

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



D.E.A DE GEOLOGIE APPLIQUEE

MENTION : HYDROGEOLOGIE

IMPACT DES AMENAGEMENTS HYDRO- AGRICILES SUR LA NAPPE SUPERFICIELLE DE LA BASSE VALLEE DU FLEUVE SENEGAL

(THIAGAR - RICHARD.TOLL - DAGANA)

présenté par

Martine DA BOIT

Le 23 avril 1993 devant le jury:

MM.	A. LY	: PRESIDENT	UNIVERSITE DAKAR
	C.B. GAYE	: RAPPORTEUR	UNIVERSITE DAKAR
	J.L. SAOS	: RAPPORTEUR	ORSTOM DAKAR
	F.X. COGELS	: EXAMINATEUR	ORSTOM DAKAR
	A. FAYE	: EXAMINATEUR	UNIVERSITE DAKAR
	M. BA	: EXAMINATEUR	UNIVERSITE DAKAR

Mémoire réalisé avec le concours de l'ORSTOM et le soutien financier de la CEE
dans le cadre du projet EQUASEN N°TS2-0198-F-EBD

REMERCIEMENTS

Je remercie les membres du jury.

Monsieur A.LY, Chef du Département de Géologie à l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, pour avoir accepté la présidence de ce jury.

Monsieur J.L. SAOS, chargé de recherche en Hydrogéologie à l'ORSTOM, pour son soutien permanent et sa patience durant la réalisation de ce mémoire.

Monsieur C.GAYE, chargé d'enseignement, responsable du 3ème cycle au Département de Géologie pour ses conseils avisés.

Madame M.BA, chargé d'enseignement au Département de Géologie, pour avoir accepté de juger ce travail.

Monsieur A.FAYE, chargé d'enseignement au Département de Géologie, pour sa disponibilité au service de la formation des étudiants.

Monsieur F.X.COGELES, chercheur au département Géochimie de l'ORSTOM, pour son engagement sympathique.

Je remercie tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.

En particulier Monsieur J.Y.GAC, Directeur-adjoint de l'ORSTOM de Dakar pour ses critiques constructives.

Messieurs J.P.THIEBAUX, hydrologue, J.L.DUPREY, chimiste et J.L.BOIVIN, pédologue pour leur aimable contribution.

Messieurs Y.PEPIN et J.ALBERGEL, hydrologues, pour leur aide dans mes "déboires informatiques".

Tout le personnel de l'ORSTOM pour sa disponibilité.

Tous les enseignants de l'Université de Dakar.

Monsieur O.NGOM responsable du Projet "Cellule des Eaux Souterraines" de l'OMVS.

Cheikh Kane, Pauline, Edmond, Youssouf, Diagana et Malou pour leur amical soutien.

Janick et Julien...

RESUME

Ce mémoire dresse le bilan en 1991 de l'impact de la réalisation de deux barrages et de l'expansion corrélative de l'irrigation, sur la qualité hydrochimique de la nappe superficielle en basse vallée du fleuve Sénégal, de Thiagar à Dagana.

Une présentation générale de la région explique l'origine de la salure des sols et des eaux phréatiques, puis, l'historique des aménagements hydro-agricoles, l'extension chiffrée des surfaces cultivées, permettent d'aborder les problèmes évoqués par de nombreux auteurs concernant l'évolution de cet agrosystème.

Le troisième volet de cette étude procède par secteurs: les données hydrochimiques mises en relation avec la piézométrie permettent de caractériser l'influence des aménagements hydro-agricoles sur la nappe superficielle. Cet impact se traduit essentiellement par une évolution qualitative des eaux: leur faciès chloruré-sodique originel évolue vers un pôle bicarbonaté-calcomagnésien en passant par des stades sulfatés et surtout carbonatés-sodiques. La mise en place des barrages a provoqué aussi une remontée du niveau d'étiage de la nappe corrélative à celle du fleuve et la remobilisation des sels des horizons supérieurs. Des problèmes de drainage, d'alcalisation des sols, de pollution ponctuelle par les nitrates apparaissent.

Mots clefs : Hydrochimie - Eaux souterraines - Vallée du Sénégal - Aménagements hydro-agricoles - Nappe salée .

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION.....	1
Première Partie : PRESENTATION DE LA REGION	
A - UNE GEOLOGIE DE BASSIN SEDIMENTAIRE.....	3
I - Une histoire géodynamique de marge passive.....	3
II - Une géomorphologie construite au quaternaire.....	7
B - UN CLIMAT A DEUX SAISONS CONTRASTEES.....	9
C - UN FLEUVE TROPICAL MAITRISE.....	11
D - DES SOLS HYDROMORPHES ET SALES.....	13
E - UNE NAPPE SUPERFICIELLE SALEE.....	15
Deuxième Partie : LES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLLES	
A - HISTORIQUE DE LA MISE EN VALEUR AGRICOLE DU DELTA.....	17
I - Début du XIX°, des essais de cultures industrielles.....	17
II - Après la 2ème guerre mondiale: la culture du riz.....	17
III - Depuis 1960, le développement des aménagements.....	18
1 - Le casier de Richard Toll.....	18
2 - Le développement rural.....	18
B - DES AMENAGEMENTS POUR LA MAITRISE TOTALE DE L'EAU.....	19
I - Les grands périmètres.....	19
1 - Aménagement primaire.....	19
2 - Aménagement secondaire gravitaire.....	19
3 - Aménagement secondaire par pompage.....	19
4 - Aménagement tertiaire.....	20
II - Les petits périmètres.....	20
III - Les unités autonomes d'irrigation.....	20

C - QUELQUES EXIGENCES DES PLANTES CULTIVEES.....	21
I - La canne à sucre.....	21
II - Le Riz.....	21
D - L'INTENSIFICATION DES CULTURES ET LES PROBLEMES POSES...	22
I - L'extension des superficies cultivées.....	22
1 - Superficies exploitées (Bilan,novembre 1990)..	22
2 - Historique de l'extension.....	23
II - Les problèmes posés par l'extension.....	23

Troisième partie : RECHERCHE DE L'IMPACT DES AMENAGEMENTS
HYDRO-AGRICILES SUR LA NAPPE SUPERFICIELLE

A - LES PARAMETRES UTILISES	27
B - ETUDE SECTORIELLE.....	29
B1 - SECTEUR THIAGAR	
I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES	31
II - QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991.....	33
III - EVOLUTION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX	35
1 - Données des analyses chimiques antérieures...	35
2 - Evolution de la conductivité - Relation avec la piézométrie.....	37
IV - CONCLUSION SUR LE SECTEUR THIAGAR.....	42
B2 - SECTEUR PACK	
I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES.....	43
II - QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991.....	45
III - EVOLUTION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX	48
1 - Données des analyses chimiques antérieures...	48
2 - Evolution de la conductivité - Relation avec la piézométrie.....	48
IV - CONCLUSION SUR LE SECTEUR PACK.....	55

B3 - SECTEUR TAOUE

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES	57
II - QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991.....	59
III - EVOLUTION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX	62
1 - Données des analyses chimiques antérieures...	62
2 - Evolution de la conductivité Relation avec la piézométrie.....	65
IV - CONCLUSION SUR LE SECTEUR TAOUE.....	69

B4 - SECTEUR MBILOR

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES	71
II - QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991.....	74
III - EVOLUTION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX	74
1 - Données des analyses chimiques antérieures...	74
2 - Evolution de la conductivité - Relation avec la piézométrie.....	75
IV - CONCLUSION SUR LE SECTEUR MBILOR	78

B5 - SECTEUR DAGANA

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES	79
II - QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991.....	82
III - EVOLUTION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX	83
1 - Données des analyses chimiques antérieures...	83
2 - Evolution de la conductivité Relation avec la piézométrie.....	86
IV - CONCLUSION SUR LE SECTEUR DAGANA	88

CONCLUSIONS GENERALES.....	89
----------------------------	----

ANNEXE I : Méthodes de dosage des éléments chimiques.

ANNEXE II: Par secteur, analyses chimiques et des calculs de la minéralisation totale, du SAR et rapports caractéristiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

INTRODUCTION

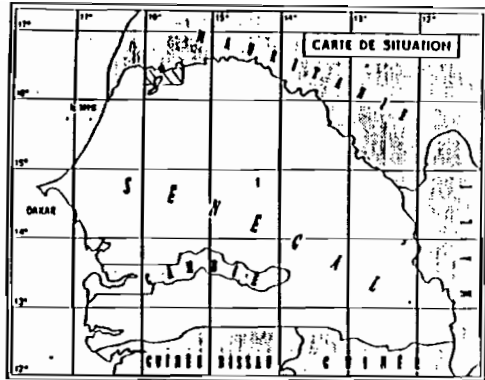
La basse vallée du fleuve Sénégal, important foyer économique à vocation essentiellement agricole, est actuellement une région en plein essor. La réalisation récente de deux barrages, l'un anti-sel à l'aval (Diama, achevé en novembre 1985), l'autre, régulateur de crue à l'amont (Manantali, achevé en juillet 1987), a non seulement permis l'extension des surfaces irriguées mais aussi l'intensification des cycles culturaux.

La salinité reste cependant l'un des principaux facteurs limitant la productivité de la région: liée à la présence d'un ancien golfe marin comblé par alluvionnement, elle affecte aussi bien les terres que les eaux souterraines. Ce sel est aujourd'hui remis en mouvement par l'intensification de l'irrigation et redistribué dans les sols et la nappe phréatique.

Afin de prévenir les difficultés de gestion de l'évolution agronomique de cette région, le projet EQUÉSEN (Environnement et Qualité des Eaux du Sénégal), programme CEE - ORSTOM, a pour objectifs d'établir un bilan hydrochimique des eaux souterraines et de surface ainsi que la caractérisation de la dynamique du paysage actuel. C'est dans ce cadre de recherche qu'il nous a été confié l'étude de l'impact des aménagements hydro-agricoles sur la nappe superficielle en rive sénégalaise, de Thiagar à Dagana. Une étude antérieure (DIAO, 1992), ayant traité l'aspect hydrodynamique de cet impact, ce travail a pour but la caractérisation de l'évolution d'un point de vue hydrochimique de la nappe dans la zone impartie et de ce fait constitue une approche de l'influence du développement agronomique de la basse vallée du fleuve Sénégal sur la dynamique des éléments dissous.

PREMIERE PARTIE

PRESENTATION
DE LA
REGION



échelle 1/8900000

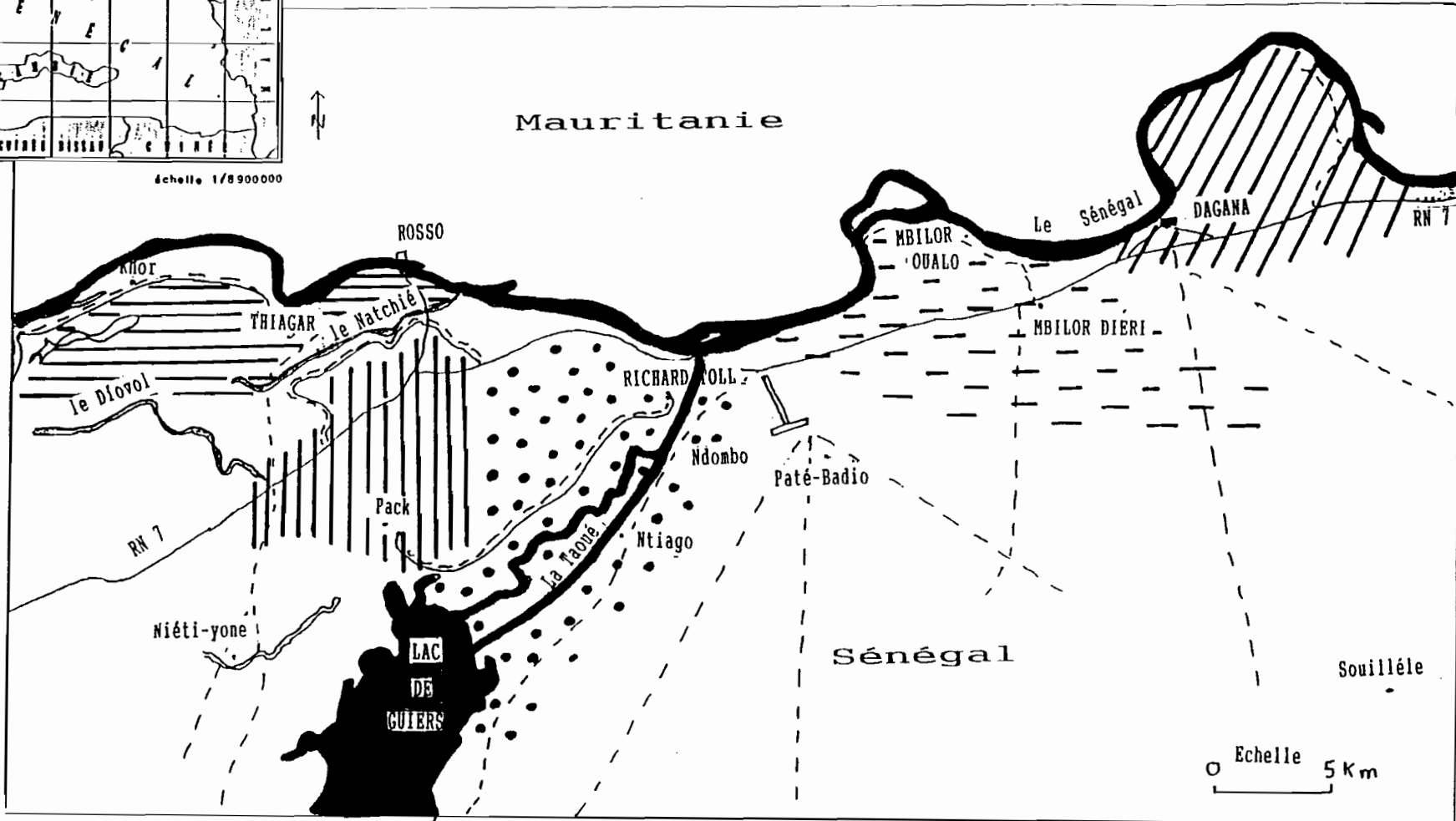


Fig.1 : Carte de situation de la zone étudiée et compartimentée en cinq secteurs

THIAGAR
 PACK
 TAOUÉ
 MBILOR
 DAGANA

PRESENTATION DE LA REGION

La zone étudiée du bassin du fleuve Sénégal correspond à la région de transition entre son delta et sa basse vallée, la limite entre les deux unités passant approximativement par l'axe lac de Guiers - canal de la Taoué (Fig.1).

A - UNE GEOLOGIE DE BASSIN SEDIMENTAIRE

Cette région du haut delta du Sénégal se situe au Nord du bassin sénégalo-mauritanien ,l'un des plus vastes bassins sédimentaires du littoral ouest-africain. Sa genèse remonte au Secondaire et est liée à l'ouverture de l'Océan Atlantique donc à une tectonique distensive.

Sa structure d'ensemble est celle d'un bassin de marge passive. Le socle du bassin,anté-mésozoïque, plonge d'abord doucement vers l'Ouest puis s'effondre à la faveur de failles Nord-Sud entre les méridiens 15° et 16°W. Le remplissage sédimentaire s'épaississant en direction du domaine océanique varie de faciès : grossiers sur la bordure orientale du bassin,les sédiments deviennent plus fins vers l'Ouest (BELLION,1987).

I - UNE HISTOIRE GEODYNAMIQUE DE MARGE PASSIVE du Trias au Quaternaire

Le remplissage sédimentaire post-paléozoïque essentiellement reconstitué à partir des données des forages pétroliers ou hydrogéologiques, est connu du Trias-Lias jusqu'au Quaternaire. Au cours de l'évolution de cette marge continentale, la transgression marine se fait au rythme de l'expansion océanique et de la subsidence du bassin,elle s'achève à l'éocène supérieur.

La première ingression marine dans l'Atlantique Central naissant entraîne le dépôt d'évaporites au Trias supérieur-Lias inférieur. Pendant le Jurassique et le Crétacé inférieur,s'édifie une épaisse plate-forme carbonatée néritique liée à la subsidence de la marge ouest africaine. Puis des apports terrigènes envahissent le bassin; la sédimentation tout d'abord fine devient plus sableuse et grossière au Maestrichtien .

Le Maestrichtien varie de faciès d'Est en Ouest (fig.2) : mince (10 à 50 m) et sableux sur la bordure orientale du bassin, il s'épaissit fortement à l'Ouest (480m dans le forage de Toundou Besset,TB.1) et présente des alternances d'argiles et de sable.

Par le jeu postérieur de l'anticlinal de Guiers (Fig.3), le Maestrichtien est très proche de la surface à Dagana (40m). Mais un bombement à grand rayon de courbure existe déjà à cette période : les sables souvent rubéfiés portent la trace d'une émerision.

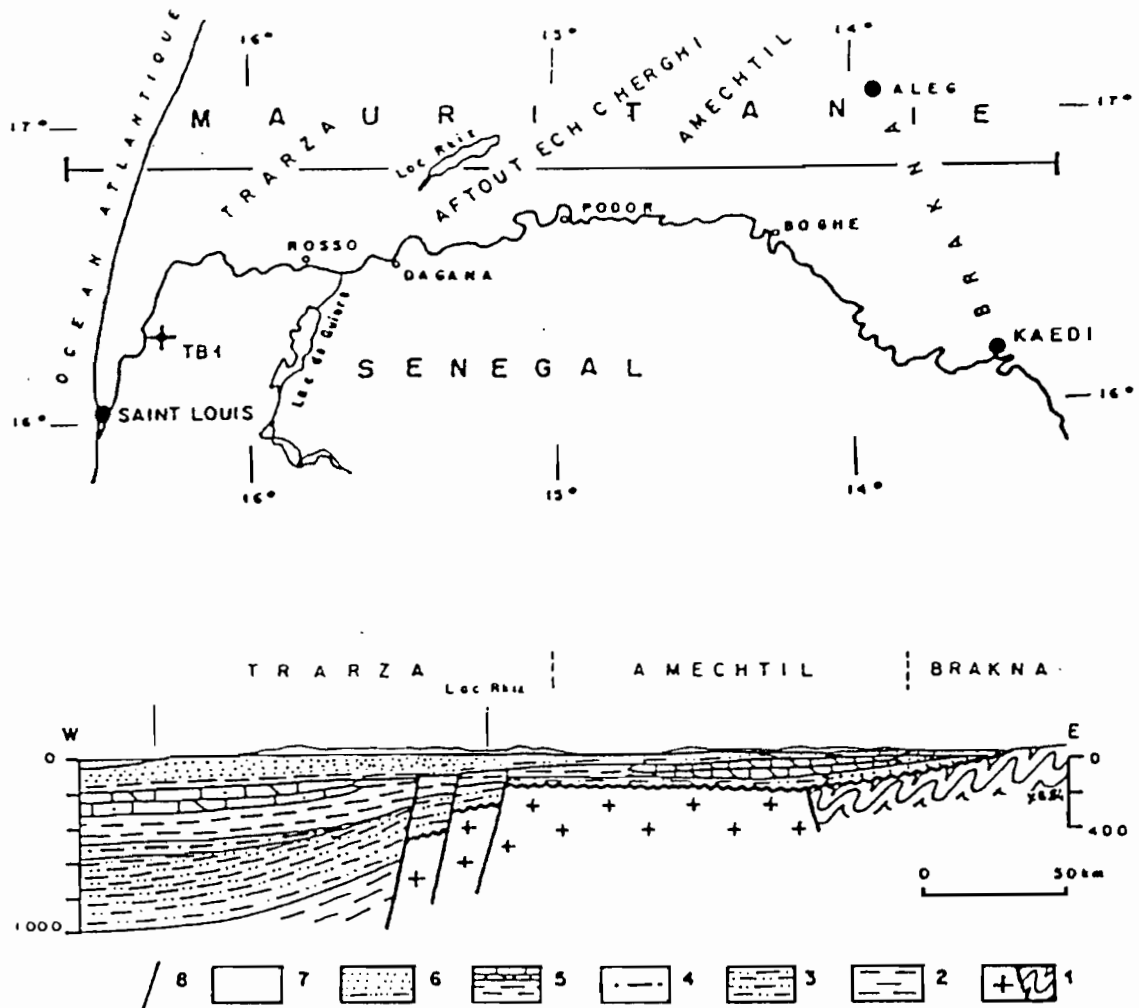


Figure 2 - Coupe du dôme de Guiers-dorsale de Rkiz et sa carte de localisation
(d'après les données du rapport PNUD, 1974). in Bellion, 1987.

1 : Schistes métamorphiques ou granites, Précambrien ; 2 : Argiles sénoniennes ; 3 : Maastrichtien, sables à l'Est, sables fins à grossiers argileux et argiles noirâtres au centre ; formation ocre de sables fins à grossiers alternant avec des argiles à l'Ouest ; 4 : Paléocène, argiles, calcaires gréseux, grès fins ; 5 : Eocène Inférieur (p.p.) et moyen, sables fins jaunes à l'Est, calcaires, dolomies et argiles au Centre, argiles feuilletées et calcaires plus ou moins gréseux et dolomitiques à l'Ouest ; 6 : Mio-Pliocène, grès bariolés plus ou moins argileux, sables fins à grossiers et argiles ; 7 : Quaternaire, argiles salifères et gypsifères, dépôts coquilliers, calcaires lacustres, sables et limons éoliens ; 8 : Faille.

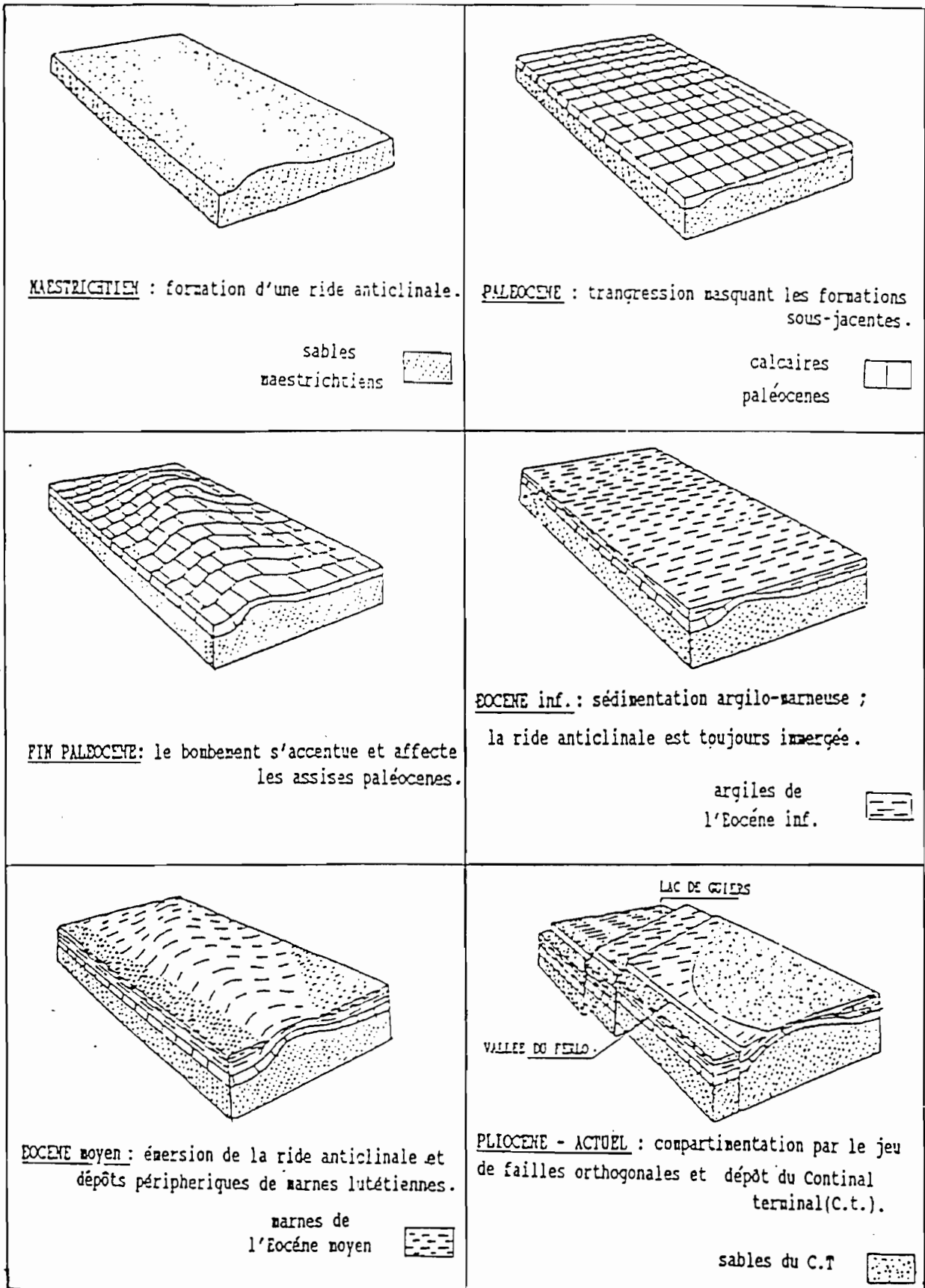
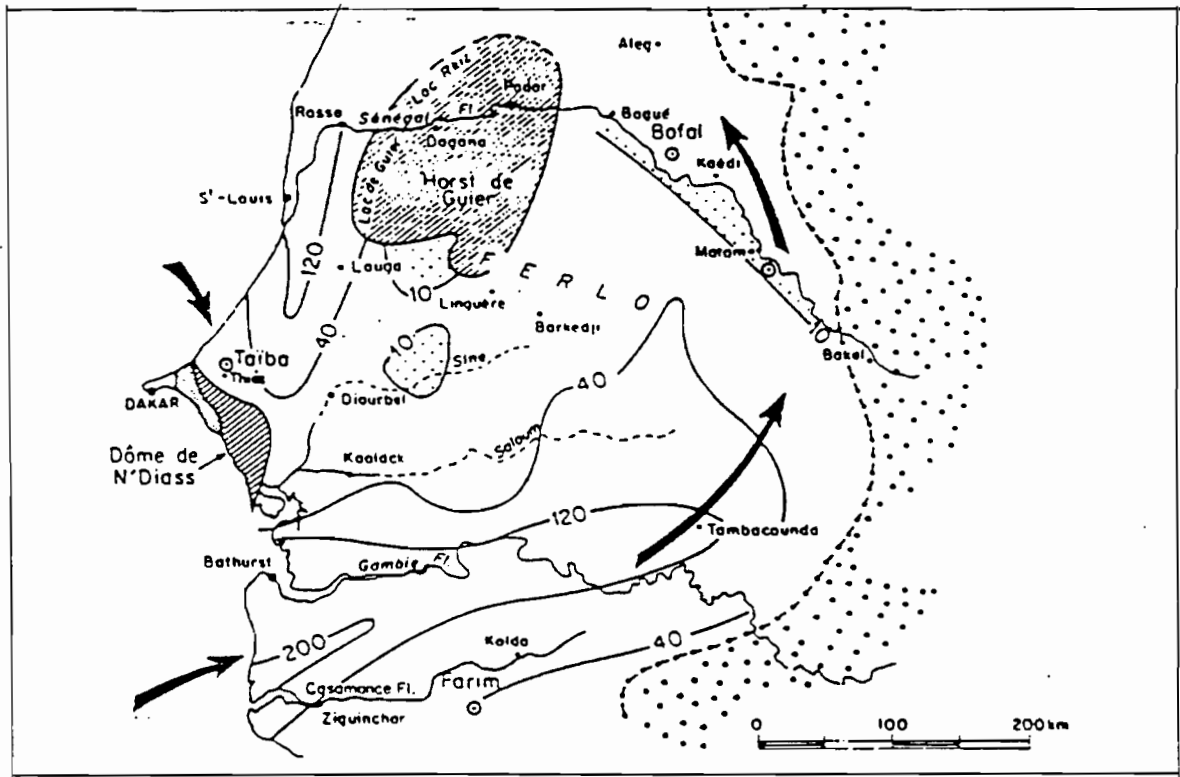


Fig. 3 - Evolution du dôme de Guiers (P. MICHEL, J-Y. TRENOUS 1970)



- Socle ancien
- Absence de Lutétien et d'Éocène inférieur
- Absence de Lutétien, Éocène inférieur en partie érodé
- Zone de condensation maximum du Lutétien
- Limite d'érosion du Lutétien
- 10- Courbe isopaque du Lutétien
- Gisement de phosphate Éocène inférieur et moyen
- Pénétration des biotapes phosphatés

Figure 4 - Esquisse paléogéographique et structurale de l'Éocène dans le bassin sénégalo-mauritanien (BOUJO & OULD JIDDOU, 1983). in Bellion, 1987

Au Cénozoïque inférieur, La sédimentation redevient essentiellement chimique, en rapport avec une biostase généralisée.

- Le Paléocène, caractérisé par des calcaires et des marnes à l'ouest (60m, au forage de Toundou Besset) devient plus gréseux à l'est: il se trouve à 15m de profondeur près de Dagana. A Rosso, 30m de calcaires coquilliers lui sont attribués.

- L'Eocène inférieur : les dépôts argilo-marneux dominant nettement. Il est de 5m à Dagana où il est partiellement érodé et de 150m à Toundou Besset. Il est complètement érodé par le fleuve à Richard Toll du fait de sa position haute sur le dôme de Guiers. On en trouve 30m à Rosso de faciès argilo-sableux avec quelques bancs de calcaire dolomitique. Il affleure sur les berges du Lac de Guiers.

Cette période correspond au maximum de la transgression marine.

- L'Eocène moyen : Les dépôts lutétiens surmontent les formations antérieures en continuité , ce sont des faciès argilo-marneux ou calcaires dont le sommet est souvent tronqué par l'érosion. Il est connu à l'ouest du Delta atteignant 200m: calcaires marneux, marnes et surtout calcaires à nummulites Il existerait vers Rosso (DIAGANA, 1990) mais n'a pas été trouvé sur la ride anticlinale du Lac de Guiers (Fig.4).

Durant son remplissage, le bassin subit aussi les contre-coups de la collision des plaques africaine et européenne et ceci à diverses périodes : l'aptien supérieur, la fin du crétacé, pendant le paléocène, mais c'est à la fin de l'éocène moyen que se situe l'épisode majeur du rejeu des structures d'effondrement de la marge continentale. Cet épisode tectonique majeur va marquer le début du retrait général de la mer vers l'ouest, cependant la régression ne se fera pas de manière tranchée.

En effet, à partir de l'Eocène supérieur et jusqu'au Pliocène, le bassin sédimentaire se couvre d'une épaisse couche de dépôts détritiques constitués de sables, d'argiles et surtout de grès argileux: ces formations regroupées sous le terme CONTINENTAL TERMINAL (C.T) ne sont pas des dépôts continentaux, mais des faciès d'altération de sédiments post-éocènes marins ou continentaux(LE PRIOL, 1985). Ce complexe se termine généralement à son sommet par une cuirasse latéritique, elle est visible à Mbilor Dieri et sur les bords du Lac de Guiers.

II - UNE GEOMORPHOLOGIE CONSTRuite AU QUATERNAIRE

La morphogenèse de la vallée du Sénégal est liée à des mouvements de subsidence et à des oscillations climatiques en rapport avec des phénomènes glacio-eustatiques affectant la planète durant le Quaternaire. L'alternance de périodes de régression, de transgression, de creusement ou de sédimentation, déplace les lignes de rivage, façonne l'étagement des terrasses alluviales, génère l'installation puis la désorganisation de plusieurs systèmes dunaires.

Le Quaternaire ancien et moyen est caractérisé par une phase de creusement où le fleuve alimente un vaste golfe marin par un véritable delta dont la tête est à Boghé. Il est difficile à distinguer des formations supérieures du Continental Terminal et il n'existe pas sur l'anticlinal de Guiers entre Richard Toll et Dagana.

Durant le quaternaire récent, ELOUARD (1967), in AUDIBERT (1970), par une dénomination locale, distingue différentes phases dans la construction de la vallée.

L'INCHIRIEN (40 000-31000 ans BP)

Une transgression marine dépose des sables grossiers puis une épaisse couche sablo-argileuse peu perméable (Inchirien-I). L'Inchirien II comporte une succession de couches argileuses et gréseuses.

L'OGOLIEN (22000-13000 ans B.P)

C'est une période de grande régression. L'aridité du climat et l'action des alizés continentaux favorisent la mise en place d'un vaste ensemble dunaire d'orientation NNE-SSW: l'accès à la mer est alors fermé, la vallée a un régime endoréique. Des dépôts fins se déposent à l'amont.

LE TCHADIEN (13000-8000 ans B.P)

Le climat plus humide permet la fixation des dunes ogoliennes par un couvert végétal et provoque la rubéfaction de leurs sables. Le fleuve franchit ces dunes et coule vers la mer, il érode, dans le secteur de Richard Toll, le substratum jusqu'à l'éocène.

LE POST-TCHADIEN (8000-6500 ans B.P)

Durant cette période sèche, le vent remanie les ensembles dunaires.

LE NOUAKCHOTTIEN (6500-4500 ans B.P)

Cette phase pluviale permet le recreusement du lit du fleuve et vers 5500 ans B.P, la mer envahit la région du Delta du Sénégal, une grande ria s'installe et remonte jusqu'à Bogué. Elle emprunte le chenal de la Taoué et s'étale dans la dépression du lac de Guiers. Cette transgression en étalant les sables antérieurs façonne les terrasses bordant actuellement la vallée. Les horizons nouakchottiens se reconnaissent par leurs sables fins et blancs comportant des plages coquillées à Anadara senilis.

LE POST-NOUAKCHOTTIEN, (de 4500 à 1880 ans BP)

L'édification de petits cordons littoraux barre partiellement l'accès du fleuve à la mer, transformant ainsi l'ancien golfe en une vaste lagune. Le lac de Guiers se forme, les dépôts deltaïques isolant sa dépression. Bientôt, l'alluvionnement fluvial prend le pas sur la sédimentation lagunaire et à partir de ce matériau, le fleuve édifie de grands bourrelets de berge, les hautes levées. Ces dépôts anarchiques fluviodeltaïques présentent une grande variabilité de faciès (sables, limons, argiles) et comblent l'ancienne ria.

L'implantation d'une mangrove à Rhizophora suit le retrait des eaux marines depuis le Nouakchottien mais elle est détruite progressivement par l'amont, le fleuve reprenant son domaine. Nous verrons l'importance de cette mangrove dans la pédogenèse de la vallée.

LE SUBACTUEL ET ACTUEL

Dans ses méandres, le fleuve sape progressivement ces hautes levées et façonne des systèmes de levées subactuelles, plus basses isolant des cuvettes où les alluvions du fleuve décantent leurs argiles.

Le cours du Sénégal est dévié vers le sud par des cordons littoraux avant de se jeter dans la mer par une embouchure instable à l'aval de Saint Louis.

B -UN CLIMAT A DEUX SAISONS CONTRASTEES

Comme toute la basse vallée du fleuve, le climat de la région appartient au domaine sahélien et plus précisément encore au secteur sahélo-saharien. Il est marqué par l'alternance de deux saisons très contrastées.

- Une très longue saison sèche pendant 9 à 10 mois: les caractéristiques climatiques sont alors imposées par les alizés et l'harmattan.

- Une courte saison des pluies, pendant le régime de mousson, débutant en juillet, elle se termine en octobre avec la régression du FIT(Front Intertropical) vers le Sud.

L'évolution annuelle des paramètres, précipitations, température et pression atmosphérique donne une représentation significative des caractéristiques climatiques de la basse vallée du Sénégal(fig.5). Les mesures ont été enregistrées à la station de la CSS de Richard Toll et les valeurs sont des moyennes calculées sur 15 ans (complété sur COGELS et al.,1990).

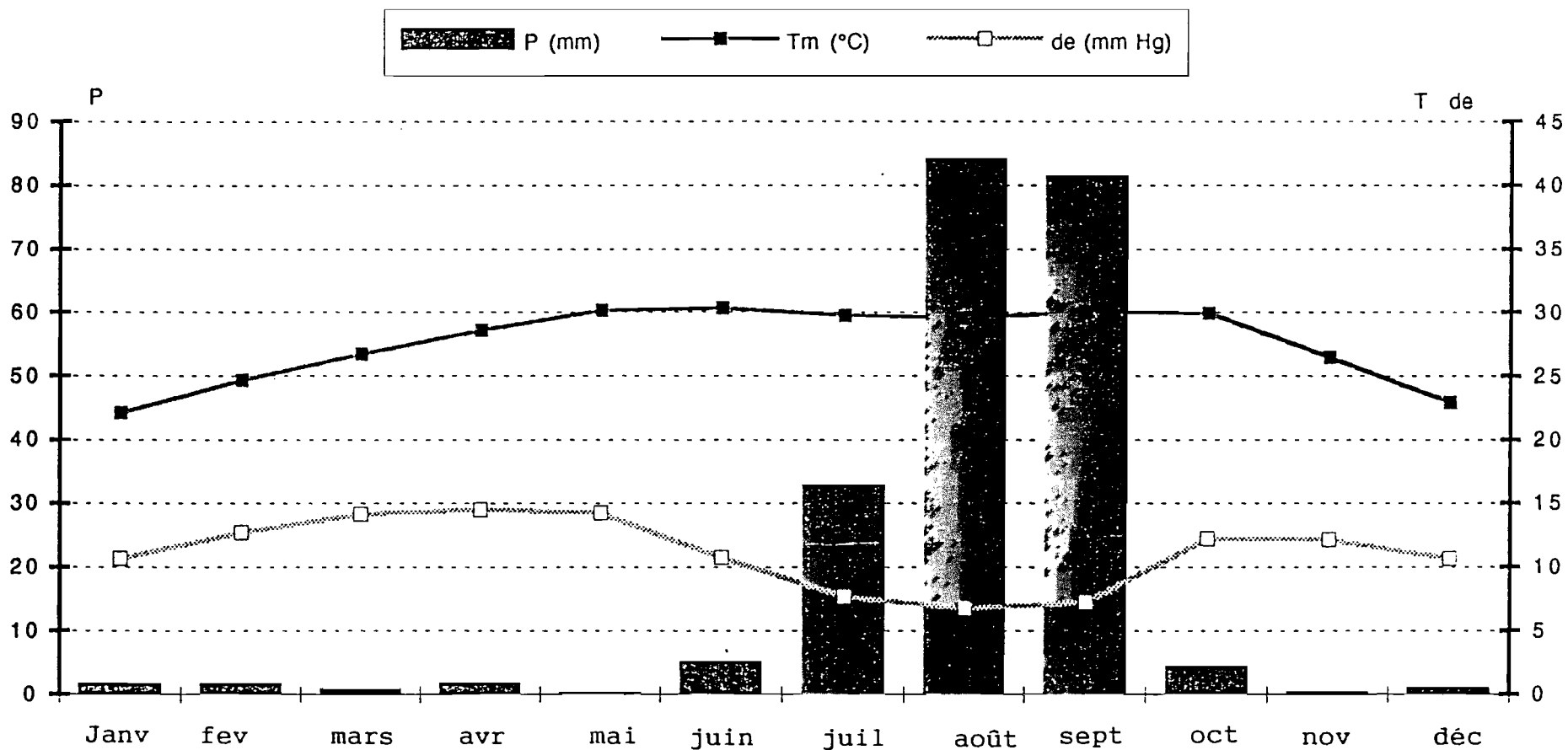
L'important déficit hydrique de la région s'explique par :

- Une température moyenne élevée (30°C) et de faibles variations saisonnières par rapport à celle-ci.
- Des vents forts, érosifs et desséchants.
- Une pluviométrie faible(280mm en moyenne).

L'évaporation calculée par la formule de Penman est de 2400mm/an, elle est loin d'être compensée par la pluviosité. De plus, depuis 1965 l'aridité s'accroît par sa durée mais aussi la quantité des précipitations : moins de 200mm/an pour la dernière décennie (DIAO,1992).

Le fleuve Sénégal suivait ce rythme saisonnier mais par des aménagements hydrauliques successifs, son régime très contrasté a pu être maîtrisé.

Fig.5 : Evolution annuelle des paramètres climatiques mesurés à la station météorologique de Richard Toll. Moyennes calculées sur 15 ans de 1976 à 1991.(COGELS)



C - UN FLEUVE TROPICAL MAITRISE

Le fleuve Sénégal, long de 1800km, prenant sa source dans le Fouta-Djalou, est de régime tropical pur. Il se caractérise par :

- une période de hautes eaux de juillet à novembre.
- une période de basses eaux régulièrement décroissante de décembre à juin.

Le réseau hydrographique de la basse vallée se prolonge en rive sénégalaise par de nombreux marigots secondaires comme le Diovol, le Gorom, le Djoudj...et, au niveau de Richard Toll, il est en relation par l'intermédiaire de la Taoué avec le lac de Guiers, source d'approvisionnement en eau potable de la ville de Dakar.

Le fonctionnement naturel de ce réseau n'est pas compatible avec le programme d'extension agricole de la région:

- Le régime du fleuve Sénégal dépend essentiellement de la pluviométrie en région guinéenne, il suit son irrégularité.

- Sur les 400 derniers kilomètres de son cours, le lit du fleuve est d'altitude égale ou inférieure à celle de la mer et de pente insignifiante (0,05%). En période d'étiage, une langue salée d'eau de mer peut envahir le lit mineur et ses différents défluent: elle peut remonter jusqu'à Podor situé à 240 km à l'amont.

Ce réseau hydrographique est aujourd'hui devenu un environnement fluvio-lacustre maîtrisé grâce à une succession d'aménagements dont l'historique a été établi par GAC et al.(1982).

1947, année de la construction du pont barrage de Richard Toll, empêchant les incursions marines dans le lac de Guiers.

1956, la digue de Keur Momar Sarr au sud du lac de Guiers l'isole de la vallée du Ferlo.

1964 : la MAS construit une digue de ceinture sur 80 km de Dakar Bango à Richard Toll, la SAED des digues de protection (Dagana, Nianga, Guédé). Des réserves d'eau douce sont faites dans le Lampsar, la Taoué (pont barrage anti-sel) et le canal IV de Dagana. Le lac est endigué sur sa rive NW.

La sécheresse de 1972-1973 génère la construction du canal de la Taoué achevé en 76. Jusqu'en 1979, le lac ne communique avec le fleuve que pendant la crue fluviale du 15 juillet au 15 octobre .

L'important déficit pluviométrique des années 80-83 se répercute en juin 1983 par :

- La remontée de la langue salée sur 240 kilomètres(Saos et al.,1984). Un taux de salinité de 22g/l est mesuré dans le canal de la Taoué.
- L'assèchement partiel du lac de Guiers et l'arrêt ponctuel de la station de pompage de la SONEES (créée en 1971) alimentant DAKAR.
- La diminution conséquente de l'irrigation des cultures.

Afin de remédier à ces conditions particulièrement défavorables, une digue antisel provisoire est construite à Kheune, situé à 115 km de l'embouchure du fleuve en novembre 1983. Elle est rebâtie le même mois de l'année suivante.

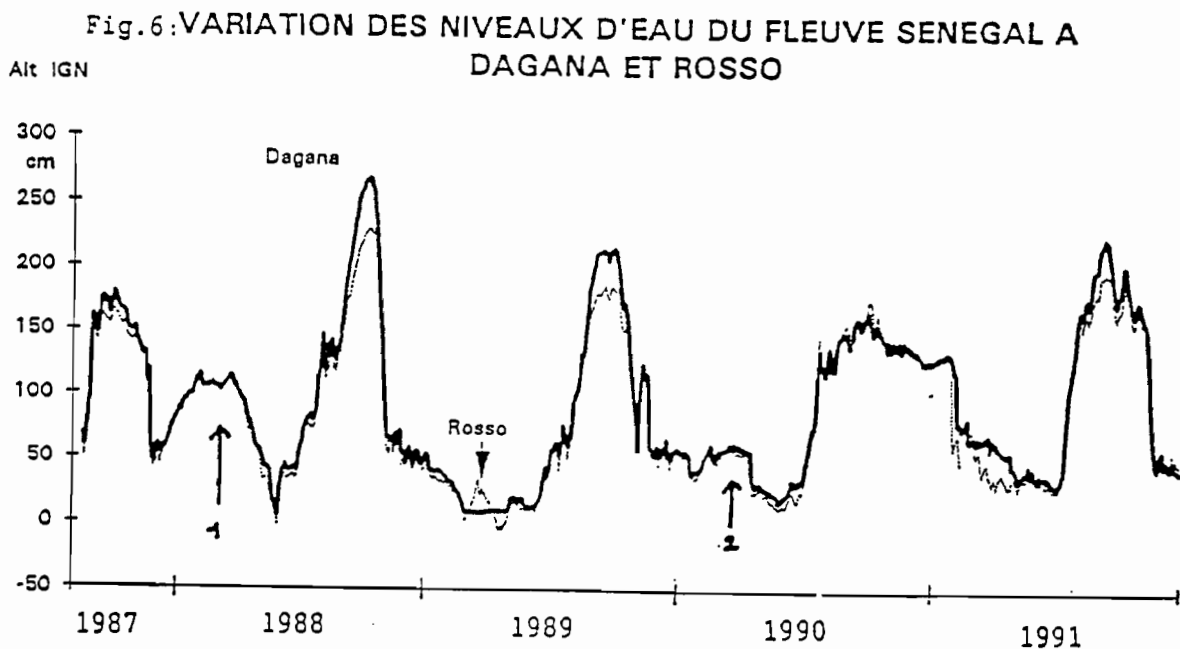
Le 14 novembre 1985, le barrage de Diama est mis en service. Situé à 50 km de l'embouchure, il stoppe définitivement la remontée de la langue salée.

A partir du mois de juillet 1987, le barrage de Manantali situé à 1200km à l'amont de l'embouchure régularise les crues fluviales, mais la baisse des précipitations sur le Fouta-Djalon limite son efficacité.

La courbe de variation du niveau du fleuve depuis le mois d'août 1987 (Fig.6) jusqu'à fin 1991 met en évidence :

- Une élévation de son niveau d'étiage d'environ 30cm durant cette période.
- Deux crues artificielles au début des années 1988 et 1990 qui serviront de repères pour confirmer ou infirmer la communication entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

L'alternance, inondation par les eaux douces du fleuve, inondation par les eaux salées, a conditionné l'évolution des sols de la basse vallée.



← (1) crue artificielle en début d'année 1988

(2) crue artificielle en début d'année 1990

Ces deux crues seront utilisées comme repère de communication entre le fleuve et la nappe superficielle

D - DES SOLS HYDROMORPHES ET SALES

Le principal facteur d'évolution des sols dans les cuvettes aménagées est leur position géomorphologique: elle a conditionné, avant aménagement, la durée de l'inondation par les eaux de crue et donc l'intensité du processus d'hydromorphie auquel se surimpose partout actuellement une pédogenèse saline (MOUGENOT,1982). Pour expliquer ce dernier phénomène, LOYER (1989), indique que le facteur pluviométrique est relativement faible sur l'évolution per descensum des sols salés, le drainage étant pratiquement nul sauf en quelques zones basses. Par contre le facteur thermique joue un rôle considérable sur la dynamique per ascensum de l'eau et des solutés dans les sols, le vent renforçant cette action.

Le schéma classique (Fig.7) de la répartition transversale des différents types de sols dans la vallée a été établi par MTIMET (in LOYER,1989):

<u>Unité géomorphologique</u>	<u>Type de sol</u>
* Dune.....	Sol brun subaride sur sables
* Glacis de raccordement.....	Sol peu évolué hydromorphesur colluvions
* Cuvette de décantation.....	Vertisol hydromorphe à gley plusou moins salé, sur argiles etsables de profondeur
* Fluvio-deltaïque haut.....	Sol hydromorphe à pseudogley et bas (Levées).....plus ou moins salé sur matériaude texture variable
* Levée subactuelle.....	Sol peu évolué d'apport salé, sursables alluviaux hétérogènes
* Lit mineur.....	Sols minéraux bruts suralluvions

Des "deltas de rupture" transversaux peuvent localement rendre cette séquence plus complexe.

Les mangroves fossiles (cf. géologie IV) ont engendré de nombreux sols sulfatés acides. Les sols de mangrove riches en argile et en matière organique sont initialement très réducteurs et contiennent des sulfures, l'abaissement de la nappe salée provoque d'une part leur déssalage, d'autre part l'oxydation des sulfures en acide sulfurique, acidifiant ainsi le profil si le milieu n'est pas tamponné par du calcaire actif. Celui-ci correspond approximativement aux fractions de carbonate de calcium (CaCO₃) présentes dans les limons et les argiles.

Le sel d'origine marine incorporé dans les sols se retrouve aussi dans les nappes souterraines.

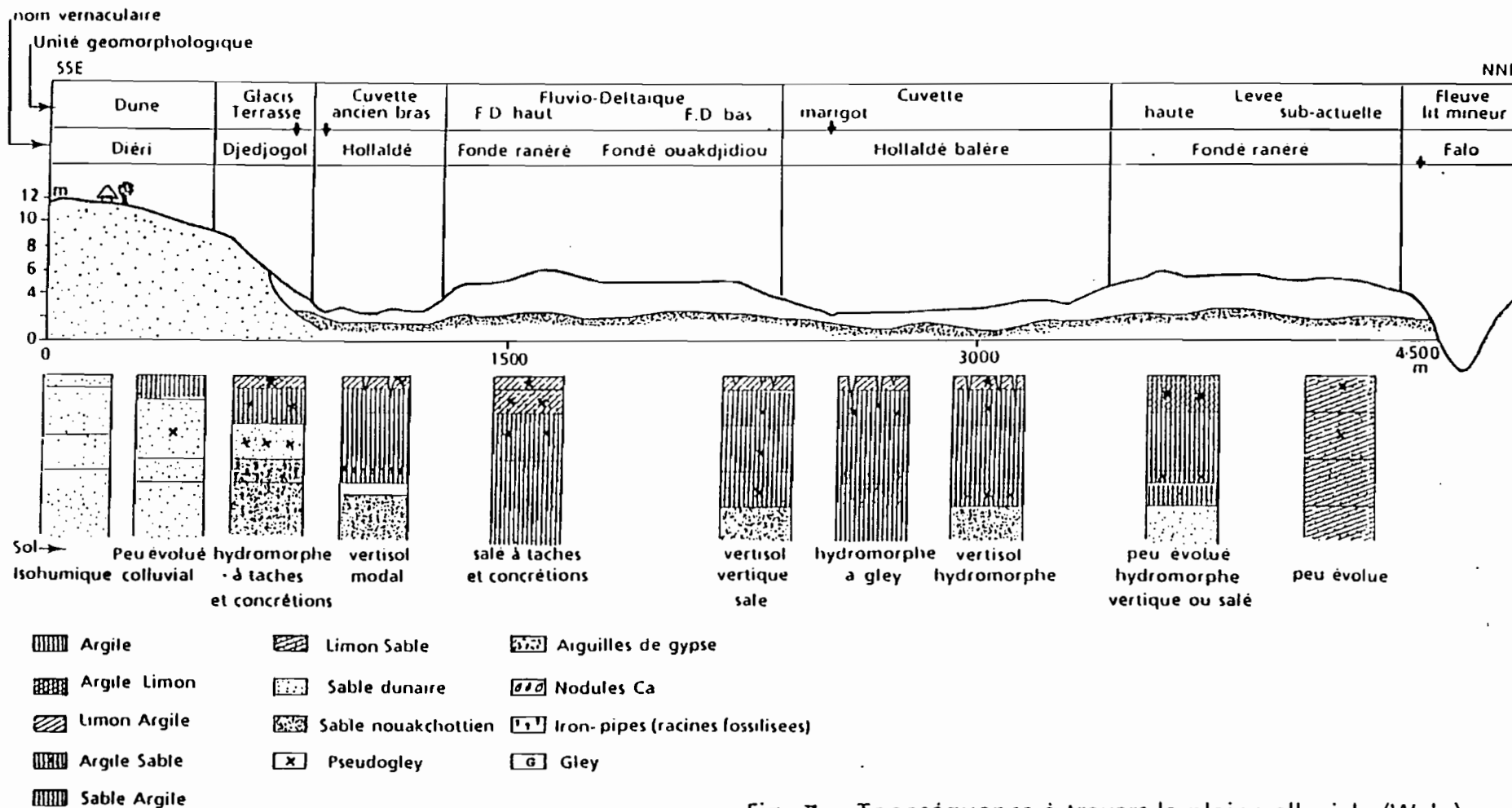


Fig. 7 Toposéquence à travers la plaine alluviale (Walo) au niveau de Ndierba (A. MTIMET, 1979)

E - UNE NAPPE ALLUVIALE SALEE

Dans la basse vallée du fleuve Sénégal, deux systèmes aquifères se superposent plus ou moins en continuité.

L'aquifère profond

Hétérogène, couvrant l'ensemble du bassin sénégalo-mauritanien, il est composé par les calcaires éocènes et les sables maestrichtiens. Cette nappe est située à relativement faible profondeur dans la région étudiée et elle est salée : plus de 5g/l (BRGM: Hydraulique villageoise du Nord Sénégal, 1982).

Au niveau de l'anticlinal de Guiers, Il n'est d'ailleurs pas possible de différencier cette nappe profonde de la superficielle (DIAGANA, 1990). Cette continuité permet la recharge de l'aquifère profond à travers les alluvions quaternaires.

L' aquifère de surface

Très complexe de par son hétérogénéité granulométrique et sa structure lenticulaire, il correspond aux dépôts sablo-argileux quaternaires auxquels il faut associer, sur la bordure orientale du lac de Guiers, ceux du Continental Terminal. Cette nappe alluviale occupe tout le lit majeur du fleuve et ses eaux ont incorporé le sel des formations géologiques dont l'origine marine a été évoquée dans la morphogenèse quaternaire de la vallée. Parfois leur concentration en sel dépasse même celle de l'eau de mer!

L'organisation de ce système dans la zone du Delta est décrite dans le rapport des travaux de la Cellule des eaux souterraines de l'OMVS (1990) comme celle d'un aquifère unique constitué de deux réservoirs superposés:

- Un réservoir supérieur, relativement homogène, constitué des sables fins du Nouakchottien, parfois de la partie supérieure de l'Inchirien. Son épaisseur est très variable de 0 à 12 m.

Ce compartiment aquifère, est géométriquement captif et/ou libre selon la présence d'une couche semi-perméable (argile et/ou silt) en surface appartenant aux sédiments actuels ou subactuels.

- Un réservoir inférieur, hétérogène constitué des sables fins à grossiers mêlés à des silts appartenant à l'Inchirien. Son épaisseur n'a pu être évaluée. Ce compartiment aquifère est séparé du précédent par une couche semi-perméable (argile ou silt) de quelques mètres: il s'agit des strates du sommet de l'Inchirien et parfois de la base du Nouakchottien. Cet horizon étant discontinu, une communication hydraulique devrait exister entre les deux compartiments constituant l'aquifère.

La limite de ces réservoirs aquifères se prolonge au-delà de celle du Delta sensu-stricto. Cependant l'extension latérale du compartiment supérieur se limite au nord et au sud à la frontière Ouallo/Dieri définissant localement le lit majeur du fleuve Sénégal et la limite orientale du compartiment inférieur correspond à la frontière géologique proposée par AUDIBERT (1970) et confirmée structurellement en 1985 par LEPRIOL.

Différentes études piézométriques et pompages d'essai ont permis d'établir les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe superficielle dans la région du fleuve Sénégal: LALEYE en 1964, AUDIBERT en 1970, ILLY en 1973, l'OMVS en 1988, BONKEL en 1989 et DIAGANA en 1990.

De manière synthétique et forcément schématique du fait de l'hétérogénéité des aquifères, la nappe alluviale du secteur étudié se caractérise par :

- une organisation multicouche.
- une transmissivité (T) et une perméabilité (K) assez bonne, en moyenne: T de 10^{-3} à 10^{-4} m²/s et K de 10^{-3} à 10^{-4} cm/s.
- un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 10^{-4} .

Avant la mise en place des aménagements hydroagricoles, la recharge des nappes était annuelle et se faisait à partir des eaux de crue du fleuve par inondation du Oualo. Les eaux de pluie ne jouent pas un rôle déterminant du fait de leur faiblesse et de l'importance de l'évaporation et de l'évapotranspiration.

Actuellement, l'alimentation par les eaux du réseau hydrographique naturel (fleuve, marigots et lac de Guiers) ne concerne qu'une mince frange riveraine de l'aquifère (150m à Kheune, selon SAOS et ZANTE, 1985). La recharge se fait essentiellement par les eaux des périmètres irrigués, et ceux-ci étant en pleine extension depuis la mise en eau du barrage de Diama en 1987, la surface piézométrique de la nappe superficielle remonte si le drainage n'est pas suffisamment efficace.

DEUXIEME PARTIE

LES AMENAGEMENTS
HYDRO - AGRICOLES

LES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES

(DE THIAGAR A DAGANA)

A - HISTORIQUE DE LA MISE EN VALEUR AGRICOLE DU DELTA

I - Début du XIX siècle, des essais de cultures industrielles

Pour diverses raisons, sociales et techniques, les premières tentatives de cultures industrielles dans le Delta du Sénégal, principalement celle du cotonnier, restèrent sans suite. De cette période ne subsiste que le nom de Richard Toll qui associe Richard à son jardin d'essai (Toll-jardin en woloff). En effet, toutes les expériences menées jusqu'en 1940 manquèrent de continuité et surtout ne disposèrent pas de techniques agricoles et hydrauliques assez élaborées pour faire face aux problèmes posés dans le Delta du Sénégal :

- la protection des cultures en période de crue.
- l'alimentation en eau douce en fin de saison sèche lorsque le Sénégal est salé.
- l'irrigation avec un système de pompage puissant.
- l'introduction d'espèces cultivées nouvelles en région sahélienne impose une sélection des variétés les mieux adaptées ce qui demande beaucoup de temps.

II - Après la 2ème Guerre Mondiale, nouvel objectif : la culture du riz pour l'indépendance vivrière

Le plan PELTIER et DE LISLE (1945), prévoyant l'aménagement de 50000 ha rizicoles, est adopté par les sociétés successives chargées de la mise en valeur des terres du Delta. Le casier de Richard Toll est le premier à être aménagé: il passe du statut expérimental, de 120 à 600 ha de 1944 à 1949, à celui de grand centre agricole, de 1500 puis 6000 ha en 1957, à son achèvement. Le casier est géré par le Service de l'Agriculture du Sénégal et la MAS (Mission d'aménagement du Sénégal) jusqu'en 1953, il est ensuite confié, jusqu'en 1960, à l'entreprise ORTAL (entreprise de travaux publics).

III - De 1960 à nos jours , le développement des aménagements

1 - le casier de RICHARD TOLL

La gestion du casier est confiée à la SDRS (société de Développement Rizicole du Sénégal) en 1961. Mais le coût élevé de l'importation du sucre et les résultats positifs (85t/ha) des essais expérimentaux de la culture de canne à sucre, décident de la reconversion du casier rizicole en casier sucrier en 1972. Cela nécessite un réaménagement qu'une entreprise privée, la CSS (Compagnie Sucrière Sénégalaise) prend en charge:

- installation d'un nouveau système d'irrigation à la raie
- un labour profond
- un planage en touche de piano sur de grandes surfaces (10 à 120 ha) assurant une pente de 2% dans chaque parcelle.
- dessalement du casier réalisé au gypse (10t/ha).80% des parcelles ont du être lesssivées car les sols étaient salés et acides (acide sulfurique développé dans les anciennes mangroves). On a utilisé le gypse ou la chaux pour augmenter le pH.

2 - Le developpement rural

La culture traditionnelle dans la vallée est conditionnée par la remontée d'eau salée qui n'autorise que des cultures de décrue (sorgho principalement, puis riz). Elles sont réalisées dans les cuvettes de décantation inondées naturellement par la crue annuelle du Sénégal.

Mais depuis 1965, la SAED (Société d'Aménagement et d'Exploitation du Delta) prenant le relai de l'OAD (Organisation Autonome du Delta, a entrepris la réalisation de nombreux aménagements hydro-agricoles pour arrêter la pénétration de la langue salée et modifier le système d'exploitation traditionnelle.

En 1967, les surfaces aménagées, en aménagement ou à aménager sont recensées :

- 23 400 ha dans le Bas Delta
- 7 500 ha dans le Moyen Delta
- 2 100 ha dans le Haut Delta

Sur ces 33 000 ha, 19 000 doivent être abandonnés du fait de la trop forte salinité des terres.

La planification de la mise en valeur des terres du Delta est alors révisée : il faut perfectionner l'aménagement des parcelles et limiter leur extension.

Le développement des aménagements hydroagricoles se fait alors progressivement, l'objectif visé étant, par un système de digues et de canaux, la maîtrise totale de l'alimentation en eau et du drainage des casiers rizicoles.

B - DES AMENAGEMENTS POUR LA MAITRISE TOTALE DE L'EAU...

Dans le Delta, trois types de périmètres aménagés diffèrent par leur mode d'irrigation, d'exploitation et de gestion (DIA, 1986).

I - LES GRANDS PERIMETRES

D'une superficie de 300 à 500 ha, ils ont bénéficié d'équipements de plus en plus élaborés

1 - Un aménagement primaire ou de submersion semi-contrôlée

Il a consisté à édifier des digues périphériques isolant les cuvettes rizicoles du fleuve Sénégal pendant les périodes de crue ou d'invasion marine et à contrôler le niveau d'eau par des ouvrages vannés.

2 - Un aménagement secondaire gravitaire ou de submersion contrôlée

La construction de digues internes dans la cuvette exploitée permet d'isoler des secteurs où le dénivelé maximum est de 0,25m et ainsi de mieux contrôler les hauteurs de submersion à l'intérieur du casier. De plus, un système de canaux à fond plat desservant le point le plus bas du casier, peut à la fois servir pour l'irrigation et pour le drainage. C'est le principe de l'irrigation par l'aval mais, il ne permet pas de contrôler la vitesse de montée de l'eau

3 - Un aménagement secondaire par pompage ou de submersion contrôlée avec pompage

Suite à la crue déficitaire de 1968, trois stations de pompage, Diawar, Thiagar et Ronkh, prélevant directement l'eau du fleuve, sont installées: elles alimentent la totalité des cuvettes aménagées en juillet 1969. C'est un progrès considérable dans l'acquisition de la maîtrise de l'eau car le choix de la date de début de mise en eau des parcelles est désormais possible. Suivant le retrait de la langue salée, le cycle cultural débute généralement en août pour se terminer en décembre.

Les stations de pompage desservent 10 970 ha en juillet 1970 mais seuls 7475 ha seront exploités à la campagne 1970/71 en raison de la trop forte salinité de nombreuses parcelles aménagées.

Ce mode d'irrigation présente encore des inconvénients :

- Les variétés de riz doivent rester peu exigeantes du point de vue hydraulique; or, ce sont les moins productives.
- Les phases de remplissage et de vidange sont contrôlées mais restent soumises aux aléas hydrologiques.
- L'accès des grands secteurs durant la submersion est difficile.

On réalise alors l'aménagement tertiaire, le plus perfectionné de tous.

4 - Un aménagement tertiaire ou de submersion dirigée

Cet aménagement consiste à cloisonner les secteurs afin que la variation de la hauteur de submersion ne dépasse pas 10cm, valeur seuil pour les variétés de riz à haut potentiel productif. D'autre part, le périmètre est subdivisé en sous-secteurs de 20 à 50 ha indépendants du point de vue hydraulique ce qui permet de contrôler efficacement le plan d'eau durant la crue du fleuve. L'irrigation se faisant par l'amont, les canaux d'adduction empruntent les points hauts du paysage. En fin de cycle les eaux excédentaires sont évacuées par un réseau de drains à ciel ouvert et pompées en dehors du périmètre par des stations d'exhaure.

Le premier aménagement tertiaire du Delta a été réalisé en 1971 dans le périmètre de Boundoum Barrage sur 185 ha. En 1972, 400 ha sont aménagés à Boundoum Nord, 100 ha dans la cuvette de Savoigne. Depuis, tous les aménagements, quelque soit la dimension du périmètre, sont de type submersion dirigée: la maîtrise de l'eau est totale.

II - LES PETITS PERIMETRES

La mise en valeur de petites superficies (quelques ha à 50 ha mais parfois plus), a été confiée aux villageois afin de leur permettre d'améliorer leur production vivrière. Ils participent à la construction du périmètre irrigué, l'aménagement étant de conception simple, donc de faible coût puis ensuite ils sont responsables de sa gestion.

Il existe trois types de petits périmètres, de même simplicité technique mais différents dans le mode de réalisation et d'exploitation.

1 - Les périmètres d'irrigation villageoise (PIV):

Ils sont réalisés et exploités dans le cadre du programme annuel de la SAED au même titre que les grands périmètres.

2 - Les foyers des jeunes :

Ce sont des associations sportives et culturelles sous la tutelle du Ministère de la Jeunesse et des Sports, regroupant 100 à 400 membres âgés de 15 à 45 ans, le plus souvent du même village. Les foyers sont pratiquement indépendants de la SAED pour la réalisation et l'exploitation de leur périmètre.

3 - Les périmètres d'irrigation privés (PIP) :

En nombre croissant car d'autres secteurs que l'agriculture viennent s'investir. Un contrat est établi entre la SAED et l'exploitant

III - LES UNITES AUTONOMES D'IRRIGATION (UAI)

Ce sont des périmètres d'aménagement intermédiaire. Ils sont l'aboutissement de la politique de désengagement de la SAED suivie depuis 1980. Ces surfaces peuvent être confiées directement aux groupements des producteurs villageois, la SAED n'intervenant plus que comme aide technique et conseillère.

C - QUELQUES EXIGENCES DES PRINCIPALES PLANTES CULTIVEES

I - LA CANNE A SUCRE

Cette plante en C4 des zones tropicales humides, est très avide d'eau. Ses besoins ont été estimés dans la région du fleuve à 30000m³/ha/an. L'apport pluviométrique n'assurant que 10 à 15% de ces besoins, une irrigation quasi permanente doit fournir 25000m³/ha/an à la plante. Avec une superficie de mise en culture par la C.S.S de 7500 ha, les besoins globaux peuvent se chiffrer à :

$30\ 000 * 7500 = 225\ 000\ 000\text{m}^3/\text{an}$, soit 225 millions de m³

L'irrigation se fait en moyenne tous les 10 jours à partir de données informatisées tenant compte à la fois des conditions climatiques, des capacités de rétention du sol de la parcelle et du stade de végétation des cultures.

Le rendement actuel obtenu à Richard Toll est de 115t/ha, soit 12 à 13t/ha de sucre mais durant son cycle de végétation annuel, la canne à sucre épuise fortement le sol : une récolte de 100t/ha consomme jusqu'à 120kg d'azote, 70kg de phosphore et 200kg de potassium. La quantité d'engrais utilisée est par conséquent importante.

L'apport d'azote se fait en 2 fois sous forme d'urée à 46%: 130kg/ha en fertilisant de base puis un complément de 70kg/ha après 3 ou 4 mois de culture. L'apport de phosphore se fait sous forme de TSP (Triple Super Phosphate) titré à 45% de P²O⁵ provenant de Taïba : 135kg/ha/an sont épandus comme engrais de fond. Pour le potassium, 75 kg/ha/an sont mis en fertilisant de base sous forme de KCl titré à 60%.

II - LE RIZ

La riziculture par submersion demande une tranche d'eau de 10cm. Les besoins en eau du riz ont été évalués à 18000m³/ha/an.

Deux cycles de culture sont possibles :

- Le riz d'hivernage: la mise en eau des parcelles commence entre le 15 juillet et le 15 août et l'irrigation se termine vers le 15 décembre.
- Le riz de contre-saison chaude: l'imbibition se fait entre mi-mars et mi-avril, le cycle de culture durant 4 mois, la récolte se fait en Juillet-Août.

Les parcelles sont enrichies avant imbibition avec un engrais N16P48K0 (100kg/ha, source SAED) puis avec 200 à 250 kg/ha d'urée fractionnés en deux ou trois fois.

Sur les surfaces de Dieri et dans certaines cuvettes rizicoles en dérobé, la tomate est cultivée, elle a besoin de moins d'eau : 12000 m³/ha/an. C'est une culture de contre-saison froide; le repiquage se faisant en octobre, elle se termine en mai.

La tolérance au sel des plantes cultivées a pu être estimée par la conductivité électrique de la solution du sol.

Pour les plantes de grande culture, les maxima supportés sont

- 12 mS/cm pour la betterave à sucre, le coton.
- 8 mS/cm pour le sorgho, le maïs, le riz.

Pour les légumes, les seuils de tolérance sont:

- 8 mS/cm pour les choux, les asperges et les épinards
- 5 mS/cm pour les tomates, choux-fleur, laitues, pommes de terre, patates ignames, poivrons, carottes, oignons, aubergines, concombres.

D - L'INTENSIFICATION DES CULTURES ET LES PROBLEMES POSES

I - L'EXTENSION DES SUPERFICIES CULTIVEES

1/ Bilan des superficies exploitées en novembre 1990 (source SAED)

LE PERIMETRE DE DAGANA

Les grands aménagements de Dagana existent depuis 1974 mais ils sont en cours de réhabilitation depuis 1990.

Dagana A : réhabilitation achevée hivernage 91/92

542 ha exploités

Dagana B : réhabilitation achevée hivernage 92/93

1130 ha exploités

- 55 ha sont exploités dans le périmètre de Mbilor.
- 290 ha sont des aménagements de type villageois (PIV).
- 357 ha sont des aménagements de type privé (PIP).

Soit un total de 2374 ha cultivés, pour le périmètre de DAGANA.

LE PERIMETRE DE RICHARD TOLL

- 7500 ha sont exploités par la CSS

Pour les grands aménagements:

Thiagar: 1611 ha , créé en 1974, réhabilité en 1989.

Mbagam: 501 ha.

Colonat: 885 ha.

Thiago Guiers: 142 ha

- 311 ha dans l'aménagement intermédiaire (UAI) de Ndombo
- 274 ha dans l'UAI de Thiago
- 1545 ha en aménagements de type villageois (PIV).
- 416 ha en aménagements de type privé (PIP).

Soit un total pour le périmètre de RICHARD TOLL de 5685 ha cultivés en plus des 7500 ha de la CSS.

2/ Historique de l'extension (source OMVS)

Le tableau récapitulatif ci dessous montre bien l'importante extension (EXT.) des périmètres irrigués depuis 1990. Elle est liée à la réalisation des barrages et à la constitution d'une importante réserve d'eau douce permettant d'assurer l'irrigation toute l'année.

année	SECTEUR DAGANA		SECTEUR MBILOR		SECTEUR R.Toll sud		SECTEUR THIAGAR	
		EXT.		EXT.		EXT.		EXT.
1980	1925 ha		60 ha		741 ha		1141 ha	
1984	1933 ha	8ha	167 ha	107ha				
1985	1933 ha		167 ha		769 ha	28ha	1073 ha	
1987	1940 ha	7ha	237 ha	80ha	769 ha		1145 ha	72ha
1989	1940 ha		259ha	22ha	769 ha		1145 ha	
1990	2298 ha	358ha	454 ha	195ha	975 ha	206ha	1475 ha	330ha

Les extensions prévues dans le Delta à l'horizon 2000 sont estimées à 21 500 ha pour la SAED, 2000 ha pour la CSS. Dans cette perspective, les périmètres d'irrigation privés représentent environ 20 000ha. Les aménagements vont donc évoluer très vite avec une répercussion en particulier, sur la nappe superficielle de la vallée.

II - LES PROBLEMES POSES PAR L'EXTENSION DE L'IRRIGATION

LALEYE (1964), dans son étude piézométrique du secteur du Diovol, décrit les formations alluviales comme très complexes par leur structure lenticulaire. La présence d'un niveau d'argile défloculée, au toit de la nappe salée doit être prise en considération dans les travaux d'aménagement futurs de même que la remontée de la nappe salée par les eaux d'irrigation.

Si la riziculture par submersion change peu les conditions naturelles d'inondation par les crues du Sénégal, par contre celle de la canne à sucre nécessitant une irrigation quasi permanente, doit provoquer une remontée de la nappe salée. Un drainage efficace permettrait de contrôler ce phénomène mais la très faible perméabilité des terres imposerait l'installation d'un réseau très dense pour assurer un rabattement notable (1m environ)

de la nappe dans un délai acceptable. Outre le coût, une telle maille serait gênante pour les cultures: il faudra se contenter du drainage naturel par l'évaporation très forte dans cette région.

Dans " Pédologie et conditions de la drainabilité de l'ensemble Richard Toll-Diovol"(1966),la profondeur des drains est dite limitée à 2 mètres,pour des raisons économiques.

Dans le rapport SEDAGRI (1973) est abordé le problème de l'alcalisation de la nappe liée à l'apport des eaux d'irrigation.

LOYER et LE BRUSQ (1983), ont étudié l'influence de l'intensification des cycles de riziculture sur les sols irrigués de la basse vallée du fleuve Sénégal.

Leur étude d'un périmètre cultivé en domaine salé dans la vallée du Lampsar caractérise le sol et la nappe phréatique des parcelles avant leur première mise en eau en 1980 puis suit leur évolution au cours de trois campagnes rizicoles successives (1980/1981/1982).

Leurs principaux résultats peuvent se résumer ainsi:

- La riziculture submergée pratiquée sur les sols plus ou moins salés provoque une diminution de la macroporosité des horizons supérieurs.
- Le dessalement des sols est possible grâce à un important apport d'eau douce de bonne qualité, mais il reste limité à leur partie superficielle. Les sels restés piégés en profondeur sont recyclés au cours de la saison sèche par processus évaporatoire et de nouveau concentrés en surface. Cette salure résiduelle élevée est liée à la présence d'une nappe superficielle très salée et à la profondeur insuffisante du drainage.
- Une forte élévation du pH a été observée (jusqu'à 9,6) dans les sols dessalés. Cela traduit probablement une alcalisation du complexe adsorbant (fixation du sodium) par les eaux de nappe dont le SAR est élevé. Celles-ci sont donc susceptibles de dégrader la structure et la porosité du sol aboutissant à un milieu imperméable, mal drainant, impropre à la culture.
- Sous l'influence de la submersion, les eaux phréatiques remontent, parfois, jusqu'à la surface du sol. Après le second cycle rizicole, elles commencent à se dessaler du moins dans leur tranche superficielle mais restent très alcalisantes.
- La qualité des eaux évacuées par les drains montre peu de variations chimiques au cours du cycle cultural: elles sont essentiellement chlorurosulfatées (Cl/SO₄ supérieur à 5) avec très peu de bicarbonates (inférieur à 2% des anions). Parmi les cations le sodium domine largement (66% en méq/l), le magnésium vient ensuite (22%) puis le calcium (12%).
- Le bilan entrée/sortie de l'ensemble des ions des eaux de la nappe est négatif sauf pour les bicarbonates, ce qui incite à penser que la salure résiduelle dans les cuvettes irriguées du Delta tendrait à long terme vers un type carbonaté au lieu du type chloruro-sulfaté actuel.

A défaut de l'installation d'un réseau de drainage profond, l'intensification de la riziculture en domaine salé telle qu'elle est actuellement pratiquée dans la basse vallée, suite à la construction du barrage de Diama, nécessitera obligatoirement certaines précautions à prendre:

- La position des drains devra être maintenue au plus bas niveau par un entretien régulier et un pompage permanent pendant et après le cycle cultural.

- Des mesures contre l'alcalisation, par addition de chaux, de calcaire, de résidus phosphatés ou de gypse, devront probablement être prises pour aider au dessalement et maintenir la qualité physique des sols; elles nécessiteront des expérimentations préalables afin de cerner les inconvénients que peuvent présenter certains de ces amendements (apports de soufre dans le cas du gypse, augmentation du pH dans le cas de la chaux ou du calcaire).

On estime à 250 000 ha environ la superficie des terres affectées par le sel sur la rive sénégalaise de la basse vallée du fleuve. Leur éventuelle mise en riziculture, imposerait un apport de 2,5 milliards de m³ d'eau et l'évacuation de 600 millions de m³. Cela nécessitera un réseau de drainage bien conçu, bien calibré et fonctionnel, principal garant de la conservation de ces terres.

TROISIEME PARTIE

RECHERCHE DE L'IMPACT DES
AMENAGEMENTS HYDRO - AGRICOLES
SUR LA NAPPE SUPERFICIELLE

RECHERCHE DE L'IMPACT DES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES SUR LA NAPPE SUPERFICIELLE

A - LES PARAMETRES UTILISES

La qualité des eaux de la nappe superficielle a été appréciée dans cette étude à partir des paramètres suivants :

I - LE FACIES HYDROCHIMIQUE

Le faciès hydrochimique de la nappe est obtenu avec la représentation graphique de PIPER. Basée sur la composition en pourcentage cationique ou anionique des éléments majeurs, elle permet de classer les eaux dans 4 grandes familles chimiques :

- Chlorurée sulfatée et sodi-potassique
- Chlorurée sulfatée et calco-magnésienne
- Carbonatée sodique et potassique
- Bicarbonatée calcomagnésienne

II - LA MINERALISATION TOTALE en g/l

Dans cette étude, elle est calculée en totalisant la concentration en g/l des éléments majeurs déterminée par les analyses chimiques .

III - LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

La conductivité ou "conductance spécifique" est une des mesures classiques permettant un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. D'une manière générale et pour un type d'eau donné , la conductivité augmente lorsque les eaux se concentrent.

Les mesures de conductivité électrique ont été ramenées à la température de 20°C et exprimées en milli-Siemens/cm (mS/cm).

En utilisant l'ensemble des données des analyses chimiques de 1990 à 1991, a été établie la corrélation entre la conductivité mesurée et la minéralisation totale des eaux dans les secteurs étudiés (Fig.8). Une relation linéaire a été obtenue d'expression :

$$y = -0,16 + 0,72x$$

avec y : minéralisation totale en g/l

x : conductivité électrique en mS/cm

Le coefficient de détermination égal à 0,99 est satisfaisant.

Cette relation linéaire est acceptable car elle concerne des eaux d'un même site géographique, elle reste cependant approximative: la conductivité d'une eau dépend de sa force ionique(I), elle est définie par :

$$I = 1/2 \sum m_i Z_i^2 \text{ avec } m_i = \text{molalité} , Z_i = \text{valence des divers ions}$$

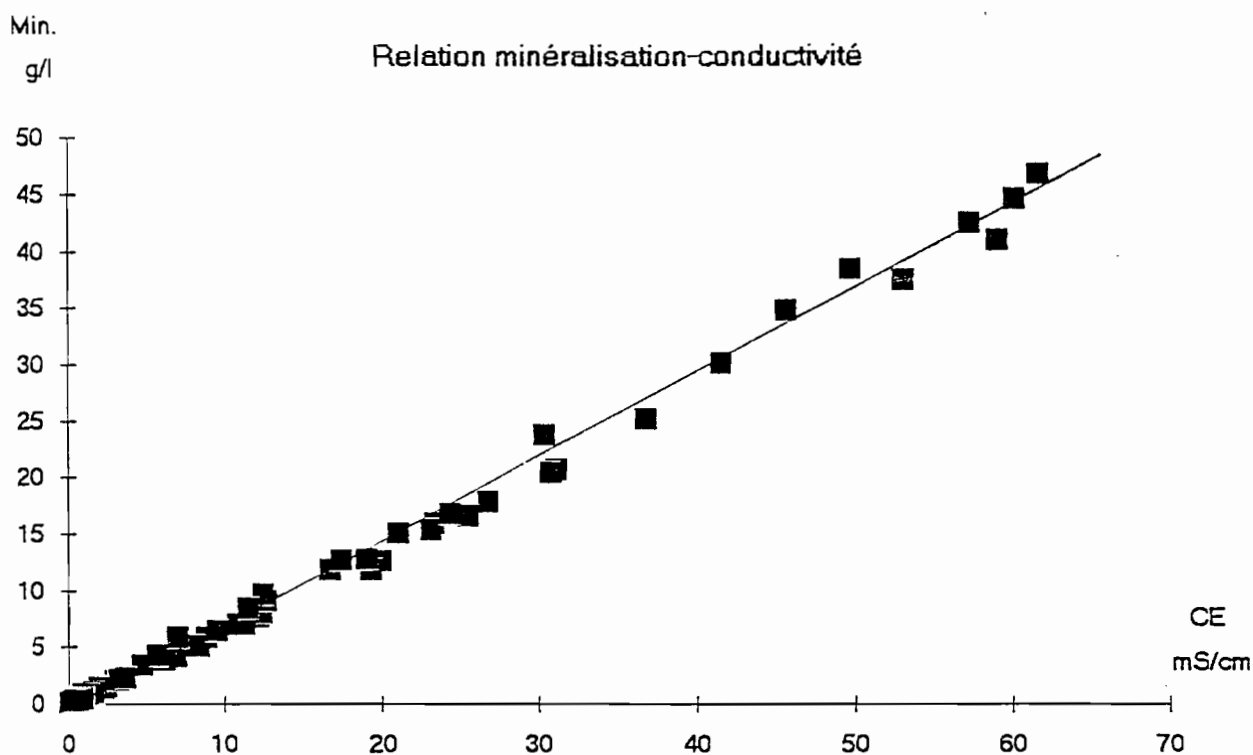


Fig.8 : Corrélation entre la minéralisation des eaux de la nappe superficielle (de Thiagar à Dagana) et les mesure de conductivité électrique.

IV - LE PH

Il peut être considéré comme satisfaisant entre 5 et 8,5, mais il peut varier par précipitation de minéraux. L'oxydation de fer ferreux ou de sulfures peut aussi induire une forte acidification.

V - LE SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR)

Le SAR d'une eau exprime le rapport entre la concentration du sodium et celle des alcalino-terreux :

$$\text{SAR} = \text{Na} / \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2} \quad (\text{en m\acute{e}q/l})$$

La valeur du SAR est une mesure de la nocivité du sodium vis-à-vis du sol (U.S. Salinity Laboratory, 1954). Le pouvoir qu'a une eau de fixer du sodium sur le complexe adsorbant est une fonction croissante du SAR. Lorsque le SAR est supérieur à 10, le taux de fixation est trop élevé (15% environ). Cela provoque une dispersion des argiles, le sol devient compact, imperméable à l'eau et à l'air : c'est l'alcalisation. Elle peut entraîner, après lessivage des sels, une alcalinisation, c'est à dire une forte augmentation de pH.

Une estimation globale de la qualité des eaux peut être faite en tenant compte du couple conductivité - SAR ce qui permet de classer les eaux dans un tableau : risque de salinisation - risque d'alcalisation (Fig.9) La texture du sol à irriguer est à considérer également car le risque d'alcalisation par une eau donnée est d'autant plus fort que le sol est plus argileux.

B - ETUDE SECTORIELLE

L'hétérogénéité de la zone d'étude sur le plan hydro-agricole et la dispersion des piézomètres ont justifié une approche par secteur (cf. la carte de situation, fig.1) :

SECTEUR THIAGAR : des périmètres irrigués pour la riziculture

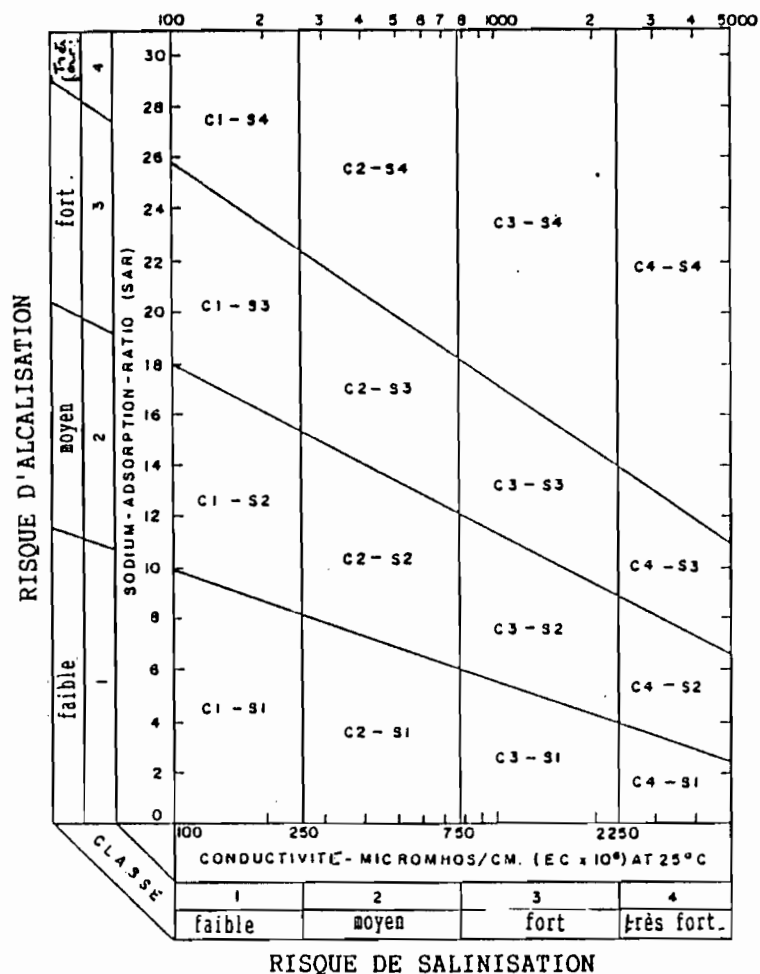
SECTEUR PACK : des surfaces rizicoles en bordure du casier sucrier de la CSS

SECTEUR TAOUE : voie de communication entre le fleuve et le lac de Guiers, à la fois limite des périmètres de canne à sucre, zone rizicole et de quelques polycultures.

SECTEUR MBILOR : des casiers sucriers dans sa partie nord et une zone non aménagée sur le Dieri au Sud

SECTEUR DAGANA : zone essentiellement rizicole en cours de réhabilitation depuis 1990.

Fig.9 : Diagramme de la classification des eaux d'irrigation
(de USDA manuel N°60, "la réutilisation des eaux usées" p.118
Valiron-BRGM 1983)

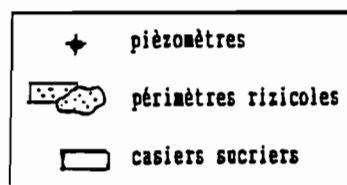
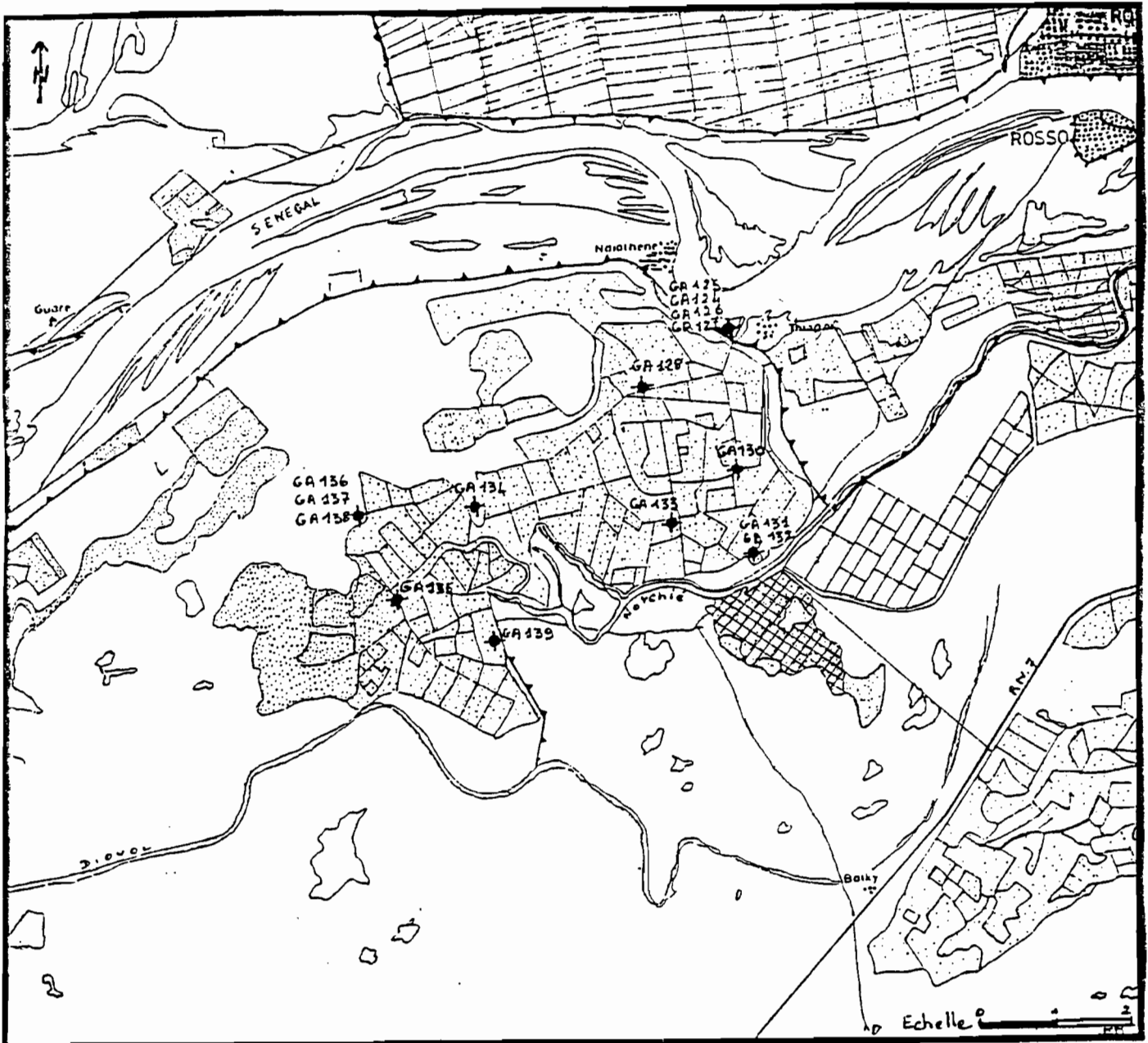


Degré	Qualité	Classes	
1	"Excellente"	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols
2	"Bonne"	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux)
3	"Admissible"	C3-S1 C3-S2	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à faible perméabilité
4	"Médiocre"	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	"Hauvaise"	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel

B1 - SECTEUR THIAGAR

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES

1 - Leur position par rapport aux périmètres irrigués (Fig.10)

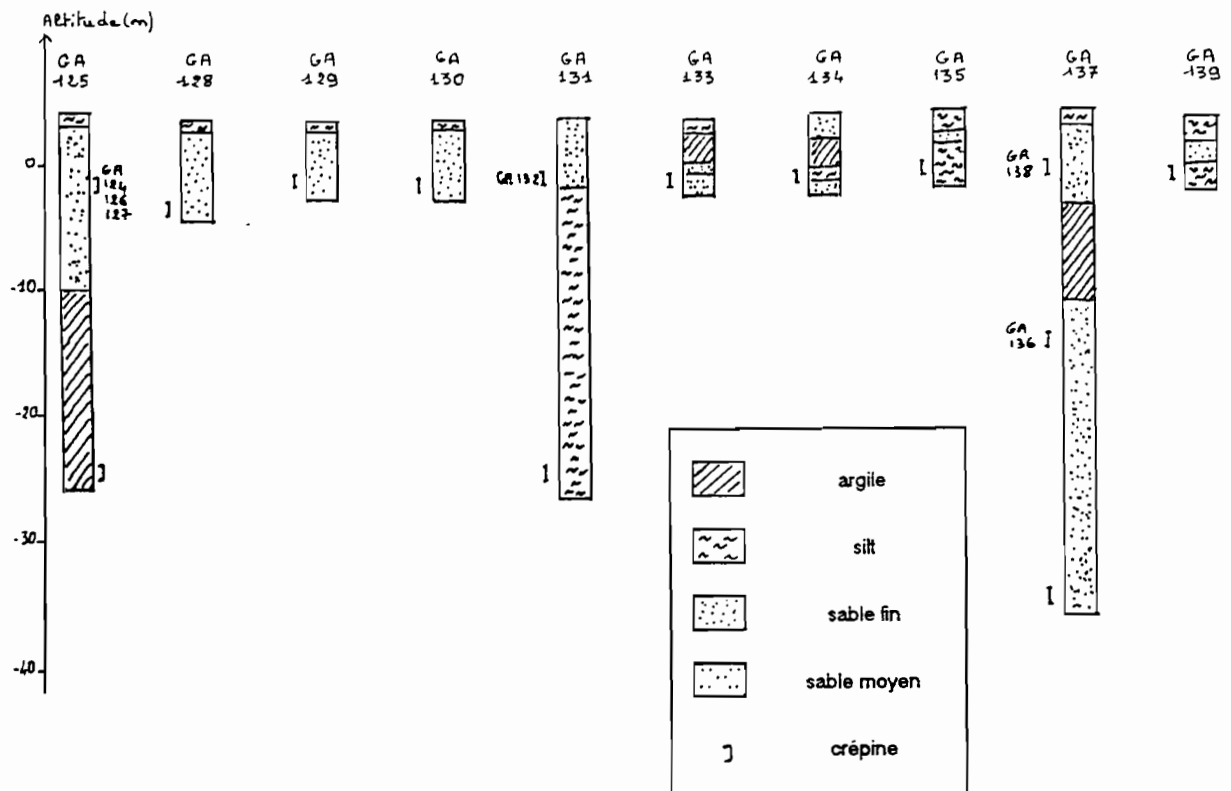


2 - Paramètres techniques des piézomètres du secteur THIAGAR

PIEZOMETRE			Cote	Prof.	Crépine	GEOLOGIE		
	Coord.MTU	Coord.MTU	Repère	Forée	1m de long	Droit	Code	toit
Numéro	X	Y	m/0 IGN	m/sol	Bas cm/sol	Crépine	fm	m/0IGN
GA124 - LP	408.0	1823.0	3.391	7	607	SABLE FIN	NK	-1,1
GA125 - LP	408.6	1823.0	3.927	30	2948	ARGILE	IN	-11,1
GA126 - LP	408.0	1823.0	3.935	7	601	SABLE FIN	NK	-0,1
GA127 - LP	408.0	1823.0	3.402	7	608	SABLE FIN	NK	-0,6
GA128 - LP	406.9	1822.4	3.349	7	602	SABLE FIN	NK	-0,6
GA129 - LP	406.1	1822.4	3.436	6	495	SABLE FIN	NK	-0,6
GA130 - LP	407.7	1821.1	3.206	6	510	SABLE FIN	NK	-0,8
GA131 - LP	407.7	1819.9	3.219	30	2855	SILT	IN	-10,8
GA132 - LP	407.7	1819.9	3.194	6	505	SABLE FIN	NK	-0,8
GA133 - LP	406.8	1820.3	3.031	6	500	SABLE MOY	NK	0
GA134 - LP	404.6	1821.2	3.272	6	498	SILT	NK	-0,7
GA135 - LP	403.4	1820.2	3.467	6	498	SILT	NK	-0,6
GA136 - LP	403.1	1821.6	3.340	20	1898	SABLE FIN	IN	-14,7
GA137 - LP	403.1	1821.6	3.340	40	3890	SABLE FIN	IN	-14,2
GA138 - LP	403.1	1821.6	3.307	6	502	SABLE FIN	NK	-0,7
GA139 - LP	404.4	1819.3	2.847	6	495	SILT	NK	-1,2

Fig.11 - LITHOSTRATIGRAPHIE

- SECTEUR THIAGAR -



- SECTEUR THIAGAR -

II - LA QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991

Les prélèvements, effectués le 21 mars 1991, ne concernent que des eaux de la nappe alluviale, l'Inchirien étant le réservoir aquifère le plus profond atteint dans ce secteur .

Les eaux phréatiques de Thiagar sont très minéralisées (5 à 47g/l) et de faciès chloruré-sodique (Fig.14). Elles sont très alcalisantes (SAR élevé de 30 à 50) mais leur pH reste voisin de la neutralité.

Ces eaux alluviales présentent une qualité proche de leur origine marine. Cependant l'influence de l'irrigation (Fig.12) se traduit par:

- Des teneurs plus faibles en chlorure de sodium, potassium, magnésium liées au lessivage de ces ions. L'étude des rapports caractéristiques montre que même dans les eaux les plus diluées, les cations monovalents sont toujours dominants sur les cations divalents.
- Un gain en carbonates en rapport avec l'origine fluviatile des eaux d'irrigation.
- Un enrichissement en sulfates associé à de fortes teneurs en calcium dans la zone cultivée nord à proximité de la ville de Thiagar (site des piézomètres GA124, GA128 et GA130). Cela peut s'interpréter par l'utilisation de gypse comme amendement sur les parcelles aménagées.
- Des teneurs en nitrates élevées souvent supérieures à 50mg/l. Cette pollution provient d'une mauvaise gestion de l'épandage des engrais sur les périmètres rizicoles.

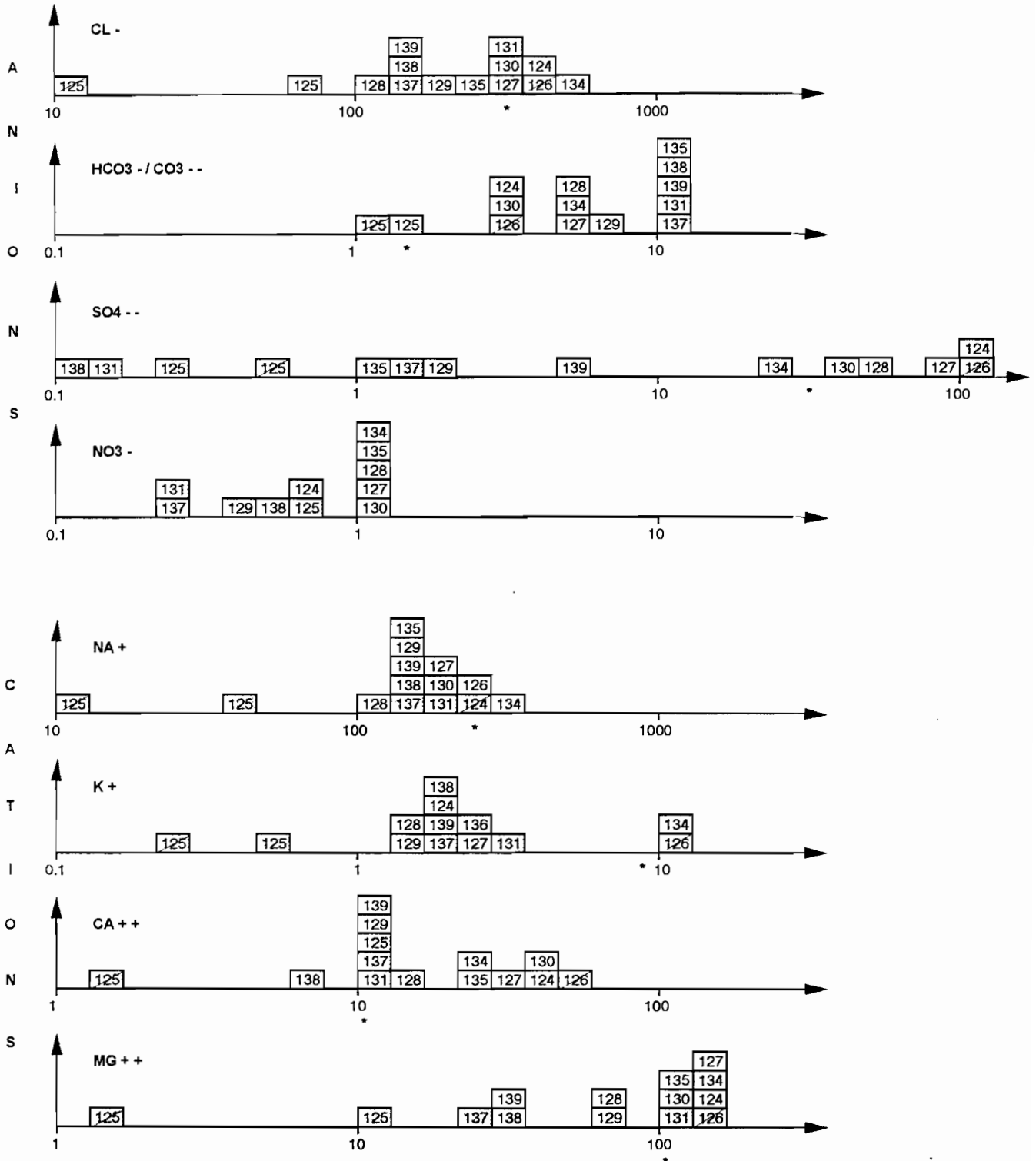
Le faciès des eaux prélevées dans le piézomètre GA128 est celui qui s'écarte le plus du pôle chloruré sodique originel (Fig.14). Cette qualité particulière peut être liée au dôme piézométrique que constitue ce site pour le secteur(Fig.13): c'est une zone de recharge de la nappe par des eaux ayant percolé les terres agricoles.

La comparaison des eaux superficielles et profondes sur un même site permet d'opposer deux cas:

- Celui des piézomètres GA137(40m) et GA138(6m) où le faciès des eaux et leur minéralisation (15 à 16g/l) sont identiques. L'horizon argileux mentionné dans la lithostratigraphie (Fig.11) et séparant les deux réservoirs aquifères serait peu étanche ou en formation lenticulaire.
- Celui des piézomètres GA124, GA127 (7m) et GA125 (30m) de même faciès hydrochimique mais où les eaux en profondeur sont nettement plus diluées qu'en surface: 5g/l dans le GA125 pour environ 40 g/l dans les GA124 et GA127. Dans ce cas, l'horizon argileux beaucoup plus épais limiterait les échanges.

Fig. 12

COMPOSITION IONIQUE DES EAUX ALLUVIALES DE THIAGAR
(en méq / l)



Piezomètres du secteur analysés

1991		1987		GA 124 (7m)	GA 128 (7m)	GA 137 (40m)
	Piezomètre superficiel		Piezomètre superficiel	GA 125 (30m)	GA 129 (6m)	GA 138 (6m)
	Piezomètre profond		Piezomètre profond	GA 126 (7m)	GA 130 (6m)	
				GA 127 (7m)	GA 131 (30m)	
					GA 134 (6m)	GA 139 (6m)
					GA 135 (6m)	

* Eau de mer

- Secteur THIAGAR -

III - EVOLUTION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX

1 - DONNEES DES ANALYSES CHIMIQUES ANTERIEURES

a - 1964, les données de LALEYE

Les relevés piézométriques ont été faits en fin de saison sèche: les 30 juin, 1er et 2 juillet 1964 sur le casier du Diovol.

En 1964, les eaux de la nappe sont chlorurées sodiques et présentent peu de différence avec les données actuelles (Fig.14): elles sont aussi salées en 1991 avec cependant plus de sulfates et de carbonates, ce qui confirme l'apport de ces anions par l'irrigation. La mise en culture favorise aussi la prédominance des cations divalents sur les monovalents.

La comparaison des niveaux piézométriques (Fig.13) permet d'évaluer la remontée de la nappe alluviale depuis 1964 à plus de un mètre. Le risque d'alcalisation des sols fréquemment argilo-sableux dans ce secteur est important.

Les données piézométriques de 1964 (Fig.13) correspondant à l'étiage de la nappe montrent un axe de forte dépression NE-SW qui se superpose partiellement aux marigots Diovol et Natchié, le drainage s'effectuant à travers la cuvette du Djeuleuss vers le marigot du Gorom. Les autres creux de la nappe, points les plus salés du secteur, sont dûs à une évaporation intense, non à un drainage.

A partir du tracé des isochlores (Fig.13), LALEYE déduit que le Sénégal n'alimente pas la nappe. Les teneurs en cet ion semblent augmenter vers le fleuve avec parfois des lentilles plus douces dues à l'influence des marigots.

b - 1982, étude pédologique de MOUGENOT

L'étude porte sur une zone non encore aménagée de 2100ha, la partie nord de la cuvette de Thiagar. MOUGENOT constate que malgré la construction des digues, l'hydromorphie et la salinité des sols n'ont guère variées.

Les caractères généraux de la nappe superficielle sont définis par:

- Une conductivité électrique moyenne de 36 mS/cm.
- Un pH faiblement acide à neutre.
- Le sodium(Na) dominant, puis le magnésium(Mg), le calcium(Ca) et enfin le potassium(K).
- Des chlorures plus abondants que les sulfates (SO₄) et variant linéairement avec le sodium.

Ces caractères confirment l'origine marine de la nappe salée et sont en accord avec l'histoire du delta et les études précédentes.

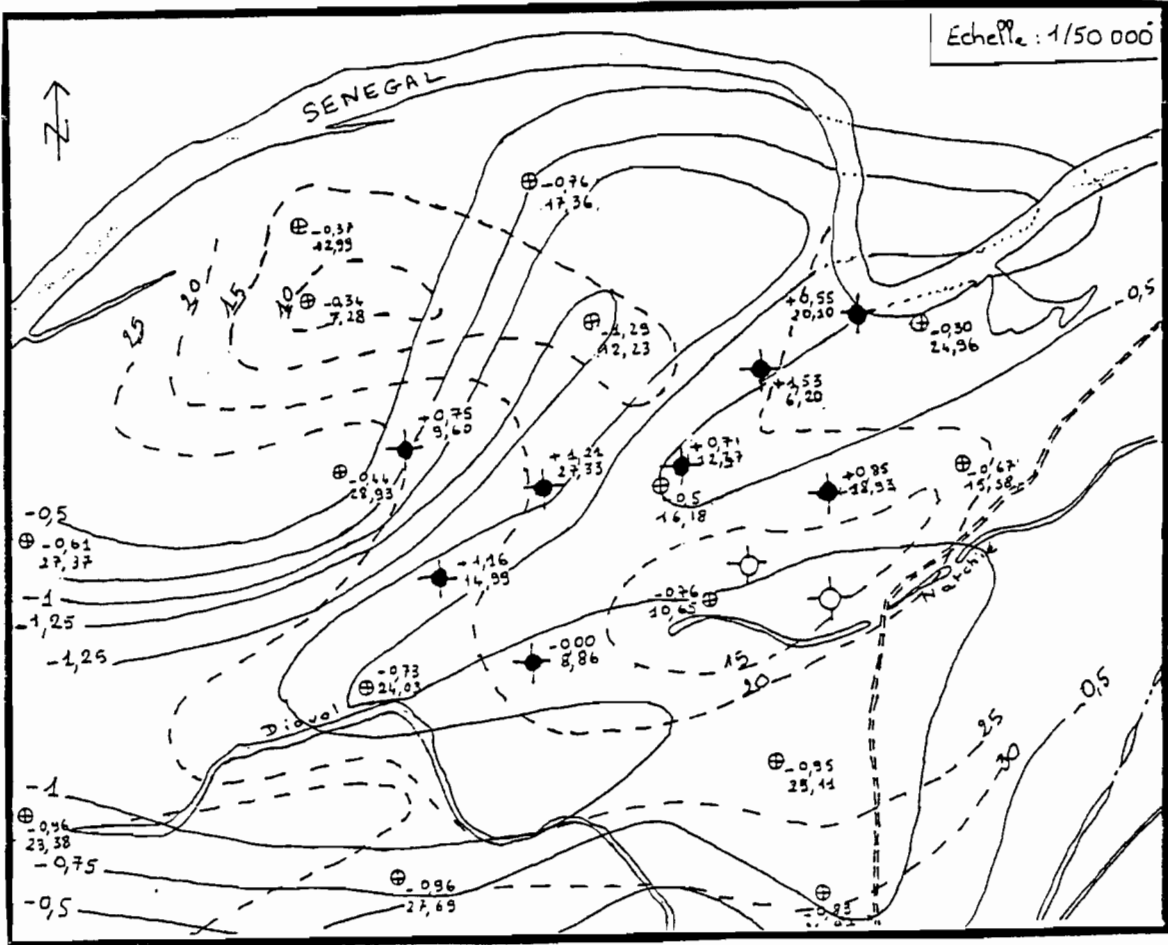
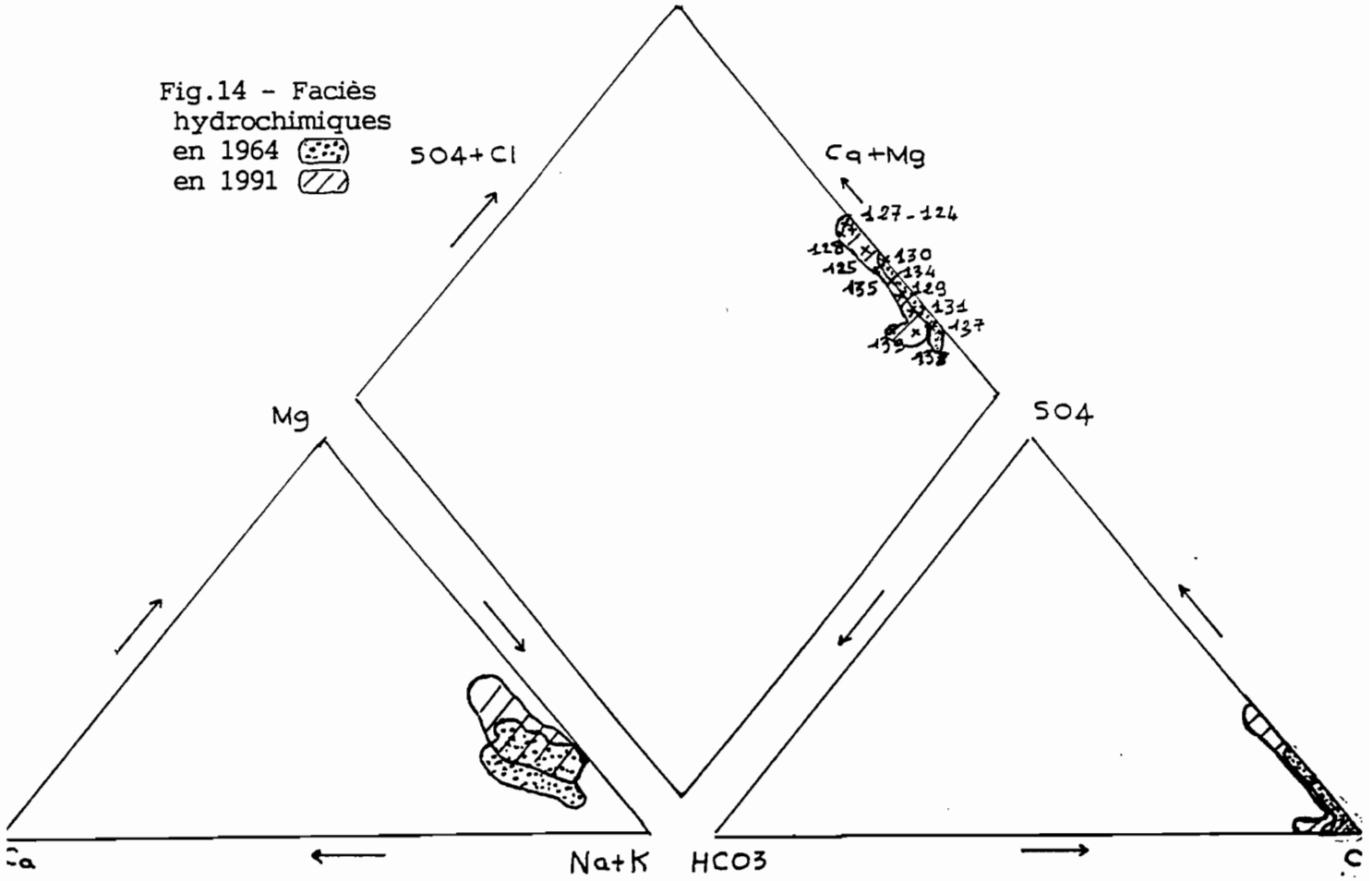


Fig.13 : Niveau piézométrique en 1964 (⊕ -0,3) et en 1991 (◆ -0,9) et teneurs en chlorures en g/l (24,96) dans le secteur THIAGAR. Isopièzes (-) et isochlores (- -) d'après LALEYE, 1964.



Les valeurs élevées du SAR indique prévient du danger d'imperméabilisation par destruction des argiles. L'étude pédologique montre que la nature chimique des nappes dépend de leur position dans le paysage.

Dans les zones hautes, les levées fluvio-deltaïques, les nappes sont :

- Les plus chargées, de conductivité électrique moyenne, 50 mS/cm.
- De SAR très élevé (35 à 60) donc pauvres en calcium et magnésium.
- Chlorurées sodiques et magnésiennes (Cl/SO₄ supérieur à 5).
- De composition irrégulière par précipitations minérales.

Dans les zones basses, les cuvettes, les nappes sont:

- De composition plus régulière.
- De conductivité électrique moyenne, 22 mS/cm.
- De SAR élevé (9 à 35)
- A tendance chloruro-sulfatées (Cl/SO₄ compris entre 1 et 5).
- Plus riches en calcium et magnésium que les parties hautes.

c - 1987, les prélèvements OMVS.

Dans le secteur de Thiagar, deux piézomètres du même site près du fleuve Sénégal sont concernés:

- le GA126(7m),prélèvement le 22/4/87
- le GA125(30m),prélèvement le 28/11/87.

En 1987, le contraste des eaux relevé en 1991 existe déjà:

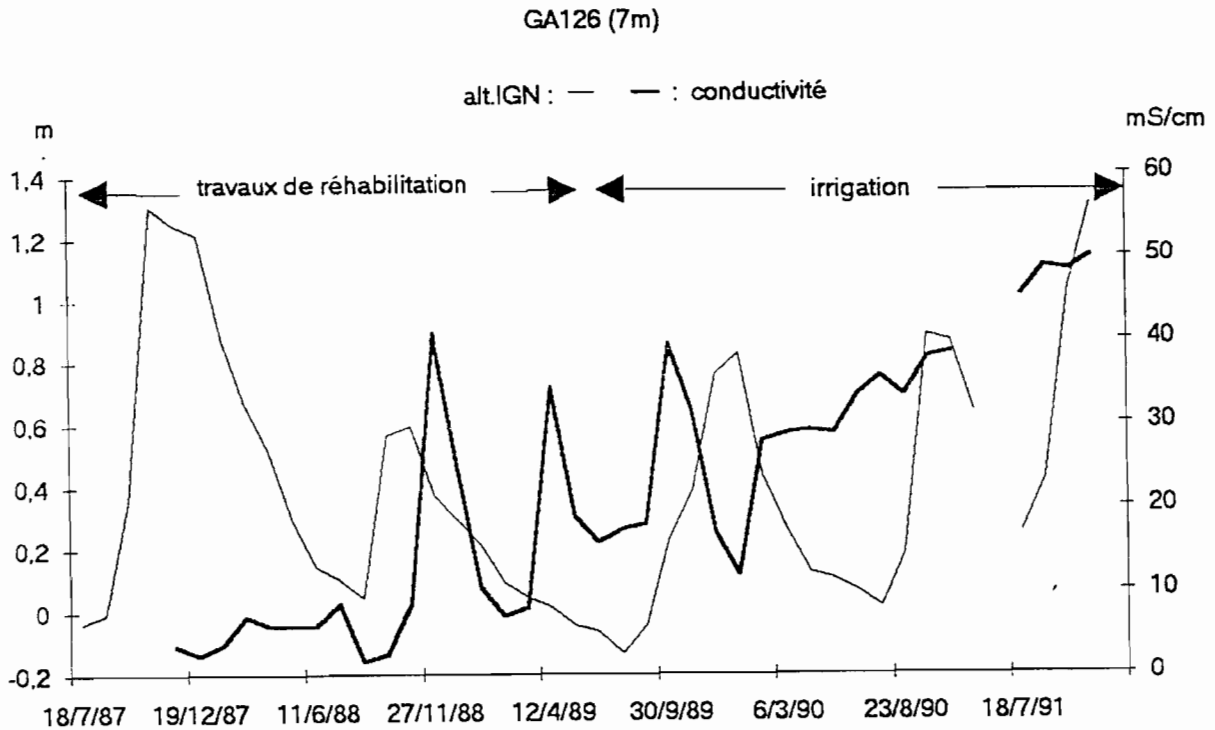
- Des eaux superficielles (GA126) très minéralisées (50 g/l), de composition ionique proche de celles analysées en 1991.
- Des eaux profondes (GA125) encore plus diluées qu'en 1991,1g/l, ce qui peut être lié à la période de prélèvement, novembre étant un mois de recharge pour la nappe.

2 - EVOLUTION DE LA CONDUCTIVITE-RELATION AVEC LA PIEZOMETRIE

De décembre 87 à juillet 89, le niveau de la nappe alluviale baisse sauf dans les piézomètres profonds (GA125 et GA137). Ce phénomène accompagné généralement d'une augmentation de la conductivité, correspond au drainage effectué lors des travaux de réhabilitation du secteur, achevés en 1989.

De juillet 89 à décembre 91, niveau piézométrique et conductivité électrique s'élèvent. La nappe se recharge par la reprise de l'irrigation et lors de sa remontée, mobilise les ions concentrés par évaporation dans les horizons supérieurs. Cette évolution des deux paramètres, illustrée dans l'exemple du piézomètre GA126(Fig.15), montre que malgré les travaux, le drainage du secteur manque encore d'efficacité.

Fig.15 : Evolution de la conductivité et du niveau de la nappe alluviale dans le piézomètre GA126.



La comparaison des variations de niveau piézométrique et de conductivité sur un même site permet de caractériser "le régime de communication" entre le réservoir superficiel et le réservoir profond de la nappe alluviale.

Sur le site des piézomètres GA131/GA132 (Fig.16), les fluctuations des deux paramètres sont pratiquement superposables : la nappe est ici homogène, la nature silteuse des sédiments inchiriens ne gêne pas les échanges.

Près du fleuve (Fig.17), les eaux des piézomètres superficiels GA124, GA126, GA127 (7m) se minéralisent beaucoup depuis 1989, cette évolution est moins nette pour les eaux profondes du GA125(30m). Les variations de niveau piézométrique sont aussi très affaiblies en profondeur. La couche d'argile indiquée dans la lithostratigraphie (Fig.11) doit isoler partiellement le réservoir aquifère supérieur du réservoir inférieur.

Les eaux du piézomètre GA125 étant les plus diluées du secteur et sur la rive du Sénégal, ont incité à mettre en évidence une communication avec le fleuve: l'impact des deux crues artificielles de 1988 et 1990 sur la piézométrie en apporte la démonstration. Par contre ces échanges n'existent pas avec le réservoir alluvial superficiel, sûrement par le fait du colmatage des berges. La nappe alluviale sur ce site présente une organisation bicouche.

Fig.16 : SITE PIEZOMETRIQUE GA131/GA132

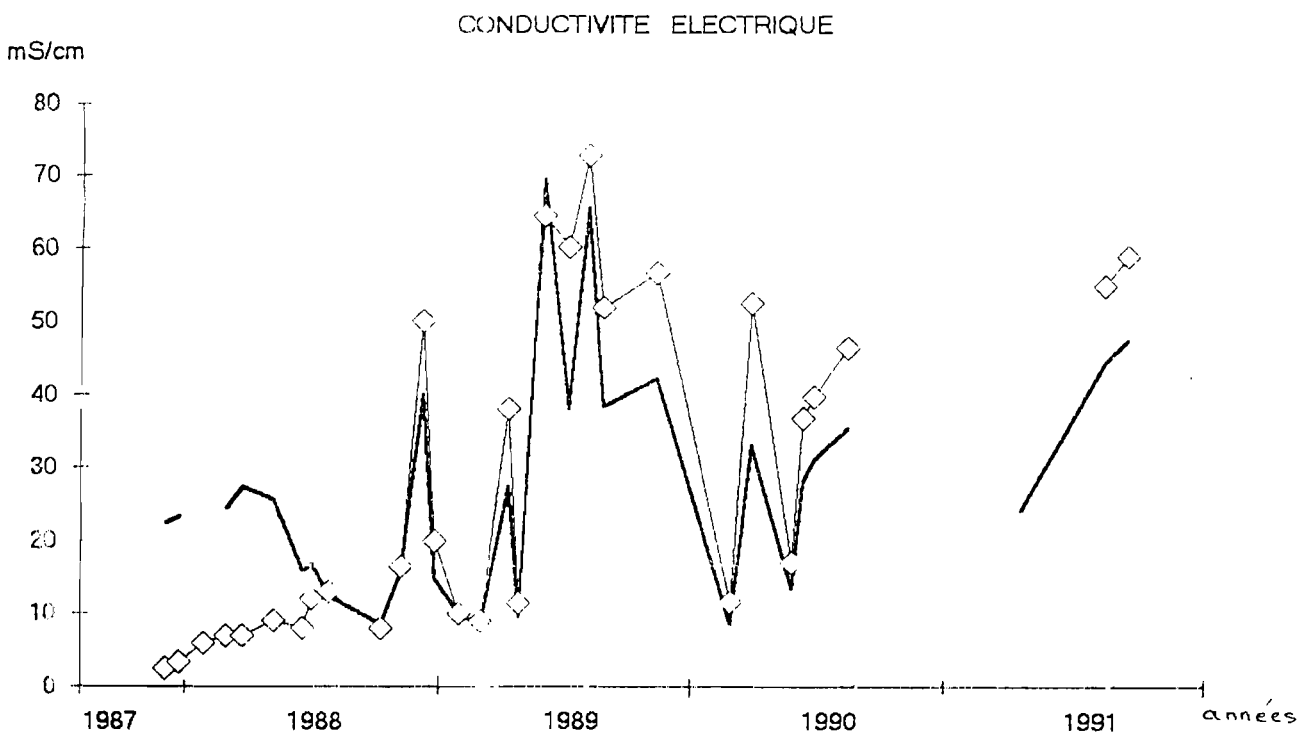
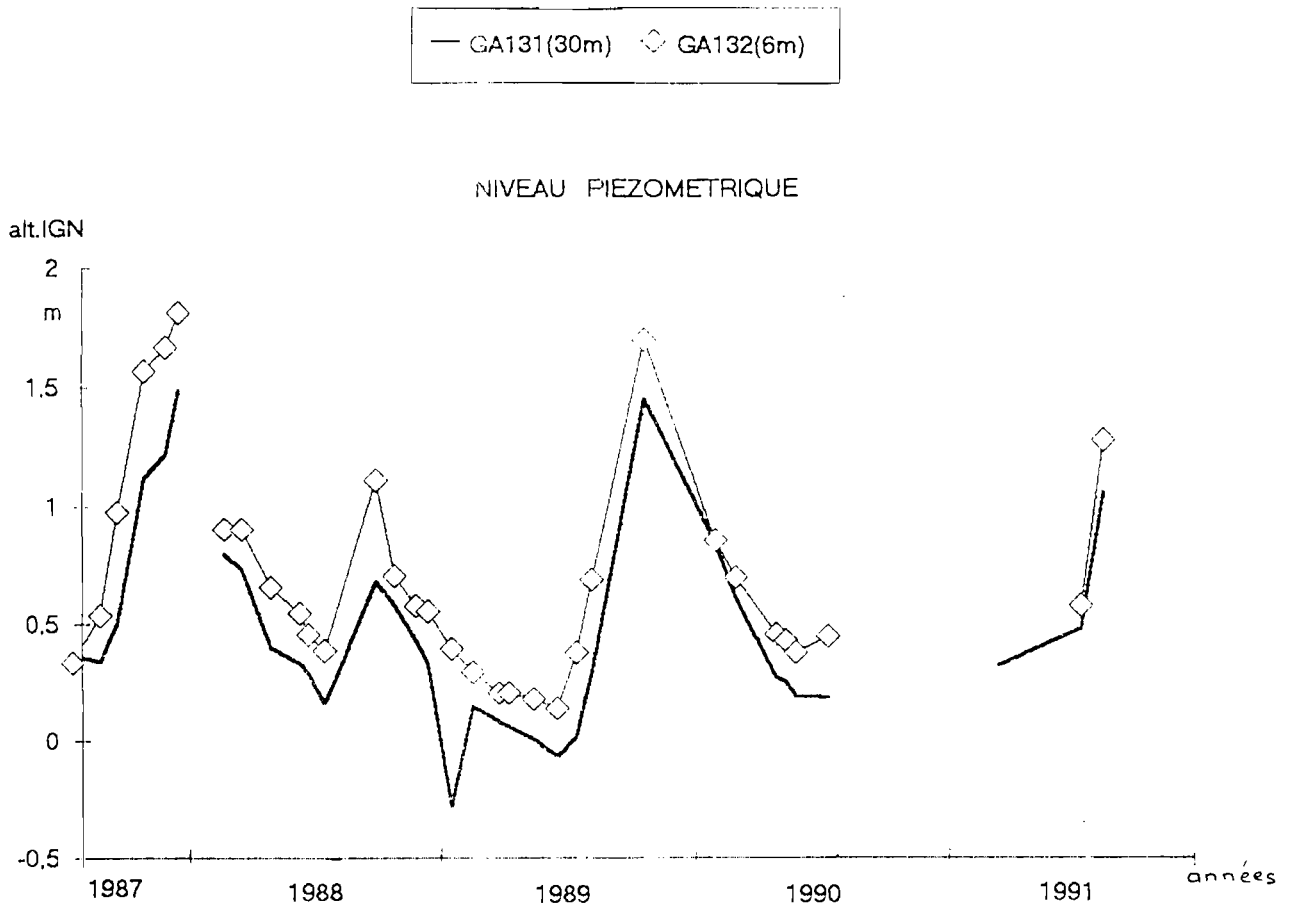
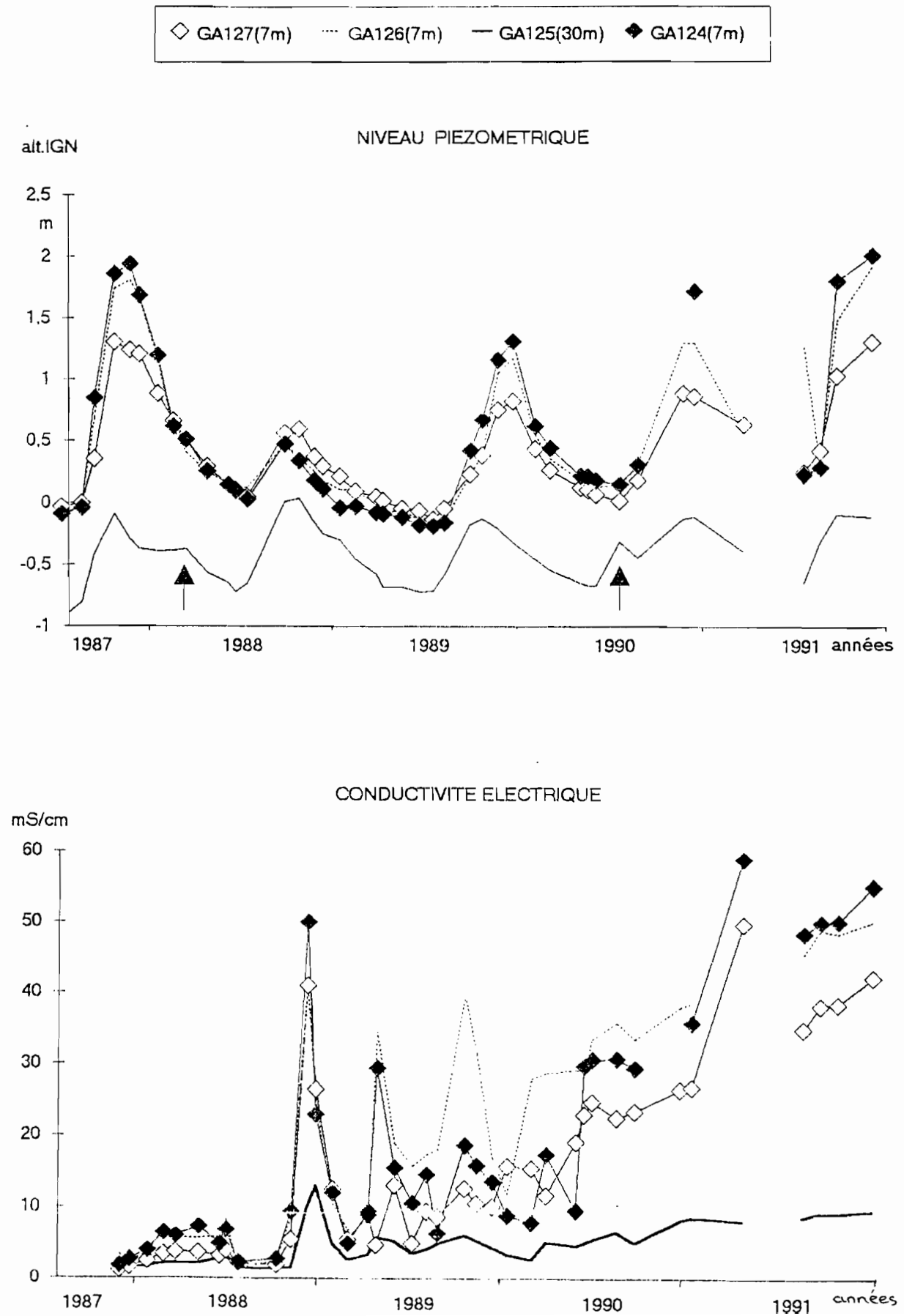


Fig.17: SITE PIEZOMETRIQUE GA124/GA127



Au niveau des piézomètres GA137(40m)/GA138(6m), fig.18, les eaux du piézomètre profond sont aussi les plus diluées et semblent en communication avec le fleuve. La présence d'un horizon argileux explique la difficulté des échanges avec le réservoir aquifère superficiel, cette semi-étanchéité est confirmée par le comportement des niveaux piézométriques. Ces résultats semblent en contradiction avec ceux des analyses chimiques où les eaux se révèlent être de même qualité et de même concentration. Mais les mesures de conductivité sont faites en surface et ne tiennent pas compte d'un éventuel gradient de concentration en profondeur alors que les prélèvements pour les analyses chimiques sont effectués à hauteur de crépine.

IV - CONCLUSIONS SUR LE SECTEUR THIAGAR

L'homogénéité hydrochimique de la nappe alluviale dans ce secteur, partout de faciès chloruré-sodique, est en rapport avec l'homogénéité géologique de son aquifère, partout argilo-sableux. Cependant un niveau argileux semi-perméable peut isoler localement un réservoir superficiel d'un réservoir profond .

Les eaux phréatiques de Thiagar sont très salées, mais deux cas de dilution ont été relevés :

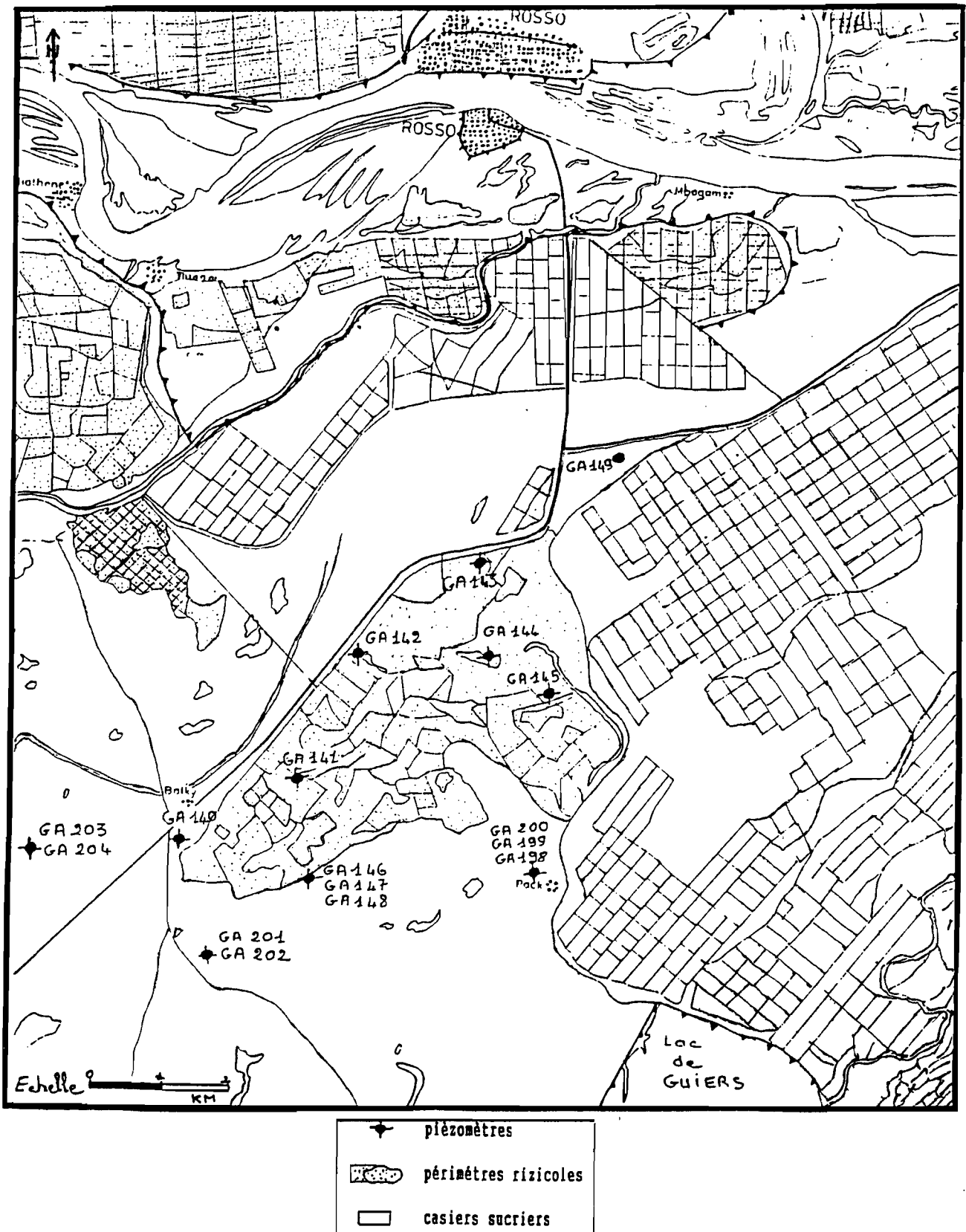
- l'un en profondeur, lorsque le réservoir alluvial inférieur est en communication avec le fleuve: c'est l'exemple du piézomètre GA125.
- l'autre en surface, dans une zone de recharge de la nappe: c'est le cas du piézomètre GA128.

Les eaux de la nappe alluviale subissent l'influence de la fermeture des barrages et de l'extension des terres irriguées depuis la réhabilitation du secteur en 1989 : le niveau de la surface piézométrique monte, les eaux se minéralisent: le danger d'alcalisation est important. Dans les eaux se retrouvent les traces du gypse utilisé durant le dessalage des sols et surtout des doses polluantes de nitrates provenant de l'épandage mal contrôlé des engrais.

B2 - SECTEUR PACK

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES

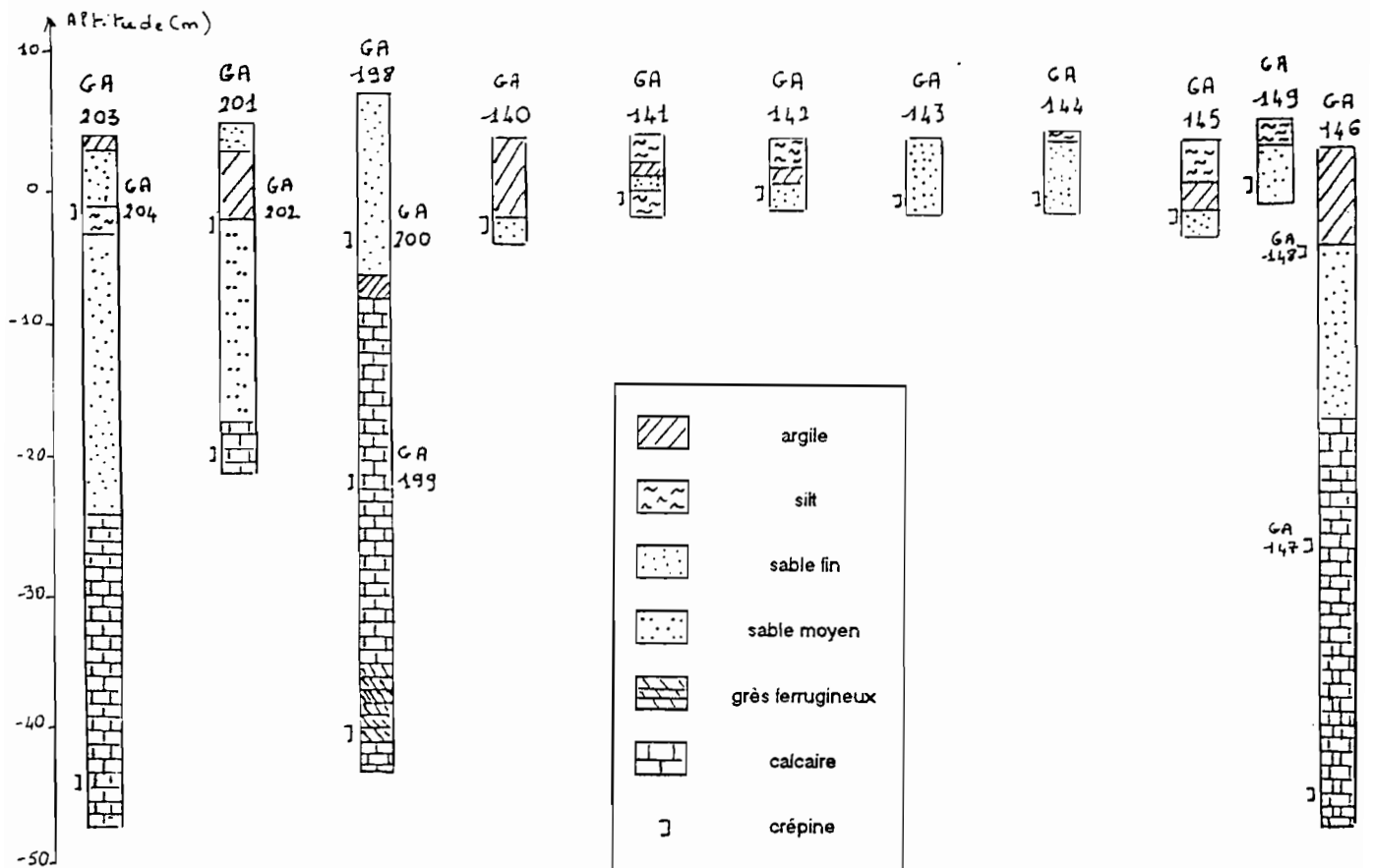
1 - Leur position par rapport aux périmètres irrigués (fig.19)



PIEZOMETRE	Coord.MTU	Coord.MTU	Cote	Prof.	Crépine	GEOLOGIE		
	X	Y	Repère	Forée	1m de long	Droit	Code	loit
Numéro	X	Y	m/0 IGN	m/sol	Bas cm/sol	Crépine	fm	m/0IGN
GA140 - LP	408.3	1814.6	3.765	9	795	SABLE FIN	NK	-1,2
GA141 - LP	410.0	1815.3	4.061	6	490	SILT	IN	1,1
GA142 - LP	411.1	1817.0	3.826	6	510	SABLE FIN	NK	-1,2
GA143 - LP	412.8	1818.1	3.408	6,3	495	SABLE FIN	NK	-0,7
GA144 - LP	413.0	1816.9	3.982	6	510	SABLE FIN	NK	0
GA145 - LP	413.8	1816.1	3.582	7	583	SILT	NK	-0,4
GA146 - LP	410.1	1813.8	3.024	50	4800	CALCAIRE	EM	-19
GA147 - LP	410.1	1812.8	2.919	30,6	2950	CALCAIRE	EM	-20,1
GA148 - LP	410.1	1813.8	2.988	8,22	725	SABLE MOY	QAM	-4
GA149 - LP	415.0	1819.5	3.923	6	510	SABLE FIN	NK	-1,1
GA198 - LP	413.1	1813.5	7.266	50	4746	GRES	EM	-8,8
GA199 - LP	413.1	1813.5	7.276	30	2910	CALCAIRE	EM	-8,7
GA200 - LP	413.1	1813.5	6.305	11	1005	SABLE FIN	QAM	-2,7
GA201 - HP	408.5	1812.7	5.002	26	2495	CALCAIRE	EM	-18
GA202 - HP	408.5	1812.7	4.952	9	812	SABLE MOY	QAM	2
GA203 - HP	406.2	1814.6	3.978	51	4790	CALCAIRE	EM	-23
GA204 - HP	406.2	1814.6	3.979	7	607	SILT	NK	0

Fig.20 - LITHOSTRATIGRAPHIE

- secteur PACK -



- SECTEUR PACK -

II - LA QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991

Les analyses chimiques du secteur PACK permettent de comparer la qualité des eaux de drainage, de la nappe sous et hors parcelles irriguées. Les eaux ont été prélevées le 15 janvier 1991 dans les drains et les piézomètres proches (GA198/GA199/GA200) ou très éloignés des cultures (GA203 et GA204). Dans la zone rizicole, au sud des casiers sucriers de la CSS, les prélèvements datent du 20 août 1991, après les premières pluies. Dans ce secteur, tous les points d'eau profonds atteignent les calcaires éocènes.

Dans la zone hors périmètres irrigués

La qualité des eaux souterraines est homogène: le faciès est chloruré sodique (Fig.21), le pH neutre et le SAR élevé. Leur composition ionique (Fig.22), proche de celle de l'eau de mer, s'en distingue par l'abondance des carbonates et du calcium due à la présence des calcaires éocènes à faible profondeur.

Sur le site piézométrique (GA203/GA204), le plus éloigné de la zone cultivée, la minéralisation supérieure à celle des eaux marines ne présente pas, entre 5m et 45m de profondeur, un fort gradient de concentration (de 37 à 42 g/l).

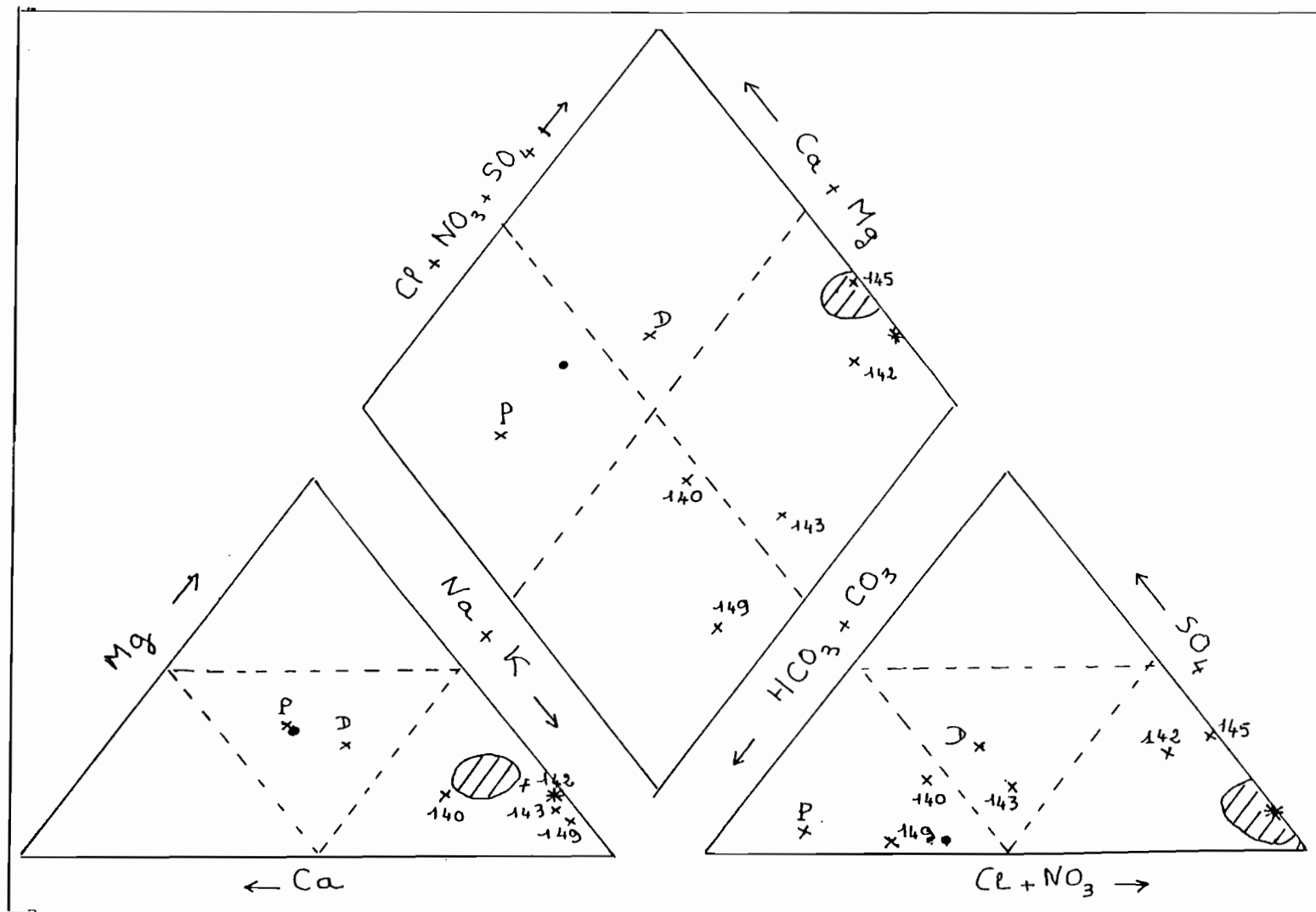
Sur le site piézométrique (GA198/GA199/GA200), plus proche des parcelles irriguées, les eaux sont saumâtres en surface (1,5 à 4 g/l avec un SAR de 8 à 12,5) et deviennent beaucoup plus salées en profondeur (à 48 mètres, 18 g/l avec un SAR de 30). Cette stratification est en relation avec la superposition de deux aquifères différents:

- Dans les sables quaternaires, la circulation aisée des eaux favorise leur dilution par l'irrigation.
- Dans les calcaires éocènes surmontés d'un niveau argileux (cf.lithostratigraphie fig.20), la perméabilité est moindre et les échanges géochimiques avec l'encaissant nombreux.

Dans la zone cultivée

La qualité de la nappe superficielle est plus hétérogène (Fig.21 et 22). Les eaux les plus minéralisées, 8g/l (GA145) et 12g/l (GA142) sont de type chloruré-sodique, le pH est neutre et le SAR élevé (18 à 30). Les eaux les plus diluées, 0,6g/l (GA149) et 1g/l (GA143), tendent vers le pôle carbonaté-sodique, le pH devient basique, voisin de 8 et le SAR diminue (10 ou 11). L'étude des rapports caractéristiques montre que la dilution favorise la dominance des cations monovalents, sodium (Na) et potassium (K) sur les divalents calcium (Ca) et magnésium (Mg): en moyenne deux fois plus de cations monovalents dans les eaux les plus salées, 8 fois plus dans les eaux douces du piézomètre GA149. Les teneurs en nitrates sont très faibles.

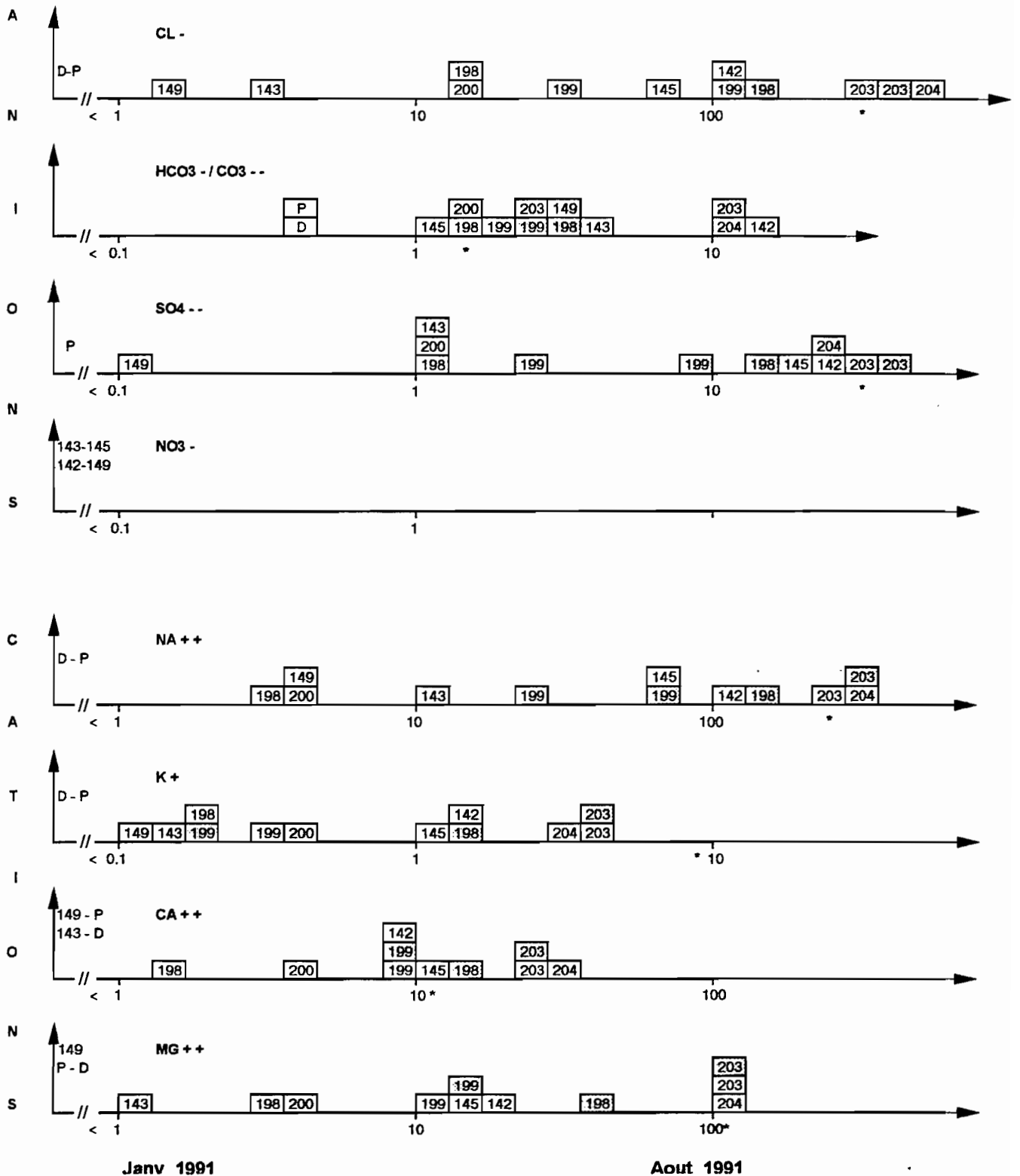
Fig.21 : Faciès hydrochimiques de la nappe superficielle en 1991 dans le secteur PACK.



* eau de mer	D: drain CSS	⊙ Piézomètres hors périmètres	GA 140 (Mai 90)
• eau du fleuve	P: drain Pack	x Piézomètres dans zone cultivée	

Fig. 22

COMPOSITION IONIQUE DES EAUX PRELEVEES
dans les piézomètres de PACK
(en méq / l)



Piézomètres du secteur analysés

Piézomètres du secteur analysés

- GA 198 (7m)
- GA 198 (48m)
- GA 199 (7m)
- GA 199 (20m)
- GA 200 (11m)

- GA 203 (5m)
- GA 203 (45m)
- GA 204 (7m)

Piézomètre superficiel
 Piézomètre profond

P : drain Pack
 D : drain CSS

- GA 142 (6m)
- GA 143 (6m)
- GA 145 (7m)
- GA 149 (6m)

* Eau de mer

Dans les drains

Les eaux très peu minéralisées du drain (D) de la CSS sont de qualité mixte chlorurosulfatée et calco-magnésienne, celles du drain passant près de Pack (P) sont carbonatées calco-magnésiennes. Ces eaux renferment autant de calcium que de magnésium et la somme de ces cations bivalents est supérieure à celle des monovalents, sodium et potassium. Ces résultats sont contraire à ceux obtenus dans les eaux souterraines où le magnésium est toujours plus abondant que le calcium et les cations monovalents dominants. Les eaux de drainage sont plus proches de la qualité des eaux d'irrigation d'origine fluviale.

III - EVOLUTION DE LA QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE

1 - DONNEES DES ANALYSES CHIMIQUES ANTERIEURES

Les eaux de deux sites piézométriques, prélevées en mai 1990, ont été analysées par le laboratoire de l'ORSTOM : le GA140 au sud de la zone cultivée et le GA201/GA202, hors périmètres.

Dans le piézomètre GA140, les eaux se caractérisent par le faciès carbonaté sodique des zones irriguées. Elles renferment 9mg/l de nitrates. Les rapports caractéristiques (CL/SO₄, Na/K et Ca/Mg) sont très proches de ceux du drain D de la CSS. La position avale de ce piézomètre par rapport au sens d'écoulement de la nappe (Fig.27) explique cette qualité hydrochimique. Cependant, les rapports cations mono- sur divalents diffèrent: il est de 1,8 dans le GA140, 0,7 dans le drain car le sodium reste dominant dans les eaux phréatiques. Cet élément est plus difficilement éliminé que l'anion auquel il était associé à l'origine, l'ion chlorure.

Sur le site piézométrique GA201/GA202, les eaux sont chloruré-sodiques, de qualité proche de celles de la zone hors périmètres étudiée précédemment. Les teneurs en nitrates, non mesurées dans les analyses de janvier 1991, sont ici de 14 mg/l en surface et nulles en profondeur .

2 - EVOLUTION DE LA CONDUCTIVITE-RELATION AVEC LA PIEZOMETRIE

Sur le site GA203/GA204 (Fig.23), la position relative des niveaux piézométriques et le synchronisme de leurs fluctuations indiquent la captivité partielle de la nappe des calcaires éocènes. L'évolution superposable des mesures de conductivité, confirme une communication entre l'aquifère quaternaire et cénozoïque. Les mesures sont conformes aux résultats des analyses chimiques: la minéralisation des eaux superficielles (GA204) est toujours supérieure à celle du piézomètre profond (GA203).

Fig.23:SITE PIEZOMETRIQUE GA203/GA204

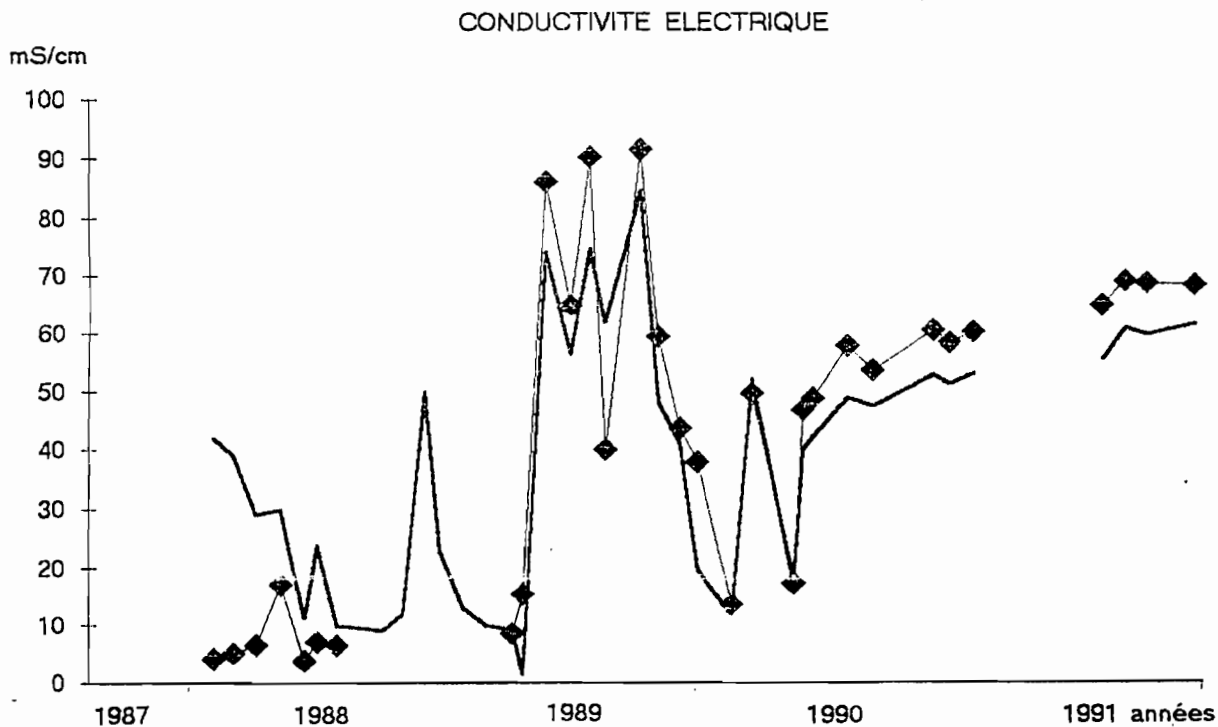
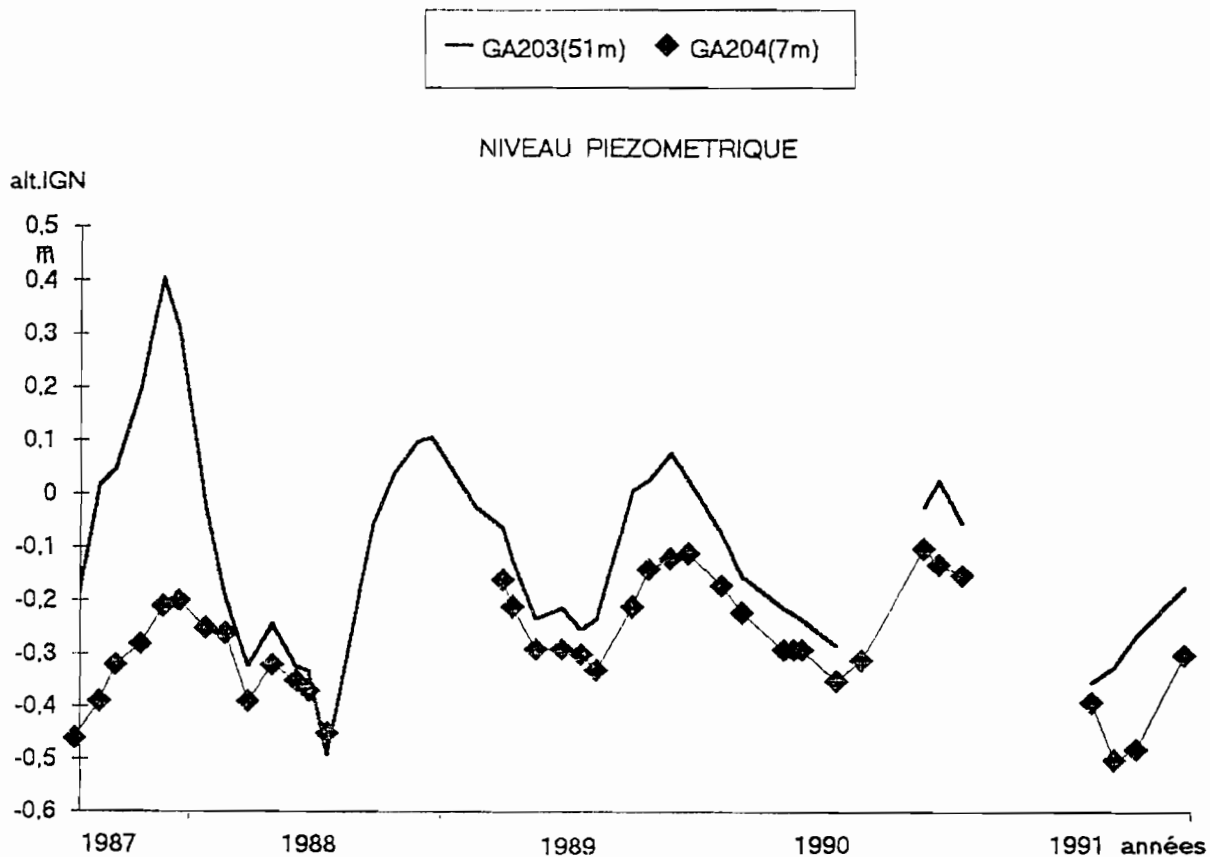
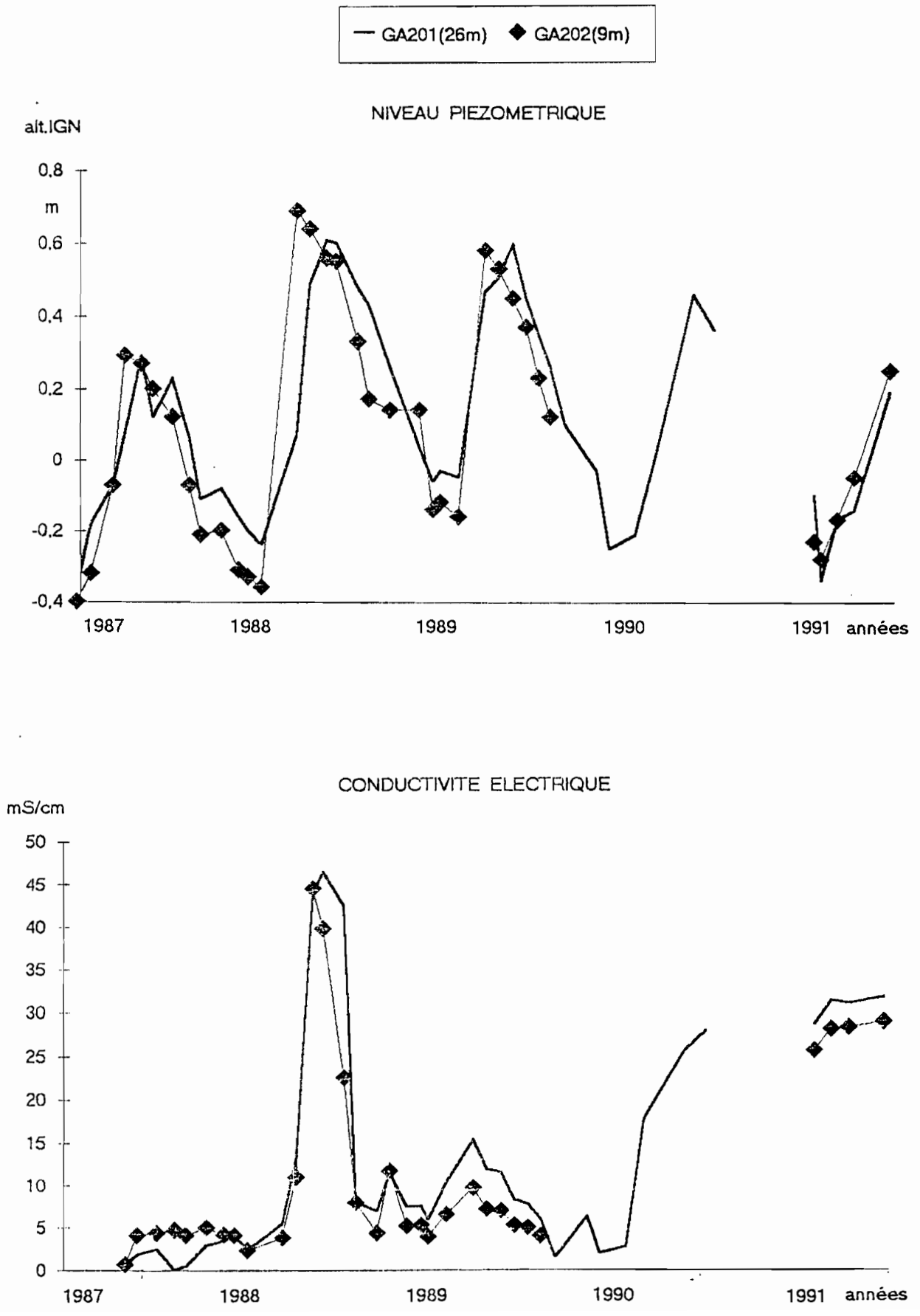
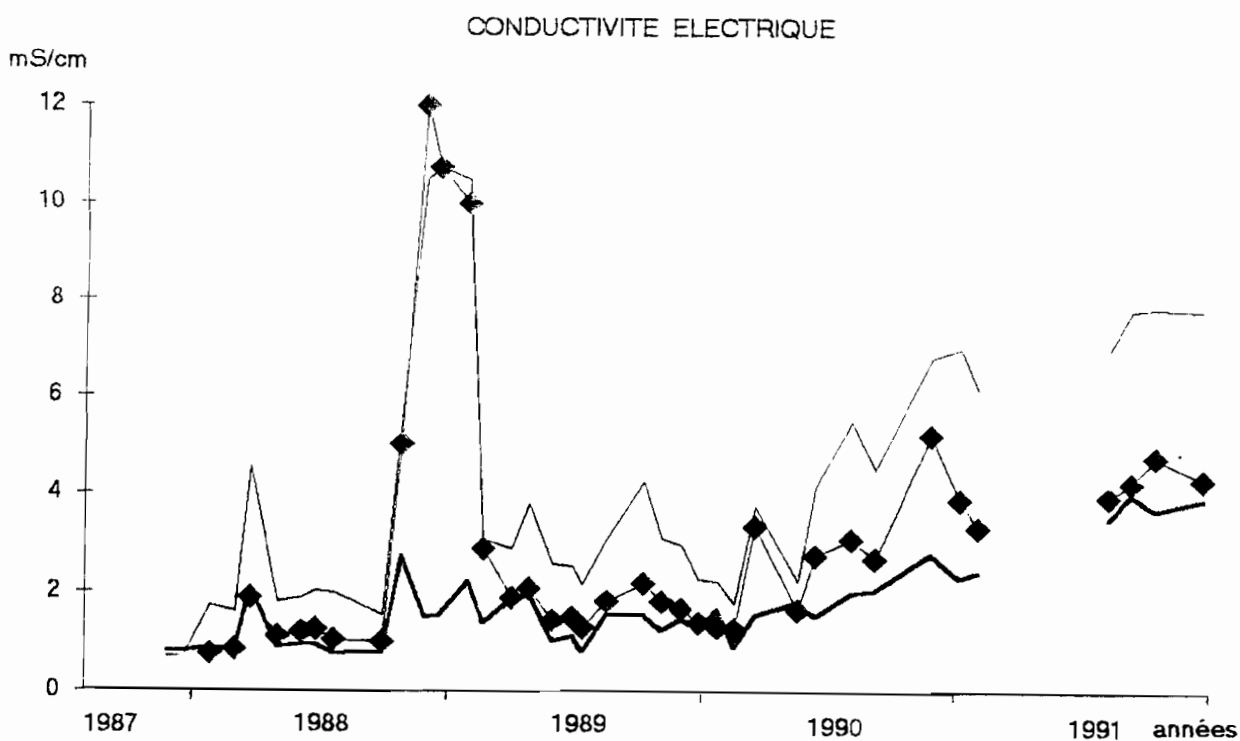
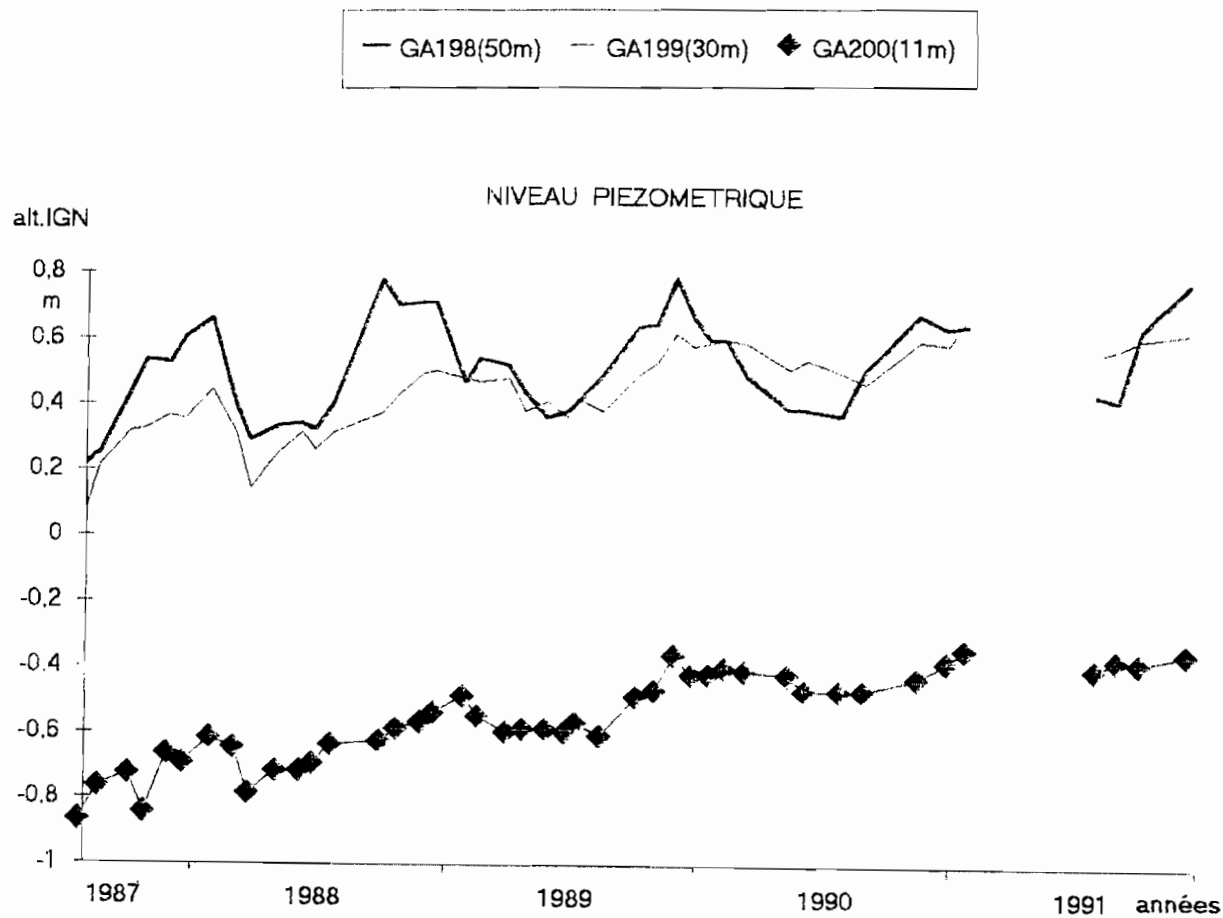


Fig.24 SITE PIEZOMETRIQUE GA201/GA202





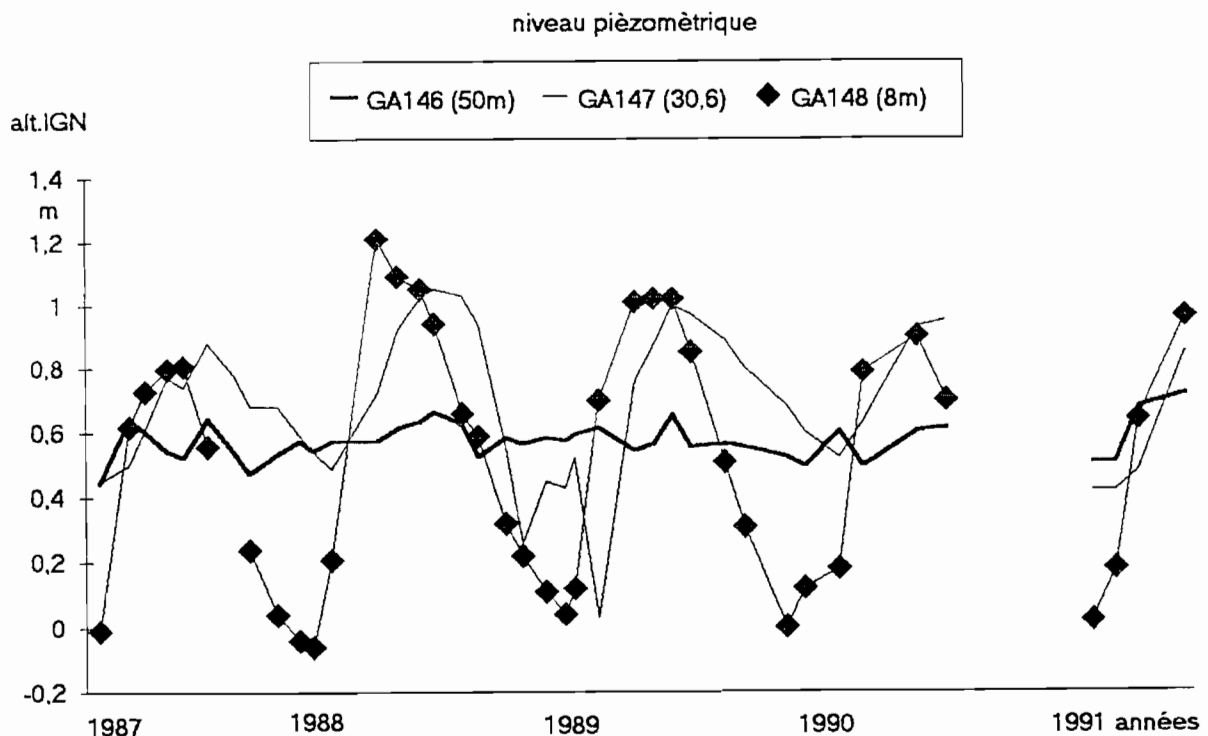
Sur le site GA201/202 (Fig.24), la communication entre les deux aquifères est meilleure, la profondeur du piézomètre GA201 atteignant seulement les premières strates des calcaires éocènes.

Sur le site GA198/GA200 (Fig.25), le caractère captif des horizons intermédiaires et profonds de la nappe éocène est accentué par la présence d'un niveau argileux au dessus des calcaires (Fig.20). Cependant, la forte amplitude des fluctuations de niveau piézométrique indique que des échanges se font avec la surface et que le réservoir superficiel est alimenté par drainance ascendante.

La remontée de la nappe de 40cm depuis l'hivernage 87 s'accompagne d'une élévation corrélative de la conductivité dont les valeurs indiquent une minéralisation des eaux du piézomètre intermédiaire (GA199) supérieure à celles du superficiel (GA200) et du profond (GA198): ceci est conforme aux résultats des analyses chimiques pour des prélèvements de surface. Ces faits confirment la prudence avec laquelle il faut interpréter les mesures de surface qui ne tiennent pas compte de la stratification des eaux.

Sur le site GA146/GA148 (Fig.26), la nappe à 50 mètres de profondeur ne présente pas de grandes variations de niveau piézométrique, elle est isolée des réservoirs aquifères superficiels. La fluctuation de niveau dans le piézomètre GA147, prélevant ses eaux à plus de 30m, dans les calcaires, est presque similaire à celle de la nappe alluviale, GA148 (8m). Ceci montre le caractère hétérogène de l'aquifère éocène: perméable sur la première dizaine de mètres puis de plus en plus étanche en profondeur.

Fig.26 **SITE PIEZOMETRIQUE GA146/GA148**



Les piézomètres situés au sud de la zone cultivée, en aval par rapport à l'écoulement de la nappe, présentent une forte élévation de la conductivité à partir de l'hivernage 90.

Dans la zone cultivée, le niveau général de la surface piézométrique s'élève peu depuis 1987 (Fig.27). Les fluctuations de la conductivité traduisent différents effets de la mise en culture des terres sur la nappe superficielle.

Trois types de minéralisation sont observables:

- 1 - Lors de la recharge de la nappe par lessivage des sols.
- 2 - Pendant la période d'étiage où la concentration des eaux de la nappe est accentuée par l'évaporation intense dans cette région (fig.28).
- 3 - Par irrigation de contre-saison (fig.29).

Fig.27 : Les fluctuations des niveaux d'eau dans les piézomètres situés dans la zone cultivée du secteur de PACK.

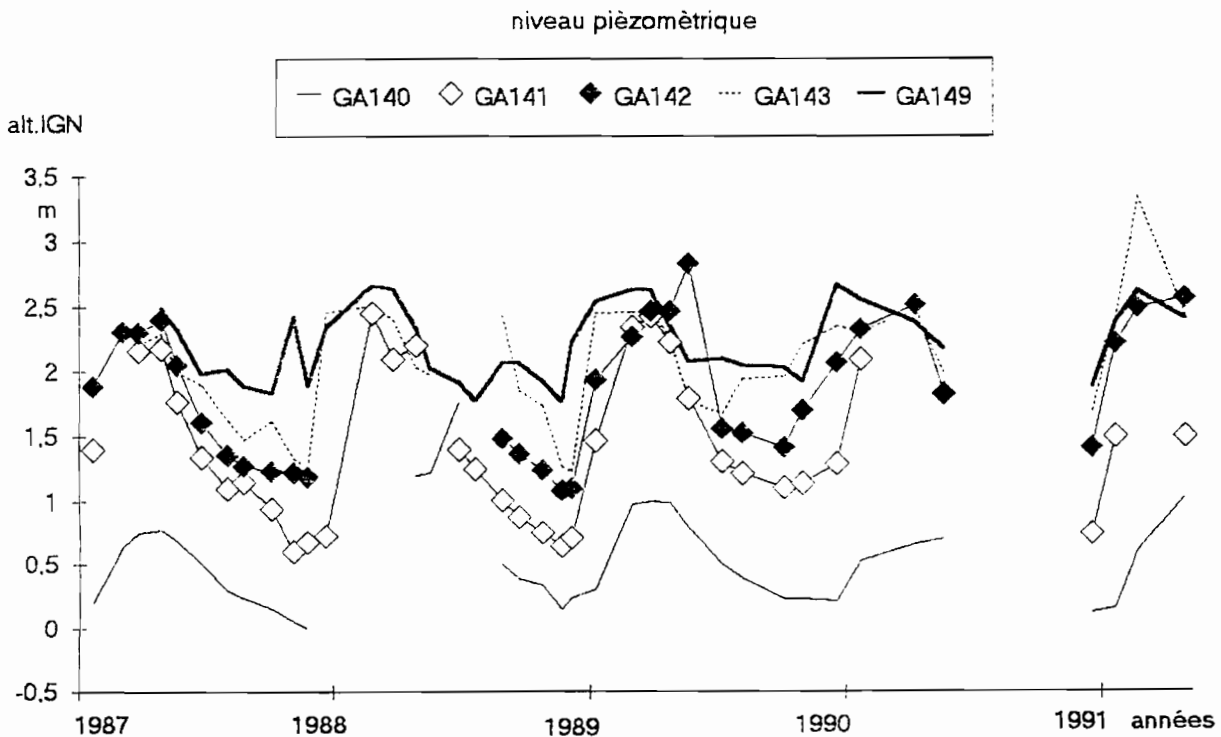


Fig.28 : Sur le site du GA141(6m), un exemple de minéralisation des eaux de la nappe superficielle accompagnant :
 a - la recharge (apport agricole + sels des horizons supérieurs)
 b - la décharge (concentration des eaux)

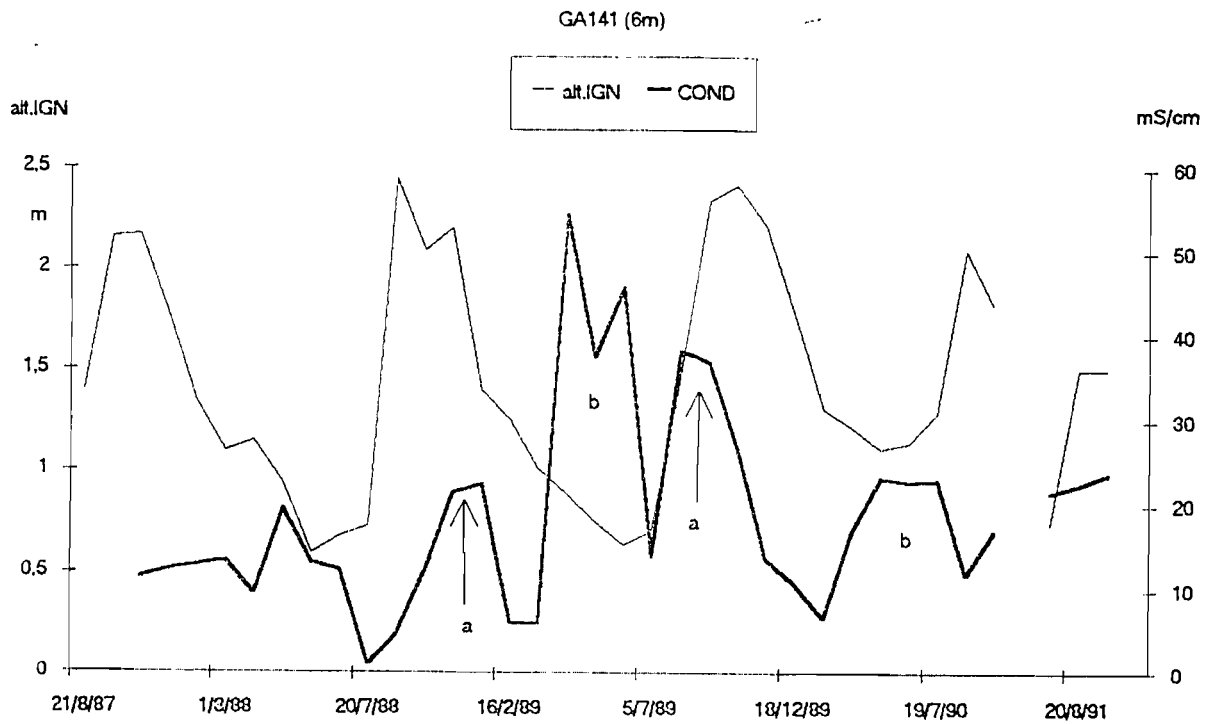
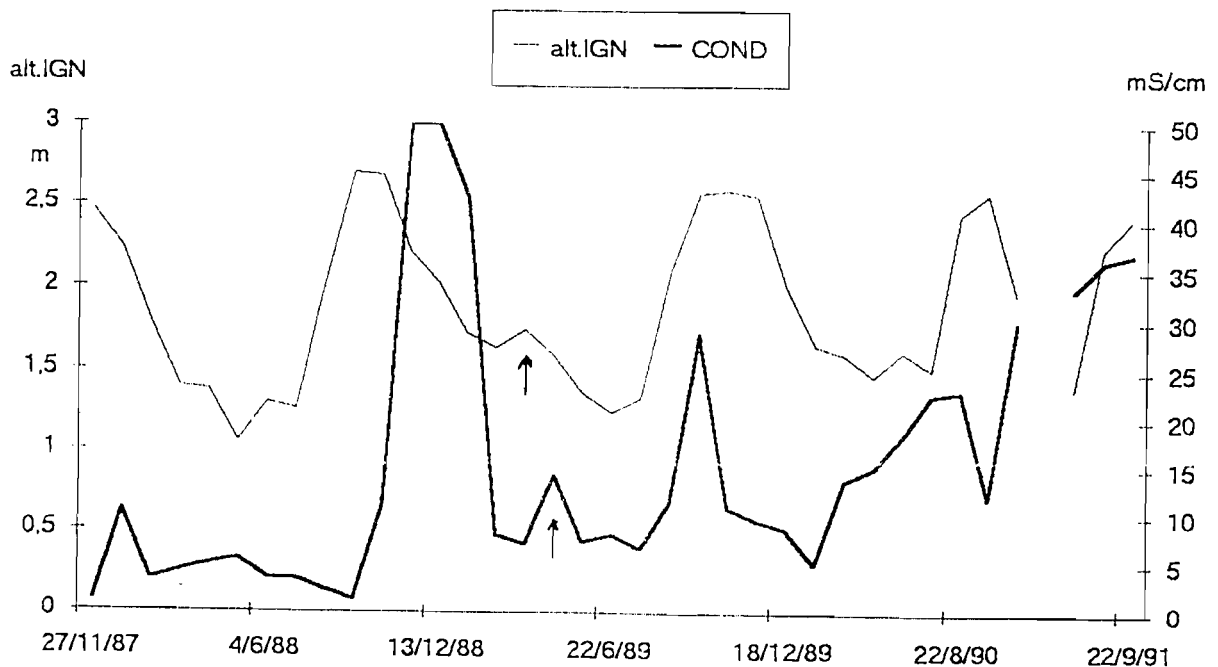


Fig.29 : Sur le site du GA144(6m), un exemple d'influence d'une irrigation de contre saison .



IV - CONCLUSIONS SUR LE SECTEUR DE PACK

L'étude de ce secteur met en évidence le caractère bicouche de la nappe superficielle. Les eaux profondes sont partiellement captive dans l'aquifère calcaire éocène semi-perméable. La communication avec le réservoir superficiel se fait par drainance.

DANS LA ZONE ELOIGNEE DES PERIMETRES CULTIVES

La nappe est de qualité homogène, très minéralisée et de faciès chloruré-sodique. Les effets de la mise en valeur des terres se font peu ressentir: les niveaux piézométriques d'été en 1991 sont les mêmes qu'en 1988 sauf sur le site GA198/GA200. La minéralisation s'accroît fortement depuis 1990.

DANS LA ZONE AGRICOLE

La qualité des eaux diluées par l'irrigation évolue vers un faciès bicarbonaté sodique. Ces eaux n'ont pas une action alcalisante, car le SAR diminue avec la dilution. Leur pH devient plus basique car elles s'enrichissent en carbonates.

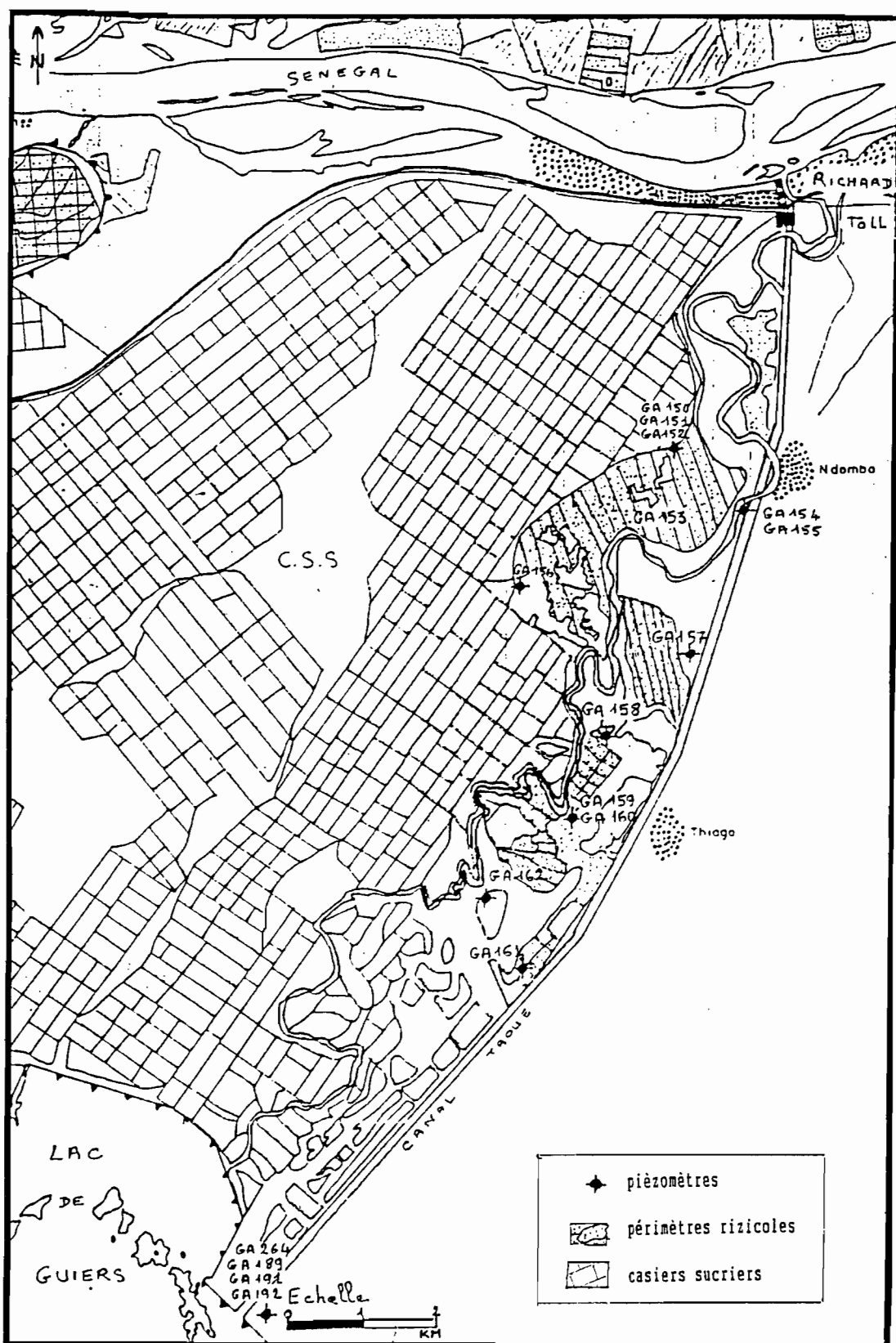
Les nitrates ne sont qu'à l'état de traces.

La surface piézométrique s'élève peu: le drainage est relativement efficace dans ce secteur. L'influence d'une culture de contre-saison se traduit par une légère élévation du niveau piézométrique accompagnée d'une faible minéralisation.

B3 - SECTEUR TAOUE

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES

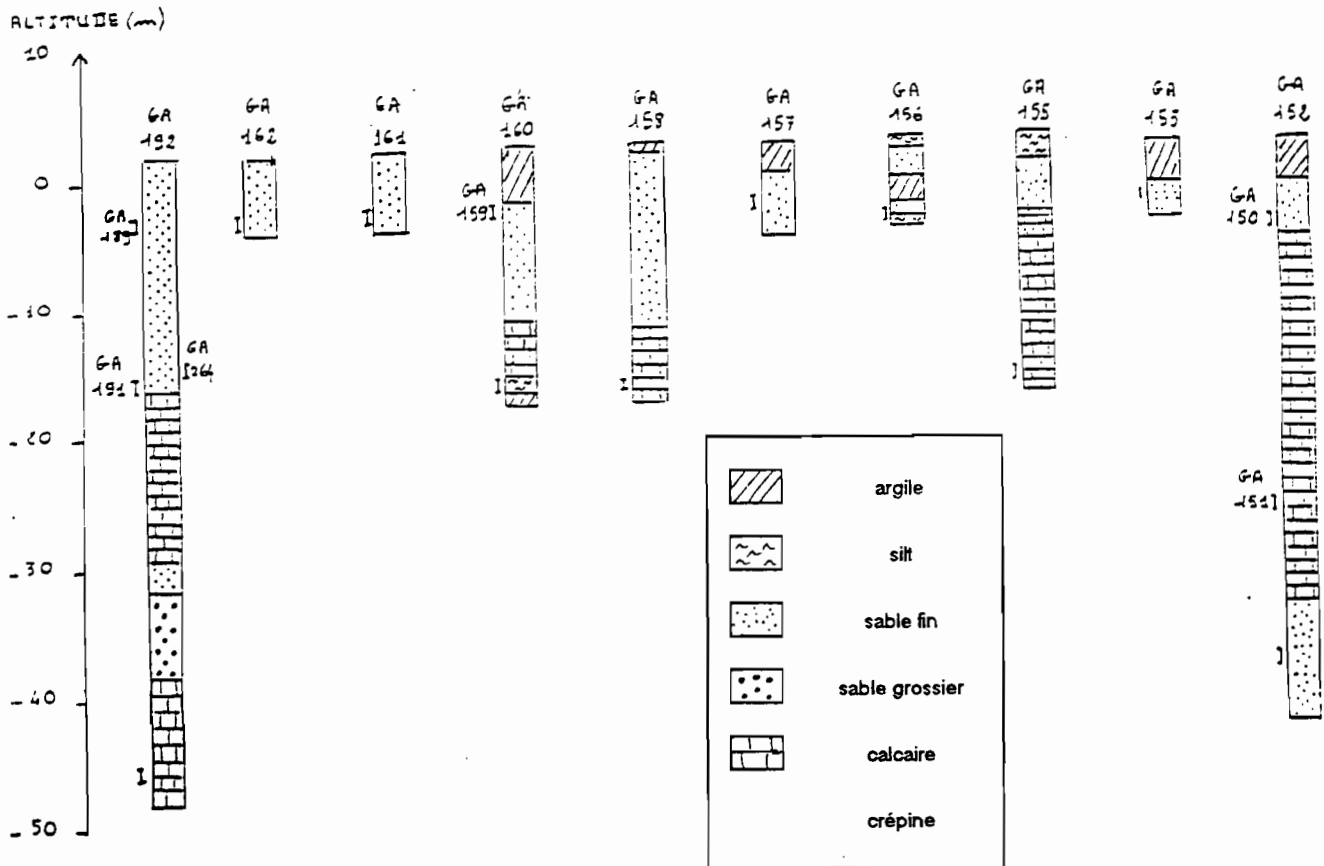
1 - Leur position par rapport aux périmètres irrigués (fig.30)



2 - Les paramètres techniques des piézomètres du secteur TAOUE

PIEZOMETRE			Cote	Prof.	Crépine	GEOLOGIE		
	Coord.MTU	Coord.MTU	Repère	Forée	1m de long	Droit	Code	loit
Numéro	X	Y	m/0 IGN	m/sol	Bas cm/sol	Crépine	fm	m/0IGN
GA189 - HP	417.3	1807.3	2.129	6,35	530	SABLE FIN	IN	-1,9
GA191 - HP	417.5	1807.5	2.041	19	1725	SABLE FIN	EM	-6
GA192 - HP	417.5	1807.5	2.051	50	4831	CALCAIRE	EM	-16,5
GA264 - HP	447.8	1807.7	2.503	18	1645	SABLE MOY	EC	-28,6
GA150 - LP	424.0	1817.7	2.387	7	605	SABLE MOY	QAM	-2,6
GA151 - LP	424.0	1817.7	2.331	30	2915	CALCAIRE	EMP	-6,6
GA152 - LP	424.0	1817.7	2.356	45	4129	SABLE FIN	M	-36,2
GA153 - LP	423.5	1816.9	2.451	6	485	SABLE FIN	QAM	-1,5
GA154 - LP	424.6	1816.6	2.896	6	493	CALCAIRE	QAM	-0,1
GA155 - LP	424.6	1816.6	2.871	20	1913	SABLE FIN	EMP	-3,6
GA156 - LP	421.9	1816.1	2.707	7,2	622	SABLE FIN	NK	-1,3
GA157 - LP	423.9	1815.4	2.592	7	502	CALCAIRE	QAM	-0,4
GA158 - LP	422.7	1814.0	2.710	20	1894	CALCAIRE	EMP	-12,3
GA159 - LP	421.9	1813.0	2.596	6,5	544	SABLE FIN	QAM	-2,4
GA160 - LP	421.9	1813.0	2.573	20	1902	SILT	EMP	-11,4
GA161 - LP	421.6	1812.2	2.135	6	498	SABLE FIN	QAM	1,1
GA162 - LP	420.8	1812.5	2.073	6	503	SABLE FIN	QAM	-8,9

Fig.31 - LITHOSTRATIGRAPHIE
- SECTEUR TAOUE -



- SECTEUR TAOUE -

II - QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991

Dans ce secteur, les piézomètres profonds atteignent les calcaires éocènes et certains les sables maestrichtiens. Les prélèvements du mois d'avril 1991 concernent les piézomètres de la zone sud de la Taoué (GA189/GA264/GA191/GA192), ceux de janvier et août 1991, la zone nord (GA150 à GA155).

Près du lac de Guiers

La qualité de la nappe superficielle est homogène, carbonatée sodique, celle des eaux lacustres est à la limite entre le domaine chloruré sodique et le chloruré calcomagnésien (Fig.32). Les eaux souterraines sont douces (moins de 1g/l), leur pH voisin de 7,5. Le diagramme de leur composition ionique (Fig.33) montre :

- la nette prédominance du sodium et des bicarbonates sur les autres ions.
- la quantité équivalente de chlorures et de sulfates.
- les faibles teneurs en nitrates.

Au Nord de la Taoué

La qualité de la nappe superficielle est hétérogène (Fig.34).

Sur le site piézométrique GA150/GA151/GA152, la nappe présente une organisation multicouche en relation avec la superposition de trois aquifères différents:

- A 7 mètres de profondeur (GA150), les eaux des sables argileux quaternaires sont douces (0,4g/l) et bicarbonatées calco-magnésiennes.
- A 30 mètres (GA151), les eaux des calcaires éocènes sont saumâtres (2g/l) et chlorurées sodiques.
- A 45 mètres (GA152), les eaux des sables maestrichtiens sont douces (0,7g/l) et carbonatées sodiques.

Sur le site piézométrique GA154/GA155, les eaux de faciès chloruré sodique sont très minéralisées (12 à 15g/l) à 6 mètres de profondeur dans le piézomètre GA154 et presque douces dans le piézomètre GA155: 1g/l à 5 mètres et 1,5g/l à 18 mètres de profondeur. Cette différence peut être due à la présence simultanée de niveaux calcaires dans l'aquifère quaternaire pouvant piéger "des eaux fossiles" et de niveaux sableux dans les calcaires éocènes. Pour envisager une meilleure interprétation de ces résultats, il serait souhaitable de pouvoir vérifier la lithostratigraphie de ce site.

Les eaux analysées dans ce secteur ont un faible pouvoir alcalisant (SAR inférieur à 10) sauf celles du piézomètre GA154, très minéralisées (SAR proche de 40).

Fig.32 : Faciès hydrochimiques de la nappe superficielle en 1991 dans le secteur TAOUE.

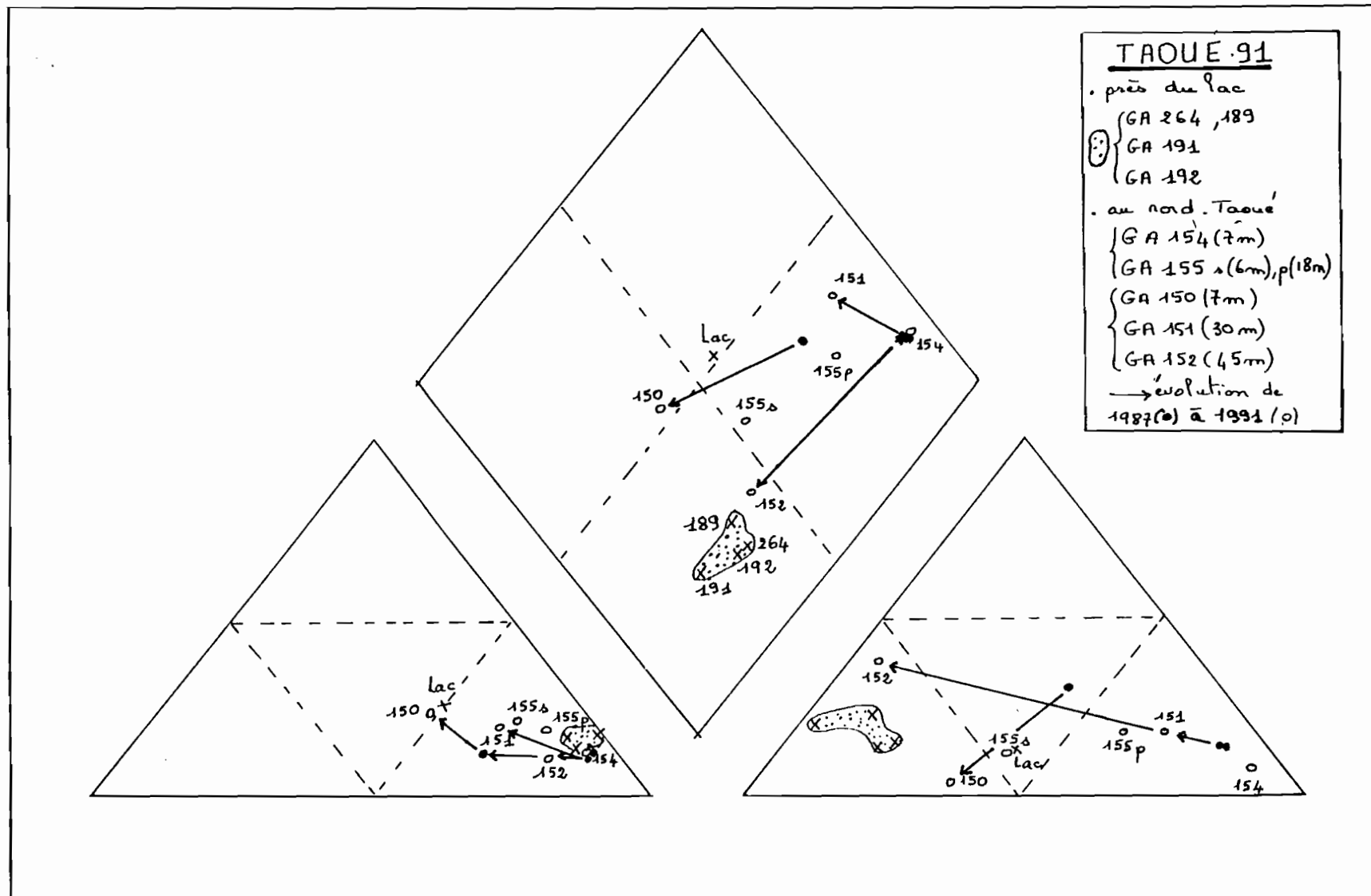


Fig.33 : Composition ionique de la nappe près du lac de Guiers

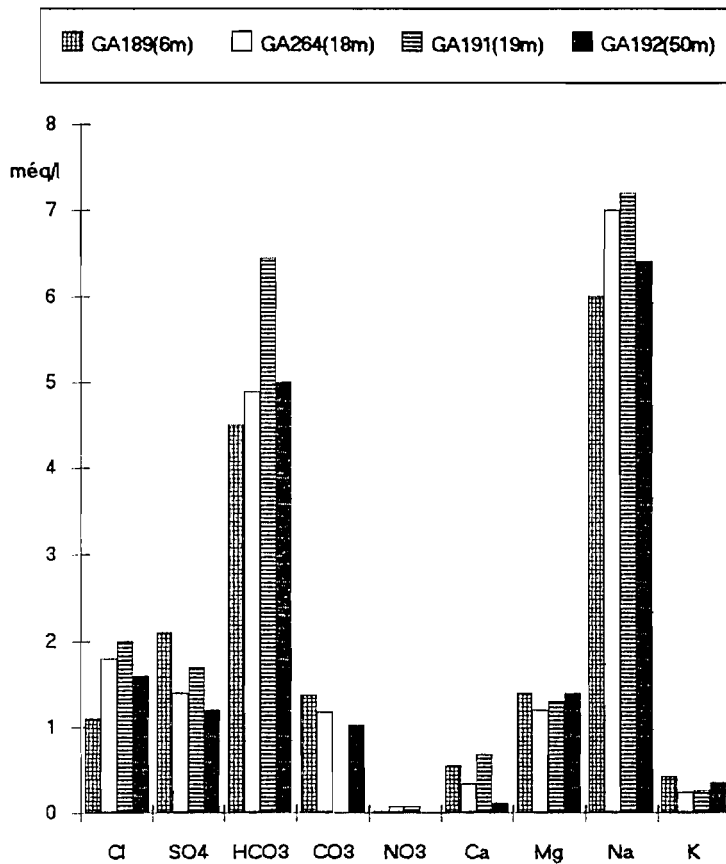
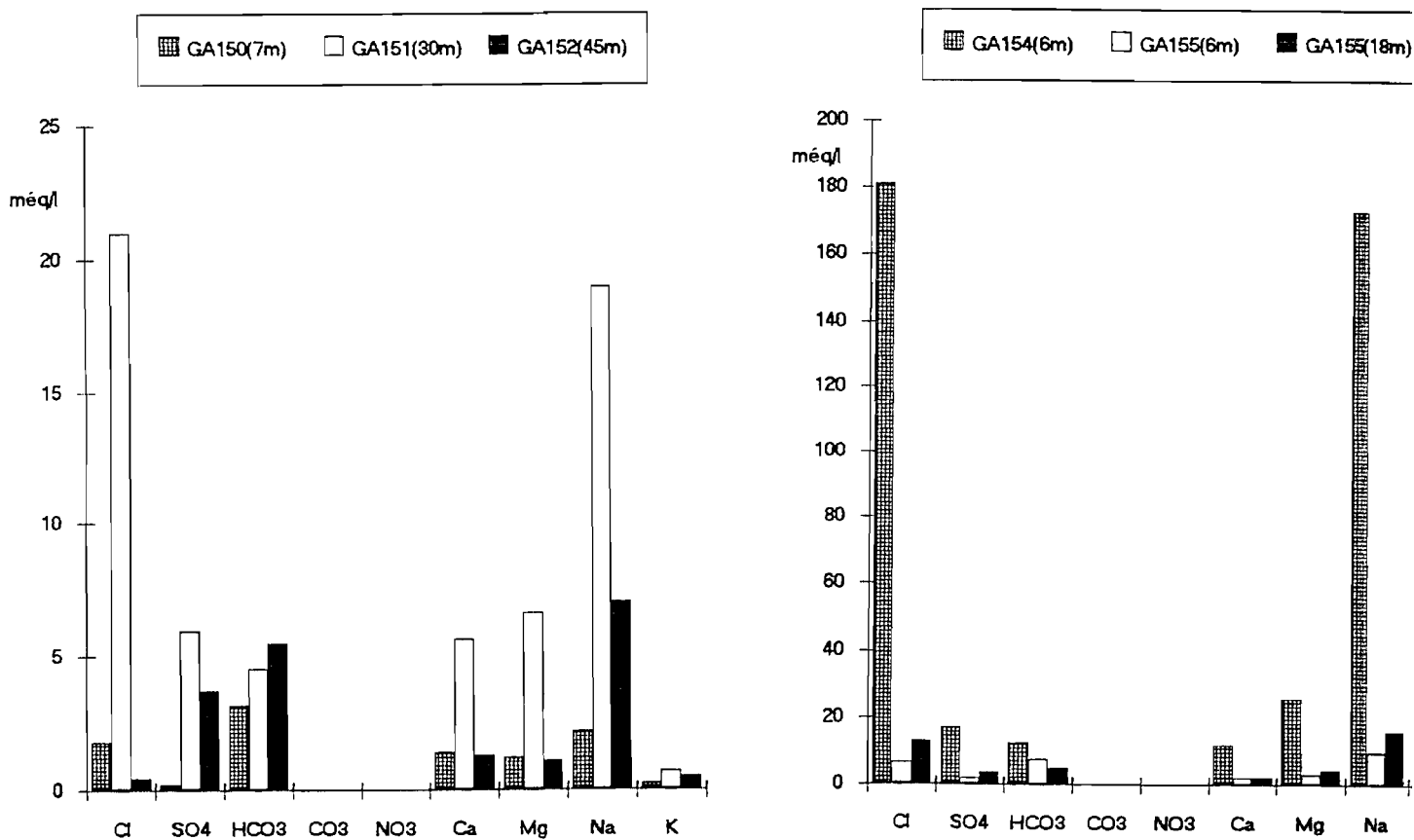


Fig.34 : Composition ionique de la nappe au Nord de la Taoué



- SECTEUR TAOUE -

III - EVOLUTION DE LA QUALITE DES EAUX

1 - LES DONNEES DES ANALYSES CHIMIQUES ANTERIEURES

a - 1983, la nappe phréatique du lac de Guiers (GAC et al.)

L'évacuation du drainage des périmètres cultivés dans le lac fait que ses eaux initialement carbonatées calciques deviennent chlorurées-sodiques. L'important assèchement du lac en juin 1983 permet d'analyser la qualité de la nappe sous-jacente (Fig.35): son faciès général est chloruré-sulfaté et sodique.

La comparaison de la composition moyenne des eaux phréatiques en 1983 dans la zone nord du lac avec les données 1991, montre que les teneurs en sodium, sulfates et bicarbonates ont augmenté. Les teneurs en calcium, magnésium et potassium ont peu varié, celles des chlorures ont baissé: ces anions très mobiles doivent être entraînés plus au sud du lac de Guiers, ce gradient nord-sud existant déjà en 1983.

b - 1987, prélèvements OMVS et 1990, prélèvements ORSTOM

Près du lac, de 1987 à 1991

Durant ces quatre années, le faciès hydrochimique de la nappe (Fig.36) carbonaté sulfaté et sodique s'accroît. Les eaux, douces depuis 1987, voient leur SAR augmenter mais il reste inférieur à 10.

Cette évolution souligne le comportement différent des deux ions, sodium et chlorure, au départ associés dans la nappe alluviale d'origine marine: leur lessivage différentiel peut s'expliquer par la possibilité ou non de se fixer sur le complexe adsorbant argileux des aquifères. Le sodium(Na) est retenu, pas le chlore(Cl) qui est ainsi entraîné vers l'aval. Les études pédologiques de LOYER,1989 indiquent que la fixation des cations sur les argiles est fonction de l'activité des ions en solution et qu'avec la dilution, le sodium passe du complexe adsorbant à la solution tandis que le magnésium et surtout le calcium font l'inverse.

L'aquifère de la zone étudiée étant souvent de nature argilo-sableuse, l'évolution vers un pôle sodique des eaux souterraines diluées par l'apport des aménagements hydroagricoles peut s'expliquer par ce phénomène d'échanges de cations. L'abondance des sulfates par rapport au calcium dans les eaux peu minéralisées peut aussi provenir du fait que les ions sulfates restent en solution alors que le calcium se fixe en grande quantité sur les argiles.

Fig.35 : Esquisse hydrochimique de la nappe phréatique du Lac de Guiers en juin 1983 (GAC et al., 1985)

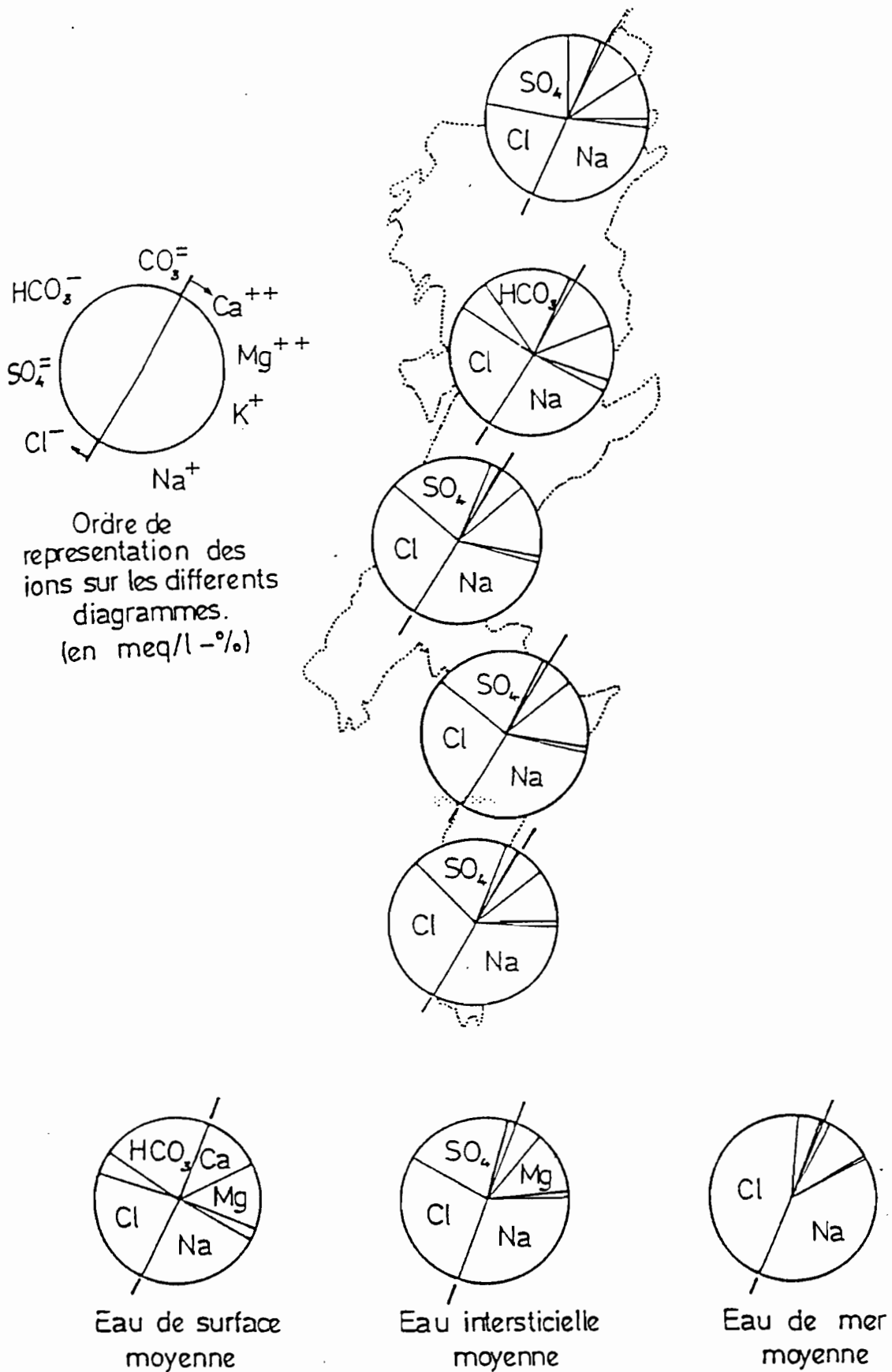
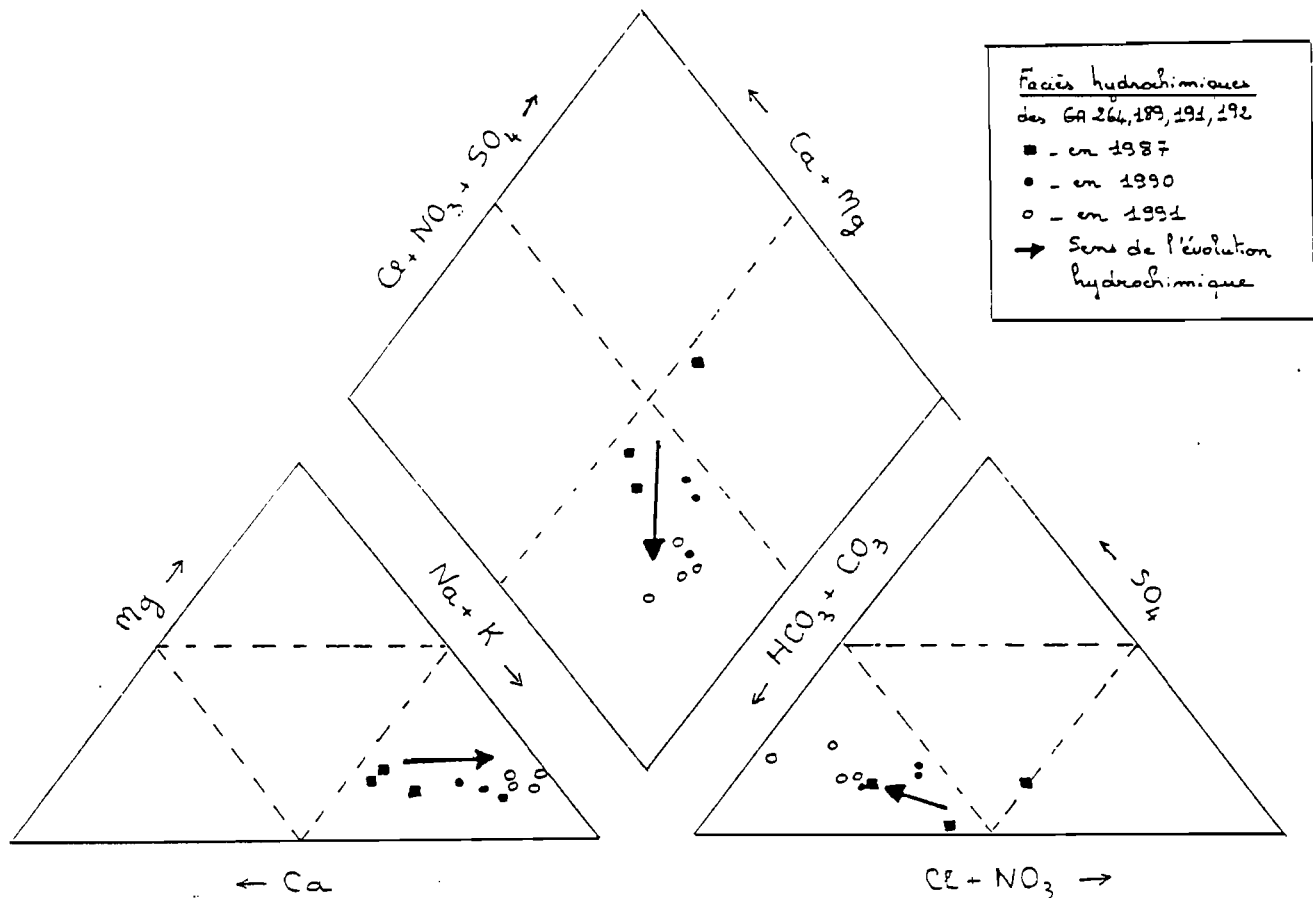


Fig.36 : Evolution de la composition ionique des eaux superficielles et profondes de la nappe en bordure du Lac de Guiers.



Au nord de la Taoué, de 1987 à 1991

En 1987, sur le site GA150/GA151/GA152, les eaux sont douces dans le piézomètre superficiel (0,5g/l), saumâtres dans les piézomètres profonds (5g/l) mais toutes sont de faciès identique, chloruré-sodique (Fig.32) malgré la superposition des trois aquifères.

En 1991, les eaux sont moins minéralisées (0,4g/l en surface, respectivement 2g/l et 0,8g/l dans les piézomètres GA151 et GA152) et les eaux les plus diluées ont changé de qualité hydrochimique.

L'évolution de la dilution et par conséquent de la qualité hydrochimique dépend de la nature géologique des aquifères.

- Dans les sables quaternaires, la dilution la plus forte aboutit à un faciès bicarbonaté-calco-magnésien, identique à celui des eaux d'irrigation fluviale.
- Dans les sables maestrichtiens, la dilution plus récente aboutit à un faciès carbonaté sodique qui ne serait qu'une étape intermédiaire dans cette évolution du fait de la retenue du sodium par le complexe adsorbant.
- Dans les calcaires, les eaux sont encore chlorurées sodiques car la dilution est plus lente: la circulation des eaux étant moins aisée, le lessivage des ions limité.

2 - EVOLUTION DE LA CONDUCTIVITE-RELATION AVEC LA PIEZOMETRIE

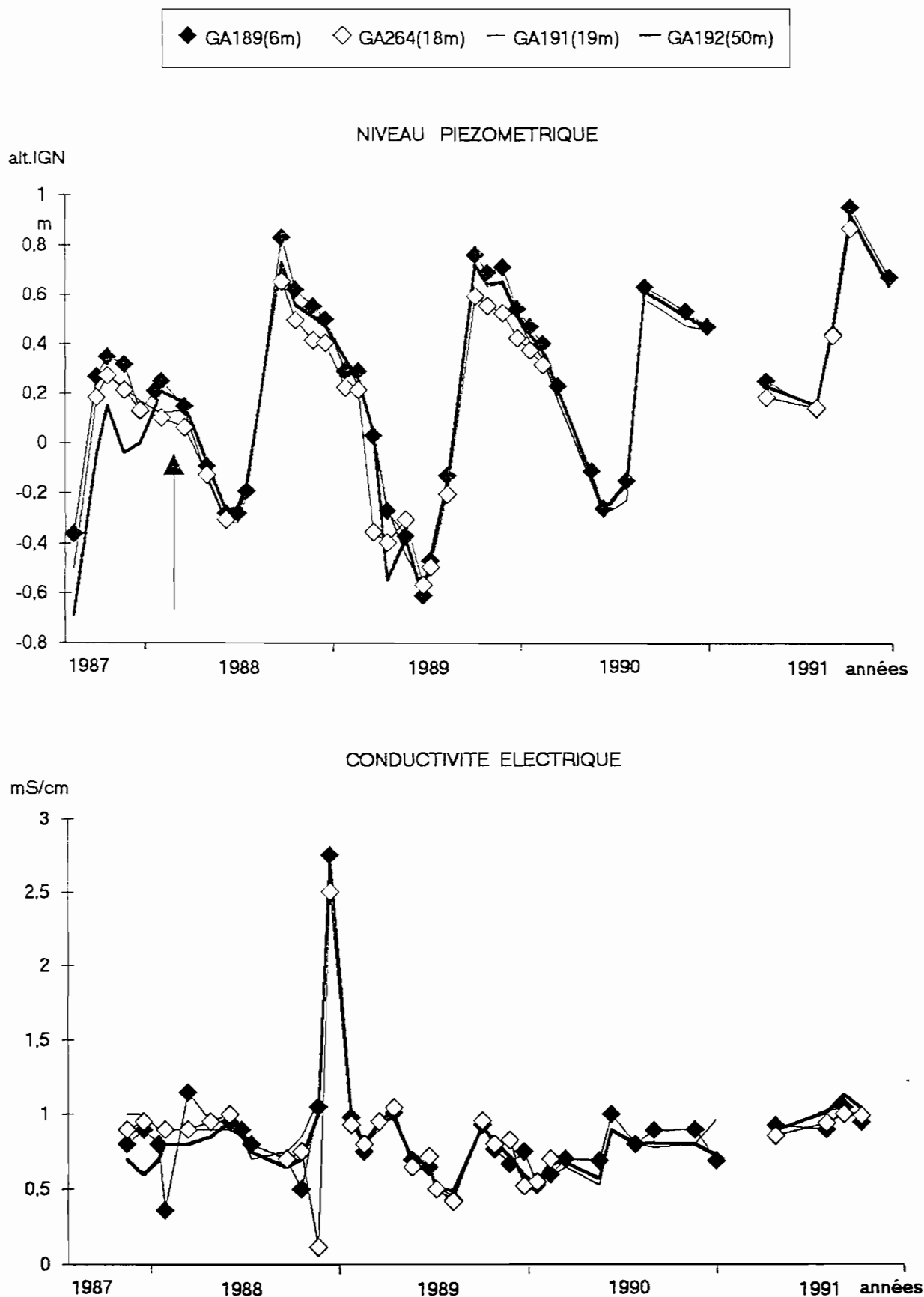
Sur le site GA189/GA264(Fig.37), les fluctuations de niveau piézométrique et de conductivité des différents piézomètres sont synchrones : la nappe superficielle est homogène, la perméabilité de l'aquifère est bonne sur toute son épaisseur malgré les variations lithologiques. La crue artificielle du Sénégal en 1988 est ressentie et le niveau d'étiage de la nappe s'est élevé depuis l'hivernage 1989 de 80cm. Parallèlement la conductivité croît légèrement de 0,5 mS/cm pour atteindre 1mS/cm en décembre 1991.

Sur le site GA150/GA152 (Fig.38), les eaux des aquifères profonds sont captives sous les calcaires éocènes. Les mesures de conductivité confirment la plus grande minéralisation du piézomètre GA151 de niveau intermédiaire par rapport au superficiel et au profond. Le niveau d'eau s'est élevé de 50cm dans les piézomètres profonds depuis l'hivernage 89, les fluctuations de conductivité suivent le même rythme que le piézomètre superficiel: les échanges sont réduits avec l'aquifère quaternaire.

Sur le site GA154/GA155(Fig.39) : une organisation bicouche de la nappe est ici mise en évidence, des niveaux calcaires limitent les échanges entre l'aquifère quaternaire et l'aquifère éocène. La très forte minéralisation du piézomètre superficiel s'est surtout établie depuis 89, elle est peut être due au dessalement de terres récemment cultivées.

Sur le site GA159/GA160(Fig.40): minéralisation et niveau piézométrique fluctuent de la même façon: le réservoir superficiel communique avec la partie supérieure des calcaires éocènes.

Fig.37: SITE PIEZOMETRIQUE GA189/GA264



ig.38: SITE PIEZOMETRIQUE GA150/GA152

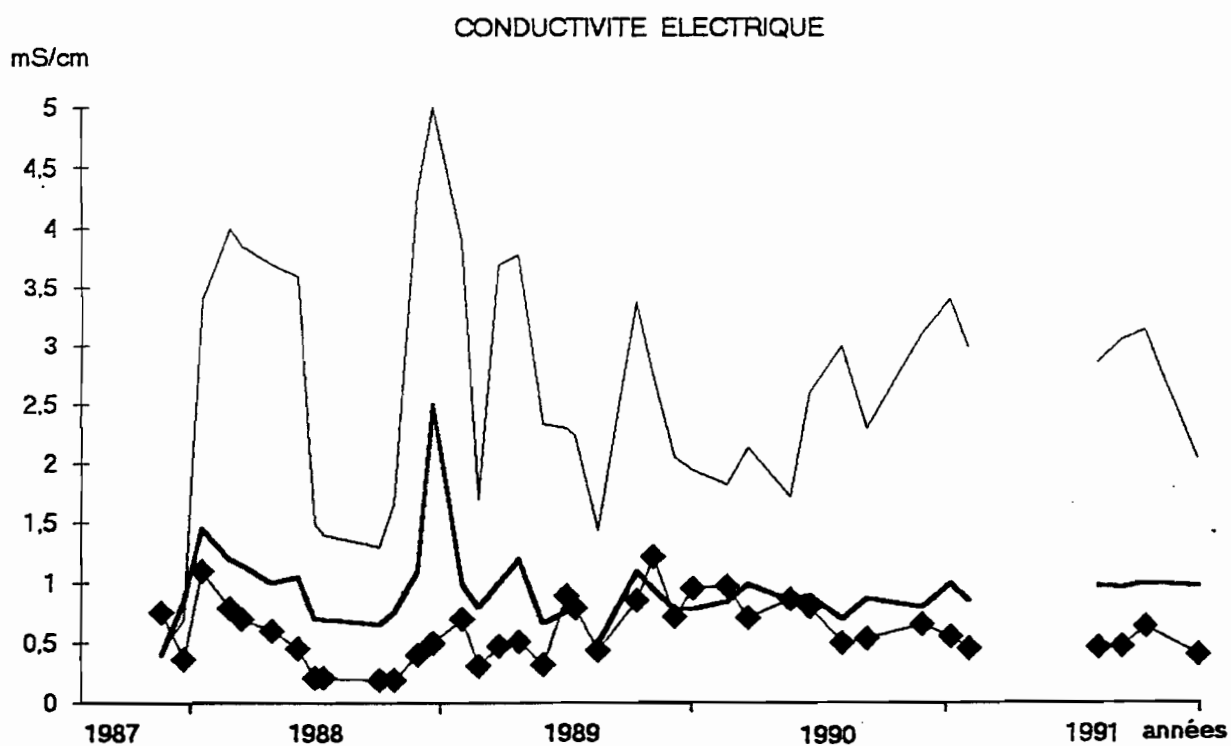
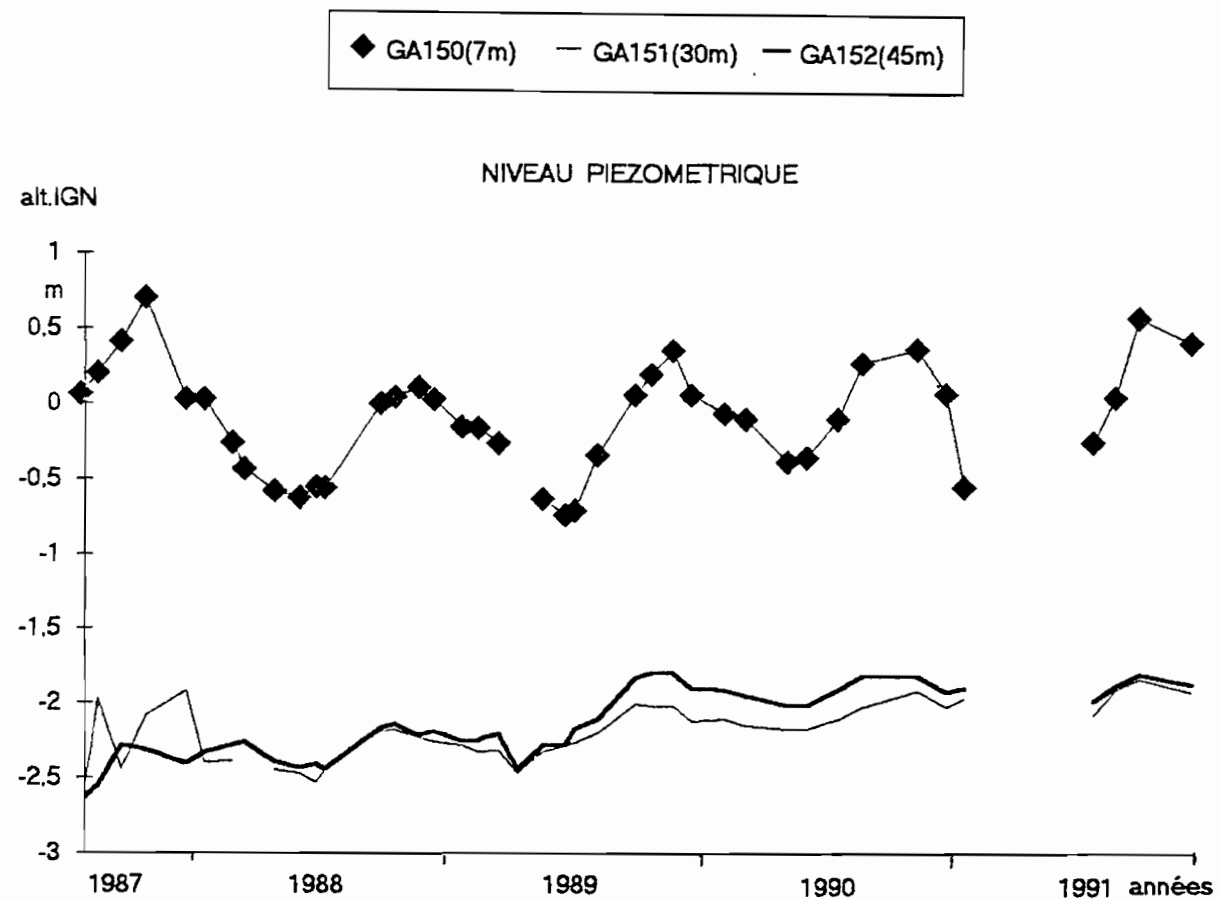


Fig.39: SITE PIEZOMETRIQUE GA154/GA155

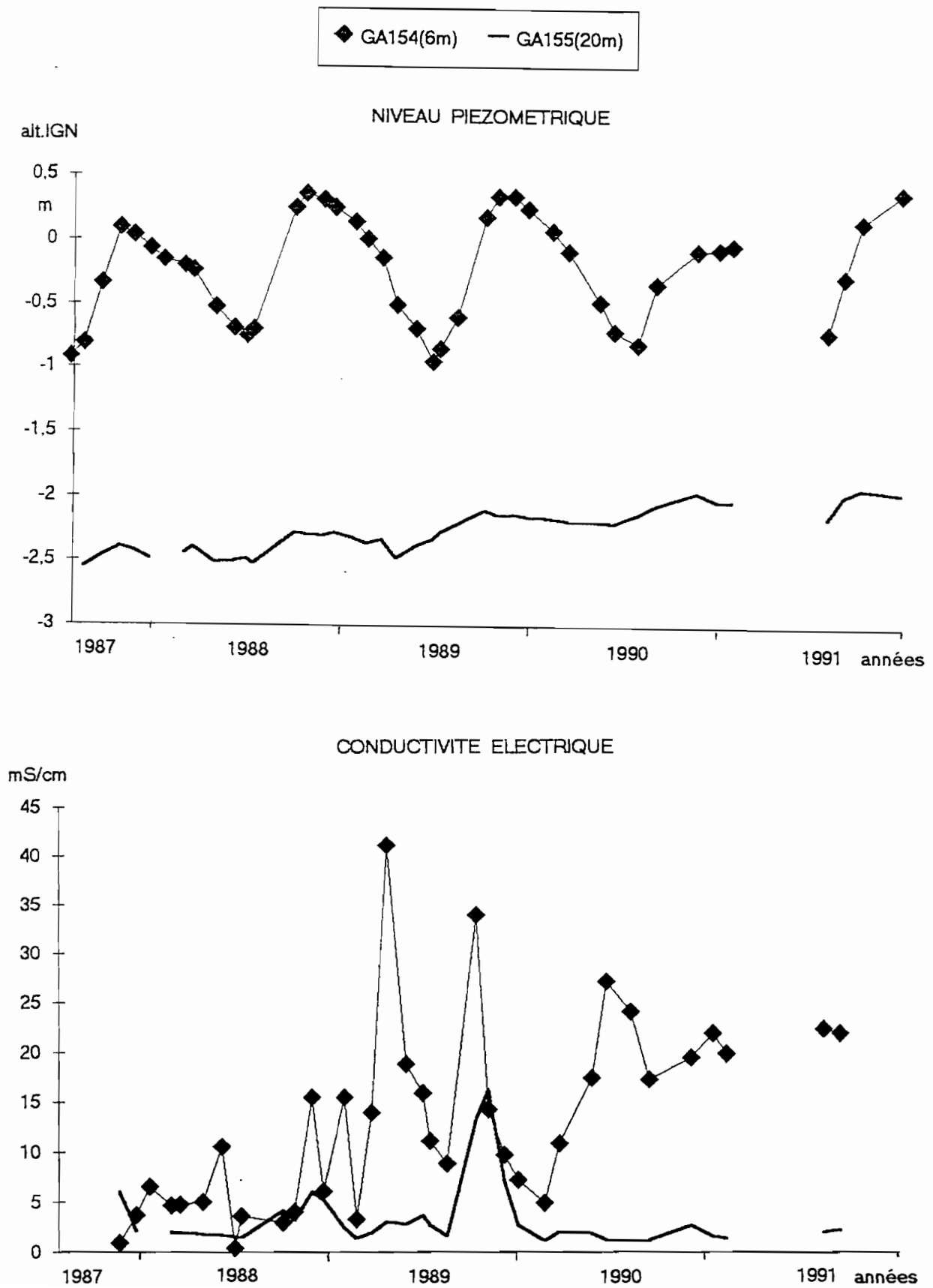
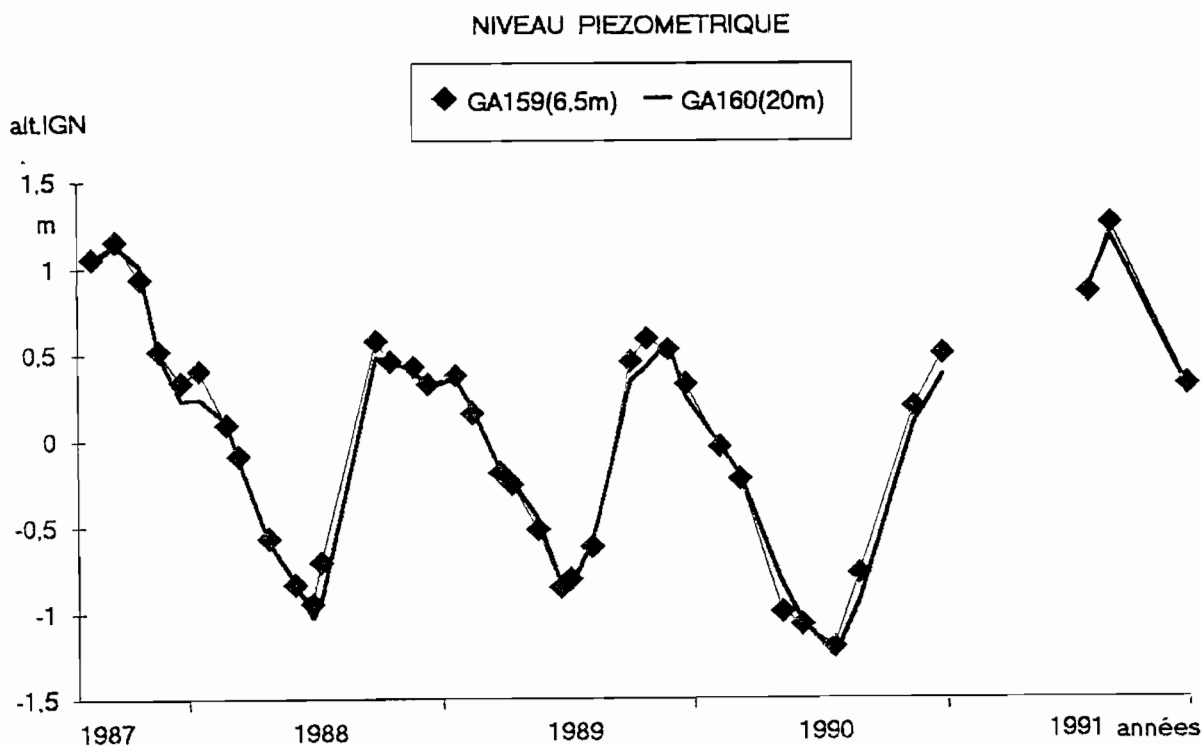


Fig.40: SITE PIEZOMETRIQUE GA159/GA160



IV - CONCLUSIONS SUR LE SECTEUR DE LA TAOUE

Ce secteur présente dans sa partie sud, près du lac de Guiers, une nappe homogène de qualité carbonatée sodique : l'aquifère est perméable sur toute son épaisseur même au niveau des calcaires éocènes. Le niveau d'étiage de la nappe depuis l'hivernage 1989 s'est élevé de 0,8m environ mais pas le niveau au maximum de la recharge. Un lessivage différentiel explique les teneurs fortes, en sodium, faibles en chlorures.

Dans la partie nord de la Taoué, la nappe est multicouche. Les eaux à l'origine chlorurées sodiques soumises à l'irrigation évoluent différemment. Les eaux profondes des sables maestrichtiens acquièrent un faciès hydrochimique carbonaté sodique, celles des calcaires éocènes restent chlorurées sodiques. Dans l'aquifère sableux quaternaire, le plus soumis à la dilution, la qualité hydrochimique devient celle des eaux d'irrigation.

Sur tout le secteur, un changement d'évolution est remarquable depuis l'hivernage 89 avec élévation de la surface piézométrique et de la minéralisation.

B4 - SECTEUR MBILOR

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES DU SECTEUR

1 - Leur position par rapport aux périmètres irrigués (fig.41)

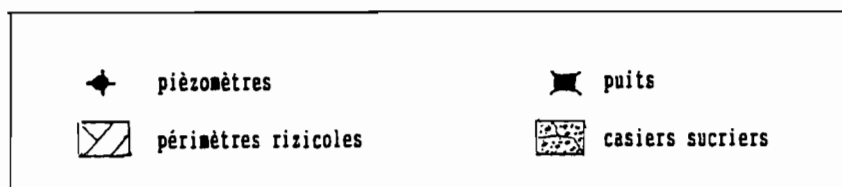
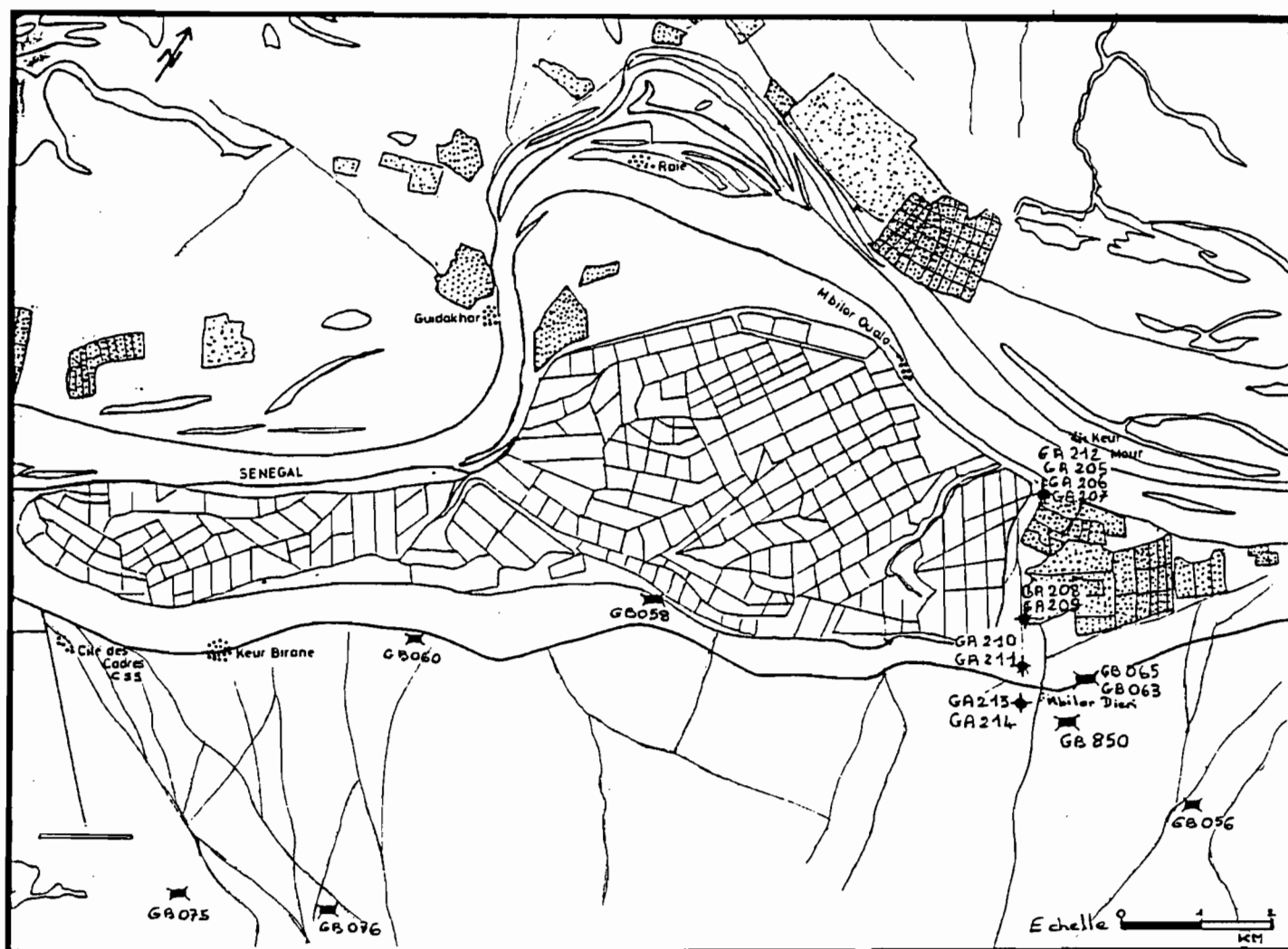
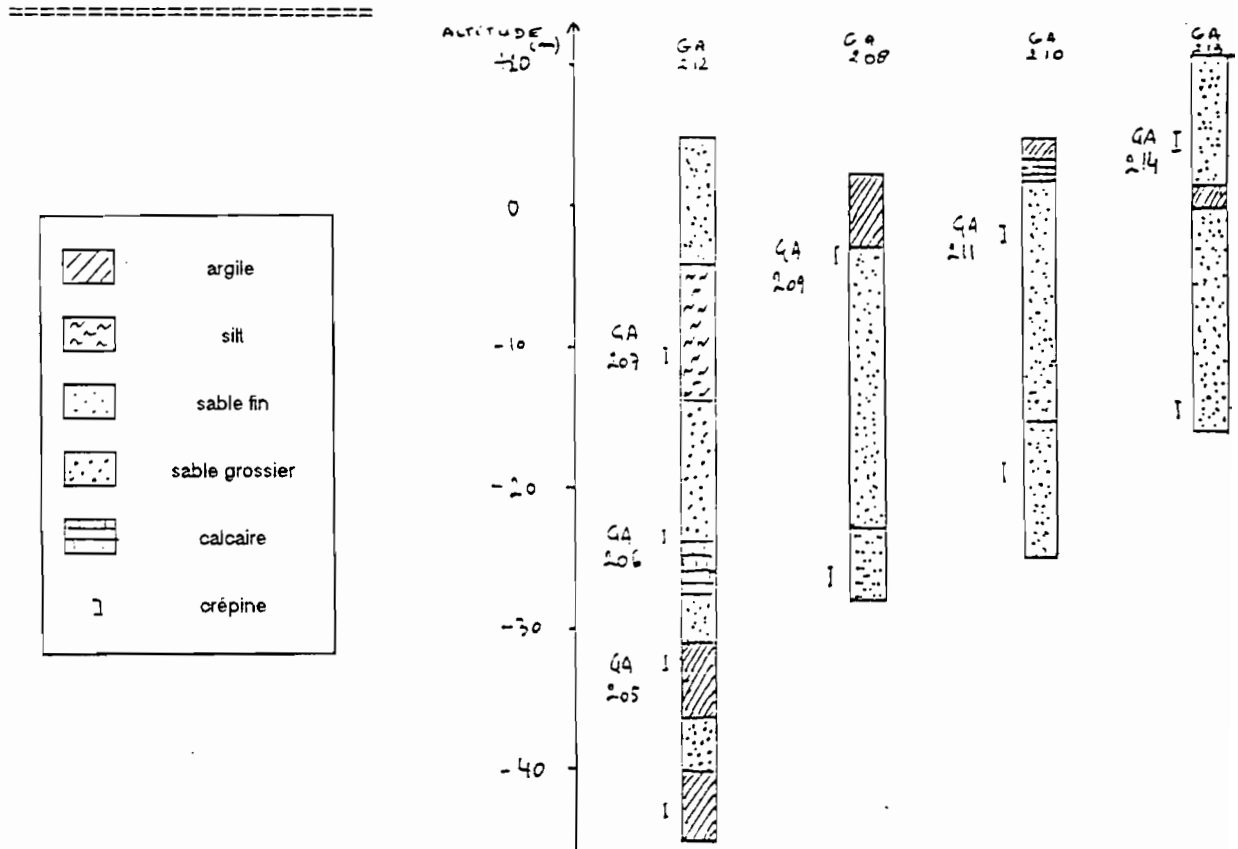


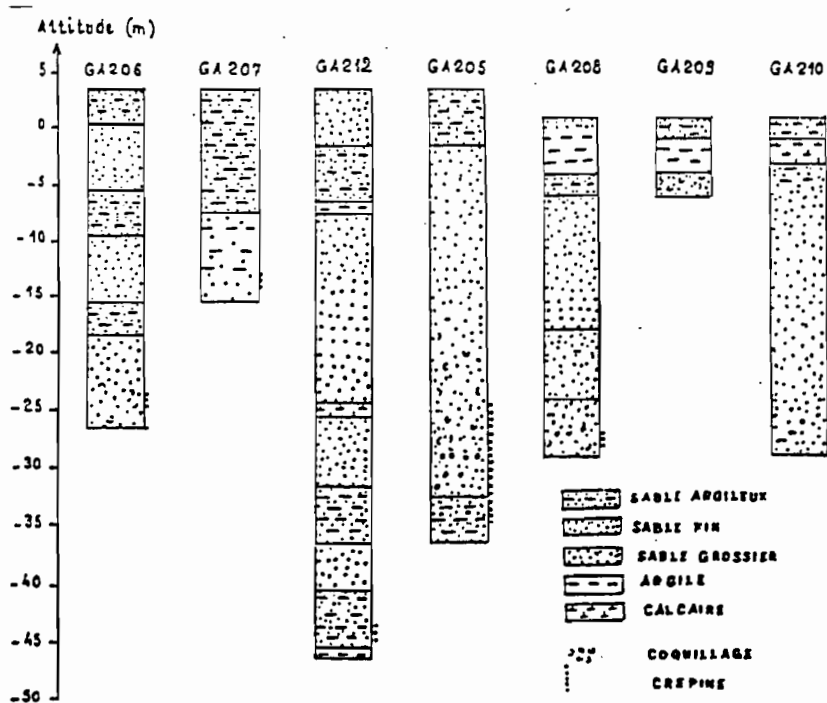
Fig.42 - LITHOSTRATIGRAPHIE

- SECTEUR MBILOR -

LES DONNEES OMVS, 1987.



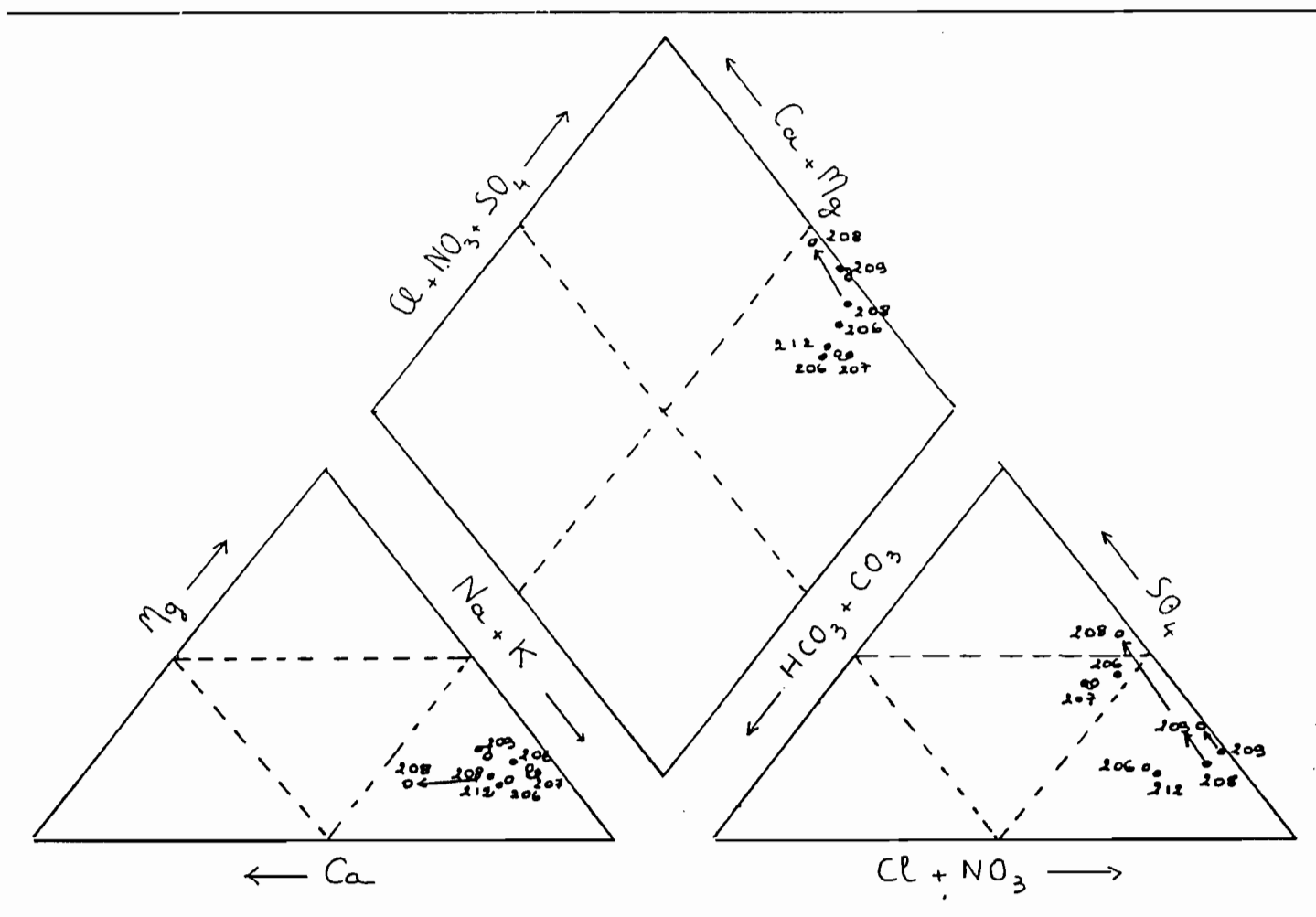
LES DONNEES CORRIGÉES, DIAGANA 1990.



2 - Paramètres techniques des piézomètres du secteur MBILOR

PIEZOMETRE			Cote	Prof.	Crépine	GEOLOGIE		
	Coord.MTU	Coord.MTU	Repère	Forée	1m de long	Droit	Code	toit
Numéro	X	Y	m/IGN	m/sol	Bas cm/sol	Crépine	fm	m/IGN
GA205 - LP	439.9	1824.8	4.779	40	3807	SABLE FIN	M	-27,9
GA206 - LP	439.9	1824.8	4.757	30	2908	SABLE GROS	QT	-18,3
GA 207 - LP	439.9	1824.8	4.700	17	1615	SABLE FIN	NK	-0,3
GA208 - LP	439.8	1824.1	2.247	30	2904	SABLE MOY	M	-3,8
GA209 - LP	439.8	1824.1	2.249	7	610	SABLE FIN	M	-3,8
GA210 - LP	439.8	1823.2	3.916	29,6	2398	SABLE FIN	M	-3
GA211 - LP	439.8	1823.2	3.983	8	702	SABLE FIN	M	-3
GA212 - HP	439.8	1824.3	4.792	50	4810	ARGILE !!	M	-26,2
GA213 - HP	439.8	1822.0	10.281	27	2598	SABLE FIN	M	-0,7
GA214 - HP	439.8	1822.0	10.290	7	605	SABLE FIN	OG	9,3

Fig.43 : Faciès hydrochimiques de la nappe superficielle dans le secteur MBILOR en juillet (•) et août (◦) 1991



- SECTEUR MBILOR -

II - QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991

Dans ce secteur, l'aquifère éocène est peu représenté (1 à 3 mètres d'épaisseur) et les sables maestrichtiens très proches de la surface. Les piézomètres, situés sur une transversale au fleuve Sénégal, sont à la limite entre le casier sucrier de la CSS et une zone rizicole. Les prélèvements de la mi-juillet et de la mi-août 1991 après les premières pluies, ont été réalisés en surface. Ils rendent plus délicate l'interprétation des analyses chimiques car ils ne révèlent pas les gradients de concentration avec la profondeur.

Les eaux présentent un faciès chloruré-sodique (Fig.43) dans tous les piézomètres, cette homogénéité est liée la nature essentiellement sableuse des aquifères. Près du fleuve, les eaux souterraines sont plus diluées (0,8 à 4g/l) qu'à l'intérieur des terres (6 à 12g). Le pH, de valeur comprise entre 7,5 et 8, est à tendance basique. Une exception dans le piézomètre GA209 où il est légèrement inférieur à 7. Les eaux de la nappe sont alcalisantes (SAR compris entre 10 et 20) sauf les plus diluées (GA212 et GA206).

Sur le site piézométrique GA208/GA209, l'impact de l'activité agricole en début d'hivernage est remarquable. La composition ionique des eaux change beaucoup entre le mois de juillet et le mois d'août. L'enrichissement particulièrement important en sulfates et calcium (les teneurs sont doublées) lié à une augmentation de la teneur en sel NaCl, doit correspondre à un apport de gypse utilisé pour la dessalinisation d'une nouvelle parcelle. Les nitrates sont abondants, 30 à 60 mg/l, dans le piézomètre GA208.

III - EVOLUTION DE LA QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE

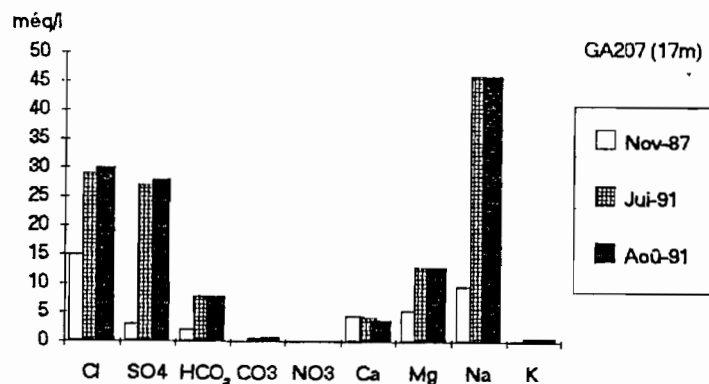
1 - DONNEES DES ANALYSES CHIMIQUES ANTERIEURES

a - 1987, les prélèvements de l'OMVS

Les eaux du piézomètre superficiel GA207, sont chlorurées sodiques mais moins minéralisées qu'en 1991 (1,2g/l pour 4g/l). Elles se sont particulièrement enrichies en sulfates et en sodium depuis 1987 (Fig.44).

Les eaux du piézomètre GA205 (40m) atteignant le Maestrichtien sont douces (1g/l) comme celles de son équivalent en 1991, le GA212 et de faciès chloruré sodique.

Fig.44 - Evolution de la composition ionique des eaux du piézomètre GA207



b - Mai 1990, les prélèvements de l'ORSTOM

Ces analyses chimiques concernent des puits situés en dehors des périmètres irrigués.

Le puits GB058 juste en bordure du casier sucrier présente des eaux particulières où sulfates et calcium dominant. Cette qualité est peut être due à la déssalinisation par le gypse dans le casier sucrier.

Les eaux des autres puits hors périmètres sont chlorurées sodiques elles sont douces ou saumâtres (8g/l dans le GB076). Les teneurs en nitrates sont très faibles dans ces puits, le GB065 étant le plus pollué avec 8mg/l. La qualité des eaux des puits GB065 et GB076 n'a pas changé depuis avril 1988.

2 - EVOLUTION DE LA CONDUCTIVITE-RELATION AVEC LA PIEZOMETRIE

Le niveau d'étiage de la nappe superficielle est monté de 30cm en moyenne, dans tous les piézomètres du secteur depuis l'hivernage 1989 et ce phénomène s'accompagne d'une élévation de la conductivité.

Sur le site piézométrique GA206/GA212, la position relative des niveaux d'eau (Fig.45) indique que la nappe maestrichtienne est en légère charge en relation avec la présence de quelques horizons plus argileux. Cette lithostratigraphie (Fig.42) a été reprise lors d'un essai de pompage concernant le piézomètre GA205 par DIAGANA, 1990. Il serait ainsi souhaitable d'avoir une géologie plus précise de tous les sites piézométriques pour mieux interpréter l'évolution hydrologique de la Basse Vallée. Ces piézomètres sont très proches du fleuve (150mètres) et la différence de niveau de base avec les eaux de surface est de 2 mètres: les échanges latéraux doivent être gênés par le colmatage des berges.

Sur le site piézométrique GA210/GA211(Fig.46a) plus au sud, la superposition des fluctuations montre une communication aisée entre les niveaux superficiels et profonds, en rapport avec la nature essentiellement sableuse de l'aquifère.

Les mesures de conductivité confirme la permanence d'une minéralisation inférieure dans les piézomètres les plus profonds (GA212 et GA211), mais faites en surface, elles ne tiennent pas compte du gradient de concentration croissant en profondeur(SAOS,1990).

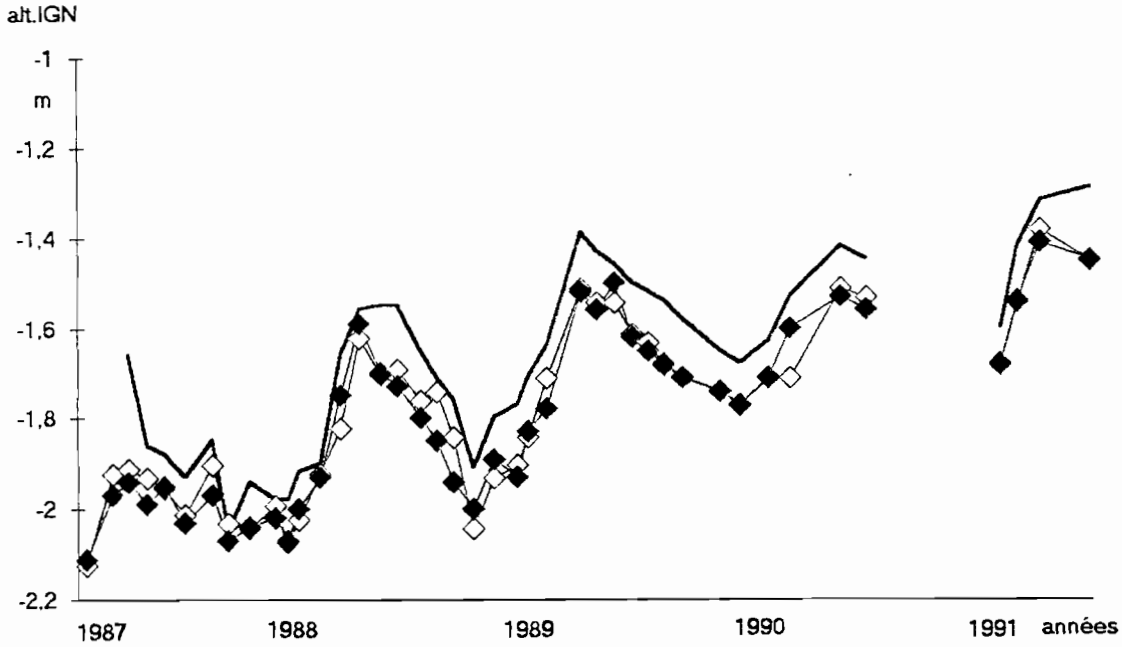
Dans le puits GB058 (Fig.46b), le niveau d'eau monte depuis octobre 1986 (1mètre) mais à la différence de ce qui a été observé dans les piézomètres, la minéralisation n'évolue pas (la conductivité reste égale à 1500 μ S/cm environ).

Les autres puits ne présentent pas de variation significative.

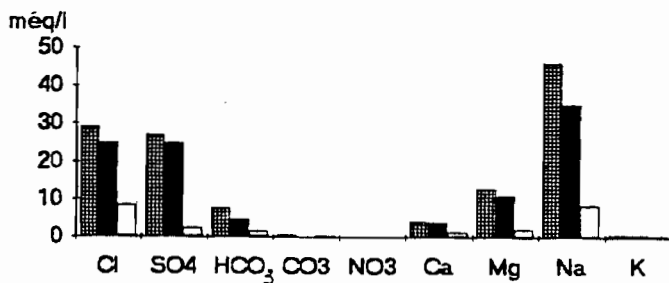
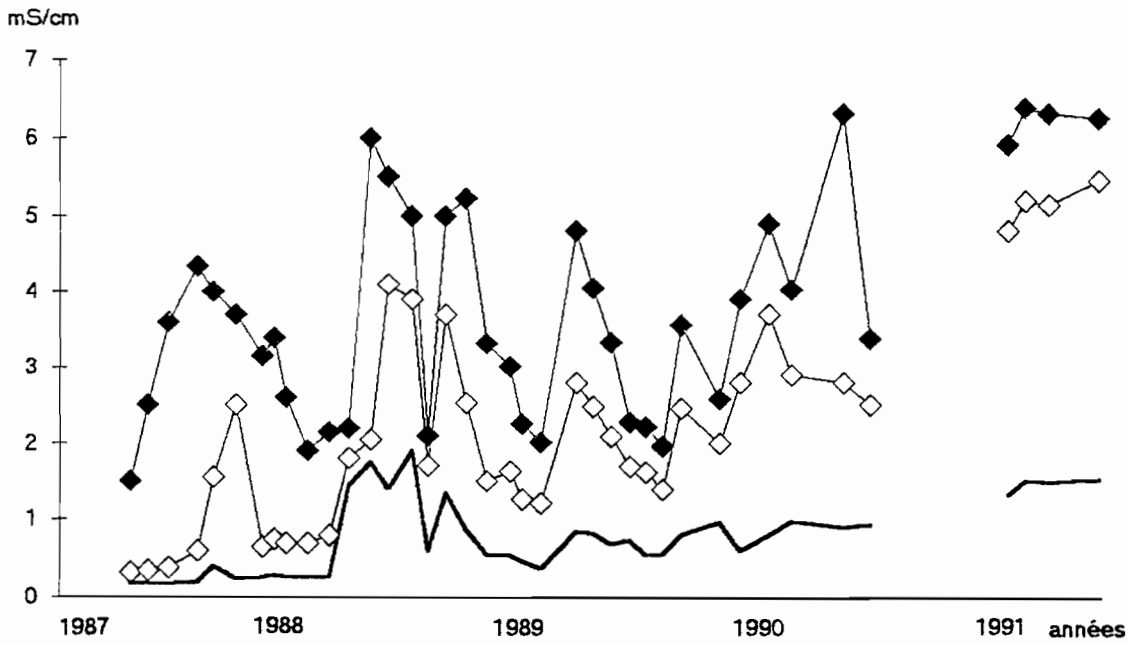
Fig.45: SITE PIEZOMETRIQUE GA206/GA212

◇ GA206(30m) ◆ GA207(17m) — GA212(50m)

NIVEAU PIEZOMETRIQUE



CONDUCTIVITE ELECTRIQUE



■ GA207(17m) ■ GA206(30m) □ GA212(50m)

Composition ionique

IV - CONCLUSION SUR LE SECTEUR MBILOR

Ce secteur permet d'analyser les eaux maestrichtiennes ici plus facilement en communication avec les horizons supérieurs du fait de la quasi absence des calcaires éocènes. La nappe superficielle apparaît moins minéralisée en profondeur mais de qualité homogène, chlorurée-sodique, l'aquifère étant essentiellement sableux. La nappe ne communique pas directement avec les eaux du fleuve pourtant très proches.

Depuis l'hivernage 1989, niveau piézométrique et minéralisation s'élèvent. L'influence de la mise en valeur agricole des terres se traduit localement par une élévation des teneurs en sulfates et calcium (apport de gypse), en chlorure de sodium (lessivage de sols salés) et enfin par une abondance de nitrates (apport d'engrais).

Les puits de la zone sud du secteur, non cultivée sont soit de qualité chlorurée-sodique soit chlorurée calco-magnésien, en rapport seulement avec la géologie de l'aquifère .

B5 - SECTEUR DAGANA

I - PRESENTATION DES PIEZOMETRES

1 - Leur position par rapport aux périmètres irrigués (fig.47)

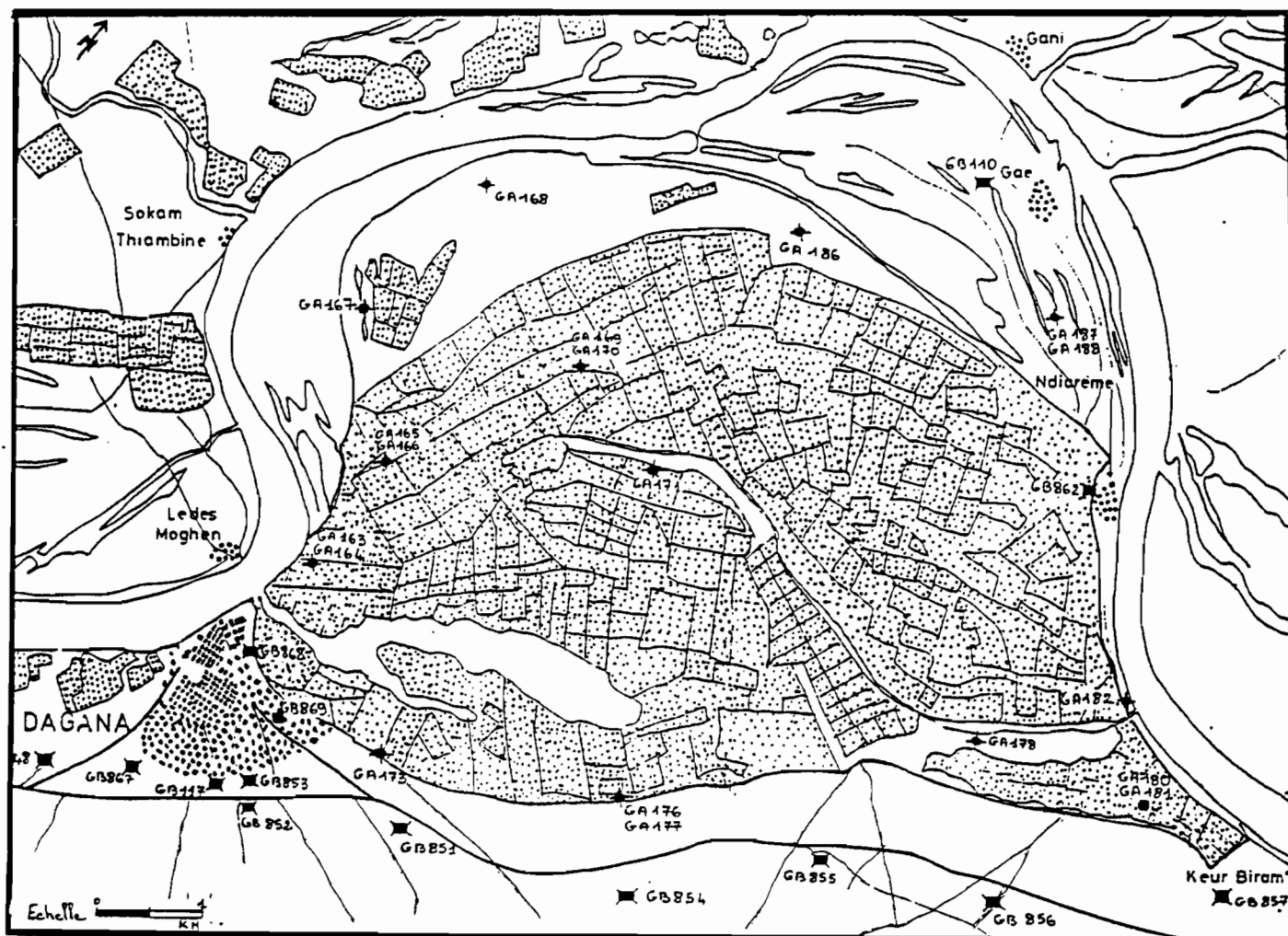
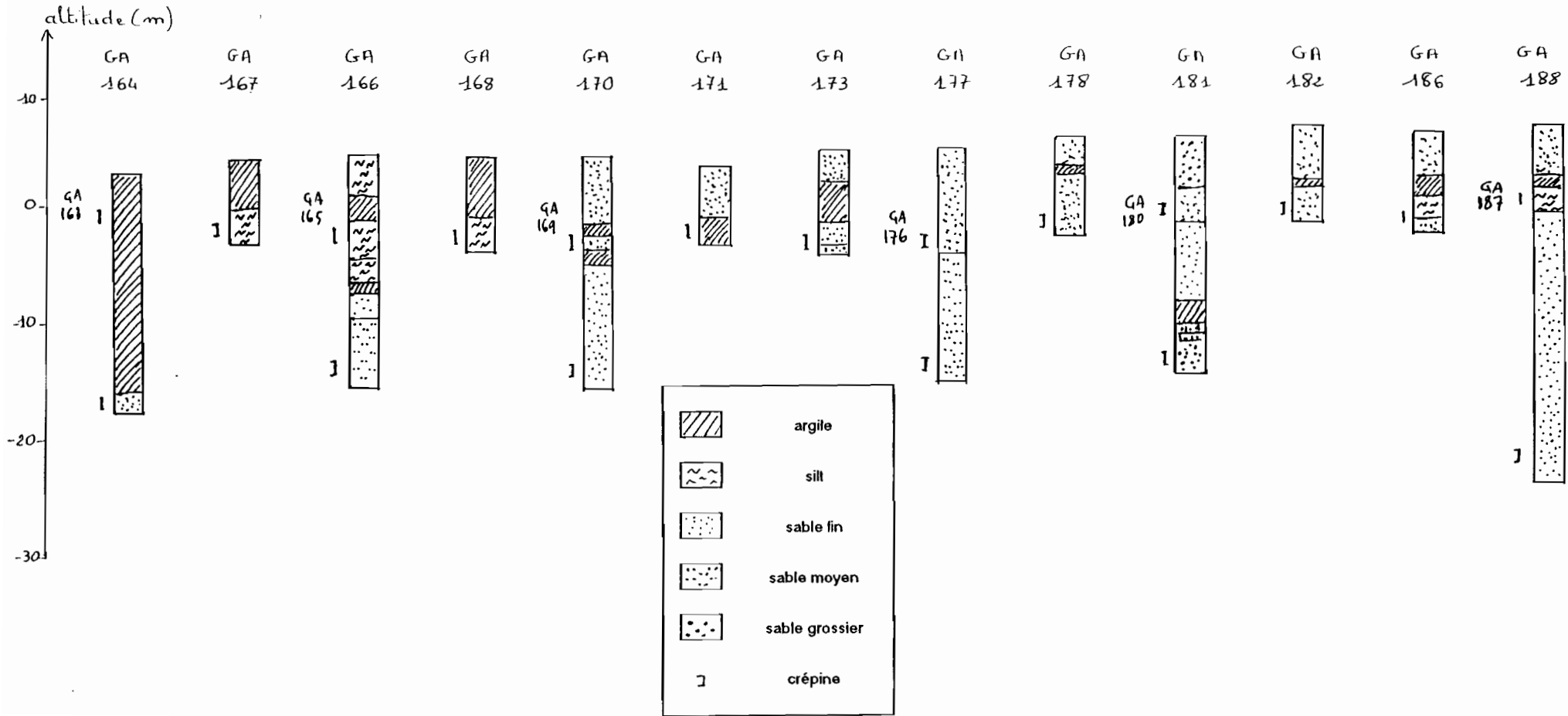


Fig.48 - LITHOSTRATIGRAPHIE

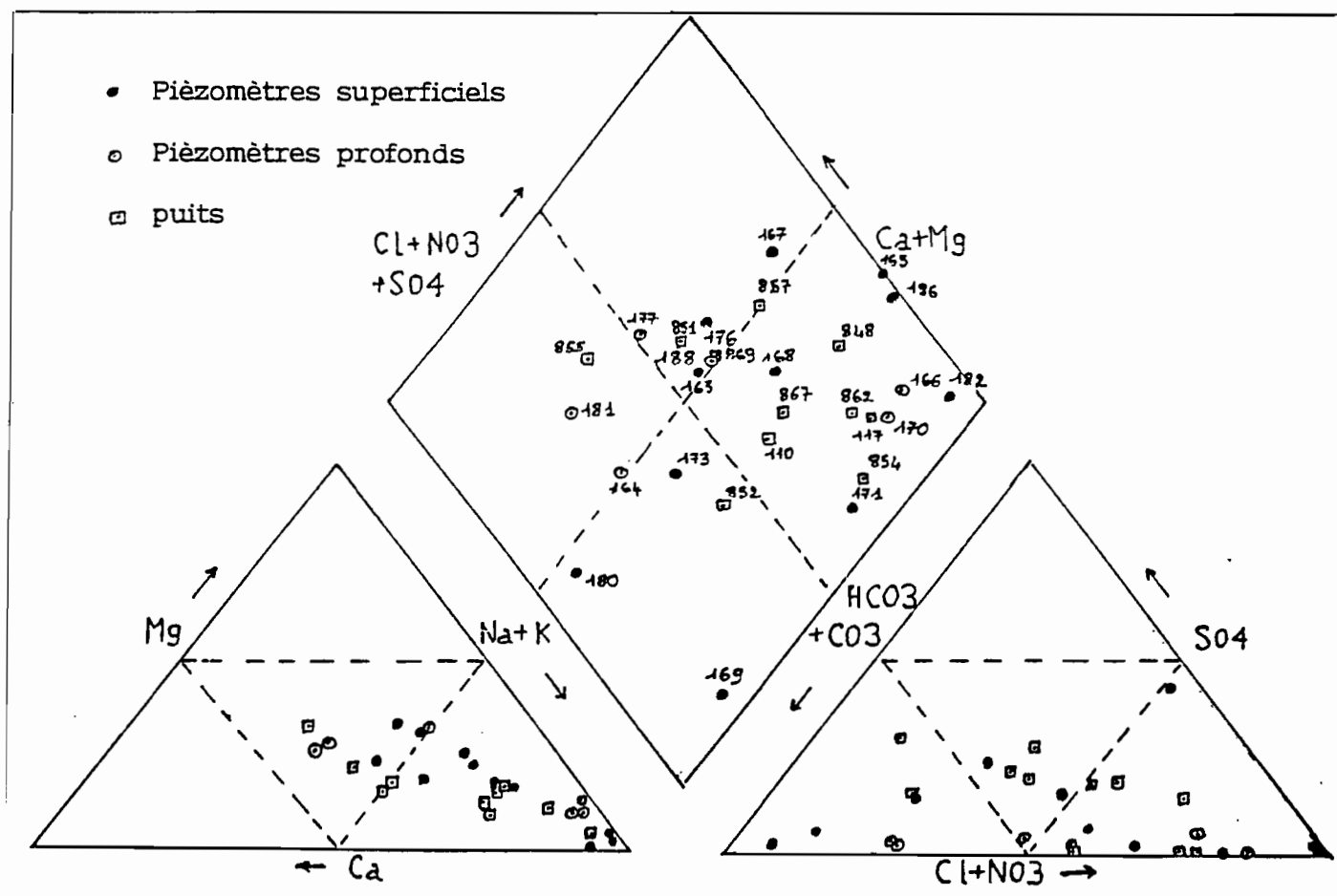
SECTEUR DAGANA



2 - Paramètres techniques des piézomètres du secteur DAGANA

PIEZOMETRE			Cote	Prof.	Crépine	GEOLOGIE		
	Coord.MTU	Coord.MTU	Repère	Forée	1m de long	Droit	Code	toit
Numéro	X	Y	m/0IGN	m/sol	Bas cm/sol	Crépine	fm	m/0IGN
GA163 - LP	446.4	1827.2	2.908	5	410	ARGILE !!	NK	-2.2
GA164 - LP	446.4	1827.2	2.960	20	1905	SABLE FIN	IN	-14.1
GA165 - LP	446.9	1828.6	4.702	9	817	SILT	IN	-2.3
GA166 - LP	446.9	1828.6	4.754	20	1898	SABLE MOY	QT	-8.3
GA167 - LP	446.3	1829.9	3.949	7	605	SILT	NK	-1
GA168 - LP	447.4	1831.7	3.845	8	700	SILT	NK	-1.1
GA169 - LP	448.6	1830.6	3.930	9	790	SABLE FIN	IN	-3.1
GA170 - LP	448.6	1830.6	3.927	20	1904	SABLE FIN	QT	-10.1
GA171 - LP	449.0	1829.4	2.955	6.6	560	SABLE FIN	IN	-11.1
GA173 - LP	447.7	1826.0	4.362	9	799	SABLE MOY	CT	1.4
GA176 - LP	450.0	1826.3	4.450	9	800	SABLE FIN	CT	-4.6
GA177 - LP	450.0	1826.3	4.465	20	1895	SABLE MOY	CT	-4.5
GA178 - LP	452.7	1827.8	5.276	8.4	743	SABLE FIN	NK	2.3
GA180 - LP	454.8	1826.3	5.105	7	603	SABLE FIN	CT	2.1
GA181 - LP	454.8	1826.3	5.094	20	1406	SABLE MOY	CT	-0.9
GA182 - LP	454.0	1828.6	6.163	8	702	SABLE FIN	NK	1.1
GA186 - LP	449.8	1831.7	5.673	8	705	SILT	NK	0.7
GA187 - LP	452.7	1831.8	5.804	7	593	SILT	NK	1.8
GA188 - LP	452.7	1831.8	5.841	30	2780	SABLE FIN	QT	-4.2

Fig.49 : Faciès hydrochimiques de la nappe superficielle en juillet 1991 dans le secteur DAGANA



- SECTEUR DAGANA -

II - QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE EN 1991

Les piézomètres les plus profonds atteignent les sables du Continental Terminal. Les prélèvements, comme pour le secteur de Mbilor, ont été faits en surface, l'un en juillet, l'autre en août après quelques pluies de l'ordre de 30 mm. La nappe superficielle au niveau du secteur de Dagana présente des eaux en général douces mais de qualité chimique variée (Fig.49).

Les eaux les plus concentrées ont le faciès chloruré-sodique, originel, par contre avec la dilution apparaissent les faciès bicarbonatés sodiques ou calco-magnésiens et plus rarement chlorurés calco-magnésiens. Du mois de juillet au mois d'août, les différences ne sont pas significatives mise à part le piézomètre GA163 dont la qualité à la limite des faciès chloruré-sodique et calcomagnésien en juillet, devient franchement bicarbonatée et calco-magnésienne.

Dans l'anse du fleuve Sénégal se trouvent les eaux les plus salées: plus de 10g/l dans les piézomètres GA186 et GA165, 9g/l en bordure du fleuve (GA182) et 2g/l dans les piézomètres GA166 et GA170. Deux valeurs de pH sont remarquables par leur acidité 5,9 (GA165) ou leur basicité 9,4 (GA171). Entre ces 2 extrêmes, les pH se répartissent en deux groupes, l'un proche de la neutralité, l'autre à tendance basique. La plupart des points d'eau ont un SAR inférieur à 10. Il est supérieur dans les eaux diluées du piézomètre GA171 (12 à 14) et dans toutes les eaux très minéralisées. Certains points d'eau sont pollués par les nitrates: de 60 à 90mg/l dans les piézomètres GA165, GA166, GA168 et dans le puits GB110.

Le piézomètre GA182 possède des eaux très minéralisées et les plus sulfatées (3g/l): cette particularité peut être en rapport avec son niveau piézométrique le plus élevé du secteur, ce qui en fait une zone de recharge de la nappe drainant des eaux ayant lessivé des terres salées et amendées en vue de leur mise en valeur agricole.

Les nombreux sites piézométriques du secteur de Dagana permettent une comparaison entre les niveaux superficiels et profonds de la nappe sachant toutefois que les prélèvements, faits en surface, ne tiennent pas compte d'un éventuel gradient de concentration.

Sur le site piézométrique GA163/GA164, les eaux faiblement minéralisées (0,2g/l) ont des faciès hydrochimiques différents. Dans le piézomètre superficiel (GA163), la qualité des eaux changent au mois d'août, elle devient carbonatée calco-magnésienne. Dans le piézomètre profond (GA164), les eaux sont carbonatées mais riches en sodium, des niveaux argileux limitent les échanges avec le réservoir superficiel.

Sur le site piézométrique GA165/GA166: les eaux sont de même faciès chloruré-sodique. Dans le piézomètre superficiel GA165, les eaux sont bien

Sur le site piézométrique GA165/GA166: les eaux sont de même faciès chloruré-sodique. Dans le piézomètre superficiel GA165, les eaux sont bien plus minéralisées (12g/l) que celles du piézomètre profond GA166(2g/l) cependant plus riches en bicarbonates et en nitrates. La nature lithologique de l'aquifère, argileuse et silteuse en surface, sableuse en profondeur explique cette différence. La richesse en nitrates au niveau de la crépine du piézomètre profond serait à contrôler. Ces eaux très alcalisantes(SAR supérieur à 19) représentent un danger pour la structure des sols.

Sur le site piézométrique GA169/GA170. Les eaux en profondeur (GA170,20 mètres) sont de même qualité (2g/l, chlorurée sodique) que sur le site précédent (GA166): une communication latérale existe au sein de l'aquifère profond. Par contre les eaux du piézomètre superficiel GA169 sont, à l'inverse du GA165, plus diluées que celles du réservoir profond. Cette situation opposée est liée à une nature lithologique différente des horizons superficiels (Fig.48) : sableuse sur ce site, argilo-silteuse dans le cas précédent. Les eaux douces(0,8g/l) superficielles (GA169) sont carbonatées sodiques.

Sur le site piézométrique GA176/GA177, l'homogénéité de la nappe, chlorurée calco-magnésienne, est liée à celle de l'aquifère de nature essentiellement sableuse.

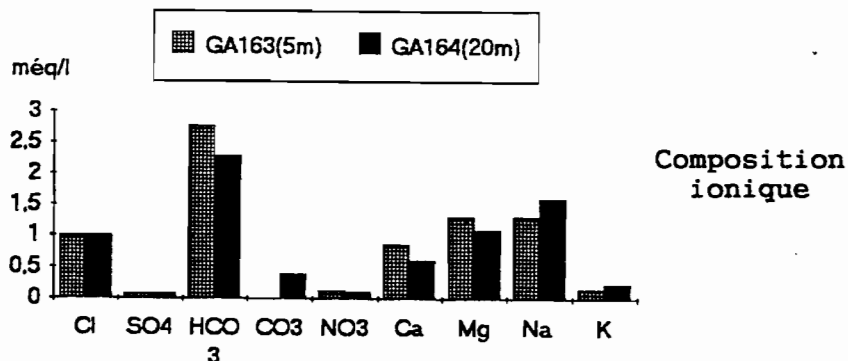
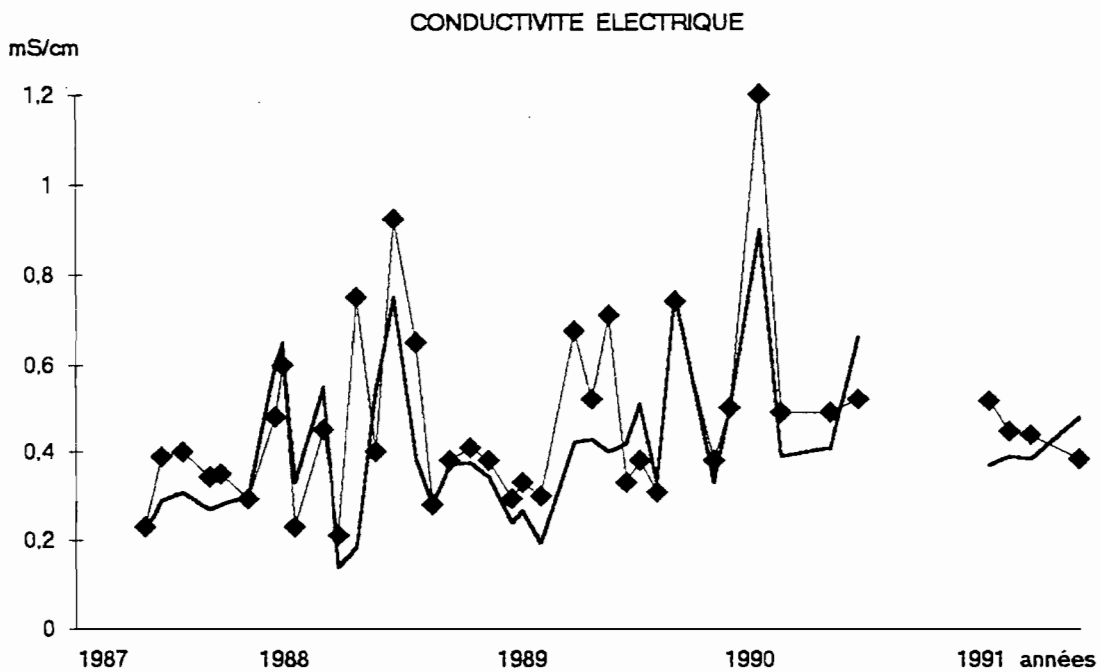
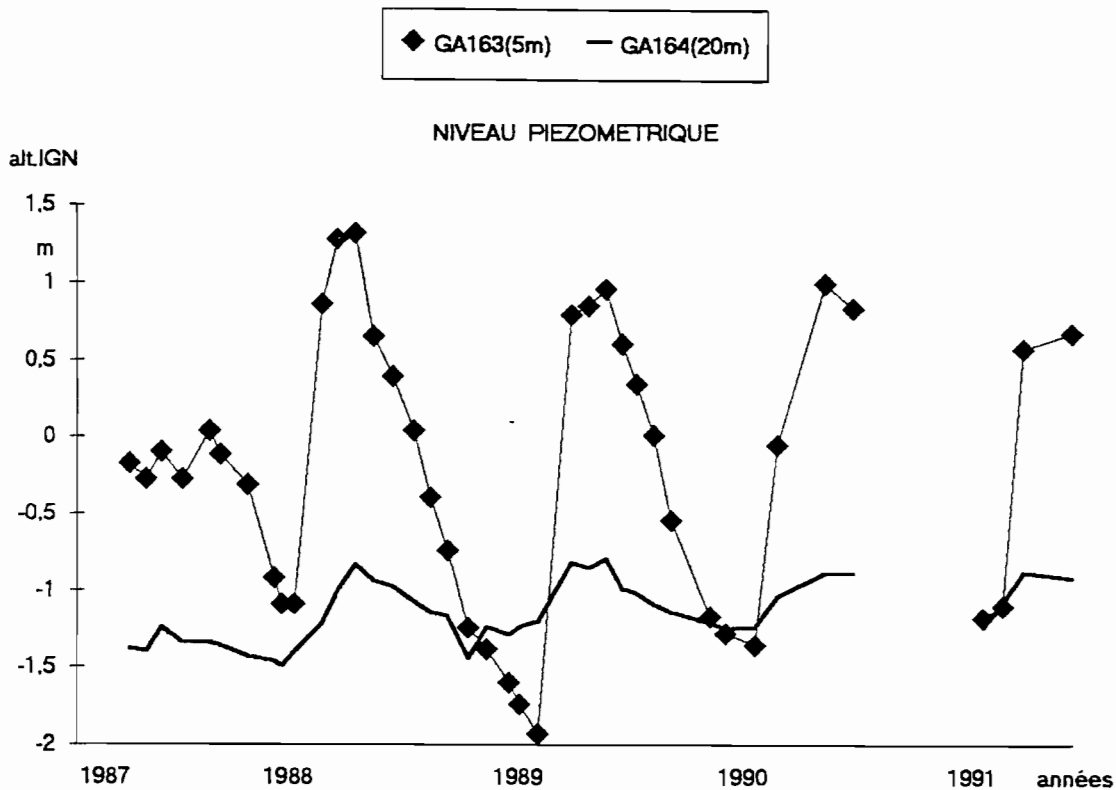
Sur le site piézométrique GA180/GA181, les eaux du piézomètre superficiel(GA180) sont les plus douces(0,4g/l), carbonatées sodiques et les eaux profondes(0,8g/l), dont elles sont séparées par un niveau argileux, sont bicarbonatées calco-magnésiennes.

III - EVOLUTION DE LA QUALITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE

1 - DONNEES DES ANALYSES CHIMIQUES ANTERIEURES

De 1988 à 1991, les puits GB848 et GB862, n'ont guère changé de qualité hydrochimique. Par rapport aux données du mois de mai 1990, les eaux du piézomètre GA167 (Fig.52), ont été très diluées: de 7g/l à 0,5g/l. L'abondance des sulfates et des chlorures de sodium en 1990 doit correspondre à une période de dessalinisation des terres avec le gypse comme amendement. En 1991, les sulfates ont disparu, les eaux sont douces et chlorurées calco-magnésiennes.

Fig.50: SITE PIEZOMETRIQUE GA163/GA164



ig.51: SITE PIEZOMETRIQUE GA165/GA166

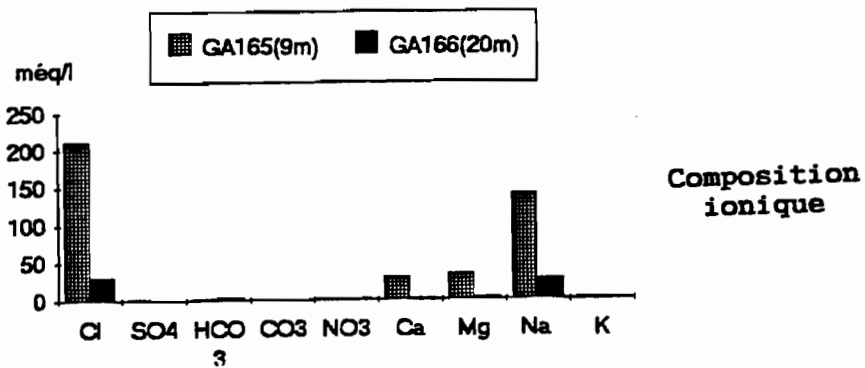
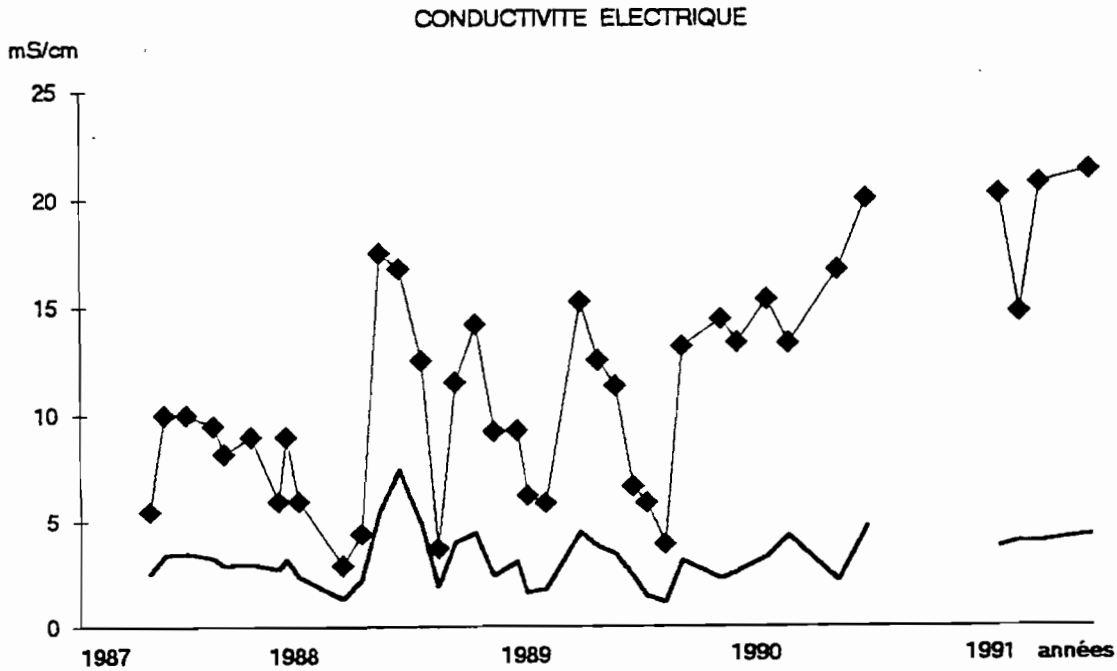
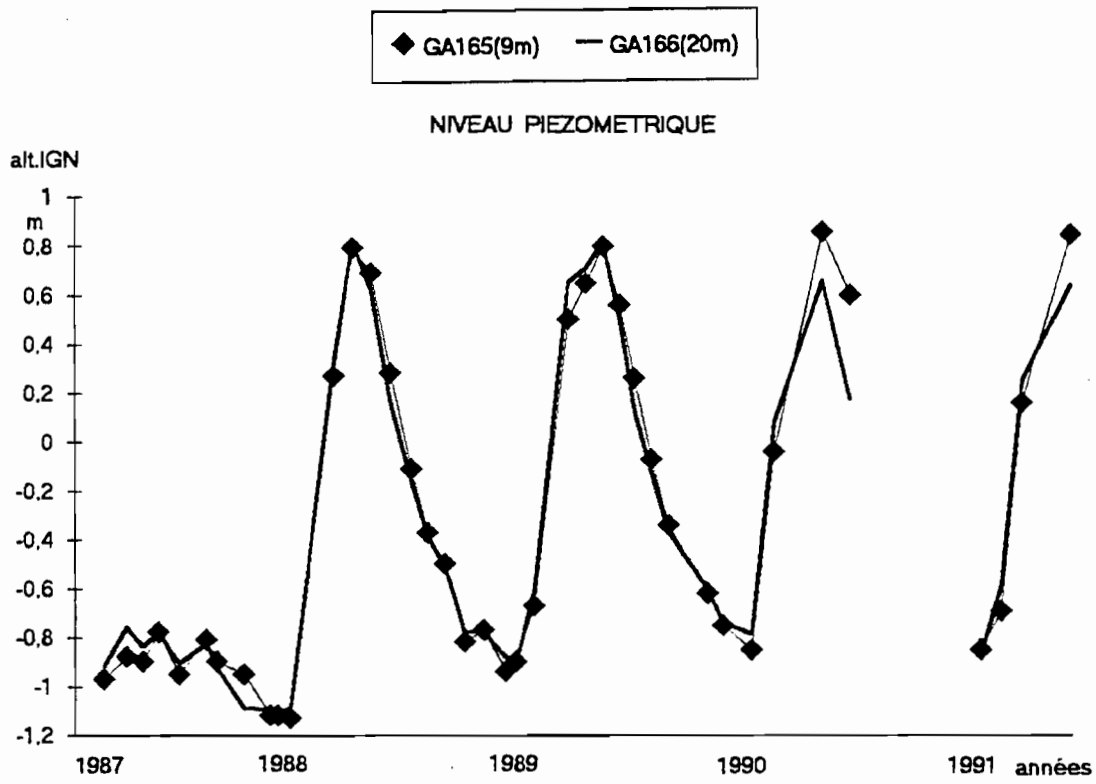
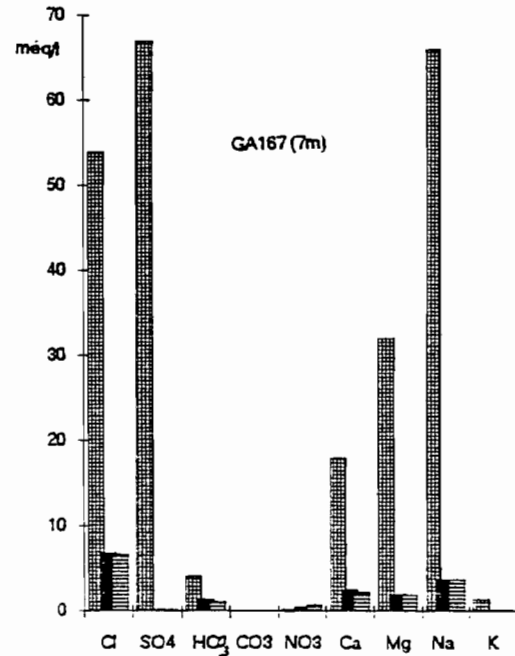
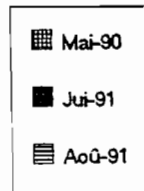


Fig.52: Evolution de la composition ionique des eaux du piézomètre GA167



2 - EVOLUTION DE LA CONDUCTIVITE-RELATION AVEC LA PIEZOMETRIE

Sur le site piézométrique GA163/GA164 (Fig.50), l'atténuation des variations du niveau piézométrique dans le réservoir profond confirme son isolement partiel révélé par les analyses chimiques. Les fluctuations de la conductivité sont synchrones dans les deux piézomètres. Une légère augmentation de la minéralisation accompagne l'élévation du niveau piézométrique.

Dans le piézomètre GA168, le niveau d'eau est monté de 80cm en moyenne depuis 1988 ce qui traduit un manque de drainage.

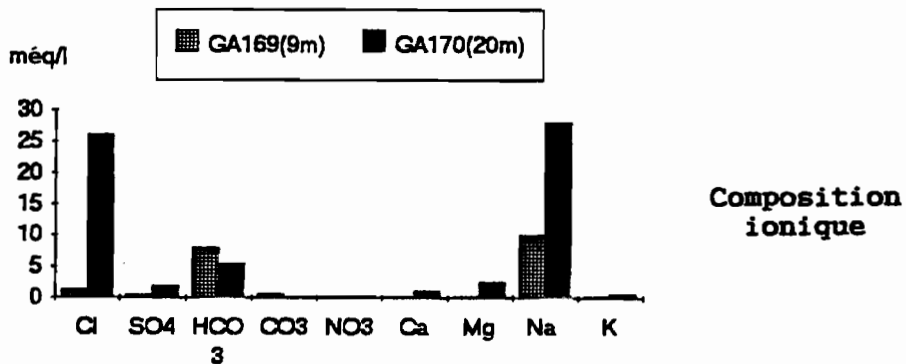
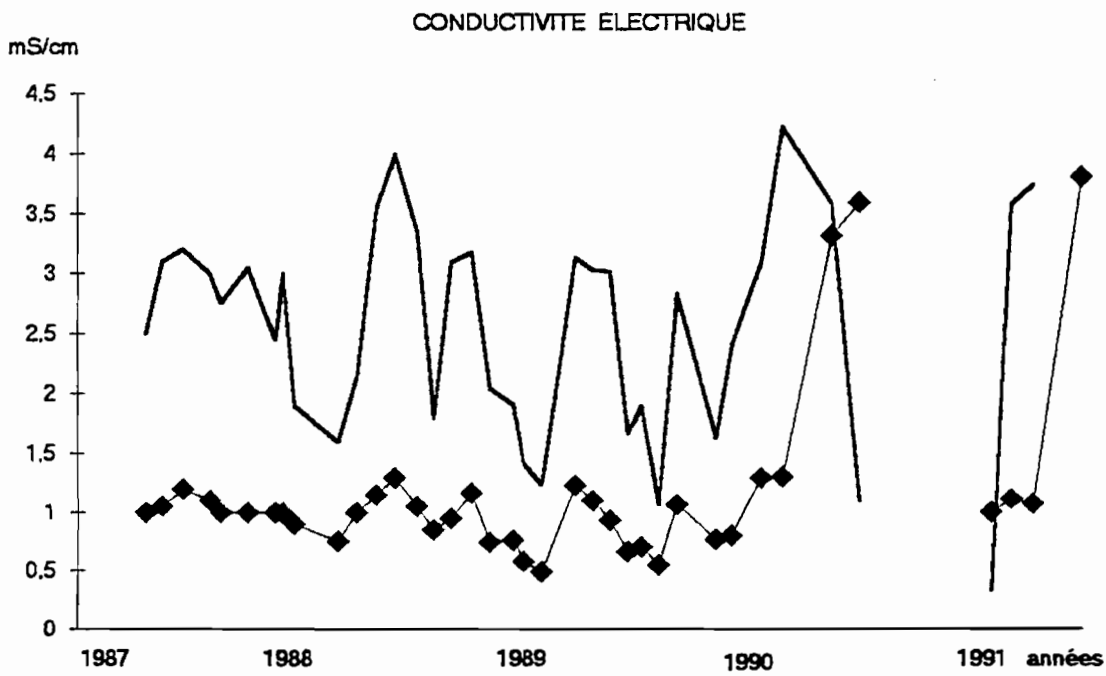
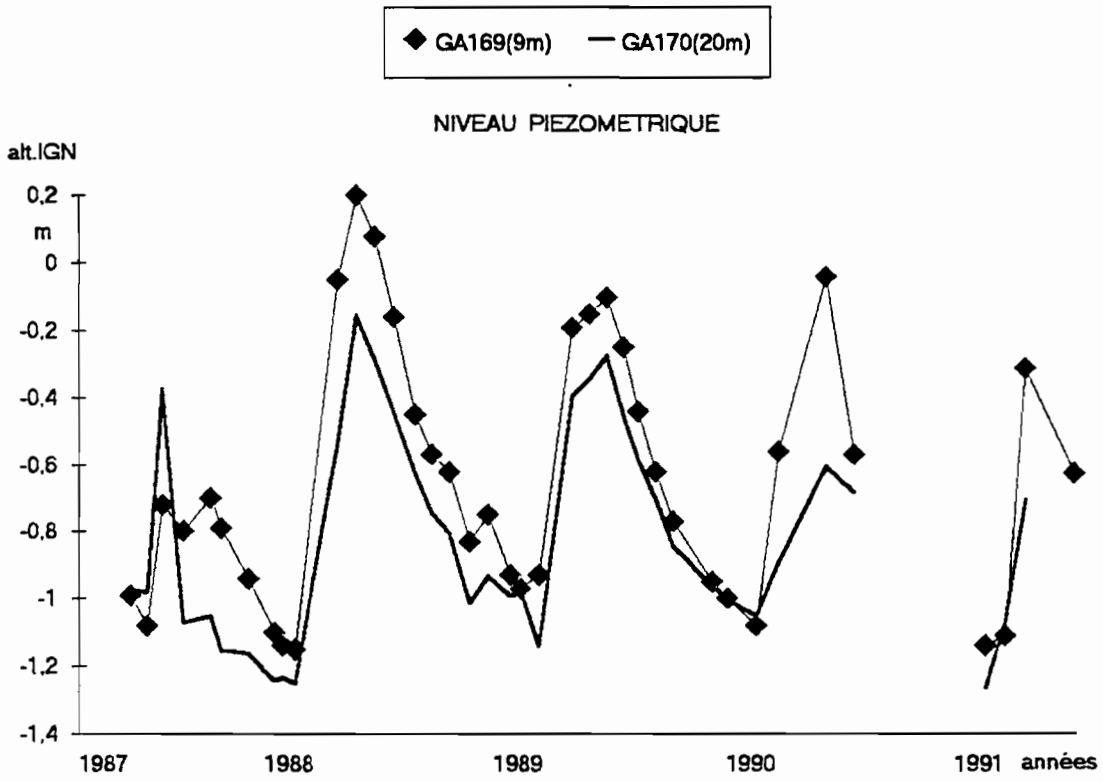
Sur le site piézométrique GA165/GA166 (Fig.51), l'écart de minéralisation entre le réservoir superficiel et profond est confirmé par les mesures de conductivité électrique mais les variations superposables des niveaux piézométriques indiquent que la nappe est homogène du point de vue hydraulique.

Sur le site piézométrique GA169/GA170 (Fig.53): les variations de niveau piézométrique sont synchrones mais légèrement amorties en profondeur: cela confirme une difficulté de communication au sein de l'aquifère en rapport avec la présence de petits niveaux argileux.

Sur le site piézométrique GA180/GA181, une importante baisse du niveau piézométrique depuis 1990 correspond à la période des travaux de réhabilitation du secteur. Sur le site piézométrique GA176/GA177, l'homogénéité de la nappe est confirmée.

Sur tous les sites, une élévation du niveau d'étiage de la nappe est enregistrée depuis 1988, de 20 à 30 cm en moyenne. Elle ne s'accompagne pas d'une minéralisation très importante sauf dans le GA166. Dans les puits les valeurs fluctuent au rythme de leur exploitation.

Fig.53: SITE PIEZOMETRIQUE GA169/GA170



IV - CONCLUSIONS SUR LE SECTEUR DAGANA

Les eaux de la nappe superficielle sont souvent douces mais de faciès hydrochimiques très variables en rapport avec l'hétérogénéité lithologique de l'aquifère et le comportement différentiel des ions. Les eaux les plus minéralisées sont de faciès chloruré-sodique, les plus douces, carbonatées-sodiques ou bicarbonatées calco-magnésiennes, parfois chlorurées calco-magnésienne. En certains points, les eaux de la nappe sont alcalisantes et polluées par les nitrates.

Le niveau d'étiage de la surface piézométrique s'est élevé de 25cm en moyenne depuis l'hivernage 1988 sans provoquer de grandes variations de la minéralisation. Les travaux de réhabilitation commencé en 1990 devraient améliorer le drainage et faire cesser cette remontée.

La nappe est homogène dans le secteur de Dagana, seul le site piézométrique GA163/GA164 présente une organisation bicouche liée à la présence d'horizons superficiels très argileux.

CONCLUSIONS GENERALES

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Depuis 1987, les aménagements hydro-agricoles dans la vallée du fleuve Sénégal ont eu pour conséquence :

- L'arrêt de la remontée des eaux salées et le contrôle du niveau du fleuve par l'implantation des barrages de Diama à l'aval et de Manantali à l'amont.
- L'extension des surfaces irriguées et drainées avec en corollaire une intensification des cycles culturaux.
- Le dessalement de nouvelles parcelles et l'apport supplémentaire d'éléments chimiques sous forme d'amendement ou d'engrais.

Le bilan, en 1991, de l'impact de cette évolution hydro-agricole sur la nappe superficielle, de Thiagar à Dagana peut se résumer en plusieurs points.

1° - La qualité de la nappe évolue.

L'analyse chimique des eaux prélevées dans les piézomètres et les puits de la zone de Thiagar à Dagana, permet de mettre en évidence l'évolution des faciès hydrochimiques des eaux souterraines (Fig.54). Le faciès chloruré sodique originel s'enrichit parfois en sulfates (Secteur Mbilor, par exemple) mais le plus souvent devient carbonaté, sodique ou calcomagnésien. Différents facteurs interfèrent pour expliquer cette évolution hydrochimique de la nappe superficielle.

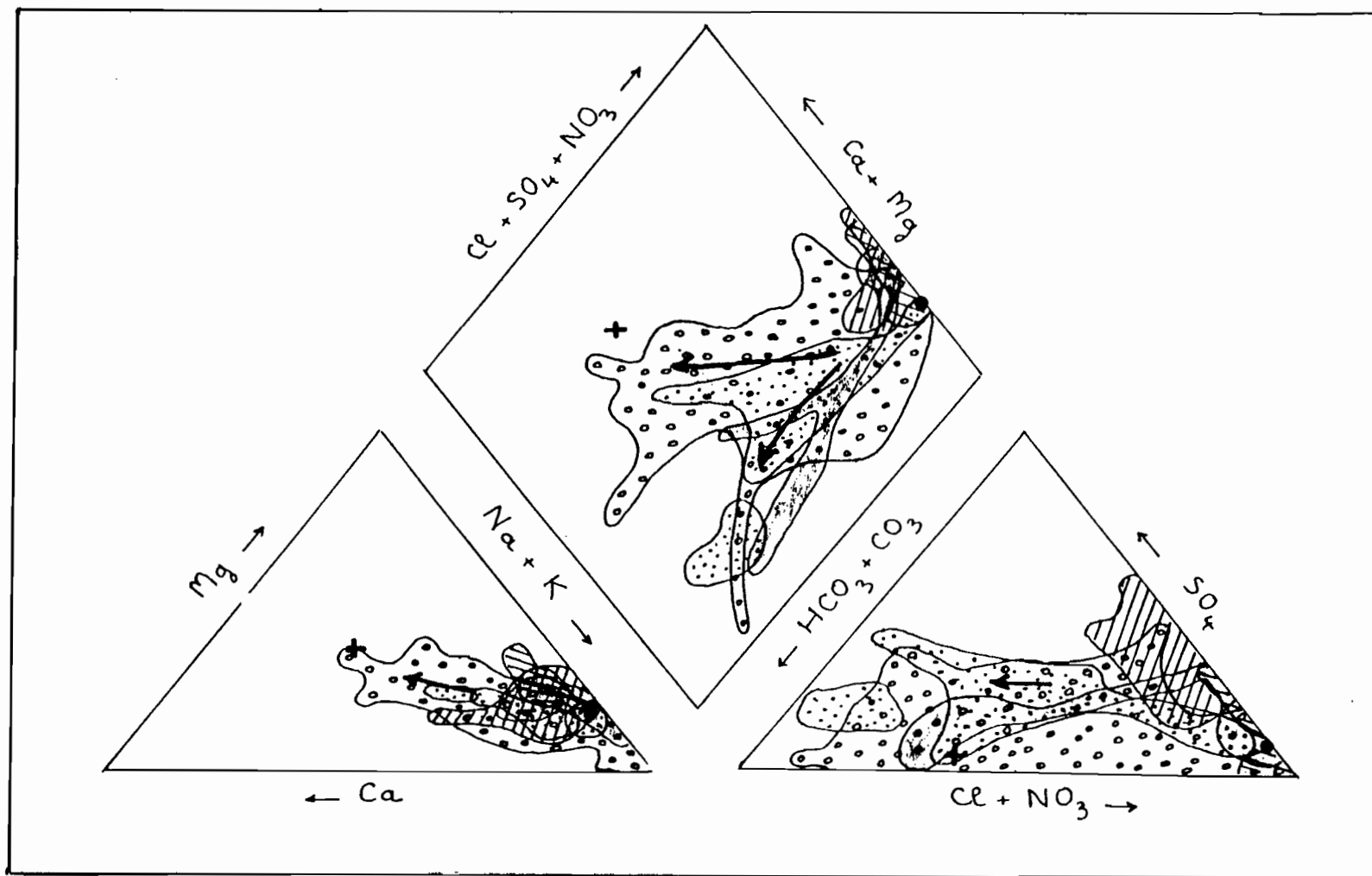
1 - La nature géologique de l'aquifère.

La nature lithologique et la perméabilité des aquifères conditionnent les échanges ioniques avec l'encaissant et la dilution par l'apport des eaux d'irrigation. Le rôle de ce facteur géologique est illustré par deux exemples.



Secteur Dagana - Sur deux sites piézométriques proches, la qualité des eaux est identique en profondeur (2g/l et chlorurée sodique) car le réservoir est de même nature sableuse (GA166-GA170). Par contre en surface, l'un a un horizon sableux, les eaux sont douces (0,2g/l), carbonatées sodiques (GA169); l'autre un horizon argileux, les eaux sont très minéralisées (12g/l) et chlorurées sodiques (GA165).




Secteur nord de la Taoué - Les eaux dans les calcaires éocènes sont saumâtres (2g/l) et chlorurées sodiques, dans les alluvions argilo-sableuses elles sont douces et bicarbonatées calco-magnésiennes et dans les sables maestrichtiens, elles sont également peu minéralisées (0,7g/l) mais carbonatées sodiques .

Fig.54: FACIES HYDROCHIMIQUES EN 1991
 DE LA NAPPE SUPERFICIELLE
 (DE THIAGAR A DAGANA)



-  Secteur Dagana
-  Secteur Mbilor
-  Secteur Taoué

-  Sens de l'évolution
-  Eau du fleuve Sénégal
= eau d'irrigation

-  Secteur Pack
-  Secteur Thiagar
-  Eau de mer

2 - La durée totale de l'invasion marine quaternaire.

L'eau de mer a recouvert plus longtemps le secteur aval, Thiagar, les eaux de sa nappe superficielle sont les plus salées. Dagana, le secteur le plus amont, possède les eaux les plus diluées, de faciès hydrochimiques les plus variés.

3 - La mise en valeur agricole.

La mise en culture des terres dans la basse vallée du fleuve nécessite leur dessalement et l'apport de gypse (10t/ha) comme amendement pour éviter leur alcalisation. Le lessivage des sols enrichit alors la nappe en chlorures de sodium et en sulfates (GA209/GA208, Mbilor). Les teneurs les plus élevées en sulfates correspondent souvent à des points d'eau de position piézométrique haute, des zones de recharge pour la nappe: 3,4g/l (GA128, Thiagar) et 3,5g/l (GA182, Dagana).

Cette qualité sulfatée des eaux est temporaire car l'anion sulfate est facilement lessivé et l'amendement gypseux utilisé que durant les premières années de mise en culture des terres. Ainsi les sulfates très abondants en mai 1990 dans les eaux du piézomètre GA167 (Dagana), ont disparu en 1991.

4 - La qualité des eaux d'irrigation

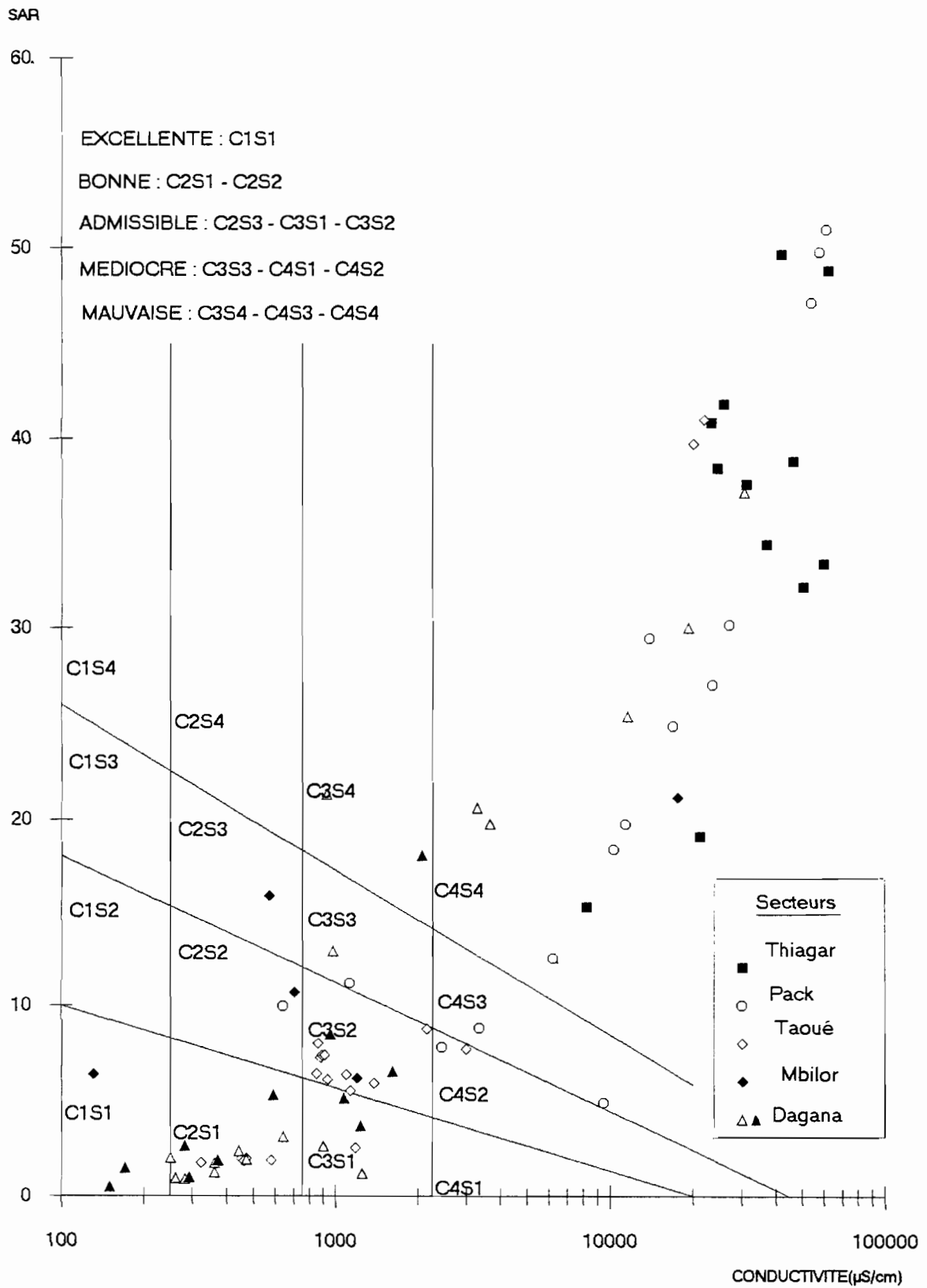
Prélevées par pompage dans le fleuve, dont les eaux appartiennent au faciès bicarbonaté calco-magnésien, il est logique qu'elles favorisent l'évolution de la qualité de la nappe vers ce pôle.

5 - La mobilité différentielle des ions

Elle explique le comportement différent des ions chlorures et sodium à l'origine associés dans la nappe salée. Le drainage élimine facilement les anions chlorures et sulfates mais le cation sodium est retenu par les argiles. Lors de la dilution, le sodium passe du complexe adsorbant à la solution tandis que le magnésium et surtout le calcium passe de la solution sur le complexe (LOYER, 1989). Les aquifères de la zone étudiée étant souvent argileux, ce phénomène d'échanges de cations explique probablement l'évolution vers un pôle sodique des eaux peu minéralisées.

L'analyse des différents facteurs contrôlant l'évolution hydrochimique de la nappe superficielle de la basse vallée du fleuve peut permettre de généraliser ainsi: les eaux très minéralisées et chlorurées sodiques d'origine, se diluent progressivement en prenant d'abord un faciès sulfaté sodique (dessalement des terres) puis carbonaté-sodique et enfin carbonaté-calcomagnésien identique à celui des eaux d'irrigation.

Fig.55 - QUALITE DES EAUX ETUDIEES POUR L'IRRIGATION



2° - Le niveau de la nappe s'élève.

L'élévation du niveau de base du fleuve de 30cm environ depuis l'hivernage 87, liée à la mise en place des barrages et à l'intensification de l'irrigation, se répercute sur la nappe, dont le niveau d'étiage est monté de 20 à 50 cm en moyenne. Cette hausse, la plus accentuée dans les secteurs de MBILOR et THIAGAR, y traduit les difficultés de drainage. Ce phénomène s'accompagne souvent d'une augmentation de la minéralisation par mobilisation des sels concentrés dans les horizons supérieurs par évaporation. Cette concentration des eaux devrait être transitoire, ce nouvel apport de sel éliminé progressivement par l'irrigation.

La remontée corrélative des niveaux de base du fleuve et de la nappe par effet de barrage prouve leur communication. Elle est aussi mise en évidence par l'enregistrement dans de nombreux piézomètres du lacher d'eau au barrage de Manantali réalisé en début d'année 1988. Le colmatage des berges restreint cependant les échanges latéraux avec la nappe riveraine. Ainsi les fluctuations du niveau du fleuve ne sont pas ressenties dans les piézomètres superficiels près du village de Thiagar mais dans le piézomètre profond (GA125).

3° - Le risque d'alcalisation persiste

En remontant, les eaux phréatiques souvent riches en sodium risquent de provoquer par alcalisation des argiles, une imperméabilisation irrémédiable des terres cultivées. Pour évaluer ce danger, toutes les eaux analysées en 1991 sont regroupées dans un diagramme, SAR - conductivité (Fig.55), permettant une classification de leur qualité en vue de leur éventuelle utilisation pour l'irrigation. Les eaux les plus salées sont évidemment les plus nocives: c'est le cas du secteur de Thiagar et plus localement celui de Mbilor, de Dagana et le Nord de la Taoué. Certaines eaux peu minéralisées ont aussi un pouvoir alcalisant: Pack (GA143-GA149) ; Dagana(GA171-GA169-GA166-GA170).

L'amélioration du drainage pourrait éviter le risque de destruction des sols. L'efficacité du système mis en place apparaît insuffisante dans la plupart des périmètres irrigués: maille trop lâche du réseau, profondeur trop faible des drains, manque de régularité dans l'entretien. Dans le secteur de Thiagar, le drainage est encore insuffisant malgré les récents travaux de réhabilitation.

4° - Une nappe uni ou multicouche

Cette étude hydrochimique confirme les études piézométriques antérieures: la communication entre les réservoirs superficiels et profonds est très variable. La nappe alluviale de Thiagar est localement bicouche: des niveaux argileux séparent les dépôts récents de ceux de l'Inchirien. Dans le secteur Pack, l'organisation bicouche est liée à la présence des calcaires

éocènes alors que près du lac de Guiers ces strates n'empêchent pas l'homogénéité de la nappe. Au Nord de la Taoué la nappe présente une organisation multicouche : les eaux superficielles diffèrent des eaux des calcaires éocènes et des sables maestrichtiens. A Mbilor, les eaux profondes communiquent avec les niveaux superficiels car les dépôts éocènes sont peu développés. A Dagana, la nappe superficielle est homogène.

5°- La nappe suit le rythme de l'activité agricole

Le suivi du niveau piézométrique parallèlement à celui de la conductivité électrique permet de mettre en évidence une minéralisation de la nappe consécutive, d'une part à la recharge de la nappe par remobilisation des sels, d'autre part à sa période d'étiage par concentration. L'impact des cultures de contre-saison se traduit par une légère recharge et minéralisation.

6°- La nappe est polluée dans certaines zones rizicoles

Les éléments apportés sous forme d'engrais pour la fertilisation des sols se retrouvent dans les eaux souterraines, surtout dans les zones rizicoles. Des teneurs excessives en nitrates ont été mesurées dans les secteurs de : Thiagar (30 à 80 mg/l), Mbilor (30 à 60 mg/l) et Dagana (60 à 90 mg/l).

Une analyse des résidus organiques compléterait ces données pour juger de l'impact des pesticides sur la qualité de la nappe.

Cette étude dresse le bilan en 1991 de l'impact des aménagements hydro-agricoles sur la nappe superficielle de la basse vallée du fleuve Sénégal de Thiagar à Dagana mais afin d'améliorer la connaissance et la compréhension des phénomènes observés, il serait important de poursuivre régulièrement les relevés chimiques et de réviser la géologie des piézomètres.

D'ici l'an 2000, une extension des surfaces aménagées de 20000ha est prévue dans cette région du fleuve, et dans un proche avenir, la mise en culture de tous les sols salés de la vallée est envisagée, soit 250000ha. Si, par les barrages, la maîtrise des eaux du fleuve Sénégal est maintenant acquise, celle de l'évolution de l'agrosystème riverain reste à réaliser et la qualité de la nappe superficielle, objet de cette étude, en sera un des éléments essentiels.

ANNEXES

ANNEXE I

Méthode de dosage des éléments chimiques.

DOSAGE DES SULFATES DANS L'EAU

Principe :

Les sulfates précipitent en milieu acide avec le baryum d'une solution de complexe bleu de Méthyl Thymol-Barium en excès. Le bleu de Méthyl Thymol libéré est équivalent aux sulfates réagissant avec le barium. Il prend une couleur grise en milieu basique qui est dosé par colorimétrie à la longueur d'onde de 460 nm. Le sulfate de baryum qui précipite a une solubilité non nulle dans l'eau qui entraîne un défaut de linéarité de la courbe d'étalonnage. Pour y remédier, une solution de sulfate de titre constant est ajouté en continu.

DOSAGE DES CHLORURES DANS L'EAU

Principe :

Les chlorures réagissent avec le thiocyanate mercurique $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ pour donner du chlorure mercurique HgCl_2 . Les ions thiocyanates libérés forment avec le nitrate ferrique, un composé rouge de thiocyanate ferrique qui est dosé par colorimétrie.

DOSAGE DES NITRATES ET NITRITES DANS L'EAU

Principe :

Les nitrates sont réduits en nitrites par passage sur une colonne de cadmium cupérisé. Les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazo qui se complexe avec la N-naphtyl éthylène diamine en donnant une couleur rouge dosée par colorimétrie.

EAU	série N° :	* dosage : absorption atomique
CALCIUM		
date : 29/06/92	Gamme :	* longueur d'onde 422.7 nm
	mg/l : Abs.	* fente 0.1 nm
	2.00 :	* flamme : air / acétylène
	4.00 :	* milieu Lanthane 1%
	6.00 :	
	8.00 :	
	10.00 :	

EAU	série N° :	* Dosage par titration avec HCl N/10
CARBONATE / BICARBONATE		
date :		* Titration HCl :
Titre HCl < DIV/0 >		2ml NaHCO3 N/10 à effectuer 2 fois
ml HCl versés (2ème pic)		
1 :		
2 :		

EAU	série N° :	* dosage : absorption atomique
POTASSIUM		
date : 29/06/92	Gamme :	* longueur d'onde 766.5 nm
	mg/l : Abs.	* fente 1.0 nm
	2.00 :	* flamme : air / acétylène
	4.00 :	* milieu Lanthane 1%
	6.00 :	
	8.00 :	
	10.00 :	

EAU	série N° :	* dosage : absorption atomique
MAGNESIUM		
date : 29/06/92	Gamme :	* longueur d'onde 285.2 nm
	mg/l : Abs.	* fente 0.5 nm
	0.20 :	* flamme : air / acétylène
	0.40 :	* milieu Lanthane 1%
	0.60 :	
	0.80 :	
	1.00 :	

EAU	série N° :	* dosage : absorption atomique
SODIUM		
date : 29/06/92	Gamme :	* longueur d'onde 589.0 nm
	mg/l : Abs.	* fente 0.5 nm
	2.00 :	* flamme : air / acétylène
	4.00 :	* milieu Lanthane 1%
	6.00 :	
	8.00 :	
	10.00 :	

ANNEXE II

Résultats par secteur des analyses chimiques,
des calculs de la minéralisation totale et des
rapports caractéristiques des eaux étudiées.

ANALYSES CHIMIQUES du secteur de THIAGAR

Réf. Prél	Date Prél.	pH	EC mS 20°C	Cl méq/l	SO4 méq/l	HCO3 méq/l	CO3 méq/l	NO3 mg/l	Ca méq/l	Mg méq/l	Na méq/l	K méq/l	Somme anions	Somme cations	Min. mg/l	SAR méq	Cl SO4	Na K	Ca Mg	NaK CaMg
GA 124	21/03/1991	6.5	59.00	610.0	105.0	5.48	0.00	54.00	63.0	243.0	413.0	3.80	721.4	722.8	40913	33.39	6.00	108.68	0.26	1.36
GA 125	28/11/1987	7.0		17.0	0.4	1.39	2.54	2.96	12.3	0.4					1095	7.39	43.00	57.06	0.86	3.17
	21/03/1991	6.6	8.20	84.0	0.7	2.80	0.00	54.00	15.0	16.0	60.0	0.77	88.4	91.8	5143	15.24	114.00	77.92	0.94	1.96
GA 126	22/04/1987	7.0		648.0	115.1	5.15			74.0	234.2	473.2	11.35			50.49	38.12	6.00	39.12	0.32	2.14
GA 127	21/03/1991	6.6	49.70	567.0	96.0	7.66	0.00	71.00	53.0	243.0	391.0	4.10	671.8	691.1	38412	32.14	6.00	95.37	0.22	1.33
GA 128	21/03/1991	7.0	21.00	175.0	72.0	7.70	0.00	77.00	22.0	89.0	142.0	2.80	255.9	255.8	15103	19.06	2.00	50.71	0.25	1.30
GA 129	21/03/1991	7.2	31.10	349.0	3.2	8.62	0.00	43.00	19.0	82.0	267.0	2.60	361.5	370.6	20713	37.57	109.00	102.69	0.23	2.67
GA 130	21/03/1991	6.6	45.70	534.0	61.0	5.85	0.00	64.00	72.0	140.0	399.0	4.60	601.9	615.6	34778	38.75	9.00	86.74	0.51	1.90
GA 131	21/03/1991	7.3	41.60	431.0	0.3	12.80	0.93	30.00	15.0	100.0	376.0	5.70	545.5	496.7	30088	49.59	1896.00	65.96	0.15	3.32
GA 134	21/03/1991	6.7	61.60	771.0	40.0	7.86	0.00	75.00	49.0	214.0	559.0	13.00	820.1	835.0	46751	48.75	19.00	43.00	0.23	2.17
GA 135	21/03/1991	7.3	36.80	423.0	1.8	12.13	1.11	83.00	40.0	110.0	298.0	4.60	439.4	452.6	25142	34.41	235.00	64.78	0.36	2.02
GA 137	21/03/1991	7.4	23.10	245.0	2.3	10.32	1.15	30.00	12.0	43.0	214.0	3.00	259.3	272.0	15325	40.81	107.00	71.33	0.28	3.95
GA 138	21/03/1991	7.6	25.50	271.0	0.1	9.86	1.17	49.00	8.2	53.0	231.0	3.00	283.0	295.2	16571	41.76	1936.00	77.00	0.15	3.82
GA 139	21/03/1991	7.7	24.30	250.0	7.0	19.35	1.11	0.01	14.0	57.0	229.0	3.10	277.5	303.1	16805	38.43	36.00	73.87	0.25	3.27
GB 170	30/06/1964			45.1	9.6	0.00			8.48	10.7	35.7				3180	11.52	4.00		0.79	1.86
GB 171	30/06/1964			70.5	8.3	0.00			5.99	22.2	6.5				3440	1.74	8.00		0.27	0.23
GB 172	30/06/1964			101.5	1.9	0.00			6.49	14.8	82.6				5900	25.32	54.00		0.44	3.88
GB 173	30/06/1964			76.2	7.5	0.00			4.99	21.4	63.1				4870	17.36	10.00		0.23	2.39
GB 174	30/06/1964			67.7	1.3	0.10			5.99	14.8	50.0				3916	15.51	54.00		0.40	2.40
GB 175	30/06/1964	7.7		30.2	0.0	0.85			2.10	3.0	26.1				1801	16.34			0.70	5.12
GB 176	30/06/1964			47.1	2.4	0.00			3.59	9.5	37.4				2832	14.64	20.00		0.38	2.86
GB 177	30/06/1964			35.3	7.1	0.00			3.49	10.7	26.1				2390	9.80	5.00		0.33	1.84
GB 178	30/06/1964			50.8	0.3	0.00			6.24	7.0	34.8				2825	13.53	168.00		0.89	2.63
GB 179	30/06/1964			21.2	5.4	0.00			2.99	5.3	18.3				1554	8.99	4.00		0.57	2.21
GB 180	30/06/1964			36.7	0.0	0.00			4.09	4.8	27.0				2060	12.81			0.86	3.04
GB 181	30/06/1964	7		79.0	0.9	0.40			4.14	15.6	64.4				4620	20.47	90.00		0.26	3.25
GB 182	30/06/1964			70.5	4.8	0.00			3.29	12.4	54.4				4196	19.44	15.00		0.27	3.48
GB 183	30/06/1964			79.0	1.7	0.00			11.73	13.2	56.6				4575	16.03	47.00		0.89	2.27
GB 184	30/06/1964			76.2	4.0	0.00			1.40	16.5	60.9				4518	20.38	19.00		0.08	3.41
GB 185	30/06/1964			70.5	7.5	0.00			0.35	15.2	60.9				4452	21.82	9.00		0.02	3.91
GB 186	30/06/1964			62.1	2.9	0.00			4.49	9.1	50.0				3690	19.22	21.00		0.50	3.69

X-10

ANALYSES CHIMIQUES du secteur de la TAOUE

Réf. Prél	Date Prél.	pH	EC mS 20°C	Cl méq/l	SO4 méq/l	HCO3 méq/l	CO3 méq/l	NO3 mg/l	Ca méq/l	Mg méq/l	Na méq/l	K méq/l	Somme anions	Somme cations	Min. mg/l	SAR méq	Cl SO4	Na K	Ca Mg	NaK CaMg
GA 150	08/05/1987	7.5		3.2	2.3	1.90			1.90	1.0	4.8	0.33			549	4.02	1.39	9.59	1.92	1.22
	15/01/1991	7.3	0.45	1.8	0.2	3.14	0.00		1.40	1.2	2.2	0.23	5.1	5.0	453	1.93	9.47	9.57	1.17	0.93
	18/08/1991	7.8	0.47	1.7	0.3	2.74	0.28	4.00	1.40	1.4	2.3	0.25			382	1.94	5.48	9.20	1.00	0.91
GA 151	08/05/1987	7.7		74.2	13.5	5.70			4.89	12.4	74.5	2.53			5612	25.38	5.50	29.30	0.40	4.45
	15/01/1991	7.4	2.98	21.0	5.9	4.52	0.00		5.60	6.6	19.0	0.7	31.4	31.9	1996	7.69	3.56	27.14	0.85	1.61
GA 152	08/05/1987	7.6		69.8	12.8	5.66			4.19	11.8	70.4	2.51			5260	24.91	5.45	27.84	0.36	4.53
	15/01/1991	7.9	0.85	0.5	3.7	5.47	0.00		1.30	1.1	7.0	0.5	9.6	9.9	793	6.39	0.12	14.00	1.18	3.13
GA 154	15/01/1991	7.3	19.90	181.0	17.0	12.40	0.00		12.00	26.0	173.0	0.66	210.4	211.7	12583	39.69	10.65	262.12	0.46	4.57
	18/08/1991	7.5	21.70	236.0	26.0	2.28	0.27	1.40	13.00	41.0	213.0	0.68			15777	40.99	9.08	313.24	0.32	3.96
GA 155/6	15/01/1991	7.6	1.38	6.5	1.9	7.49	0.00		2.10	3.3	9.7	0.22	15.9	15.3	1135	5.90	3.42	44.09	0.64	1.84
GA 155/18	15/01/1991	7.4	2.14	13.0	3.9	5.02	0.00		2.30	4.4	16.0	0.54	21.9	23.2	1476	8.74	3.33	29.63	0.52	2.47
GA 189	25/05/1987	8.0		1.8	1.2	5.41			2.30	1.2	4.4	1.2			578	3.34	1.57	1.53	1.86	0.86
	21/05/1990	7.6	1.18	8.0	0.2	4.16	0.00	0.04	3.60	2.5	4.4	0.35	12.4	10.8	767	2.52	40.00	12.57	1.44	0.78
	12/04/1991	7.2	0.93	1.1	2.1	4.50	1.37	0.96	0.55	1.4	6.0	0.42	9.1	8.4	680	6.08	0.52	14.29	0.39	3.29
GA 191	25/05/1987	7.5		2.0	0.5	1.51			1.25	0.7	2.0	0.26			240	2.01	3.85	7.83	1.68	1.14
	21/05/1990	6.9	1.09	3.5	1.8	6.69	0.00	0.14	1.50	1.5	7.8	0.46	12.3	11.3	872	6.37	1.94	16.96	1.00	2.75
	12/04/1991	7.6	0.88	2.0	1.7	6.44	0.00	4.50	0.67	1.3	7.2	0.26	10.2	9.4	755	7.25	1.18	27.69	0.52	3.79
GA 192	21/05/1990	7.4	1.13	3.8	1.9	6.87	0.00	0.03	1.80	1.8	7.4	0.63	12.6	11.6	900	5.52	2.00	11.75	1.00	2.23
	12/04/1991	7.6	0.89	1.6	1.2	5.00	1.02	0.15	0.11	1.4	6.4	0.35	8.8	8.3	661	7.37	1.33	18.29	0.08	4.47
GA 194	25/05/1987	7.5		24.2	20.9	6.00			12.97	7.2	43.0	0.72			4022	13.53	1.16	33.80	1.79	1.23
GA 196	06/05/1987	7.6		2.5	0.8	1.70			1.05	1.2	2.6	0.26			293	2.45	3.22	9.71	0.91	1.24
GA 264	30/11/1987	7.3		3.9	0.3	5.30			2.69	1.7	4.5	0.95			600	3.01	14.48	4.14	1.56	1.10
	21/05/1990	8.3	0.91	2.1	1.4	5.91	0.50	0.07	0.91	1.1	7.4	0.27	10.1	9.7	748	7.38	1.50	27.41	0.83	3.82
	12/04/1991	7.5	0.86	1.8	1.4	4.88	1.17	4.90	0.34	1.2	7.0	0.24	9.3	8.8	696	7.98	1.29	29.17	0.28	4.70
GB 847	20/04/1988	7.8		0.9	1.2	2.30			0.35	1.7	1.8	0.54			240	1.75	0.79	1.68	0.20	0.69
	21/05/1990	6.9	0.58	2.1	1.1	1.94	0.00	0.32	0.60	1.5	1.9	1.2	5.8	5.2	386	1.85	1.91	1.58	0.40	1.48
Iac/Guiers	21/05/1990	7.4	0.46	2.0	0.6	1.49	0.20	0.00	0.86	1.1	1.8	0.38	4.2	4.1	286	1.82	3.64	4.74	0.78	1.11
Taoué/Iac	15/01/1991	6.8	0.30	0.9	0.2	2.36	0.00	0.11	0.13	2.9	0.1	3.4	3.2		299	8.37	4.53	29.00	0.85	12.50
	21/03/1991	7.7	0.32	1.4	0.4	1.25	0.22	0.46	0.86	0.9	1.6	0.13	3.3	3.5	230	1.71	3.33	12.31	0.97	0.99

ANALYSES CHIMIQUES du secteur de PACK

Réf. Prél	Date Prél.	pH	EC mS 20°C	Cl méq/l	SO4 méq/l	HCO3 méq/l	CO3 méq/l	NO3 mg/l	Ca méq/l	Mg méq/l	Na méq/l	K méq/l	Somme anions	Somme cations	Min. mg/l	SAR méq	Cl SO4	Na K	Ca Mg	NaK CaMg
GA 140	21/05/1990	7.1	9.49	3.3	2.3	7.24	0.00	0.15	2.5	2.0	7.3	0.77	12.9	12.6	950	4.87	1.43	9.48	1.25	1.79
GA 142	01/08/1991	7.4	13.79	120.0	47.0	21.01	1.21	0.07	9.6	30.0	131.0	2.70	189.3	173.3	11775	29.44	2.55	48.52	0.32	3.38
GA 143	01/08/1991	7.9	1.12	5.6	2.3	5.49	0.78	0.46	0.5	1.4	11.0	0.25	14.1	13.2	992	11.20	2.43	44.00	0.38	5.83
GA 145	01/08/1991	7.2	10.26	88.0	37.0	1.01	0.27	1.20	13.0	29.0	84.0	1.30	126.3	127.3	7799	18.33	2.38	64.62	0.45	2.03
GA 149	01/08/1991	8.0	0.64	2.0	0.1	4.31	0.71	5.40	0.2	0.7	6.4	0.15	7.1	7.5	558	9.93	14.29	42.67	0.26	7.89
GA 198/7	15/01/1991	7.3	2.44	20.0	2.4	2.19	0.00		2.9	5.6	16.0	0.35	24.6	24.9	1487	7.76	8.33	45.71	0.52	1.92
GA 198/48	15/01/1991	6.9	26.80	276.0	27.0	5.82	0.00		29.0	69.0	211.0	2.00	308.8	311.0	17827	30.14	10.22	105.50	0.42	2.17
GA 199/7	15/01/1991	7.3	6.15	56.0	5.7	3.11	0.00		9.8	15.0	44.0	0.55	64.8	69.3	3892	12.50	9.82	80.00	0.65	1.80
GA 199/20	15/01/1991	7.2	11.29	109.0	9.8	4.36	0.00		9.8	24.0	81.0	0.33	123.2	115.1	7016	19.70	11.12	245.45	0.41	2.41
GA 200	15/01/1991	7.1	3.34	29.0	2.9	2.13	0.00		6.1	6.4	22.0	0.62	34.0	35.1	2048	8.80	10.00	35.48	0.95	1.81
GA 201	21/05/1990	7.3	23.30	249.0	30.0	5.21	0.00	0.00	26.0	59.0	176.0	1.70	284.2	262.7	15936	27.00	8.30	103.53	0.44	2.09
GA 202	21/05/1990	7.4	16.70	174.0	34.0	3.64	0.00	0.23	19.0	35.0	129.0	1.70	212.1	184.7	11875	24.83	5.12	75.88	0.54	2.42
GA 203/5	15/01/1991	7.4	53.00	589.0	54.0	3.76	0.00		48.0	148.0	466.0	6.20	646.8	668.2	37452	47.07	10.91	75.16	0.32	2.41
GA 203/45	15/01/1991	6.9	57.20	668.0	60.0	11.06	0.00		47.0	169.0	517.0	6.90	739.1	739.9	42420	49.75	11.13	74.93	0.28	2.43
GA 204	15/01/1991	6.8	60.10	734.0	48.0	10.86	0.00		50.0	169.0	533.0	5.80	792.9	757.8	44554	50.94	15.29	91.90	0.30	2.46
Drain	15/01/1991	6.6	0.15	0.5	0.4	0.6	0.00		0.5	0.4	0.6	0.06	1.4	1.5	113	0.82	1.13	3.80	1.07	0.69
Pack	15/01/1991	6.9	0.08	0.1	0.1	0.68	0.00		0.3	0.3	0.2	0.05	0.9	0.9	70	0.34	2.40	9.17	1.14	0.39

ANALYSES CHIMIQUES du secteur de MBILOR

Réf. Prél	Date Prél.	pH	EC mS 20°C	Cl méq/l	SO4 méq/l	HCO3 méq/l	CO3 méq/l	NO3 mg/l	Ca méq/l	Mg méq/l	Na méq/l	K méq/l	Somme anions	Somme cations	Min. mg/l	SAR méq	Cl SO4	Na K	Ca Mg	NaK CaMg
GA 205	30/05/1987	7.5		14.4	0.9	4.39			1.3	1.2	16.8	1.00			1080	14.96				
	09/08/1988	8.2		11.3	0.5	3.34			1.4	3.2	11.4	0.10			964	7.51				
GA 206	17/07/1991	7.8	4.7	25.0	25.0	4.72	0.00	12.00	4.0	11.0	35.0	0.74	54.9	50.7	3435	12.78	1.00	47.30	0.36	2.38
	18/08/1991	7.5	1.2	8.0	2.3	1.49	0.45	0.06	1.3	1.9	7.8	0.22			752	6.17	3.48	35.45	0.68	2.51
GA 207	30/11/1987	7.1		15.0	3.1	2.15			4.5	5.4	9.7	0.31			1265	4.39	4.80	48.90	0.84	1.56
	17/07/1991	8.0	5.6	29.0	27.0	7.81	0.69	3.70	4.3	13.0	46.0	0.72	64.6	64.0	4176	15.64	1.07	63.89	0.33	2.70
	18/08/1991	7.8	5.7	30.0	28.0	7.86	0.87	0.11	3.8	13.0	46.0	0.75			42.67	15.87	1.07	61.33	0.29	2.78
GA 208	17/07/1991	7.6	9.5	84.0	23.0	3.60	0.25	30.00	12.0	20.0	68.0	1.40	111.3	101.4	6449	17.00	3.65	48.57	0.60	2.17
	18/08/1991	7.3	7.0	39.0	51.0	1.42	0.29	1.06	27.0	15.0	49.0	0.80			5882	10.69	0.76	61.25	1.80	1.19
GA 209	17/07/1991	6.8	12.7	118.0	39.0	0.18	0.47	17.00	18.0	36.0	91.0	2.10	157.9	147.1	9085	17.51	3.03	43.33	0.50	1.72
	18/08/1991	6.8	17.4	153.0	67.0	0.26	0.00	0.13	23.0	48.0	126.0	2.70			12710	21.15	2.28	46.67	0.48	1.81
GA 212	17/07/1991	7.8	1.3	8.5	2.4	1.57	0.26	4.50	1.4	2.2	8.5	0.25	12.8	12.4	793	6.34	3.54	34.00	0.64	2.43
GB 058	21/05/1990	7.4	1.3	1.1	14.0	1.44	0.00	0.01	12.0	1.3	1.1	0.71	16.6	15.1	1109	0.43	0.08	1.55	9.23	0.14
GB 065	20/04/1988	7.6		4.6	1.7	4.10			1.2	1.0	8.0	0.61			585	7.70	2.79	7.49	1.16	2.44
	21/05/1990	7.8	1.6	9.3	1.4	5.61	0.56	0.13	2.2	0.9	12.0	0.84	17.1	16	1145	9.61	6.64	14.29	2.39	4.12
GB 075	21/05/1990	7.3	10.8	100.0	11.0	7.42	0.65	0.01	15.0	16.0	84.0	0.69	119.1	115.7	7018	21.34	9.09	121.74	1.15	2.39
GB 076	22/04/1988	7.4		130.0	10.0	6.20			10.0	12.0	122.6	2.05			8690	36.96	13.00	63.53	0.83	6.00
	21/05/1990	7.4	12.4	124.0	10.0	5.38	0.56	0.09	8.5	13.0	107.0	1.20	140.1	129.7	8079	32.63	12.40	89.17	0.65	5.03
GB 850	21/05/1990	7.3	2.3	18.0	1.9	3.07	0.00	0.05	2.8	3.2	14.0	0.65	23.1	20.7	1361	8.08	9.47	21.54	0.88	2.44
Koeli	21/05/1990	7.4	2.3	19.0	1.8	4.24	0.00	0.04	3.5	4.6	13.0	1.30	25.1	22.4	1497	6.46	10.56	10.00	0.76	1.77
Souilel 1	21/05/1990	7.3	3.5	28.0	1.9	4.58	0.00	0.04	11.0	7.7	15.0	0.69	34.6	34.4	2052	4.91	14.74	21.74	1.43	0.84
Souilel 2	21/05/1990	7.2	6.9	65.0	2.7	4.92	0.00	0.06	26.0	20.0	28.0	0.66	72.7	74.7	4172	5.84	24.07	42.42	1.30	0.62
Mopoudié	21/05/1990	6.9	8.4	83.0	2.8	4.08	0.00	0.03	27.0	22.0	37.0	0.18	89.9	86.2	4994	7.48	29.64	205.56	1.23	0.76
Mbilor	21/05/1990	7.3	8.8	85.0	10.0	6.13	0.00	0.02	15.0	13.0	66.0	0.95	101.2	95	5882	17.64	8.50	69.47	1.15	2.39

ANALYSES CHIMIQUES du secteur de DAGANA

Réf. Prét	Date Prél.	pH	EC mS 20°C	Cl méq/l	SO4 méq/l	HCO3 méq/l	CO3 méq/l	NO3 mg/l	Ca méq/l	Mg méq/l	Na méq/l	K méq/l	Somme anions	Somme cations	Min. mg/l	SAR méq	Cl SO4	Na K	Ca Mg	NaK CaMg
GA 163	17/07/1991	6.8	0.34	1.0	0.79	1.51	0.00	8.90	0.67	1.00	1.5	0.16	3.4	3.3	240	1.64	1.23	9.38	0.67	0.99
	18/08/1991	6.9	0.36	1.0	0.08	2.76	0.00	0.14	0.86	1.30	1.3	0.17			286	1.25	12.50	7.65	0.66	0.68
GA 164	17/07/1991	7.9	0.35	1.0	0.07	2.45	0.23	5.50	0.65	1.10	1.6	0.21	3.8	3.6	279	1.71	14.14	7.62	0.59	1.03
	18/08/1991	7.2	0.36	1.0	0.08	2.28	0.40	0.12	0.62	1.10	1.6	0.24			282	1.73	12.50	6.67	0.56	1.07
GA 165	17/07/1991	5.9	19.30	212.0	0.23	0.59	0.00	66.00	30.00	35.00	140.0	0.37	213.9	205.4	11889	24.56	921.74	378.38	0.86	2.16
	18/08/1991	6.1	18.99	224.0	0.73	1.10	0.00	1.27	25.00	34.00	163.0	0.40			12800	30.01	306.85	407.50	0.74	2.77
GA 166	17/07/1991	6.9	3.39	31.0	0.08	4.52	0.00	93.00	1.50	3.00	28.0	0.55	37.1	33.1	2203	18.67	387.50	50.91	0.50	6.34
	18/08/1991	7.1	3.64	31.0	0.11	5.28	0.00	1.61	1.60	3.00	30.0	0.59			2308	19.78	281.82	50.85	0.53	6.65
GA 167	21/05/1990	7.1	12.18	54.0	67.00	4.05	0.00	0.13	18.00	32.00	66.0	1.40	125.3	117.4	7707	13.20	0.81	47.14	0.56	1.35
	17/07/1991	6.9	0.93	6.8	0.09	1.43	0.00	32.00	2.50	1.90	3.6	0.14	8.8	8.1	526	2.43	75.56	25.71	1.32	0.85
GA 168	18/08/1991	6.4	0.90	6.6	0.04	1.08	0.00	0.68	2.20	1.80	3.7	0.15			501	2.62	165.00	24.67	1.22	0.96
	17/07/1991	8.1	0.55	2.9	0.15	0.56	1.20	66.00	0.84	1.20	3.3	0.11	5.9	5.4	394	3.27	19.33	30.00	0.70	1.67
GA 169	18/08/1991	6.9	0.64	2.5	0.18	2.17	0.00	0.98	0.96	1.20	3.2	0.12			403	3.08	13.89	26.67	0.80	1.54
	17/07/1991	8.1	0.91	1.4	0.54	8.27	0.53	3.40	0.17	0.26	9.8	0.13	10.8	10.4	852	21.14	2.59	75.38	0.65	23.09
GA 170	18/08/1991	7.6	0.92	1.4	0.49	7.97	0.65	0.27	0.19	0.25	10.0	0.15			858	21.32	2.86	66.67	0.76	23.07
	17/07/1991	7.9	3.21	25.0	1.70	4.47	1.51	14.00	1.00	3.00	27.0	0.72	32.9	31.7	2051	19.09	14.71	37.50	0.33	6.93
GA 171	18/08/1991	7.4	3.28	26.0	1.90	5.57	0.25	0.29	1.10	2.60	28.0	0.77			2113	20.59	13.68	36.36	0.42	7.78
	17/07/1991	9.5	0.89	4.2	1.40	2.35	0.84	14.00	0.52	0.06	7.7	0.21	9.0	8.5	620	14.30	3.00	36.67	8.67	13.64
GA 173	18/08/1991	7.9	0.97	4.9	1.60	3.36	0.00	0.31	0.69	0.20	8.6	0.26			699	12.89	3.06	33.08	3.45	9.96
	17/07/1991	7.4	0.23	0.5	0.31	1.30	0.00	1.40	0.30	0.49	1.1	0.06	2.1	2.0	153	1.75	1.61	18.33	0.61	1.47
GA 176	18/08/1991	7.1	0.25	0.6	0.37	1.43	0.00	0.09	0.37	0.50	1.3	0.10			179	1.97	1.65	13.00	0.74	1.61
	17/07/1991	7.1	0.18	1.0	0.11	0.63	0.00	0.11	0.39	0.53	0.6	0.13	1.7	1.7	112	0.88	9.09	4.62	0.74	0.79
GA 177	18/08/1991	6.8	0.26	1.1	0.16	1.14	0.00	0.09	0.74	0.63	0.8	0.18			169	0.92	6.88	4.22	1.17	0.69
	17/07/1991	7.6	0.25	1.2	0.09	1.22	0.00	1.50	0.87	0.64	0.7	0.16	2.5	2.3	169	0.75	13.33	4.06	1.36	0.54
GA 180	18/08/1991	7.1	0.28	1.2	0.13	1.25	0.00	0.08	0.85	0.64	0.7	0.19			179	0.86	9.23	3.89	1.33	0.62
	17/07/1991	7.4	0.41	0.3	0.10	4.07	0.00	4.60	1.10	0.76	2.2	0.16	4.5	4.2	355	2.28	2.50	13.75	1.45	1.27
GA 181	18/08/1991	7.0	0.44	0.5	0.15	4.36	0.00	0.09	1.40	0.89	2.5	0.23			400	2.34	3.00	10.87	1.57	1.19
	17/07/1991	7.1	0.77	1.9	0.18	4.27	1.51	17.00	3.10	1.90	1.5	1.10	8.1	7.6	607	0.95	10.56	1.36	1.63	0.52
GA 182	18/08/1991	7.0	1.25	2.6	0.74	6.45	0.35	0.92	3.80	2.50	2.1	1.90			828	1.18	3.51	1.11	1.52	0.63
	17/07/1991	7.8	12.41	81.0	64.00	6.89	0.60	5.20	11.00	20.00	111.0	5.70	152.6	147.7	9646	28.19	1.27	19.47	0.55	3.76
GA 186	18/08/1991	7.4	11.47	74.0	56.00	5.97	0.83	0.31	9.30	17.00	92.0	5.40			8464	25.37	1.32	17.04	0.55	3.70
	17/07/1991	6.8	30.80	358.0	1.00	2.89	0.00	35.00	41.00	58.00	256.0	1.10	362.5	356.1	20407	36.39	358.00	232.73	0.71	2.60
GA 188	18/08/1991	6.4	30.40	359.0	75.00	3.33	0.00	0.52	43.00	46.00	248.0	1.20			23732	37.18	4.79	206.67	0.93	2.80
	17/07/1991	7.7	0.40	1.9	0.05	1.32	0.25	23.00	0.77	1.10	1.8	0.11	3.9	3.8	263	1.86	38.00	16.36	0.70	1.02
	18/08/1991	7.8	0.47	2.2	0.04	1.42	0.29	0.39	0.78	1.20	1.9	0.11			286	1.91	55.00	17.27	0.65	1.02

ANALYSES CHIMIQUES du secteur de DAGANA (suite)

Réf. Prél	Date Prél.	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	Ca	Mg	Na	K	Somme	Somme	Min.	SAR	Cl	Na	Ca	NaK
			mS 20°C	méq/l	méq/l	méq/l	méq/l	mg/l	méq/l	méq/l	méq/l	méq/l	méq/l	méq/l	anions	cations	mg/l	méq	SO4	K
GB 110	17/07/1991	7.6	1.26	7.7	0.07	4.91	0.60	0.37	1.60	2.00	8.2	0.13	13.3	11.9	862	6.11	110.00	63.08	0.80	2.31
	18/08/1991	7.0	1.07	6.3	0.06	3.46	0.00	1.13	1.50	1.70	6.5	0.12			712	5.14	105.00	54.17	0.88	2.07
GB 117	17/07/1991	7.9	0.86	6.3	0.13	1.73	0.28	1.20	0.20	1.10	6.4	0.40	8.5	8.1	533	7.94	48.46	16.00	0.18	5.23
	18/08/1991	7.9	0.95	7.0	0.09	1.92	0.29	0.05	0.18	1.10	6.8	0.43			580	8.50	77.78	15.81	0.16	5.65
GB 848	22/04/1988	7.2		9.3	2.35	2.30			2.30	1.56	9.2	0.61			830	6.64	3.93	15.07	1.47	2.56
	21/05/1990	7.2	1.52	11.0	2.10	2.29	0.00	0.00	2.20	1.70	8.4	1.80	15.4	14.1	959	6.02	5.24	4.67	1.29	2.62
GB 849	17/07/1991	7.6	1.59	11.0	2.20	2.34	0.25	1.60	2.70	1.80	10.0	0.45	15.8	15.0	979	6.67	5.00	22.22	1.50	2.32
	18/08/1991	7.5	1.61	12.0	2.40	2.28	0.27	0.04	3.00	1.70	10.0	0.46			1027	6.52	5.00	21.74	1.76	2.23
GB 850	22/04/1988	7.0		0.5	0.35	1.10			1.00	0.58	0.5	0.18			134	0.54	1.43	2.84	1.73	0.44
GB 851	21/05/1990	7.3	2.28	18.0	1.90	3.07	0.00	0.05	2.80	3.20	14.0	0.65	23.1	20.7	1361	8.08				
GB 852	17/07/1991	7.4	0.34	1.3	0.73	1.56	0.00	5.80	1.20	0.69	1.3	0.13	3.7	3.3	250	1.34	1.78	10.00	1.74	0.76
	18/08/1991	7.4	0.29	0.6	0.78	1.07	0.46	0.08	1.10	0.58	0.9	0.11			211	0.97	0.81	8.09	1.90	0.60
GB 854	17/07/1991	7.1	0.18	0.2	0.52	1.03	0.00	1.40	0.32	0.15	0.7	0.49	1.8	1.7	141	1.44	0.46	1.43	2.13	2.53
	18/08/1991	7.0	0.17	0.2	0.52	0.96	0.00	0.03	0.28	0.12	0.7	0.51			135	1.45	0.38	1.27	2.33	1.30
GB 855	17/07/1991	8.1	1.94	11.0	3.60	5.68	0.68	4.70	0.92	0.80	18.0	0.48	21.0	20.2	1416	19.41	3.06	37.50	1.15	10.74
	18/08/1991	8.0	2.06	11.0	3.60	5.95	0.69	0.07	1.00	0.78	17.0	0.52			1412	18.02	3.06	32.69	1.28	9.84
GB 857	17/07/1991	7.5	0.17	0.4	0.27	0.78	0.29	1.60	0.61	0.49	0.4	0.07	1.8	1.6	123	0.53	1.44	5.57	1.24	0.42
	18/08/1991	7.3	0.15	0.2	0.27	1.07	0.00	0.03	0.55	0.48	0.4	0.07			115	0.49	0.74	5.00	1.15	0.41
GB 858	17/07/1991	7.3	0.39	2.1	0.68	0.97	0.00	1.40	1.10	0.59	1.4	0.35	3.8	3.4	243	1.52	3.09	4.00	1.86	1.04
	18/08/1991	7.1	0.37	2.0	0.67	0.77	0.00	0.01	0.98	0.54	1.6	0.38			229	1.84	2.99	4.21	1.81	1.30
GB 862	01/03/1988	6.5		1.1	1.21	1.25			0.75	0.91	1.8	0.43			265	1.96	0.93	2.60	0.83	0.95
GB 867	20/04/1988	6.5		5.1	0.10	0.90			0.95	0.82	4.3	0.20			320	4.53	49.01	24.95	1.15	3.00
	17/07/1991	7.4	0.49	3.1	0.07	1.38	0.28	2.20	0.40	0.49	3.6	0.10	4.9	4.6	317	5.40	44.29	36.00	0.82	4.16
GB 869	18/08/1991	7.6	0.59	4.2	0.09	1.22	0.30	0.05	0.46	0.67	4.0	0.11			362	5.32	46.67	36.36	0.69	3.64
	17/07/1991	7.5	0.30	1.1	0.79	0.23	0.79	1.40	0.42	0.40	1.8	0.09	2.9	2.7	198	2.81	1.39	20.00	1.05	2.30
Dagana	18/08/1991	7.4	0.28	1.1	0.74	0.95	0.00	0.02	0.39	0.37	1.6	0.08			186	2.60	1.49	20.00	1.05	2.21
	22/04/1988	7.2		2.6	3.40	1.80			2.79	1.73	3.2	0.26			440	2.14	0.76	10.15	1.62	0.63
Dagana	17/07/1991	8.1	1.32	6.0	2.80	5.20	0.66	5.00	4.70	2.00	6.6	0.37	14.7	13.7	994	3.61	2.14	17.84	2.35	1.04
	18/08/1991	8.5	1.23	6.0	2.90	4.44	0.56	0.08	4.00	1.90	6.3	0.36			924	3.67	2.07	17.50	2.11	1.13
Dagana	21/05/1990	7.8	0.13	0.3	0.05	0.93	0.00	0.00	0.46	0.35	0.1	0.28	1.3	1.2	98	0.22	6.60	0.50	1.31	0.52

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUDIBERT M. (1970) - Delta du fleuve Sénégal. Etude hydro- géologique - Projet hydro-agricole du Bassin du fleuve Sénégal: Rapport Projet AFR/REG 61 . FAO/O.E.R.S , 4 tomes:I - Généralités et rapport de synthèse, II - Géologie, III - Hydrogéologie, IV - Drainabilité.
- BELLION Y. (1987) - Histoire géodynamique postpaléozoïque de l'Afrique de l'Ouest - D'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudenni, Iullemmeden, Tchad). Thèse de Doctorat ès-Sciences. Université d'Avignon, 292 p.
- 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 Macene et Dagana (Mauritanie). Mémoire N°00016, I.S.T , Fac. Sc., Univ. Dakar, 78p.
- COGELS F.X, GAC J.Y. (1982) - Le lac de Guiers : fonctionnement, bilans hydriques. Evaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne (Sénégal). Cah. ORSTOM, ser. Géologie, vol.XII, n°1, 1981-1982.
- COGELS F.X., GAC J.Y., APPAY J.L., EVORA N., LABROUSSE B. (1990) - Fonctionnement et bilans hydrologiques du lac de Guiers de 1976 à 1989 - Rapport ORSTOM Sénégal - Projet CEE (EQUESEN) TS 20198 F.E.D.B., 60p.
- DIA A. (1986) - Les aspects de la gestion des ressources en eau dans le delta du fleuve Sénégal - Pour une meilleure planification de l'après barrage . Thèse de Doctorat de 3ème cycle . Université Paul Valéry Montpellier III , géographie, 288p.
- 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, 62p.
- DIAO S.M. (1992) - Etude des aquifères alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal (Secteur Rosso - Dagana - Lac de Guiers) - Mémoire de D.E.A - Dépt. Géol., Fac. Sci., Univ. C.A.DIOP, Dakar, 71p.
- ELOUARD P., FAURE H., MICHEL P. (1967) - Nouvelles recherches sur le Quaternaire récent de la région de St Louis. Laboratoire de l'Université de Dakar. Rapport n°17.
- GAC J.Y , CARN M., VILLENEUVE J., BAMBA S.B., TRAVI Y., VINCKE P.P., DIOP M., LE BRUSQ J.Y., GOULEAU D., COGELS F.X. (1985) - Etude préliminaire de la physicochimie des eaux interstitielles des sédiments du Lac de Guiers (Sénégal). Rapport multigr. ORSTOM Sénégal, 50p.
- ILLY P. (1973) - Etude hydrogéologique de la vallée du fleuve Sénégal -- Projet Hydro-agricole du Bassin du fleuve Sénégal - rapp. RAF 65/061, 158p.
- LALÉYE J. (1964) - Etude hydrogéologique de la nappe phréatique du Haut-Delta du fleuve Sénégal (Sénégal-Mauritanie) - BRGM - DAKAR - 65 - A 24.

LE BRUSQ J.Y., LOYER J.Y. (1982);(1983);(1984) - Evolution de la salinité des sols et des eaux en relation avec la riziculture submergée dans le Delta du fleuve Sénégal. Rapports multigr. ORSTOM Dakar.

Rapport 1982 - Campagne 1980 - 1981 , 43p.

Rapport 1983 - Campagne 1981 - 1982 , 16p.

Rapport 1984 - Campagne 1982 , 29p.

LE BRUSQ J.Y. (1985) - Evolution de la salinité des sols et des eaux en relation avec la riziculture submergée dans le delta du fleuve Sénégal, (Campagne 1984). Rapport multigr. ORSTOM Dakar, 10p.

LE PRIOL J. (1985) - Synthèse hydrogéologique du Sénégal - Ministère de l'hydraulique N° O65/85/DEH.

LOYER J.Y (1989) - Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation, distribution et évolution sous cultures. Collection Etudes et Thèses, Edition de l'ORSTOM, 125p.

MAS (1966) - Etude de la pédologie et des conditions de drainabilité de l'ensemble Richard-Toll-Diovol - IRAT (Paris), SOGREAH (Grenoble), SOGETHA (Grenoble) . 3 tomes.

Tome 1 : Rapport de synthèse , 24p.

Tome 2 : Etude de la drainabilité, 27p.

Tome 3 : Etude de la pédologie et de la mise en valeur des terres, 87p.

MICHEL P. (1973) - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Mémoires ORSTOM n°63, 3tomes, 752p.

MOUGENOT B. (1982) - Etude pédologique de la cuvette de Ntiagar (partie nord). Delta du fleuve Sénégal. Rapport multigr. ORSTOM Dakar, 106p.

NGOM O., RICHARD D., SANGARE L. (1989) - Répertoires hydro- géologiques (12) - Projet OMVS/USAID 625-0958 St-Louis, SENEGAL.

OMVS. (1990) - Rapport de synthèse hydrogéologique - Delta du fleuve Sénégal - Projet OMVS/USAID 625-0958 - Rapport final, vol.II.73p.

SAOS J.L, KANE A., CARN M., GAC J.Y. (1984) - Persistance de la sécheresse au Sahel : invasion marine exceptionnelle dans la vallée du fleuve Sénégal-X- RAST, Bordeaux-Soc, Géol., Fr., (Gd.) p.499.

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.

SEDAGRI (1973) - Etude hydro-agricole du fleuve Sénégal. Etude pédologique FAO Rome DP. RAF 65-061,144p. Cartes d'aptitudes culturales (34), cartes pédologiques et géomorphologiques(34).

TRENOUS Y.J et MICHEL P. (1971) - Etude de la structure du dôme de Guiers (Sénégal Nord-Occidental). Bull.Soc.Géol. de France, XIII, 1971, n°s 1-2-, p.133-139.

VALIRON F. (1983) - La réutilisation des eaux usées. Ed du BRGM. et Tec. et Doc. (Lavoisier). 207p.