	0.70	20.17	0.49	14.12	1.66	47.84	0.18	7.13	--	0.34	0.46	0.47	1.43	2.53	1.49	1991
GB 854	E/G	--	41.23	100	11.00	26.68	3.60	8.73	5.68	13.78	0.07	0.17	0.68	1.65	21.03	51.01	0.92	2.23	0.80	1.94	18.00	43.66	0.48	1.16	20.20	48.99	1.94	8.10	--	0.61	3.06	0.87	37.50	10.74	10.47	1991
GB 855	E/G	--	3.31	100	0.39	11.78	0.27	8.16	0.78	23.56	0.02	0.60	0.29	8.76	1.75	52.87	0.61	18.43	0.49	14.80	0.39	11.78	0.07	2.11	1.56	47.13	0.17	7.48	--	1.00	1.44	0.80	5.57	0.42	0.35	1991
GB 857	E/G	--	7.21	100	2.10	29.13	0.68	9.43	0.97	13.45	0.02	0.28	0.00	0.00	3.77	52.29	1.10	15.26	0.59	8.18	1.40	19.42	0.35	4.85	3.44	47.71	0.39	7.26	--	1.50	3.09	0.54	4.00	1.04	0.83	1991
GB 862	E/G	--	9.45	100	3.10	32.80	0.07	0.74	1.38	14.60	0.03	0.32	0.28	2.96	4.86	51.43	0.40	4.23	0.49	5.19	3.60	38.10	0.10	1.06	4.59	48.57	0.49	7.43	--	0.86	44.29	1.23	36.00	4.16	4.04	1991
GB 867	E/G	--	5.64	100	1.10	19.50	0.79	14.01	0.23	4.08	0.02	0.35	0.79	14.01	2.93	51.95	0.42	7.45	0.40	7.09	1.80	31.91	0.09	1.60	2.71	48.05	0.30	7.50	--	0.61	1.39	0.95	20.00	2.30	2.20	1991
GB 869	E/G	--	28.35	100	6.00	21.16	2.80	9.88	5.20	18.34	0.08	0.28	0.60	2.12	14.68	51.78	4.70	16.58	2.00	7.05	6.60	23.28	0.37	1.31	13.67	48.22	1.32	8.12	--	0.91	2.14	0.43	17.84	1.04	0.99	1991
GA 163	E/G	5.58	6.74	100	0.97	14.39	0.79	11.72	1.51	22.40	0.14	2.08	0.00	0.00	3.41	50.59	0.67	9.94	1.00	14.84	1.50	22.26	0.16	2.37	3.33	49.41	0.34	--	--	0.65	1.23	1.49	9.38	0.99	0.90	1991
GA 164	E/G	20.59	7.39	100	0.99	13.40	0.07	0.95	2.45	33.15	0.09	1.22	0.23	3.11	3.83	51.83	0.65	8.80	1.10	14.88	1.60	21.65	0.21	2.84	3.56	48.17	0.35	--	--	0.62	14.14	1.49	7.62	1.08	0.96	1991
GA 165	E/G	9.68	419.25	100	212.00	5																														