

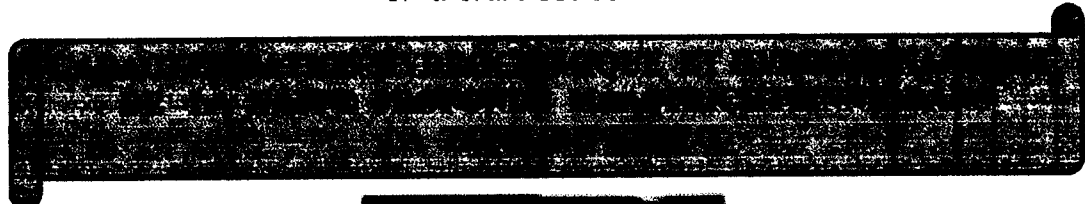
14327 14327

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE

MINISTERE DES MINES DE L'ENERGIE
ET DE L'HYDRAULIQUE
SERVICE DE GESTION ET DE PLANIFICATION
DES RESSOURCES EN EAU



N° d'ordre 113/IST/2002



Mémoire présenté pour obtenir le grade

D'INGENIEUR GEOLOGUE DE CONCEPTION

Par

Mouhamat SECK

Le 16 Fevrier 2002 devant le jury :

MM. Abdoulaye	DIA	Président	IST
Seybatou	DIOP	Rapporteur	IST
Mamadou	SARR	Rapporteur	SGPRE
Abdoulaye	FAYE	Examineur	Dept. Géol
Moustapha	DIENE	Examineur	Dept. Géol
Bara	DIAKHATE	Examineur	SONES
Anta	SECK	Examinatrice	SGPRE
Cheikh H.	Kane	Examineur	ACS

Année Académique : 2000-2001

14327

*Louange à Allah Seigneur de l'Univers, le Pardonneur,
le Miséricordieux. Il est certes avec les endurants.*

MEMORANDUM

**A mon regretté Père Serigne M'backé rappelé à DIEU
la nuit du 7 janvier 1994 ;**

**A celui dont l'enseignement et l'éducation ont nourri l'esprit
et guidé nos pas sur le chemin de la droiture ;**

**Père ! que le Miséricordieux te rétribue les efforts que tu as consentis
durant toute ta vie à notre formation et à celle de tant d'autres ;**

**Père ! nous ne te mériterons vraiment que lorsque l'on fera parti
de ceux aux âmes apaisées ;**

**Dors Père ! dors ! que le Très Miséricordieux t'élève parmi
Ses élus et nous maintienne sur la voie que tu as tracée ;**

Oui, ton bien-aimé *Mouhammad (PSL)* sera toujours à tes côtés.

*« Le meilleur d'entre vous est celui qui
apprend le Coran et l'enseigne »
Mouhammad (PSL)*

14327

Tables des Matières	Page
Note préliminaire -----	1
Introduction -----	2
PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE	
I.1 - Aperçu géographique -----	4
I.2.- Aperçu géologique -----	6
I.2.1.- Contexte régional -----	6
I.2.2.- Contexte local -----	6
I.2.2.1.Lithologie et séquences stratigraphiques -----	6
I.2.2.2.Influence de la tectonique -----	9
I.3-Aperçu hydrogéologique -----	12
I.3.1. L'ensemble inférieur :la nappe maastrichtienne -----	12
I.3.2. L'ensemble supérieur -----	15
DEUXIEME PARTIE : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE	
DE LA NAPPE MAASTRICHTIENNE AU FERLO	
I.1_ Aperçu travaux antérieurs -----	17
I.2_ Traitement des données d'analyse -----	18
I.3_ Interprétation des résultats-----	20
I.3.1_ Carte de résidus secs-----	20
I.3.2_ Diagramme de Piper -----	21
I.3.3_ Diagramme de Stiff -----	22
I.3.4_ Diagramme de Shoeller -----	24
I.3.5_ Diagramme de Wilcox . -----	26
I.4_ Conclusion-----	28

TROISIEME PARTIE : DISPOSITIF D'ETUDE DE LA ZONE PILOTE

I.1 _ Réalisations et équipements -----	32
I.2_ Apport de la diagraphie pour une meilleure reconnaissance géologique-----	34
I.2.1_ Introduction -----	34
I.2.2_ Matériels et procédés -----	35
I.2.3_ Aperçu sur quelques paramètres-----	35
I.2.3.1_ La résistivité électrique R et son inverse la conductivité-----	35
I.2.3.2_ La polarisation spontanée -----	36
I.2.3.3_ Digraphie nucléaire -----	38
I.2.3.4_ Diagraphie de température -----	38
I.2.4_ Interprétations des diagraphies-----	38
I.3_ Coupes corrigées de forage-----	40
I.3.1_ Commentaire des logs -----	44

QUATRIEME PARTIE : CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE

Chapitre I : Aperçu sur le modèle de captage-----	46
I.1_ Problématique... -----	46
I.1.1_ Le mur de l'aquifère : -----	46
I.1.3_ Localisation de zone d'exutoire effectif-----	46
I.1.2_ Processus de transfert d'eau dans le réservoir -----	47
I.2_ Modèle de captage -----	47
 Chapitre II : Pompage d'essai -----	51
II.1_ Essai de pompage par paliers de débits -----	51
II.1.1_ Notions sur les pertes de charge -----	51
II.1.2_ Données expérimentales -----	52
II.1.3_ Exploitation des résultats-----	53
II.2_ Pompages d'essai de longue durée: -----	56

II.2.1	Notions sur le régime transitoire	56
II.2.2	Conditions hydrogéologiques	57
II.2.3	Exploitation des résultats	59
II.2.4	Méthode de correction de pénétration partielle	64
II.2.4.1	Régime permanent	64
II.2.4.2	Régime transitoire	64
II.3	Conclusion	66
CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS		67

RESUME

Le Service de Gestion et de Planification des Ressources en Eau, dans son programme du Projet Sectoriel Eau, a réservé une place importante à l'étude de la nappe maastrichtienne. C'est ainsi qu'un dispositif de quatre piézomètres a été réalisé à Dahra (zone pilote).

Nous avons profité de cette occasion pour apporter notre contribution à une meilleure connaissance de cette nappe dans le Ferlo, en pleine zone sylvo-pastorale. La première phase de l'étude est consacrée à une caractérisation chimique des eaux maastrichtiennes dans ce secteur. L'appui des rapports de forage et de la base de données du service nous a permis de faire une zonation chimique des eaux dans ce secteur. En effet les 3/5 du secteur couvrant les parties centrale et orientale de la région de Louga emmagasinent des eaux de bonne qualité, bicarbonatées calcimagnésienne avec des teneurs en résidu sec inférieures à 1000mg/l. Parcontre la partie occidentale correspond à une bande salée, renfermant des eaux chlorurées dont les teneurs en résidu sec sont supérieures à 2000mg/l.

La deuxième phase de l'étude concerne essentiellement la zone pilote. L'étude lithostratigraphique faite à partir de l'observation des cuttings, couplée aux diagraphies offre un schéma du Maastrichtien constitué d'une nappe captive subdivisée en trois niveaux composés du haut vers le bas des sables grossiers épais de 100m, contenant des eaux douces dont la teneur en TDS < 500mg/l. Ces dernières sont suivies de deux autres niveaux à sables moyens à fins avec une abondance de passées argileuses vers le bas contenant respectivement des eaux dont la minéralisation est de 1000mg/l et des eaux salées de 6500mg/l. Le niveau supérieur offre une transmissivité de l'ordre de $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ alors que celui du niveau intermédiaire est de l'ordre de $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Toutefois, sur la base d'hypothèse, le coefficient d'emmagasinement du niveau supérieur serait de l'ordre de 10^{-3} . Par conséquent, pour une détermination précise de ce paramètre, la mise en place d'un forage de gros diamètre dans ce futur centre de captage est plus que jamais nécessaire.

Au vu de tous ces résultats, le Maastrichtien offre dans le Ferlo d'importantes réserves d'eau de qualité.

NOTE PRELIMINAIRE

Chaque année, sont implantés de nouveaux forages captant la nappe profonde du Sénégal plus connue sous le nom de « nappe maastrichtienne ». Celle-ci s'est révélée, au cours du temps d'un intérêt économique de plus en plus considérable. Soucieux de ne pas exploiter inconsidérément cette ressource, le gouvernement du Sénégal décidait en 1965 d'inscrire au plan quadriennal, la surveillance de cette nappe et en confiait la tâche au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Celui-ci, au terme du contrat, devait assurer un contrôle annuel des pressions et de la teneur en sel de la nappe, et après quatre ans de mesures, indiquer si et comment évolue la nappe. Par la suite cette tâche incombe respectivement à la Direction des Etudes et de la programmation (DEP) devenue plus tard la Direction des Etudes Hydrauliques (DEH). Cette étude devenant plus que jamais nécessaire, vu l'accroissement de la demande sociale en eau, est aujourd'hui attribuée au Service de Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (SGPRE).

Depuis 1998 a vu le jour le Projet Sectoriel Eau (PSE) qui réserve une part importante à l'étude de la nappe maastrichtienne, à sa géométrie, ses réserves, son modèle d'écoulement, sa caractérisation chimique; et tout cela afin de mettre sur pied un modèle de simulation mathématique.

C'est ainsi qu'il a été réalisé un dispositif de quatre piézomètres dans l'arrondissement de Dahra, à 1.5 km à l'est du village de Mboussobé. Ce secteur d'étude a été désigné sous le nom de zone pilote par le groupement Cowi-Polyconsult qui avait en charge la réalisation des études au niveau du SGPRE. Un certain nombre de critères ont porté le choix de la zone pilote sur ce site :

- bonne qualité de l'eau ;
- transmissivités et débits spécifiques élevés ;
- toit du Maastrichtien relativement peu profond ;
- profondeur du niveau statique pas trop élevée ;
- épaisseur de la nappe d'eau douce assez importante (environ 150m)
- concentration de la population faible ;
- zone à accessibilité facile.

C'est dans ce contexte qu'intervient cette étude pour une meilleure connaissance de la nappe maastrichtienne dans ce secteur.

INTRODUCTION

Les eaux souterraines constituent en général des réserves naturelles de bonne qualité qui nécessitent peu de traitement par rapport aux eaux de surface. Cette ressource doit être bien gérée car elle n'est ni inépuisable ni insensible aux agressions de l'environnement. Il est indispensable d'assumer une gestion quantitative et qualitative des eaux souterraines, afin de satisfaire la demande par les points de production les mieux adaptés. Une exploitation rationnelle est indispensable, car une exploitation mal maîtrisée des nappes pourrait avoir des conséquences très néfastes et peut être irréversibles sur la qualité de l'eau.

La nappe profonde du Maastrichtien constituant l'aquifère le plus important du pays couvre les 4/5^{ème} du territoire. Cette ressource découverte en 1938 lors d'une prospection hydrogéologique à Kaolack devient de plus en plus exploitée malgré un manque de connaissance parfaite de ses réserves, de son fonctionnement, de ses caractéristiques hydrauliques, de son taux de renouvellement etc....

La détermination des flux d'eau, actuels et passés s'appuie sur la détermination des paramètres hydrodynamiques, qui servent de base aux modélisations, et sur la connaissance de la géochimie des eaux au sein du milieu géologique considéré qui renseigne sur la dynamique et l'évolution du système. Ainsi, les deux approches, hydrogéologique sens strict et hydrogéochimique sont indissociables dans les études de caractérisation hydrogéologique des sites.

C'est alors qu'une telle étude concernant la nappe profonde du Sénégal dans la zone du Ferlo m'a été confiée dans le cadre du partenariat Institut des Sciences de la Terre (IST) – Ministère des Mines, de l'Energie et de l'hydraulique par l'intermédiaire de son département chargé des études, le Service de Gestion et de Planification des Ressources en Eau (SGPRE). Cette étude faisant l'objet de mon mémoire d'ingénieur géologue de conception –IST porte sur le thème suivant :

« Caractérisation hydrochimique et hydrodynamique de la nappe profonde maastrichtienne dans la zone du Ferlo ».

L'objectif de cette étude est de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe dans le Ferlo mais également de faire une classification chimique des différentes familles d'eau.

PREMIERE PARTIE

PRESENTATION GENERALE

I.1. - Aperçu Géographique

Le secteur coïncide avec les limites administratives de la région de Louga au sein de laquelle se trouve le village de M'boussobé, site d'implantation des quatre piézomètres appelé "zone pilote" (fig.1).

Mboussobé est une localité appartenant à l'arrondissement de Dahra, département de Linguère, région de Louga, située à 9km à l'ouest de la ville de Dahra .Le secteur appartient à la zone du « Ferlo - Linguère - Dahra- Coki -Louga ». Cette région offre assez peu d'affleurements. Les formations superficielles sont constituées de dunes rouges ou un revêtement argilo -sableux appartenant au Quaternaire et au Continental Terminal. Ce n'est qu'à l'extrémité de Linguère qu' il est possible d' observer à la faveur du relèvement des bords de la vallée, des affleurements.

Du point de vue topographique, c'est une zone très plate: seuls les alignements SW-NE des dunes oligocènes donnent un moutonnement de faible amplitude. La vallée du Ferlo elle même apparaît comme un sillon peu marqué avec des versants aux pentes douces.

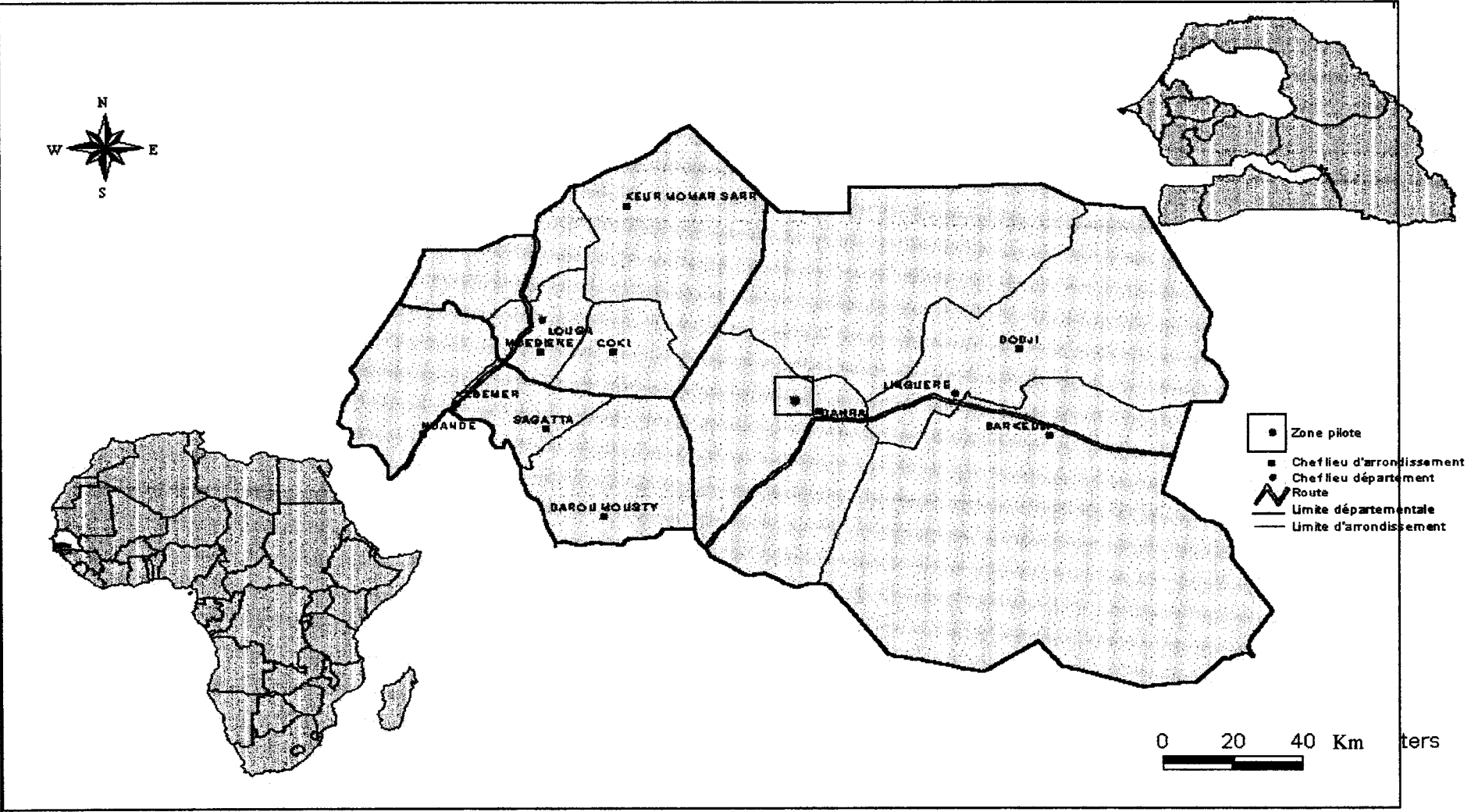


Fig.1 Carte de situation du secteur d'étude

I.2 Aperçu géologique :

I.2.1. Contexte régional :

Le contexte du secteur d'étude est celui du bassin sénégalo-mauritanien. Le bassin sédimentaire du Sénégal, situé entre les latitudes 12°50 et 16° 50 N, et les longitudes 17°50 et 13°30 W, est un sous ensemble du bassin sénégalo- mauritanien.

Son relief est peu marqué et il est limité à l'ouest par une côte sablonneuse basse où débouchent quatre estuaires relativement importants :

- l'estuaire du fleuve Sénégal ;
- l'estuaire du Sine Saloum ;
- l'estuaire de la Gambie ;
- l'estuaire de la Casamance.

I.2.2. – Contexte local:

I.2.2.1. -Lithologie et séquences stratigraphiques:

Le Ferlo comme la majeure partie du Sénégal appartient au bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien. Les forages hydrauliques réalisés dans les années 50, ont beaucoup contribué à la connaissance de la stratigraphie de la région. C'est ainsi que tous les niveaux depuis le Crétacé supérieur sont décrits dans la littérature (Dégallier,1962. Michel,1973. Trénous,1971). Cependant la description lithologique faite dans cette étude concernera les formations maastrichtiennes et celles postérieures .

- Les formations maastrichtiennes :

Les formations secondaires constituent de puissants dépôts de sédiments détritiques reposant sur le socle primaire, qui est atteint à 636m de profondeur à Linguère (Audibert,1962). Le sommet de la série constitué par l'étage maastrichtienne est à prédominance détritique siliceuse. Dans le Ferlo cette dernière est caractérisée essentiellement d'un sable à granulométrie hétérométrique qui s'est enrichi d'un apport argileux, où tous les termes compris entre sable argileux et argile sableuse se retrouvent.

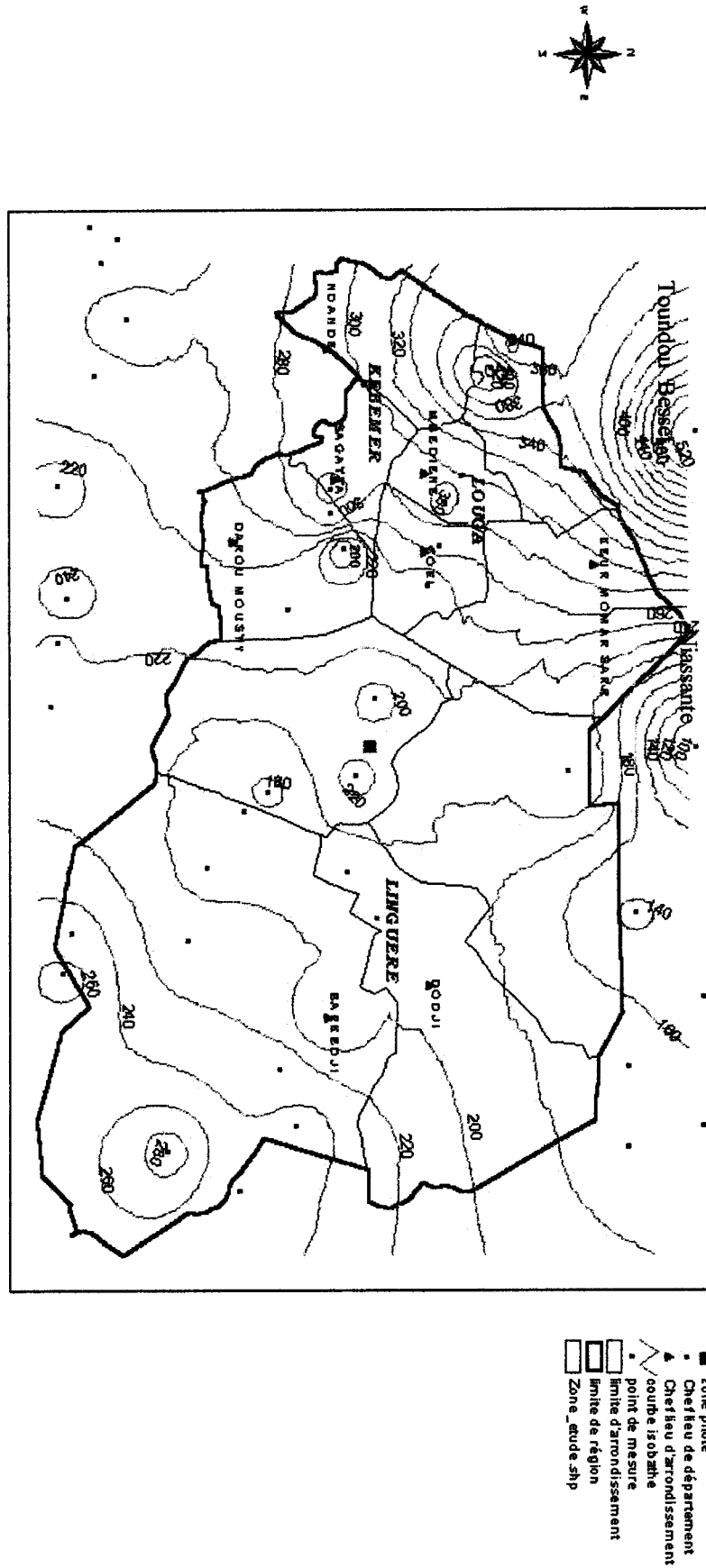


Fig2. Carte isobate du toit du Maastrichtien

Le toit du Maastrichtien est affecté de jeux de failles présentes dans le Ferlo. Dans les zones hautes de Dagana et Matam, un soulèvement notoire est observé. Le toit est subaffleurant vers Dagana, où il est à 30m de profondeur. Il s'enfonce vers Toundou Besset jusqu'à 540m de profondeur (fig.2). Dans les environs de Matam la profondeur du toit est à 40m (LePriol et Dieng, 1985). A cet endroit, le caractère détritique des sédiments tertiaires et quaternaires rend difficile la détermination des formations proprement maastrichtiennes. Au niveau de la zone d'effondrement principale du Ferlo, le toit se situe à une profondeur de 160m. Les sables maastrichtiens renferment un important aquifère alimentant la presque totalité des forages hydrauliques. Ils ont une puissance de 300m au niveau du Ferlo, où les perméabilités sont assez bonnes, notamment dans le nord, avec 10^{-3} ms^{-1} (Audibert, 1964).

- Les formations paléocènes :

Le Paléocène est essentiellement constitué de formations calcaires dont les faciès varient localement. Un faciès siliceux, détritique constitué de grés calcaires associés à de l'argile sableuse, est noté au nord-ouest de la zone haute de Dagana (LePriol et Dieng, 1985). A l'est on trouve des calcaires francs, coquillers de teinte blanche à grise, qui sont le plus souvent aquifères. Des formations identiques sont retrouvées dans les alentours de Linguère et Barkédji, à l'est de la zone d'étude. Un ensemble argilo-marneux, constitué d'argile noire et de marnes ou marno-calcaires est également représenté. Cet ensemble recouvrant les formations aquifères du Maastrichtien, donnent à celles-ci une configuration de nappe captive.

- Les formations de l'Eocène :

Au Ferlo, l'Eocène comprend les formations de l'Yprésien (Eocène inférieur) et du Lutétien (Eocène supérieur). La première, à caractère essentiellement argilo-marneux, renferme cependant des niveaux calcaires.

A l'est de Yaré Lao les formations du Lutétien présentent un faciès marno-calcaire surmontant quelque fois des calcaires francs (Diène M, 1995).

Dans sa partie inférieure, l'Eocène est en continuité avec les formations paléocènes de faciès similaire. C'est pourquoi, à défaut d'arguments paléontologiques, les niveaux à silex sont considérés comme limite entre les formations paléocènes et celles de l'Eocène

(Tré nous et Michel, 1971). Seulement cette délimitation pose problème aux endroits où les niveaux à silex sont absents. Dans ce cas, la présence des fossiles marque le début du Paléocène.

- Les formations du Continental terminal (CT):

C'est un ensemble de dépôts azoïques. Pendant très longtemps on a pensé qu'ils étaient d'origine continentale. Dans cette région le CT désigne l'ensemble des formations détritiques post-éocènes comprises entre les formations carbonatées de l'Eocène et celles éoliennes du Quaternaire.

Les faciès dominants sont grés-argileux. Le grés à ciment argileux, avec un aspect bariolé, est plus souvent présent au sommet de la série, sous la cuirasse. Il est associé à l'argile sableuse jaune à ocre. Des termes sableux ou sablo-argileux sont également des faciès très fréquents, notamment dans la lisière des alluvions de la vallée du Sénégal et de la vallée fossile du Ferlo, en aval de Linguère.

- Les formations quaternaires :

Les sables éoliens forment des massifs dunaires parfois très étendus recouvrant la cuirasse latéritique, démantelée par endroits (sous forme d'agrégats de granules ferrugineux). Ils se seraient mis en place lors d'une importante régression marine liée à la dernière glaciation (Wurm) dans les régions tempérées (Michel, 1970).

Le modelé dunaire s'est considérablement émoussé au cours du temps; les dunes sont fixées par la végétation, les interdunes ont été plus ou moins remblayées par les produits de ruissellement. Un sol de couleur brun à rouge, datant du Tchadien (phase humide : 11000-6000BP), recouvre les sables dunaires. Entre les cordons dunaires on peut retrouver soit des sols bruns subarides, soit des sols hydromorphes, constitués de boue grise et profondément crevassée en saison sèche. C'est en ces endroits que se forment des mares temporaires.

I.2.2.2- Influence de la tectonique :

A première vue le Bassin du Sénégal donne l'impression d'une unité tectonique simple avec des couches généralement subhorizontales (fig.3). Toutefois les photos

aériennes montrent (Le Priol et Dieng,1985) de nombreux linéaments, dont beaucoup sont assimilables à des fractures.

La région du Ferlo, si elle ne montre aucune particularité tectonique, présente néanmoins un certain nombre d'accidents majeurs qui sont à l'origine de la formation de zones hautes et de zones basses dans la région.

Les familles de fractures de direction NNE-SSO bordent à l'ouest et à l'est le lac de Guiers, dont elles conditionnent le tracé. Elles limitent à l'ouest la zone haute de Dagana que l'on appelle communément le dôme de Guiers (Trenous et Michel,1971). L'effondrement du compartiment occidental est assez important, avec un rejet de l'ordre de 200m (Le Priol et Dieng,1985).

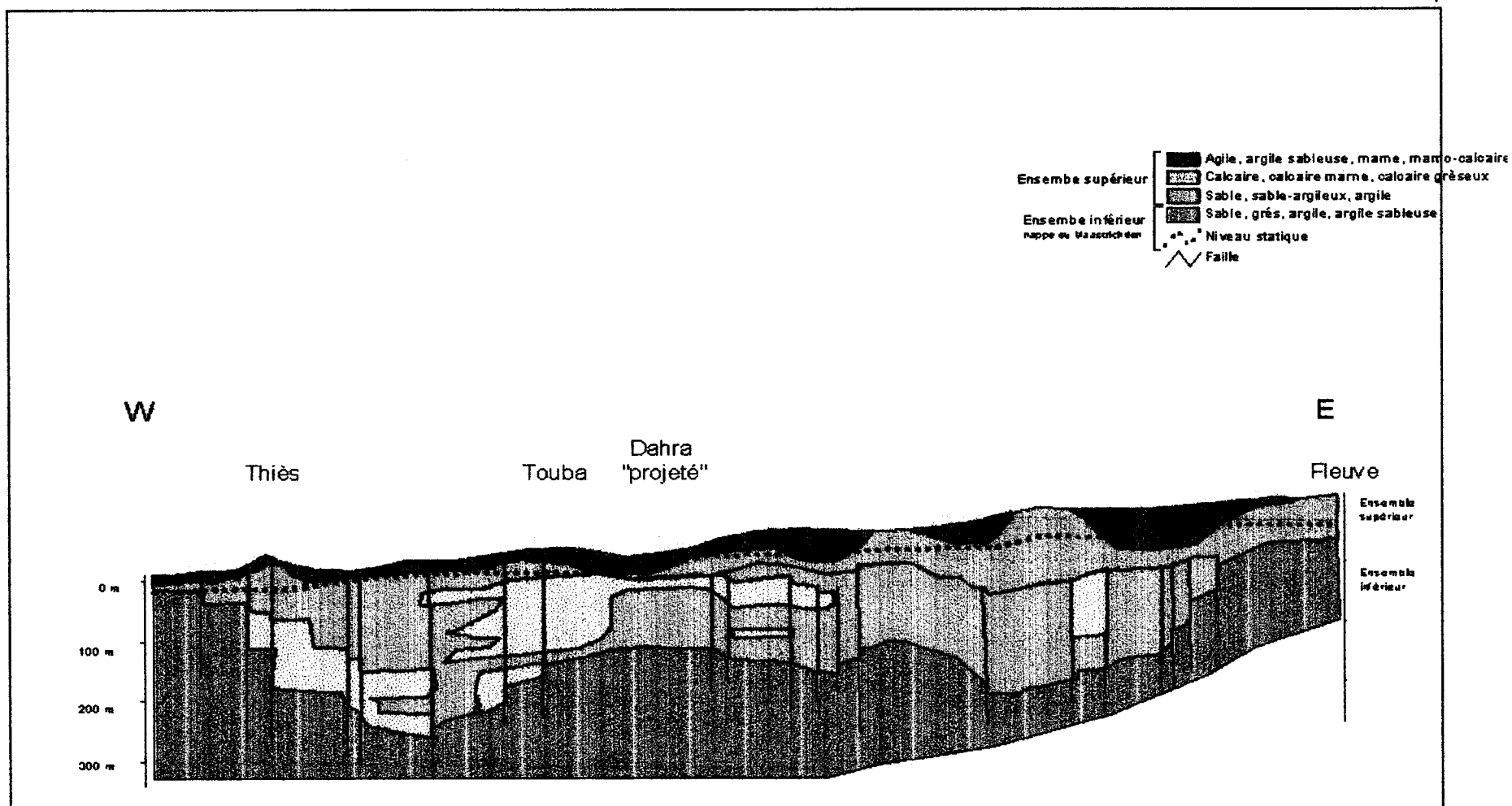


Fig.3- Coupe hydrogéologique schématique à travers le bassin du Sénégal (d'après Travi, 1988,modifiée)

L'examen de la carte structurale permet de constater dans la zone pilote une série de fracturations de direction générale N-S mais également des failles transformantes orientées E-W (fig.4).

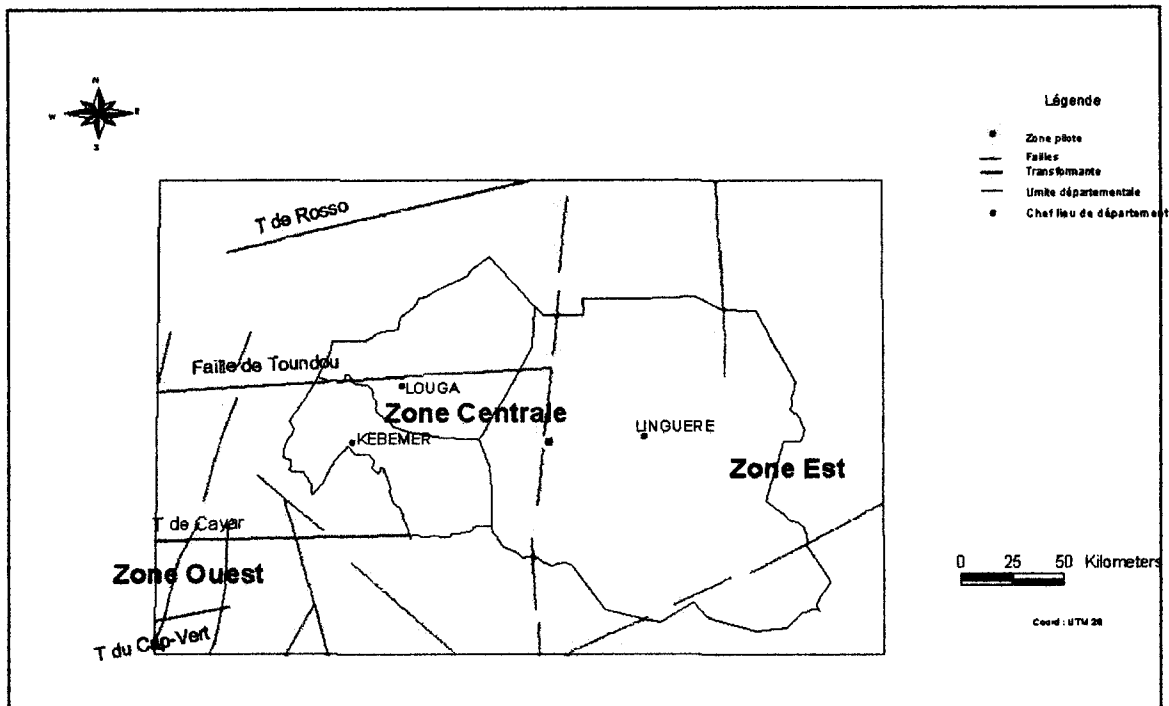


Fig.4 - Carte structurale synthétique dans la zone du Ferlo (Faye et. Siby,2000 In Doc.structurale.SGPPE,Cowi)

I.3- Aperçu hydrogéologique :

Au Sénégal l'exploitation des ressources en eau souterraine concerne en grande partie les aquifères du Crétacé, du Tertiaire et du Quaternaire.

Généralement on distingue un ensemble inférieur situé dans de niveaux plus profonds du Maastrichtien et Campanien et un ensemble supérieur regroupant les nappes du Tertiaire et du Quaternaire (Travi,1988).

I.3.1- L'ensemble inférieur :

L'aquifère du Maastrichtien est largement représenté sur l'ensemble du bassin (160.000km²). A ce jour il est uniquement exploité sur sa partie supérieure(100 premiers mètres) et sa base est donc mal connue. Cependant les forages de recherches pétrolières ont fourni quelques indications sur son mur et son épaisseur.

A l'est du méridien 14°30 l'aquifère maastrichtien repose directement sur les formations cristallines du socle anté-mésozoïque. Il constitue un réservoir relativement homogène et de nature essentiellement sablo-gréseuse.

A l'ouest, l'aquifère repose sur des formations argileuses anté-maastrichtiennes qui séparent les eaux salées que l'on rencontre en profondeur et les eaux douces de l'aquifère.

A l'ouest du méridien 17°15 il devint entièrement argileux et improductif. Le toit du Maastrichtien marqué par l'apparition des niveaux argileux et carbonatés du Paléocène, présente des zones hautes et des zones effondrées. Les zones hautes sont localisées dans trois régions(Lepriol et Dieng,1985):

- la vallée du Fleuve Sénégal ;
- la bordure du socle paléozoïque à l'est et au sud est du bassin;
- la zone du horst de Ndiass et ses bordures.

En dehors de ces zones, à partir de la bordure orientale, le toit du Maastrichtien plonge globalement vers l'ouest.

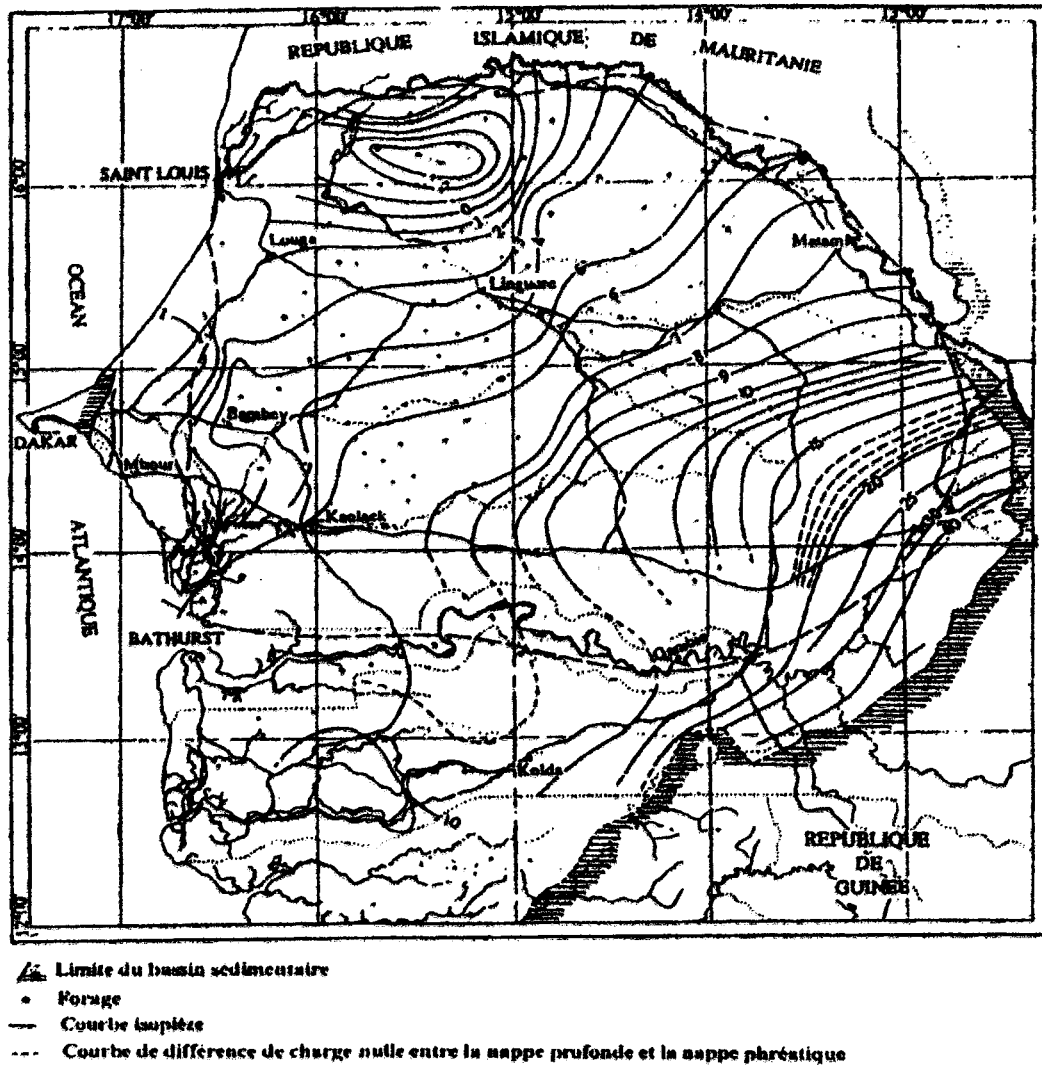


Fig.5- Carte piézométrique de la nappe maastrichtienne du Sénégal.

(D'après Audibert, modifiée, Travi, 1988)

Les morphologies du toit et du mur façonnées par la transgression et la tectonique, sont irrégulières. Elles déterminent une épaisseur variable d'aquifère qui varie d'est en ouest avec un maximum de 300m entre les méridiens 15° et 16°.

La surface piézométrique générale montre un écoulement du SE vers NW avec un gradient hydraulique faible de l'ordre de $2 \cdot 10^{-4}$ à $5 \cdot 10^{-5}$ (fig.5).

Les trois zones hautes précédemment citées sont susceptibles d'assurer une communication avec le système aquifère de l'ensemble supérieur et jouer ainsi un rôle important dans la dynamique de la nappe. Ainsi dans la partie N et NE, près de la zone

haute de Dagana-Thilogne-Matam , le Maastrichtien n'est recouvert que par des formations argilo-sableuses. Au nord, l'écoulement se fait vers le centre du bassin, en direction de la dépression piézométrique localisée à l'est du lac de Guiers; les transmissivités sont comprises entre 10^{-2} et $10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Faye A,1994).

I.3.2- L'ensemble supérieur :

Il est constitué d'un système d'aquifères (Paléocène, Eocène, Continental Terminal et Quaternaire), d'extension plus ou moins limitée, différents par leur nature et leur géométrie.

- Les nappes de l' Eocène et du Paléocène

A l'ouest du bassin, l'Eocène n'est présent que par ses termes inférieurs (Sarr,1982) sous la forme de calcaires argileux, de marnes, d'argiles phosphatées ou silicifiées en contact avec le Paléocène, surmontés par des argiles et des marnes.

L'aquifère du Paléocène est épais d'une centaine de mètres et repose sur les sédiments grésos-argileux du Maastrichtien. Sa base est surtout constituée de marno-calcaires coquillers à l'ouest et par des marnes au nord-ouest, à l'est et au sud.

Les calcaires coquillers sont karstifiés sur une auréole d'une centaine de kilomètres autour du horst de Ndiass (Faye A,1994). Les calcaires sont affleurants à subaffleurants au voisinage du horst. Ils s'envoient rapidement vers l'est et au sud sous les horizons de l'Eocène. Dans la partie où l'aquifère est constitué par des sédiments argilo-sableux, les transmissivités sont faibles (supérieures à $10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$).

-Les nappes de l'Oligo-Miocène et du Continental Terminal :

Les aquifères du Néogène sont présents sur tout le bassin sédimentaire et ont été décrits avec une terminologie variable. Les réservoirs sont généralement constitués de sédiments marins, datant du Miocène et plus ou moins continentalisés.

La nappe de l'Oligo-Miocène de Casamance est un aquifère continu qui se prolonge vers le nord en direction du Ferlo. Il surmonte les marno-calcaires de l'Eocène moyen avec une épaisseur variable, en général inférieure à 150m. Les transmissivités varient de $1,5 \cdot 10^{-3}$ à $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (Faye A, 1994).

L'aquifère du Continental Terminal au centre et au sud du bassin est constitué de sédiments d'origine marine essentiellement marine; continentalisés après leur mise en place (Lappartient, 1978). Il s'agit d'une alternance de sables et d'argiles dans sa partie sud, de sables et de grès argileux dans le Ferlo, d'argiles et de sables au nord. Les transmissivités sont faibles de l'ordre de $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. La surface piézométrique montre une dépression au centre du Ferlo pouvant atteindre 60m de profondeur. Cette dépression a été décrite pour la première fois par Dégallier en 1954. Elle a suscité plusieurs hypothèses tendant à expliquer ses causes :

- la surexploitation de la nappe ;
- l'affaissement du substratum (phénomène de subsidence) ;
- les fluctuations du niveau marin, ajoutées aux variations climatiques observées depuis l'Holocène;
- la reprise évaporatoire.

Les deux premières explications n'ont pas retenu une grande attention du fait, d'une part de la faiblesse relative des prélèvements par rapport aux réserves potentielles des aquifères, d'autre part de l'absence de processus tectonique susceptible d'expliquer une dépression d'une telle ampleur.

Ainsi les hypothèses souvent retenues sont celles de la variation du niveau marin, testée par simulation mathématique (Dieng, 1987) et qui paraît plausible pour l'aquifère du Ferlo mais aussi celle de la reprise évaporatoire qui a fait l'objet d'études menées au Mali (Aranyossy *et al*, 1989) et au Sénégal (Ndiaye *et al*, 1993).

DEUXIEME PARTIE

**CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE DE
LA NAPPE MAASTRICHTIENNE AU FERLO**

L'eau souterraine contient toujours des substances dissoutes dont la concentration et la stabilité dépendent de plusieurs paramètres tels que la pression partielle des gaz dissous, le pH, l'environnement géologique, le potentiel redox, la nature des substances organiques et inorganiques dissoutes. C'est ainsi que s'explique l'existence de différentes familles d'eau.

I.1. – Aperçu sur les travaux antérieurs :

Conformément aux objectifs fixés, nous allons nous limiter à rappeler les caractéristiques chimiques de la nappe profonde du Maastrichtien.

La minéralisation totale est comprise entre 0,2 et 12g.l⁻¹ avec à l'est de 15°30 une augmentation lente de 0,2 à 0,7g.l⁻¹. On distingue trois familles d'eau :

- eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes;
- eaux bicarbonatées sodiques;
- eaux chlorurées sodiques.

Ces différentes familles résulteraient d'une évolution hydrochimique du pôle calcique et magnésien vers le pôle sodique et du pôle bicarbonaté vers le pôle chloruré par suite des phénomènes d'échange de base dans la partie centre et à l'ouest du bassin (Moussu et Vuillaume,1972; Travi ,1988).

Les valeurs de pH comprises entre 7,9 et 8,6 dans la partie centrale et la partie nord, tournent autour d'une moyenne de 5.8 dans les bordures E et W.

Les valeurs du potentiel redox sont négatives sur l'ensemble de la nappe, sauf à Vélingara dans la zone de contact Maastrichtien/socle où la valeur la plus forte(-30mV) a été mesurée (Faye A,1994).

Les teneurs en chlorures inférieurs à 1 meq.l⁻¹ à l'est de cette ligne (zone1), augmentent rapidement lorsque l'on passe à l'ouest (zone2) traduisant, si l'on y ajoute le fait que les ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ diminuent brutalement, une très nette discontinuité.

L'individualisation des deux zones apparaît également en considérant la chimie des carbonates. A l'est et près des aires d'alimentation il se produit une légère augmentation des teneurs en carbonates liée à la dissolution de ceux-ci par des eaux sous saturées en calcite et en dolomite. A l'ouest les teneurs continuent à croître ou se stabilisent sous l'effet des échanges de base sur des eaux saturées (Travi,1988).

I.2 -Traitement des données d'analyse :

Dans la zone du Ferlo des prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués sur plus d'une centaine de forages, de puits-forages ou de piézomètres existants. Nous avons choisi un nombre de soixante quatorze ouvrages répartis autour de la zone pilote de Dahra pour faire la caractérisation chimique de la nappe (fig.6).

Les échantillons ont été analysés dans les laboratoires du BRGM ou du département de géologie de la faculté des sciences de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Pour chaque échantillon les éléments analysés sont :

- cations : Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ ;
- anions: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^- , F^- , NO_3^-

Les résultats sont représentés sous forme de tableaux disponibles dans les rapports de forage du SGPRE. Cependant les diagrammes de Shoeller, de Piper et de Wilcox permettrons de faire une interprétation chimique de ces eaux. L'utilisation combinée de ces diagrammes permettra de conclure sur l'origine et l'évolution possibles de ces eaux de la nappe profonde dans le Ferlo .

Après une conversion des concentrations en mg/l, en meq/l en divisant par la masse de l'ion équivalent (p/z), on a procédé à un calcul de balance ionique pour déterminer l'erreur relative de chaque analyse:

$$\epsilon = \left| \frac{\sum \text{rcations} - \sum \text{ranions}}{\sum \text{rcations} + \sum \text{ranions}} \right| * 100$$

Ceci a permis d'éliminer tous les échantillons dont l'erreur relative est supérieure à 5%. A l'issue de cela soixante seize analyses ont fait l'objet d'exploitation par les différentes méthodes d'interprétation graphiques basées sur la carte thématique des résidus secs l'erreur relative et sur les diagrammes de Piper, de Shoeller, de Stiff et de Wilcox.

I.3- Interprétation des résultats :

I.3.1- Carte de résidus secs :

Cette carte de résidus secs a été établie à partir des analyses des échantillons répertoriés en utilisant le logiciel « arcview » (fig.7).

Suivant la salinité quatre entités se dégagent :

- les eaux dont le résidu sec (TDS = total des sels dissous) est inférieur à 1000 mg/l qui sont de bonne qualité se concentrent dans l'est du Ferlo ;
- les eaux acceptables dont le TDS est compris entre 1000 et 1500 mg/l rencontrées au centre et en bordure orientale de la zone d'étude;
- enfin les eaux salées qui ont un TDS supérieur à 1500mg/l et qui occupent la partie occidentale suivant l'axe Louga- Darou Mousty –Touba –Mbacké- Kaolack- Fatick.

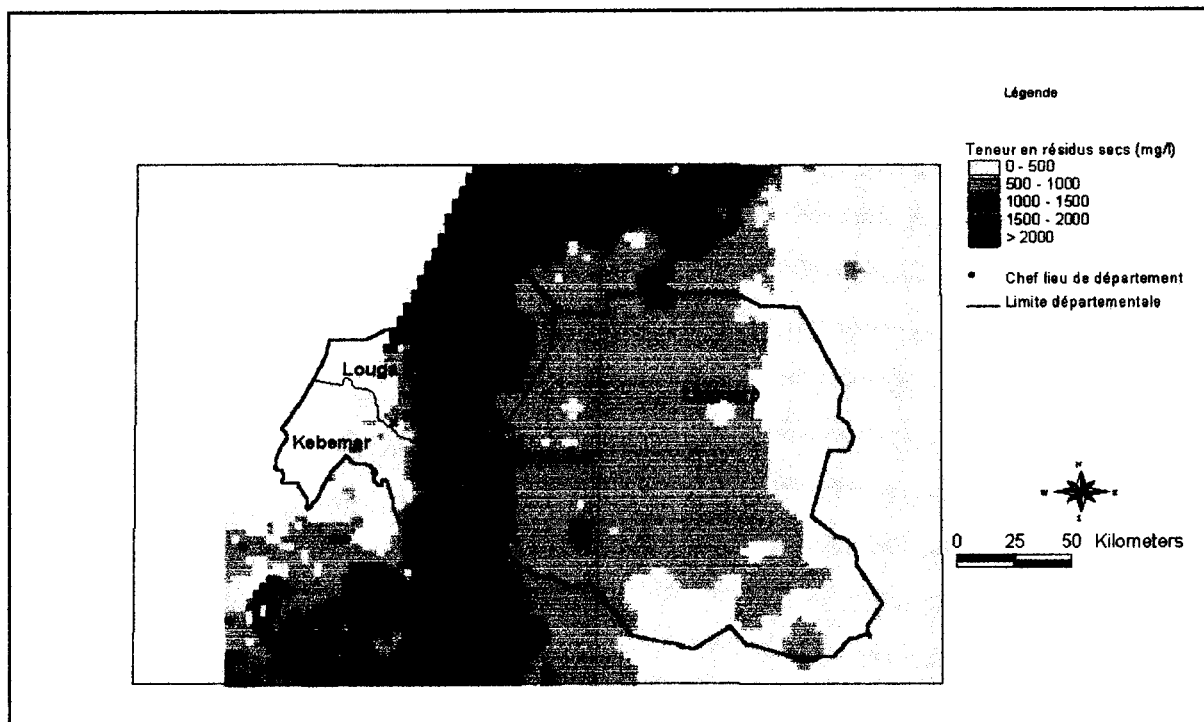


Fig.7- Carte de distribution spatiale des teneurs en résidus secs du Maastrichtien dans le Ferlo

I.3.2. Le diagramme de Piper :

Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs(fig.8) .

Dans le cadre de cette étude, les analyses des échantillons d'eau insérées dans les rapports de forages mentionnent en ce qui concerne CO_3^{2-} , des traces. Cependant la cohabitation ou non des ions CO_3^{2-} et HCO_3^- est fonction du pH. Or dans la zone d'étude ces eaux profondes ayant des valeurs de pH comprises entre 7.9 et 8.5 sont intermédiaires, ce qui explique la prédominance des ions HCO_3^- sur les ions CO_3^{2-} . Par ailleurs on peut remarquer qu'à pH faible H_2CO_3^* est y l'espèce prépondérante suivie de HCO_3^- . Par contre en milieu franchement basique CO_3^{2-} est plus abondant et en moindre degré HCO_3^- .

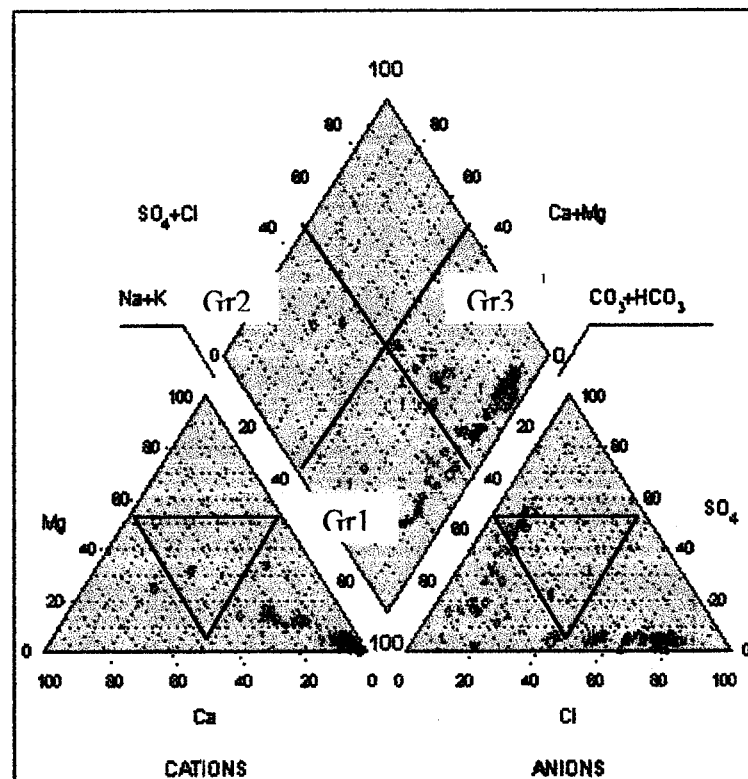


Fig.8- Représentation des eaux maastrichtiennes de la partie ouest du Ferlo sur le diagramme de Piper

Sur le diagramme quaternaire, on observe trois familles d'eau :

- un faciès bicarbonaté sodique (Gr1) ;
- un faciès bicarbonaté calcique (Gr2) ;
- un faciès chloruré et sulfaté sodique (Gr3).

D'autre part l'observation des diagrammes ternaires permet de constater plus en détail que le faciès Gr3 peut être subdivisé en trois sous familles (Davis S.N. et. De Wiest, 1967).

- sous famille à eau chloruré sodique ;
- sous famille à eau sulfaté sodique ;
- sous famille à eau mixte.

I.3.3- Diagramme de Stiff :

Ce genre de diagramme permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine. Les cations sont représentés à gauche ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} et Fe^{2+}) et les anions à droite (Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} , NO_3^-) (fig.9a,9b,9c).

Cependant comme ce diagramme ne peut faire que la représentation individuelle, on a choisi un échantillon représentatif dans chaque famille pour les illustrations.

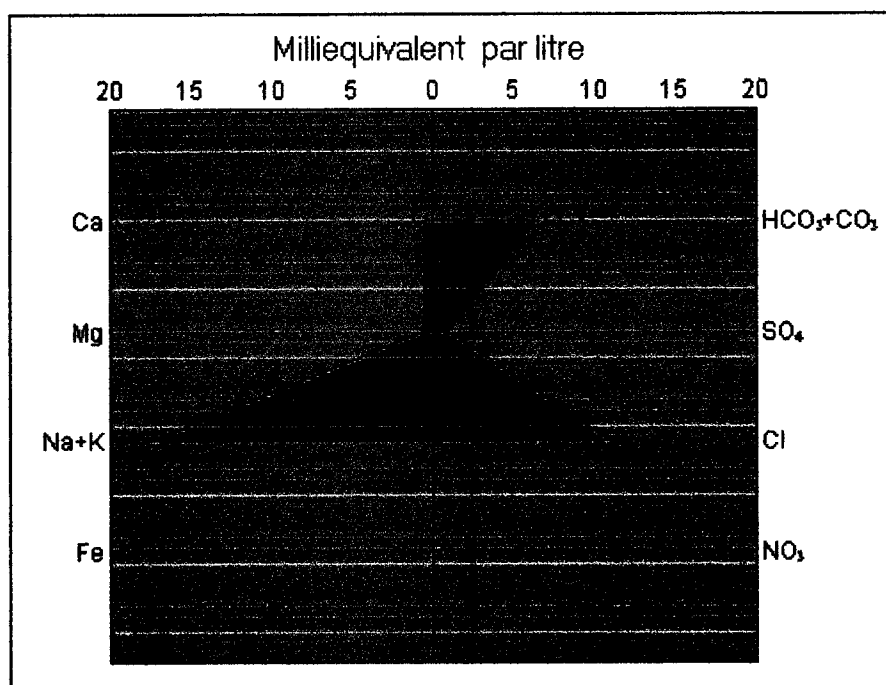


Fig.9a- Diagramme de Stiff de l'analyse chimique de l'échantillon du forage 064x0019

Les eaux maastrichtiennes du forage 064x0019 se trouvant à l'ouest de la ville de Louga est typique du faciès mixte bicarbonaté chloruré-sodique.

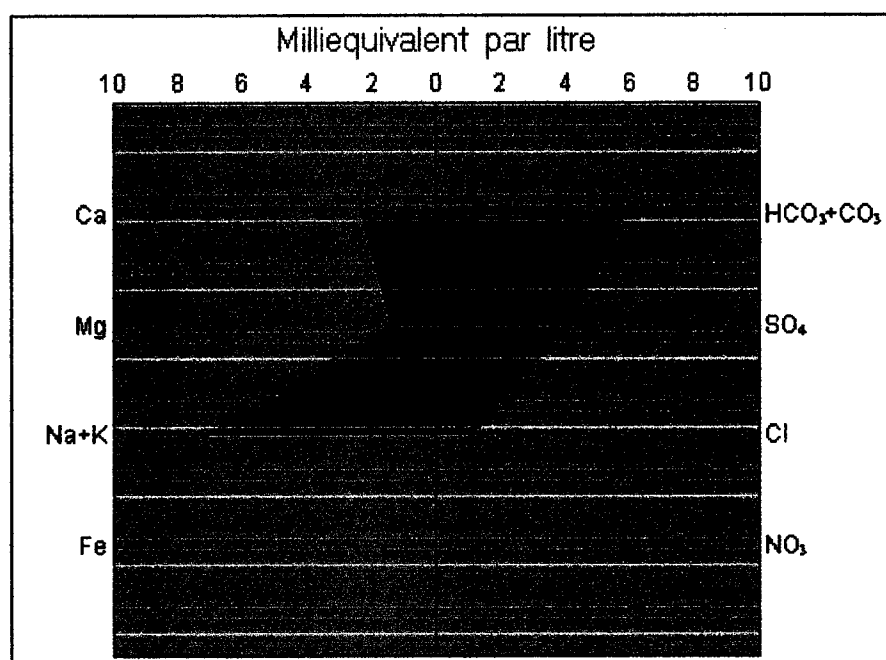


Fig.9b :- Diagramme de Stiff de l'analyse chimique de l'échantillon du forage 066x0015

L'échantillon 066X0015 se trouvant dans la partie Est de la région de Louga et plus proche de Linguère est caractéristique du faciès bicarbonaté sulfaté-sodique.

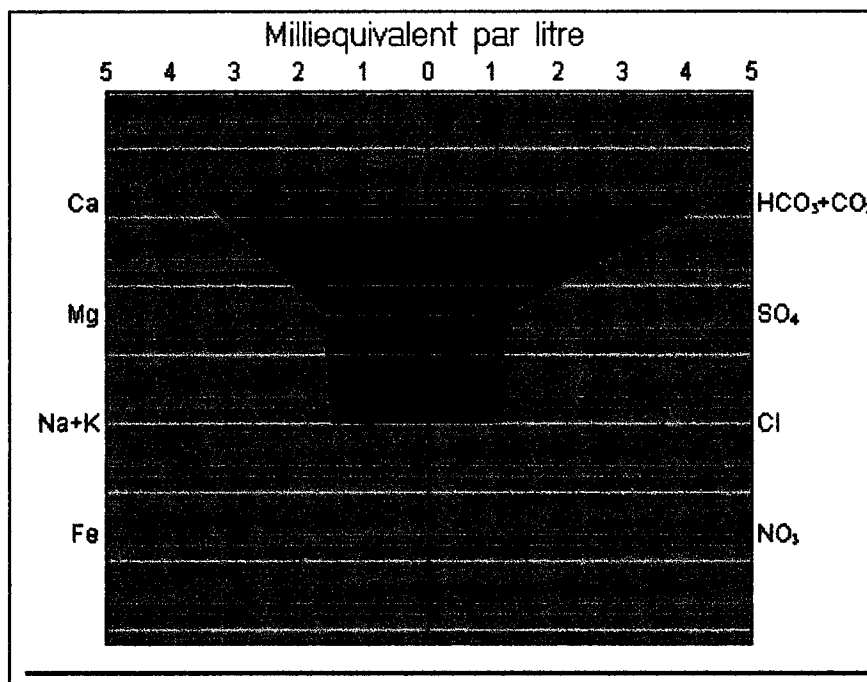


Fig.9c-- Diagramme de Stiff de l'analyse chimique de l'échantillon du forage 077x0009

Les caractéristiques de l'eau maastrichtienne captée par le forage 077x0009 situé au sud est de la région Louga et appartenant à la communauté rurale de Gassane sont celles d'une eau à dominante bicarbonatée calcique.

La représentation de ces trois échantillons n'est en fait qu'une illustration des résultats obtenus avec le diagramme de Piper. Par ailleurs il faut noter que le diagramme de Stiff bien qu'étant individuel permet une lecture facile des caractéristiques chimiques de l'échantillon mais également une localisation aisée.

I.4.-Diagramme de Shoeller :

C'est un diagramme vertical à échelle logarithmique, constitué d'axes représentant chacun un élément majeur et dont les graduations expriment les concentrations en équivalent gramme par millilitre (eq/ml ou EPM).

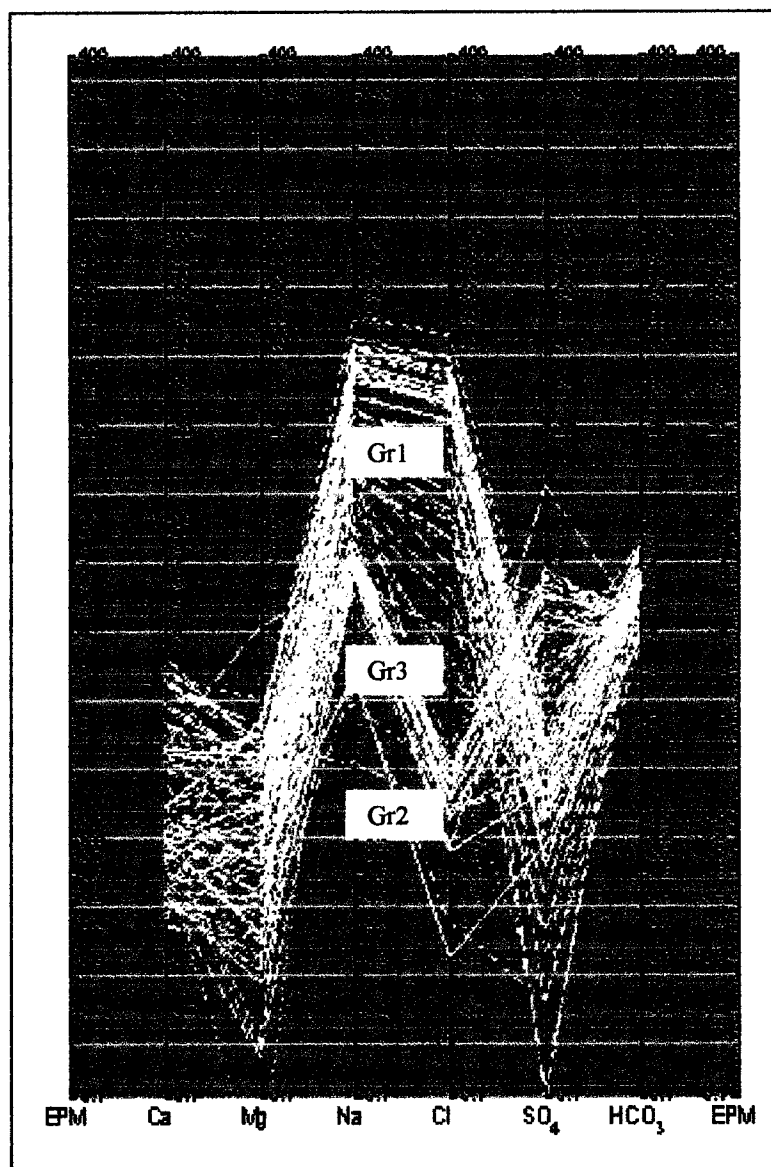


Fig.10a- Représentation des eaux du Maastrichtien de l'ouest Ferlo sur le diagramme de Shoeller, modifié

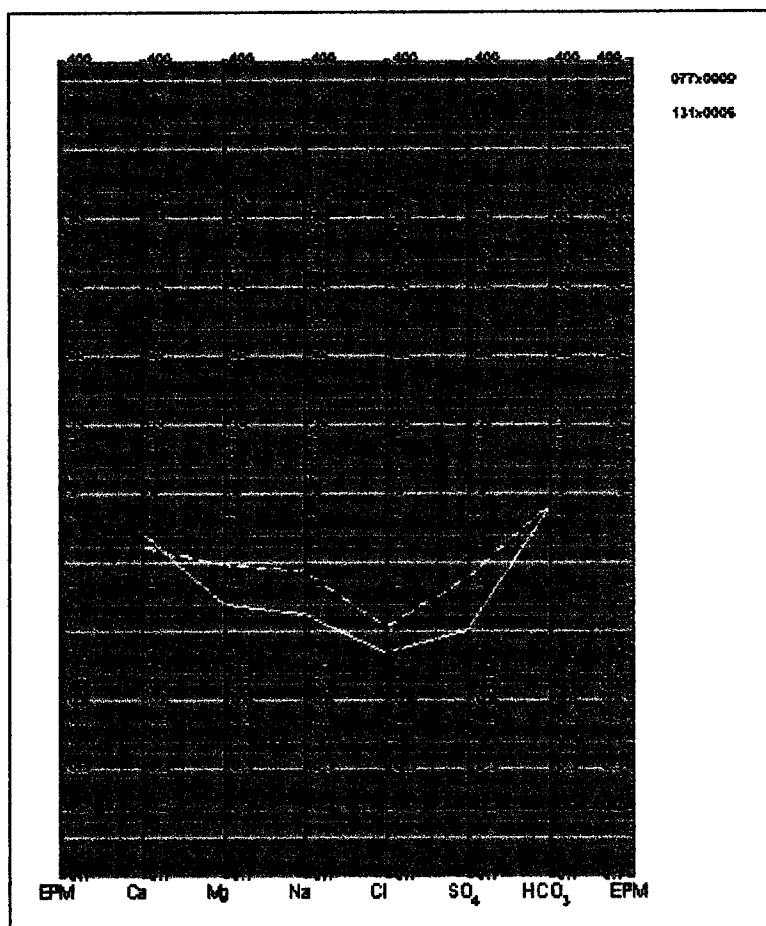


Fig.10b- Représentation des analyses 077x0009 et 131x0005 (Gr2) sur le digramme de Shoeller, modifié

La représentation de Shoeller, comme celle de Piper montre aussi les trois familles d'eau qui existent dans la partie ouest du Ferlo.

L3.5- Diagramme de Wilcox.

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux profondes sur leur aptitude à l'irrigation, mais il n'était disponible que la valeur de conductivité de quelques échantillons. C'est alors qu'on a tenté de retrouver par calcul théorique les conductivités des échantillons à partir des conductivités équivalentes des différents ions majeurs analysés (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4^{2-} , HCO_3^-) à 25°C d'après la méthode décrite par Hölting (1996).

$$CE \text{ éch} = \sum [Ci] * Cei * K$$

CE éch = conductivité équivalente de l'échantillon,

[Ci] = concentration ionique,

Cei = conductivité équivalente ionique,

K = facteur de correction dépendant de la température.

Cette tentative n'a pas abouti car les valeurs de températures mentionnées dans les rapports de forage n'ont pas permis leur application. Ceci est dû au fait que les valeurs de température mentionnées dans la base sont parfois entachées d'erreur. Néanmoins les quelques échantillons disponibles ont été représentés (fig.11).

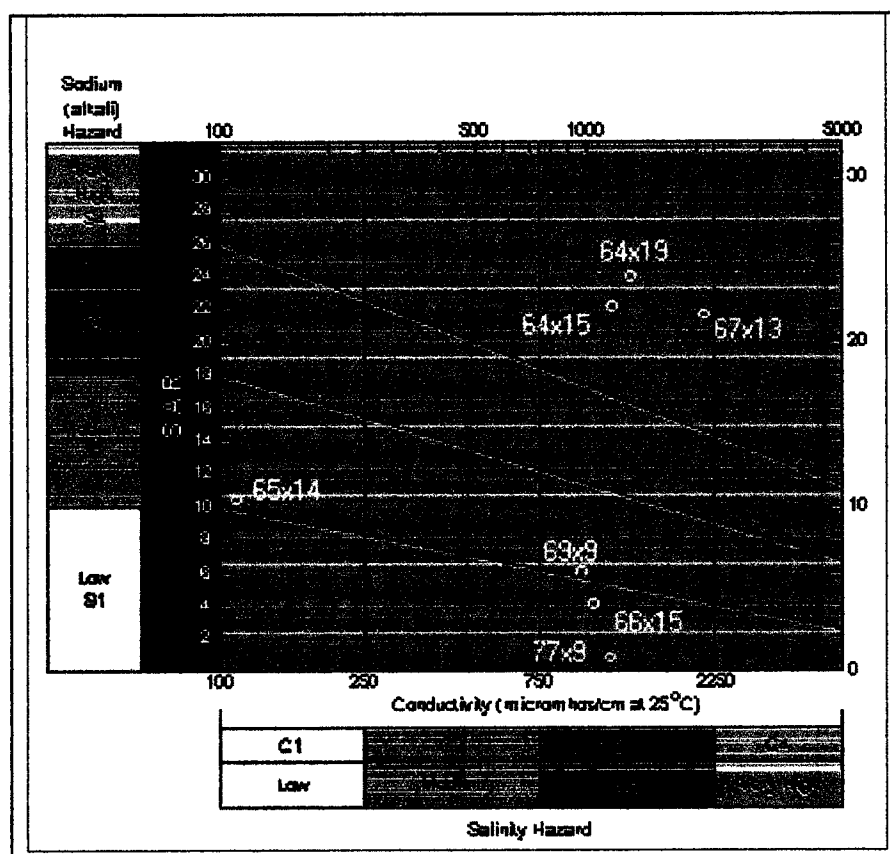


Fig.11- Représentation des sept analyses sur le diagramme de wilcox

Les sept échantillons représentés sur le diagramme de Wilcox se répartissent en quatre groupes et sont tous localisés dans les secteurs ouest et nord de la zone pilote:

- C3S4 concentre les échantillons en provenance de la partie ouest du secteur avec des risques de salinisation des sols moyens mais ceux d'alcalisation sont très élevés ;
- C3S1 regroupe des échantillons de la partie centrale du secteur avec des risques de salinisation moyens et ceux d'alcalisation faibles ;
- Les échantillons 69x9 et 65x14 se localisent respectivement dans C3S2 et C1S2 où les risques d'alcalisation sont moyens et ceux de salinisation faibles à moyens.

I.4- Conclusion :

L'infiltration de l'eau et son écoulement dans le sol et le sous sol sont les vecteurs de transport de solutés dans les systèmes d'eaux souterraines. Au cours de leur cheminement, les eaux souterraines sont en contact direct avec les matériaux solides tels que les sédiments, les sols et roches. De ces interactions peuvent résulter des phénomènes de dissolution et de précipitation, mais aussi d'autres importants phénomènes tels que l'adsorption et les réactions d'échange ionique. Par ailleurs les solutés peuvent interagir avec d'autres éléments en solution ou en suspension dans l'eau, et se complexer avec ceux-ci. C'est ainsi que peut s'expliquer l'existence de différents faciès chimiques au sein de la nappe maastrichtienne.

- Le faciès bicarbonaté calcique est typique des environnements calcaires et sa tendance magnésienne reflète les formations marneuses. En effet le Paléocène qui est subjacent au Maastrichtien est constitué de formations calcaires et son mur marqué par le Danien est constitué d'argile ou de marne grise.
- Le faciès chloruré sulfaté sodique est le reflet des formations évaporitiques telles que le gypse.
- Le faciès chloruré est typique des évaporites alcalins et alcalino-terreux. Ce faciès qui fait remarquer la forte présence d'un milieu marin regroupe les forages à forte teneur de résidu sec. C'est ainsi que des hypothèses sur l'intrusion marine ou l'existence d'eau connée ont été avancées.

Les fortes valeurs de salinité peuvent avoir trois origines :

- origine marine actuelle (biseau salée) ;

- origine marine ancienne (eau marine piégée lors de la sédimentation) ;
- Interaction eau-roche. Le Trias connaissant des dépôts évaporitiques, leur dissolution peut entraîner une augmentation de la salinité.

Pour les deux premiers cas il faut une gestion des prélèvements; soit pour éviter l'avancement de l'intrusion vers les forages d'exploitation soit un prélèvement des eaux salées actuelles pour entraîner à long terme une dilution favorisant une baisse de salinité.

TROISIEME PARTIE

DISPOSITIF D'ETUDE DE LA ZONE PILOTE

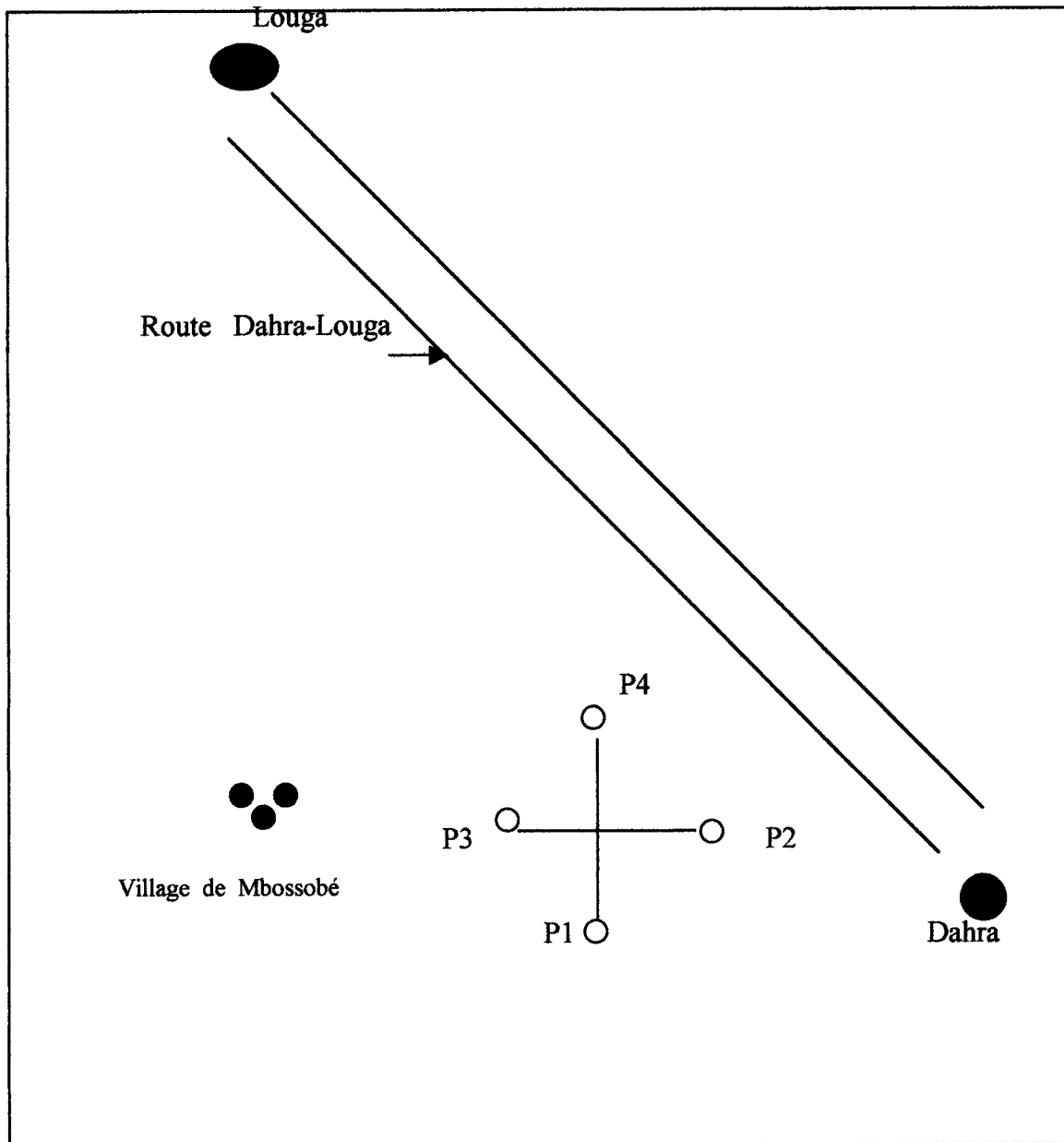


Fig.12- Schéma du dispositif de la zone pilote

I.1- Réalisations et équipements :

Les quatre piézomètres réalisés dans la zone pilote ont été exécutés par la méthode rotary à la boue (fig.12). Cette méthode est particulièrement adaptée aux terrains meubles à mi-durs. Les avantages principaux sont la possibilité d'accéder à des profondeurs considérables, une vitesse d'avancement rapide dans les terrains tendres, une consolidation des parois par le dépôt d'une couche d'argile appelée cake, résultant de la boue utilisée comme fluide de forage. La boue permet également la remontée des cuttings, le refroidissement de l'outil et le nettoyage du trou.

Le lecteur intéressé trouvera une description assez détaillée sur la technique de réalisation des piézomètres dans le premier rapport de stage présenté par l'auteur (Seck M. 2000).

Le matériel d'équipement des ouvrages comporte des tubes pleins et des crépines. Pour le piézomètre n°4 (P4), tubages et crépines sont en PVC avec un diamètre $\phi = 6''$ alors que pour les autres l'équipement entier est en acier avec un ϕ de 4''. En effet l'équipement en PVC étant plus léger a été utilisé au niveau du P4 monolithique. Les autres sont des forages télescopés. Les tubes pleins servent à maintenir les parois du forage pour éviter des éboulements, délimiter les venues d'eau à exploiter et parfois à supporter la pompe immergée.

Les crépines qui sont des tubes perforés sont placées en dessous des tubes pleins face à la partie de la zone productrice de l'aquifère. Le P4 est équipé de crépine lanternée alors que ceux des autres sont du type fil enroulé de marque Johnson (tableau.I).

Le gravillonnage est une opération qui consiste à placer du gravier arrondi (massif filtrant) autour des crépines. Celui utilisé dans ces ouvrages est de type goulombo tamisé dans les gravillons latéritiques du sud est du pays. Son optimisation peut empêcher l'ensablement de l'ouvrage et éviter la sous exploitation de la nappe.

Le développement sert à améliorer la productivité du forage et celle de la nappe exploitée en augmentant la perméabilité des terrains situés autour de la crépine. L'opération s'est déroulée suivant les procédés suivants :

- développement à l'air lift avec traitement à l'hexamétaphosphate de sodium qui agit par défloculation en dispersant le cake ainsi que l'argile des terrains ;
- le surpompage avec un débit supérieur au débit d'exploitation.

IL faut noter qu'au cours du développement du P4, le procédé par acidification a été aussi effectué en utilisant de l'acide chlorhydrique dilué pour décolmater les fractures existantes dans les calcaires.

Piézomètre	Prof trou (m)	ϕ crépine(")	Profondeur captage (m)	ϕ chambre pompage(")	Formation captée	Qualité de l'eau
P1	637	4	581_601	10 3/4	Sables moyens à fins (base du Maastrichtien)	salée
P2	600	4	415_435	10 3/4	Sables et argiles alternés	douce
P3	250	4	205_225	10 3/4	Sables grossiers (niveau supérieur du Maastrichtien)	douce
P4	140	6	110_130	6	Calcaire gréseux (Paléocène)	douce

Tableau I- Caractéristiques techniques des piézomètres de la zone pilote

I.2- Apport de la diaggraphie pour une meilleure reconnaissance géologique.

I. 2.1- Introduction :

La diaggraphie est un enregistrement continu des paramètres physico-chimiques mesurés dans un forage en fonction de la profondeur. Celles réalisées dans la zone pilote sont dites différées car faites après l'interruption de la foration dans un trou non tubé et rempli de boue.

La boue joue un rôle essentiel dans le choix des diagraphies et leur mode d'exécution. L'emploi des diagraphies électriques nécessite une boue conductrice permettant le passage du courant. En effet certaines mesures comme la conductivité, la polarisation spontanée et la température ne portent pas uniquement sur la paroi du forage mais également sur le liquide qui le remplit.

L'objectif de cette opération est de tirer des informations sur la porosité, la géométrie des milieux poreux et perméables, la qualité de l'eau dans les roches, l'épaisseur et les limites des différentes unités lithologiques.

I.2.2. Matériels et procédés :

L'opération a été effectuée par Itawells (CDE-forage) avec un appareil nommé « Géovista ». Ce dernier est muni d'un logiciel de même nom installé dans un micro-ordinateur portable qui permet, in situ le traitement graphique des mesures.

La démarche à utiliser consiste à envoyer la sonde multiparamètre dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble assurant la liaison avec l'enregistreur stabilisé en surface dans un véhicule tout terrain.

L'avantage de cet appareil est de mesurer en un temps tous les paramètres qui nous intéressent notamment :

- La résistivité : petite normale (16") et la grande normale(64") ;
- La polarisation spontanée PS ;
- La mono-électrode ou single point resistivity (SPR) ;
- La conductivité et la température;
- Le rayonnement gamma naturel (Ngamma).

I.2.3- Aperçu sur quelques paramètres :

I.2.3.1- Résistivité électrique (ohm.m) et la conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).

La résistivité de la plupart des roches (sauf quelques gîtes métallifères et quelques minéraux) est de type électrolytique c'est à dire qu'elles conduisent le courant grâce au fluide emmagasiné (ici l'eau).

La résistivité du sous sol dépend :

- o de la qualité de l'électrolyte c'est à dire de la résistivité de l'eau d'imbibition et par conséquent de la quantité de sels dissous ;
- o de la quantité de l'électrolyte ;
- o du mode de distribution de l'électrolyte.

La conductivité dépend alors :

- o de la teneur en ions ;
- o et de la mobilité des ions en solution.

Cette interdépendance se résume par la formule suivante :

$$C = 1/R = f(c_1v_1+c_2v_2.....)$$

c_1 = concentration en ions

v_1 = mobilité des ions

La résistivité dépend aussi de la température dont son augmentation entraîne une chute de la viscosité, la mobilité des ions devient alors plus grande pour un même voltage. Il en résulte une diminution de la résistivité.

La porosité et le mode de connexion des pores déterminent la perméabilité; c'est ce phénomène qui a permis à Archie G.E (1942) d'établir pour une roche saturée, la relation suivante :

$$\begin{aligned} R_{\text{roche}} &= R_w \cdot a \cdot \phi^{-m} & m &= \text{facteur de cimentation} \\ &= R_w \cdot F & a &= \text{facteur de lithologie} \\ & & F &= \text{facteur de formation} \end{aligned}$$

On admet que (Chapellier D,1987) $F = 0.81\phi^{-2}$ (roche meuble)
 $F = 1\phi^{-2}$ (roche carbonatée)

Le phénomène de l'invasion se détermine par les mesures de la petite normale. En réalité la boue exerce sur les parois du forage une pression supérieure à celle de l'eau contenue dans les diverses roches traversées. Dans ces conditions le filtrat, phase liquide de la boue, pénètre dans les roches offrant une certaine perméabilité. La phase solide s'accumule sur la paroi du forage formant le mud cake. Le filtrat crée ainsi une zone particulière appelée zone lavée où l'eau est expulsée ce qui crée des changements des propriétés physico-chimiques.

I.2.3.2- La polarisation spontanée :

Le log de polarisation spontanée, enregistre des différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles. La boue de forage diffère chimiquement de l'eau renfermée dans les formations traversées. C'est la mise en contact de ces fluides dissemblables qui provoque l'apparition de potentiels naturels.

La PS est causée par des forces électromotrices d'origine électrochimique et électrocinétique. Les argiles séparant deux solutions de salinités différentes se comportent comme une membrane cationique ; elles laissent passer les cations mais s'opposent au passage des anions. L'ensemble constitue une pile de concentration dont le pôle positif correspond à la formation la moins saline. Une telle pile donne naissance à une force électromotrice. Le potentiel ainsi créé est appelé « potentiel de membrane ».

$$E_m = -K_1 \text{Log}(R_{mf}/R_w)$$

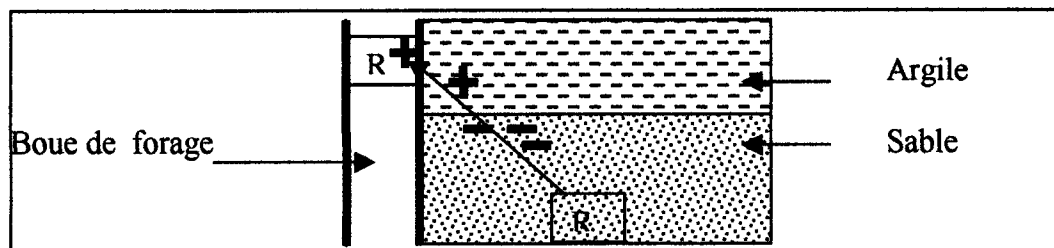


Fig.13a - Potentiel de membrane

Une autre force électromotrice est associée au potentiel de diffusion qui prend naissance à la limite de la zone envahie. En effet lorsque sont mises en présence deux solutions de concentrations différentes, il apparaît une force électromotrice de jonction liquide si la mobilité des cations et des anions n'est pas identique. Il en résulte un flux de charge négative vers la solution la moins concentrée et la création d'une force électromotrice qui vient s'ajouter à celle associée aux substances argileuses.

$$E_j = -K_2 \text{Log} (R_{mf}/R_w)$$

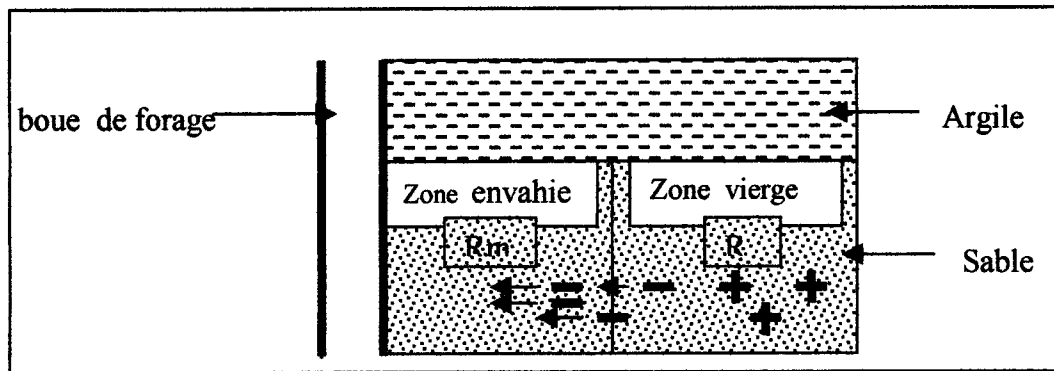


Fig.13b- Potentiel de diffusion

- Intérêts du log PS :

La PS permet :

- o de mettre en évidence les bancs poreux et perméables ;
- o de localiser certains niveaux imperméables ;
- o d'apprécier le pourcentage d'argile contenue dans la roche réservoir ;
- o d'apprécier la résistivité de l'eau d'imbibition R_w ce qui permet d'obtenir la salinité et donc la qualité chimique de cette eau .

L'allure des potentiels enregistrés par la diagraphie PS, dépend pour une part importante des qualités de l'eau ou de la boue utilisée pour forer.

I.2.3.3- Digraphie nucléaire :

Lors de cette étude c'est uniquement le Ngamma qui a été mesuré. La diagraphie Ngamma est une mesure de la radioactivité naturelle. On appelle radioactivité naturelle l'émission spontanée par un noyau de diverses particules ou rayonnement. Les émissions accompagnent souvent la désintégration des noyaux. Dans ces appareils, le détecteur enregistre un nombre de coups par seconde correspondant au nombre de particules l'ayant atteint durant un laps de temps donné. Ce log apporte des informations lithologiques. Il met en évidence les charbons, les évaporites et surtout les niveaux argileux qui constituent souvent les limites des réservoirs dans le sous-sol. Les principaux isotopes radioactifs qui jouent un rôle important sont : ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K .

I.2.3.4- diagraphie de température :

Ces mesures fournissent des renseignements sur l'état thermique des formations en fonction de la profondeur mais également les circulations éventuelles d'eau. Néanmoins le déséquilibre engendré par la boue de forage permet également de mettre en évidence les zones de production.

I.2.4- Interprétations des diagraphies :

L'interprétation combinée des diagraphies réalisées sur les piézomètres P1, P2 et P3 a permis de corriger la description lithologique faite à partir des cuttings.

De 0 à 100m, il n'y a pas d'enregistrement hormis la diagraphie Ngamma car le trou est tubé jusqu'à cette profondeur correspondant à la chambre de pompage. La diagraphie gamma naturel montre l'existence d'une bande d'argile entre 23 et 28m.

A partir de 100m, la PS, Le SPR et la grande normale affichent des valeurs. Rappelons que le SPR (single point resistivity) ou monoélectrode est une mesure de résistance en ohms entre deux points. Il fournit une image qualitative des variations de résistivité des roches tout au long du forage.

Les valeurs de la GN de 7.5 à 18 ohm.m combinées à la déflexion du SPR confirment l'existence d'une bande marneuse entre 95 à 110m.

Entre 110 et 136m, la GN donne une valeur maximale de 37ohm.m, on rencontre des calcaires tantôt gréseux tantôt coquilliers contenant la nappe paléocène responsable de la valeur relativement faible de la résistivité (fig.14a).

En dessous des calcaires, s'épaissit jusqu'à 180m une couche d'argile noire qui attribuée au Danien qui constitue le toit du Maastrichtien avec une valeur moyenne de 30 coups par seconde(cps) pour le Ngamma et une valeur de résistivité grande normale de 2.5ohm.m faible. En effet les argiles s'accompagnent de nombreux minéraux associés aux K, U et Th et les argiles non radioactifs à l'origine adsorbent des cations comportant U et Th. La limite de cette bande d'argile d'une épaisseur minimale de 44m est justifiée par les diagraphies SPR, SP, Ngamma et GN.

Entre 180 et 280m les valeurs de radioactivité Ngamma sont faibles de l'ordre de 10cps et régulières avec la GN variant de 17.5 ohm.m à 23ohm.m. Ces résultats mettent en évidence une couche de sables grossiers imbibés d'eau douce (fig.14b). Ce niveau est capté par la plupart des forages maastrichtiens. De même dans la zone pilote le P3 considéré comme puits d'essai a capté cet aquifère.

Entre 280 et 300m existent deux minces bandes d'argile intercalées dans les sables. En dessous, jusqu'à 335m ce sont les sables grossiers qui continuent.

Entre 335m et 520m tous les quatre paramètres montrent des pics très fréquents qui justifient l'abondance des passées argileuses retrouvées dans la description lithologique.

De 520 à 600m le SPR ne varie presque pas sauf entre 520 et 530, par contre les variations du SP et de la radioactivité naturelle sont très sensibles. Ces variations en pics mettent en évidence les lits d'argile. Ce niveau est constitué de sables fins avec toujours l'existence de minces lits d'argile et une intercalation d'un banc argileux de 10m d'épaisseur. Cependant la diminution régulière de la GN à allure rectiligne en fonction de la profondeur ainsi que la variation remarquable de la PS montrent la présence d'eau salée à partir de 330m devenant très salée en profondeur vers 500m.

Remarques :

La défaillance des diagraphies de conductivité, de température et de la petite normale ont réduit considérablement l'acquisition des informations. En effet la diagraphie de température aurait permis de localiser les venues d'eau mais aussi permettre avec la PN (mesure Rxo) des approximations sur la teneur en argile des couches aquifères.

Quant à la conductivité elle aurait permis de remarquer très facilement l'interface eau douce-eau salée.

Cette défaillance peut être liée à l'appareil lui même ou à l'opérateur sur le choix des modules ou même sur la façon d'exécution de l'opération.

Il est recommandé pour faire les diagraphies de température de:

- o faire les enregistrements en descendant la sonde pour que les températures ne soient pas modifiées par le brassage du fluide dû au passage du câble et de la sonde ;
- o attendre 6 à 12 heures après la remontée pour que la température soit équilibrée ;
- o faire un enregistrement avec une vitesse lente et constante pour que les mesures puissent refléter avec précision la température des différentes formations.

L3- Coupes de forages :

La combinaison des résultats de la diagraphie et l'observation des cuttings ont permis de faire les logs des forages de la zone pilote (fig.15).

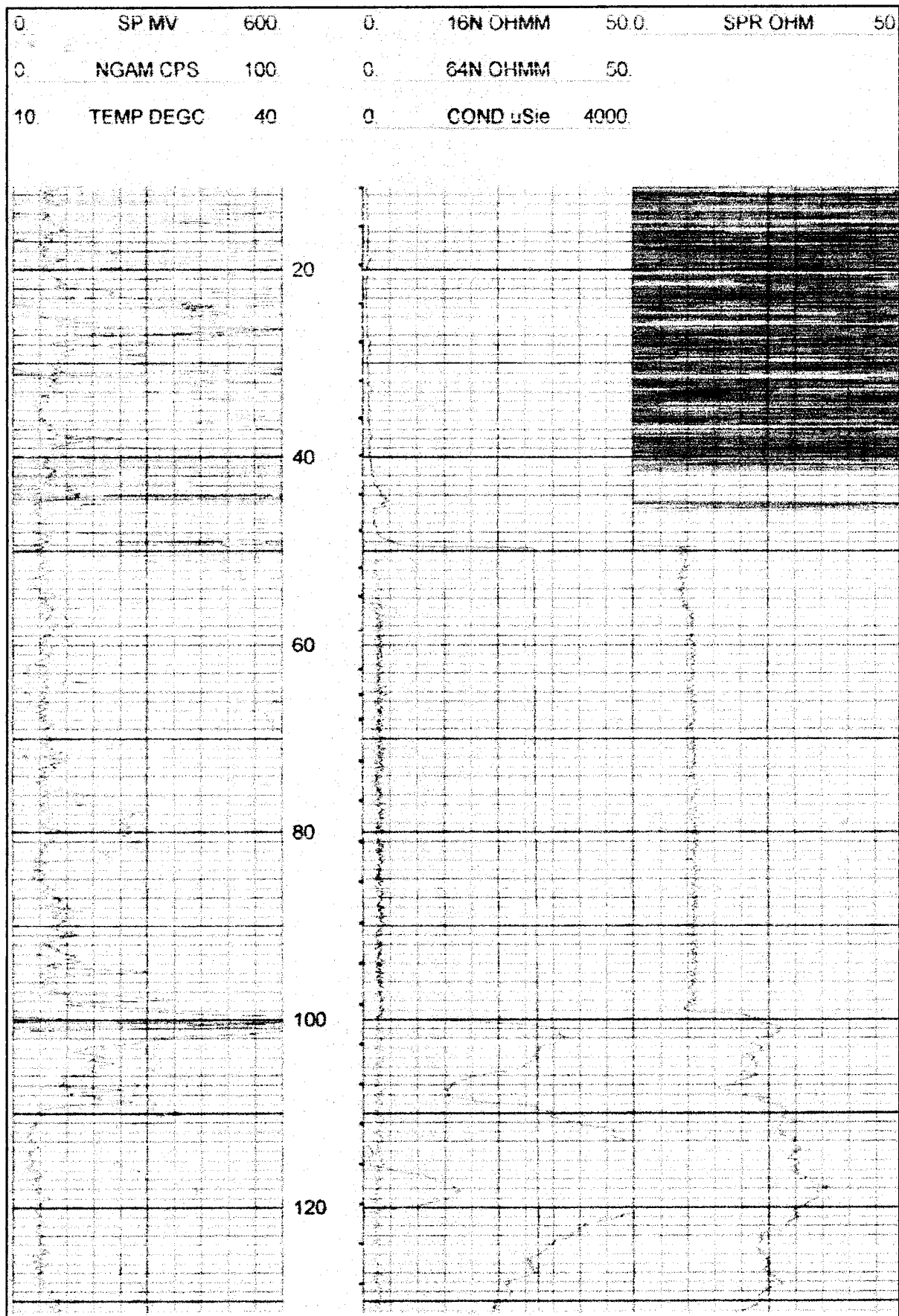


Fig.14a-Diagraphie du P2 entre 0 à 130m (captage du P4)

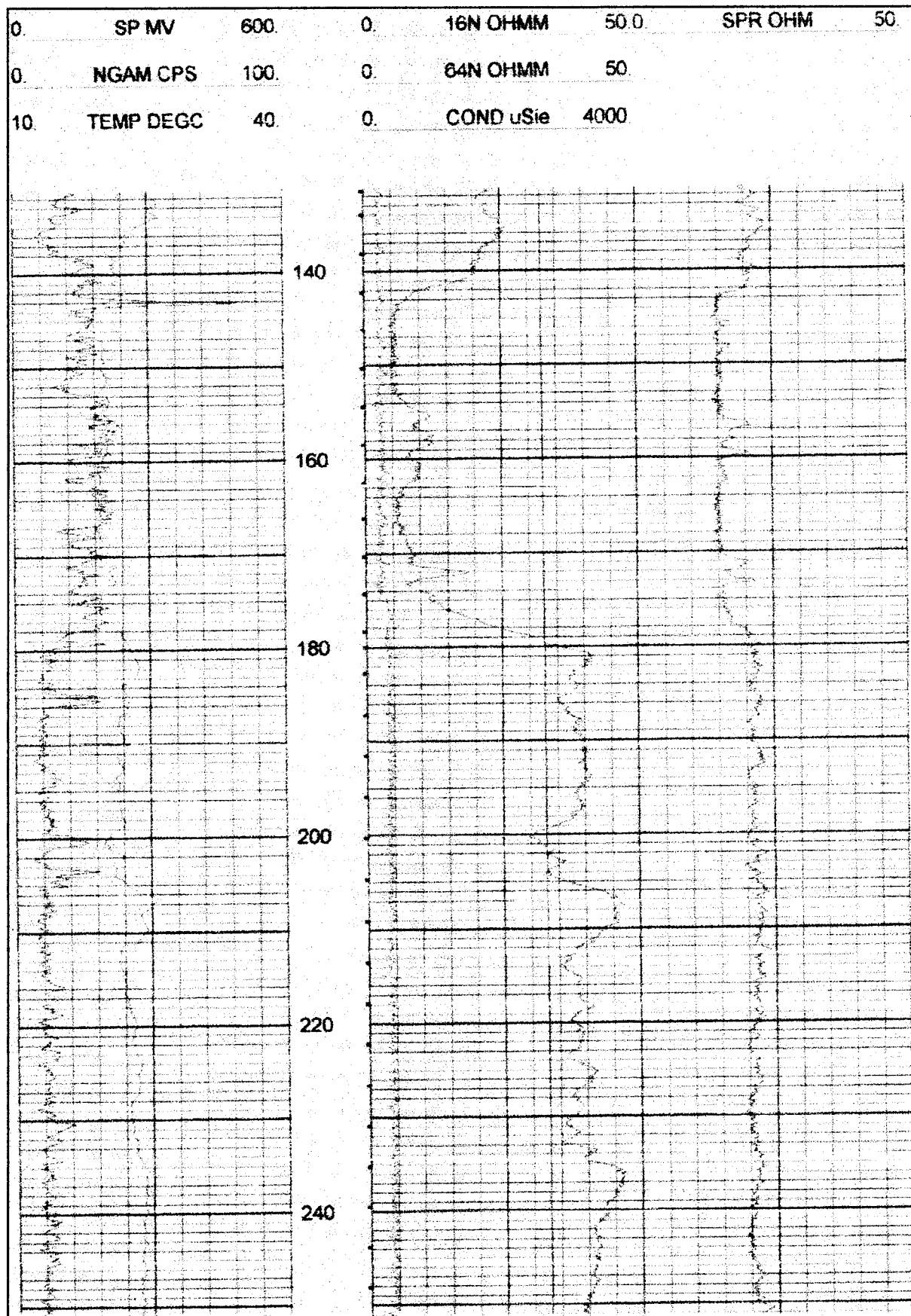


Fig.14b- Diagraphie du P2 entre 130 et 250m (captage du P3)

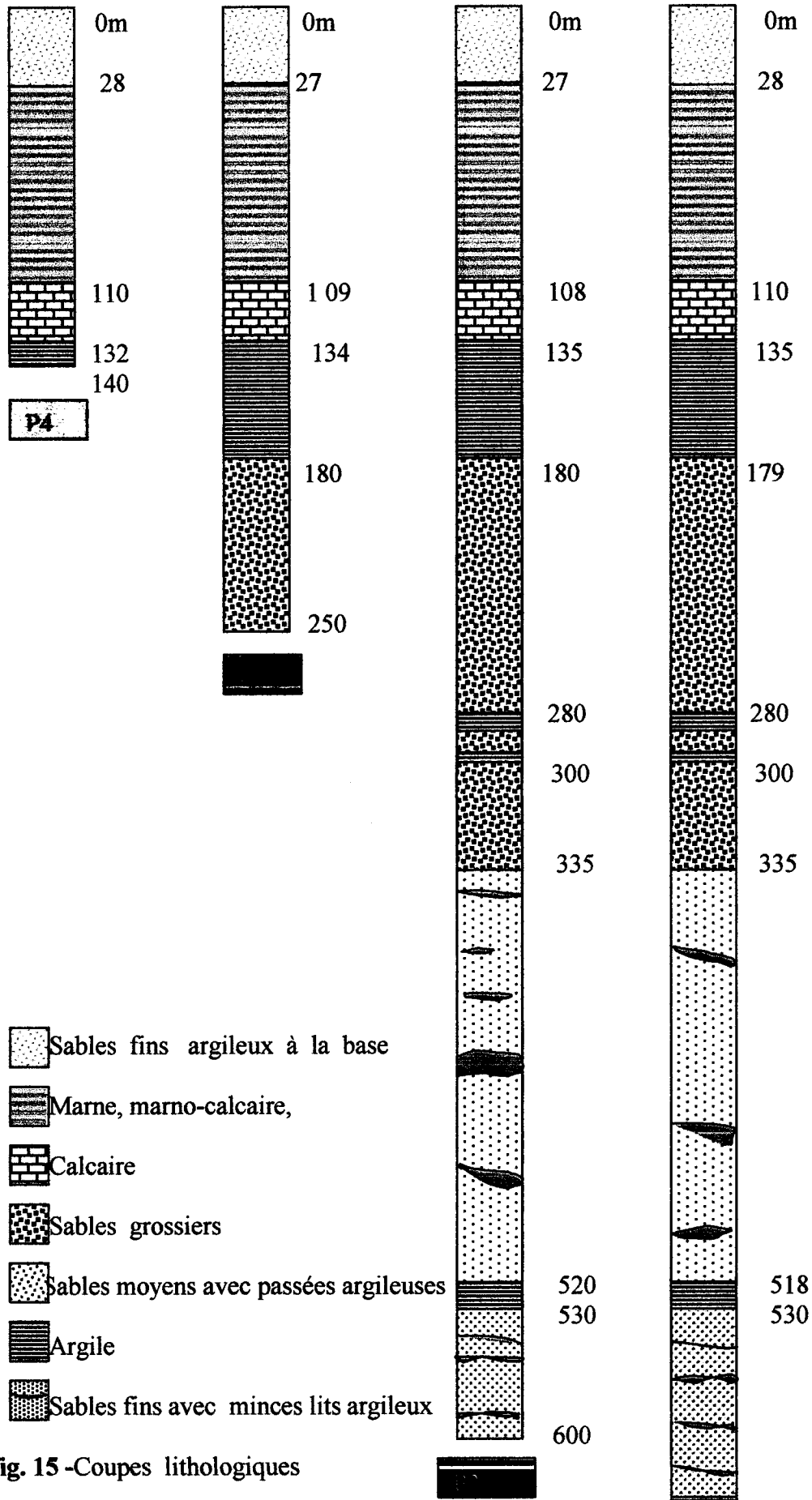


fig. 15 - Coupes lithologiques

I.3.1- Commentaire des coupes de forages :

L'un des intérêts de cette station est l'acquisition de la coupe géologique jusqu'à 637m de profondeur (P1). En gros nous avons identifié dans le secteur sept formations qui se superposent de la base au sommet :

- o argile compacte ;
- o sables moyens à fins ;
- o bancs d'argile et de sable alternés ;
- o sables grossiers ;
- o argile noire ;
- o calcaire gréseux parfois coquillé ;
- o marne ou marno-calcaire jaune ;
- o sables fins.

Cette description simplifiée renferme par ailleurs des hétérogénéités.

Entre 0 et 28m, les sables fins superficiels renferment des niveaux faiblement argileux parfois même des graviers latéritiques. Ils constitueraient l'Eocène supérieur, le Continental terminal et le Quaternaire.

En dessous, sur une épaisseur moyenne de 80m se trouvent les formations de l'Eocène inférieur et moyen constitué de marne, de marno-calcaire ou de calcaire marneux jaunes. Il s'en suit jusqu'à 180m, les formations du Paléocène composées de calcaire gréseux parfois coquillés surmontant les argiles noires du Danien, toit du Maastrichtien.

L'étage du Maastrichtien portant le nom de la nappe du Crétacé supérieur est constitué de sables grossiers blancs coquillers et quartzeux. Son épaisseur moyenne dans le secteur est 100m.

Cette formation repose sur des intercalations d'argile et sable qui appartiendraient au Santonien -Campanien. Ces dernières reposent sur des sables moyens à fins au dessus d'argile compacte qui représenteraient le Cénomano-Turonien.

Remarque: Les délimitations qu'on a tenté de donner dans ce paragraphe n'ont pas encore été justifiées par une investigation paléontologique. En réalité nous avons procédé par analogie avec les découpages proposés par Audibert (1966).

QUATRIEME PARTIE

**CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE
DU MAASTRICHTIEN DANS LE FERLO**

Chapitre I : Aperçu sur le modèle de captage

I.1- Problématique :

I.1.1- Le mur de l'aquifère :

La plupart des forages et piézomètres captent la partie supérieure de l'aquifère. Seuls quelques sondages pétroliers ont traversé l'ensemble de la formation maastrichtienne.

Si la géométrie du toit de l'aquifère maastrichtien est connue avec une précision suffisante, par contre, la configuration et la structure de son mur ne le sont pas. La limite inférieure de l'aquifère maastrichtien devrait cependant être clairement définie pour préparer sa modélisation. Cette définition doit théoriquement être basée sur des critères lithologiques et stratigraphiques, amenant à considérer suivant la localisation, le mur de l'aquifère comme :

- la limite des sables avec la première formation argileuse rencontrée qui peut être éventuellement dans certains cas d'âge maastrichtien ;
- la limite des marnes et argiles du Sénonien ;
- le socle cristallin .

Dans les zones salées, l'interface avec les saumures profondes et immobiles peut servir comme mur de l'aquifère.

I.1.2 Localisation de zone d'exutoire

La distribution des charges hydrauliques sur l'ensemble de l'aquifère et les lignes de courant théoriques correspondantes donnent un schéma général d'écoulement centripète, dirigé globalement vers le centre du bassin (fig.5).

Compte tenu de cette configuration et considérant d'autre part la baisse de perméabilité vers l'ouest. On peut dire que l'exutoire de la nappe n'est pas clairement identifié. L'hypothèse de drainage vertical ascendant vers les nappes superficielles est avancée sur la base de mesures des champs de pression sans toutefois apporter des démonstrations indiscutables.

I.1.3- Processus de transfert d'eau dans le réservoir :

La mise en évidence d'une alimentation récente d'eau au nord ouest écarte l'hypothèse d'un vidange possible par cette limite. L'aquifère maastrichtien paraît dépourvu d'exutoire, or, les méthodes isotopiques ont permis de montrer qu'il est alimenté régulièrement depuis longtemps. Il faut donc admettre que la sortie de l'eau se fait à travers le toit peu perméable du réservoir.

D'autre part la méthode isotopique a également montré que les eaux sont très récentes dans la partie Est du réservoir, malgré l'absence d'affleurement du Maastrichtien dans cette zone, qui est recouvert de niveaux peu perméables. Le processus de drainance semble exister dans les deux sens et intéresser l'ensemble du système. Les échanges entre les nappes supérieure et profonde ne peuvent donc être négligées même dans l'état actuel de l'aquifère peu perturbé par l'exploitation. Un certain nombre de réponses pourront être apportées à l'issu des travaux de la zone pilote.

I.2- Modèle de captage :

Les trois piézomètres P1 et P4 sont distants de 21m par rapport à un point central suivant l'axe N-S alors que P2 et P3 occupent l'axe E-W respectivement éloignés de 20 et 21m par rapport à ce même point. Ces distances ont été choisies supérieures à 5m dans le souci d'éviter une interférence entre les cônes de rabattement de deux forages voisins et les éboulements aux alentours immédiats de l'ouvrage provoqués par l'exécution des travaux de fonçage.

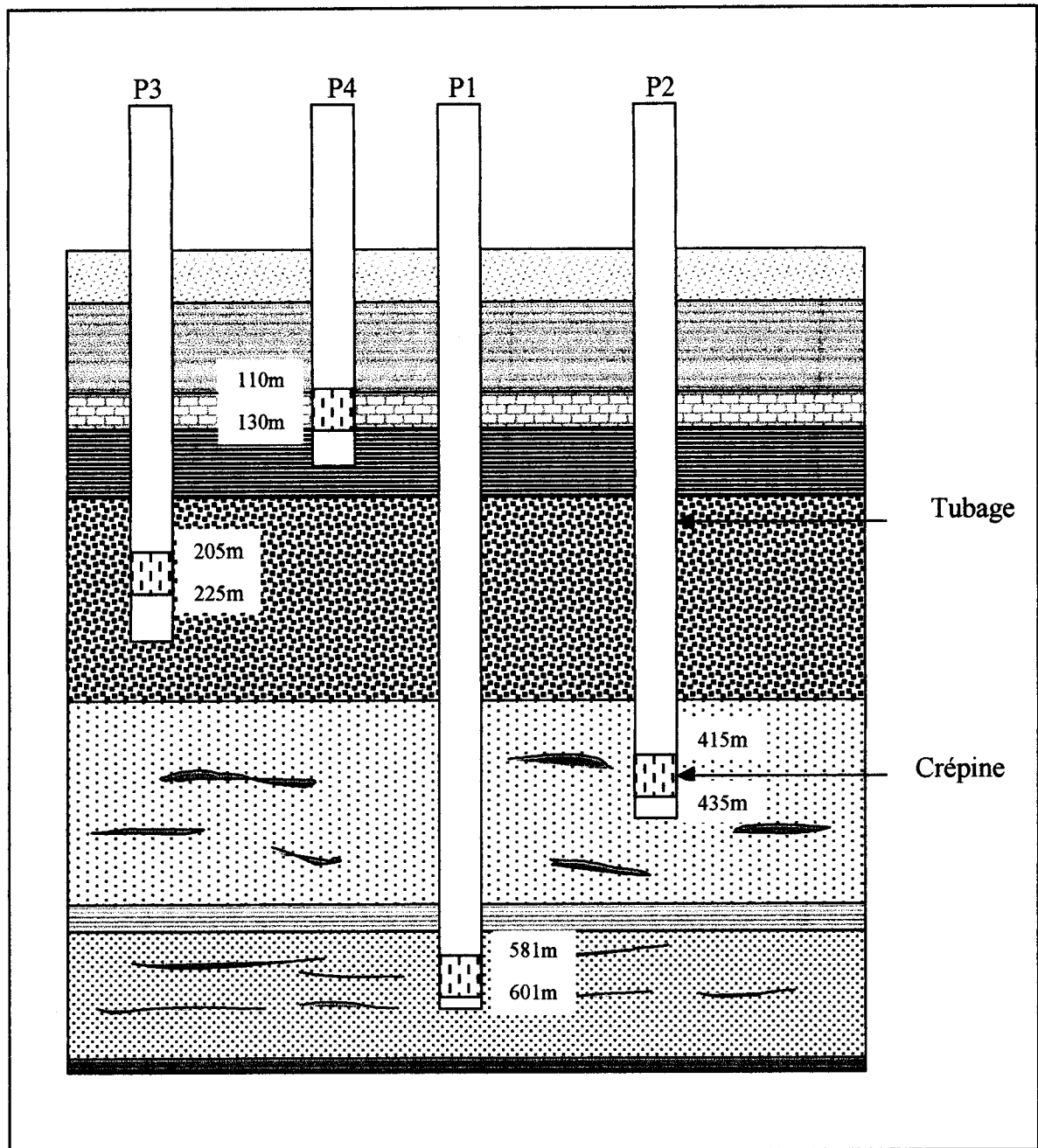


Fig. 16 - Typologie de captage de la zone pilote

Les quatre piézomètres captent différents niveaux (fig.16) :

- Le piézomètre P1 capte les eaux salées rencontrées en dessous de la nappe d'eau douce du Maastrichtien. Suivant la diagraphie, l'interface eau douce-eau salée se situe à 495m, si les eaux dont le TDS est égale à 1000mg l^{-1} sont classées dans les eaux douces. Par contre la figure (17) montre l'interface eau douce-eau salée à 250m, ce qui est infirmé par le P2 qui a fourni des eaux douces dont le TDS est en moyenne égale à 400mg l^{-1} . Ainsi les données de forages pétroliers à partir desquelles sont établies cette carte renferment des erreurs. Le passage entre ces deux eaux se fait à travers des alternances d'argile et de sable. Les eaux salées sont sous jacentes à la nappe maastrichtienne. Elles sont supposées être des eaux connées. C'est à dire enfermée dans les sédiments lors de leur dépôt et pouvant être aussi bien des eaux de lac que des eaux de mer. Le processus se fait par tassement des argiles et l'eau expulsée, pénètre dans les sédiments non compressibles comme les sables et les grés.

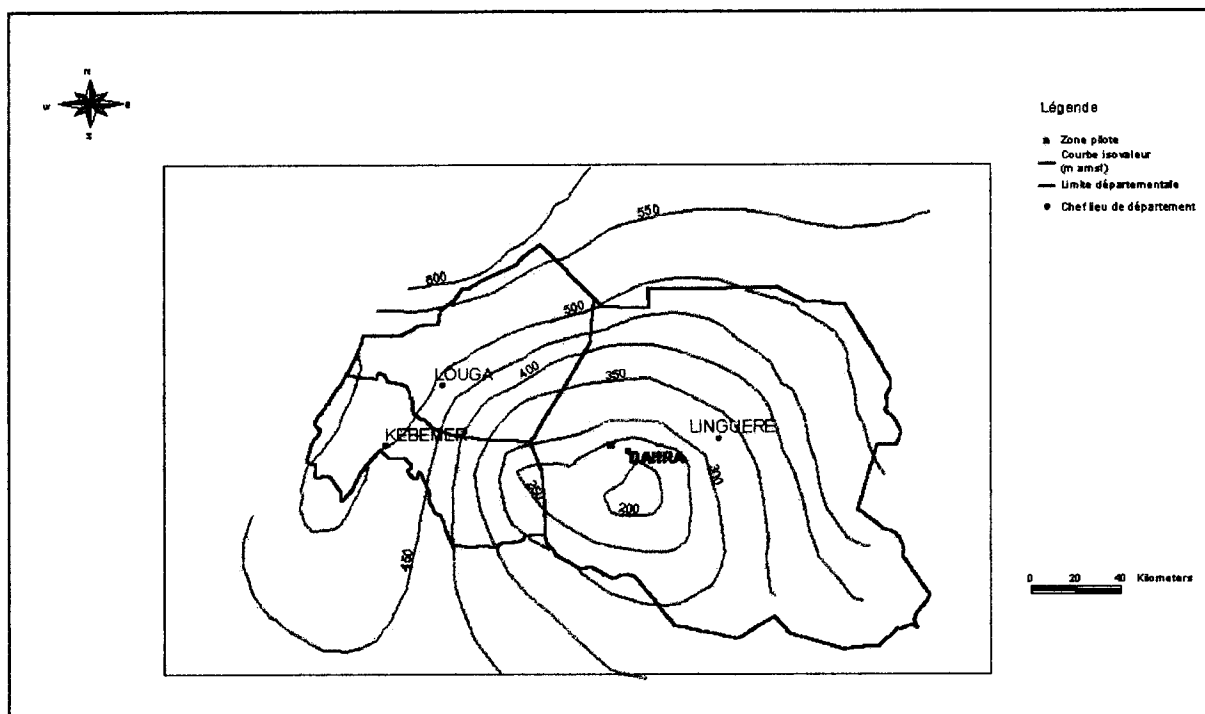


Fig.17- Carte de l'interface eau douce/ eau salée

Le mur de la nappe est en fait déterminé par un équilibre de pression entre les deux liquides qui ne se mélangent pas. La limite inférieure de la nappe est toujours située en dessous du mur du Maastrichtien.

- Le P2 capte le niveau intermédiaire, correspondant aux alternances de sable et d'argile, si l'on considère la nappe comme une seule entité occupant tout le Crétacé supérieur ;
- Le P3 capte les sables grossiers blancs constituant le niveau le plus productif aux eaux douces comme l'ensemble des forages captant le Maastrichtien dans la zone. C'est ce piézomètre qui fera l'objet des pompages de longue durée pour les essais de nappe et ceci dans le souci de respecter les conditions réelles d'exploitation ;
- Le P4 capte les eaux douces du Paléocène contenues dans les calcaires gréseux. L'objectif de ce forage c'est d'observer les éventuelles réactions qui pourraient s'y advenir lors des pompages de longue durée.

Chapitre II : Pompage d'essai

Les acquisitions des données hydrogéologiques les plus classiques en forage sont réalisées à partir d'essai de pompage à débit constant.

Les essais de puits par paliers de débit suivis de périodes d'arrêt, servent à évaluer la productivité et les caractéristiques de l'ensemble ouvrage/aquifère. Ce sont le débit critique, le débit spécifique, les pertes de charges dans l'ouvrage et son environnement immédiat et débit maximum d'exploitation.

Ce type d'essai a pour nos expérimentations un intérêt secondaire dans la mesure où le dispositif réalisé dans la zone pilote n'a pas pour vocation l'exploitation des ressources en eau souterraine.

Les pompages poursuivent trois buts principaux :

- Mesure sur le terrain des paramètres hydrodynamiques : transmissivité et coefficient d'emmagasinement;
- Etude quantitative des caractéristiques particulières de l'aquifère; conditions aux limites (confirmation de la distance du puits à la limite), structure (hétérogénéité, drainance);
- Observation directe en vraie grandeur de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère, prévision de l'évolution du rabattement en fonction des débits pompés, évaluation de la ressource en eau exploitable.

II.1- Essai de pompage par palier de débits :

II.1.1- Notions sur les pertes de charge :

Le rabattement mesuré dans l'ouvrage à l'instant (t) est la somme de deux composantes nommées pertes de charges, exprimées en mètre de hauteur d'eau caractérisant le complexe aquifère/ouvrage de captage.

Ainsi le rabattement total (s) à l'instant (t) s'établit selon Jacob(1946) :

$$s = BQ + CQ^2$$

- Une perte de charge linéaire provoquée par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits, notée BQ. Elle résulte de deux effets :
 - Influence de l'aquifère où l'écoulement laminaire est de régime transitoire. La perte de charge linéaire, imposée par les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, au voisinage du puits, croît avec le temps pompage. Elle est caractéristique de l'aquifère.
 - Influence de la partie captante du puits: remaniement du réservoir, crépine et éventuellement massif. Cette perte de charge dépend uniquement de l'ouvrage.
- Une perte de charge quadratique, non linéaire, provoquée par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, crépine et tubage, notée CQ^2 , fonction uniquement du débit pompé est constante .

II.1.2- Données expérimentales :

Au niveau du P4 on a opéré quatre paliers enchaînés de courte durée d'une heure. Le P1 n'a pas subi de pompage par palier de débit. Un essai de puits en quatre paliers séparés d'une durée de 30mn a été effectué au niveau du P3 contrairement au P2 où les paliers sont enchaînés (fig.18a,18b).

Pour chaque palier on a un couple de données composées par le débit Q de pompage (m^3h^{-1}) et le rabattement résiduel (m) portés sur un graphique en coordonnées linéaires.

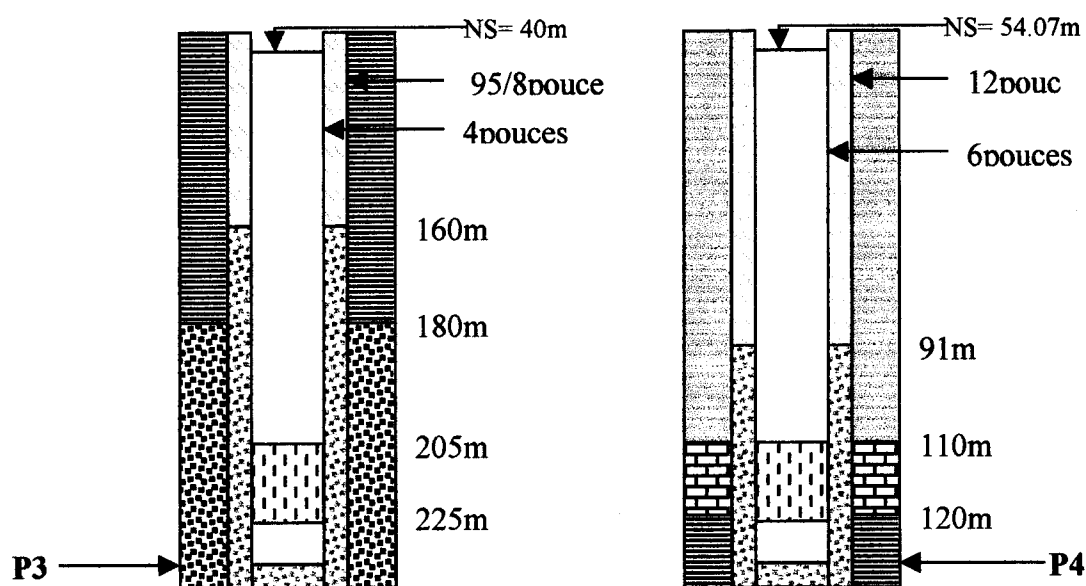


Fig. 18a –Base des colonnes de captage des piézomètres P3 et P4

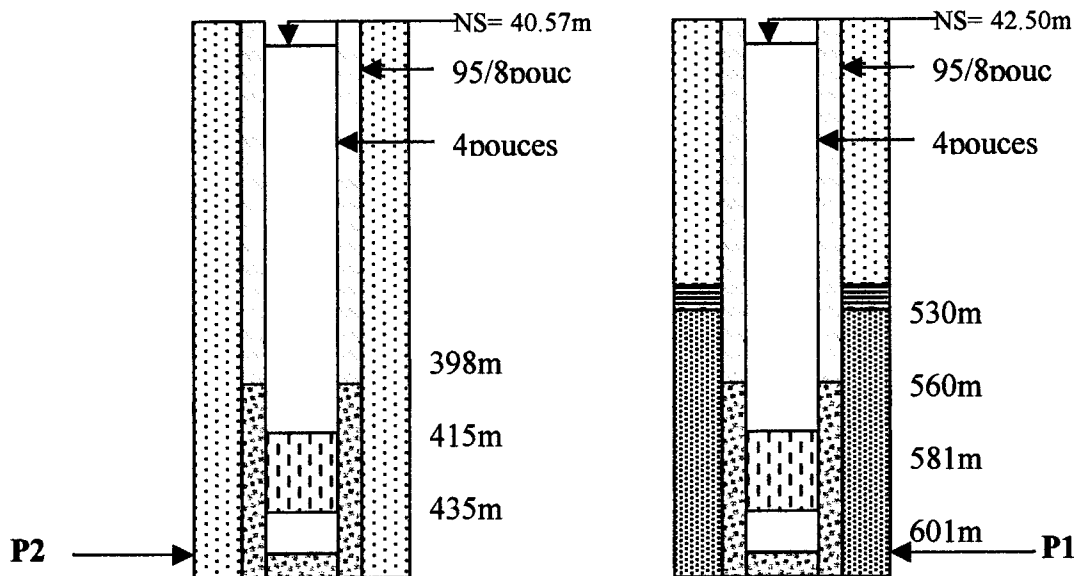


Fig.18b –Base des colonnes de captage des piézomètres P1 et P2

II.1.3 - Exploitation des résultats de pompage par palier :

Les données de pompage par palier de débit ont permis de tracer les courbes caractéristiques (fig.19a,20a,21) des différents piézomètres mais aussi de déterminer leurs pertes de charge (fig.19b,20b). Ces résultats sont récapitulés dans les tableaux II et III.

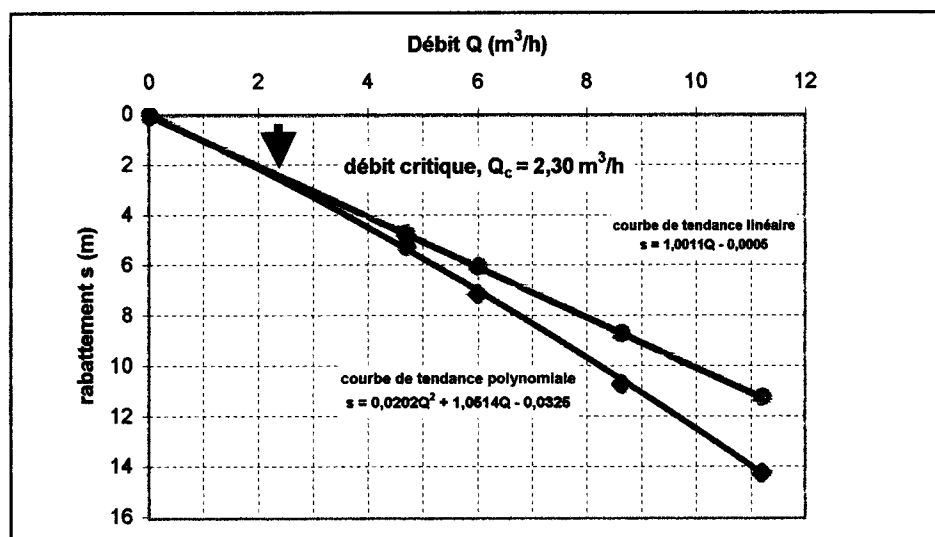


Fig.19a - Courbe caractéristique du P4

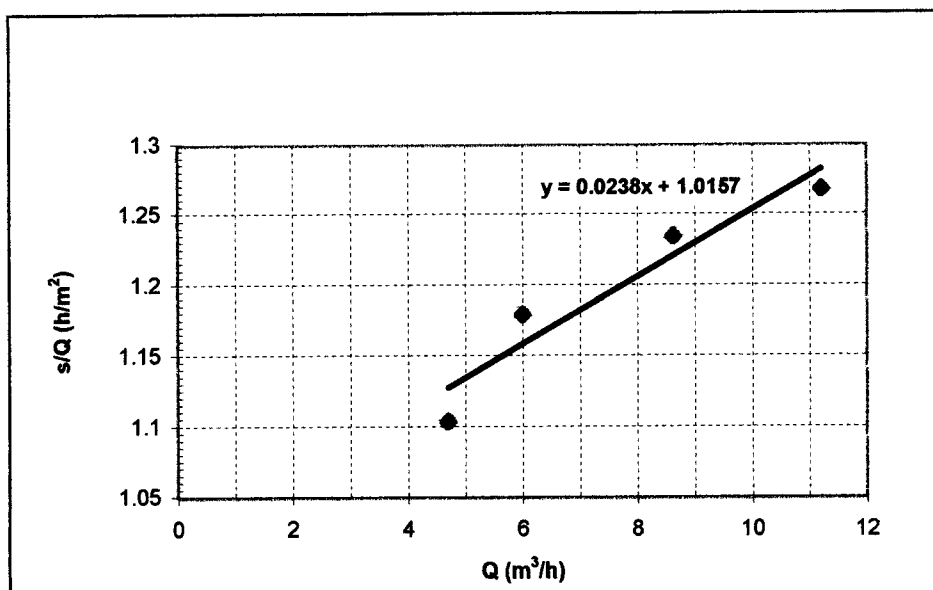


Fig.19b- Détermination des constantes de Jacob, B et C sur le P4

Débit (m3/h)	Q rabattements observés (m)	Pertes de charge quadratiques (m)	Pertes de charge linéaires (m)	Rabattements théoriques (m)	% rel. pertes quadratiques	% rel. pertes linéaires
4,70	5,19	0,53	4,77	5,30	9,92	90,08
6,00	7,08	0,86	6,09	6,95	12,33	87,67
8,63	10,66	1,77	8,77	10,54	16,82	83,18
11,20	14,21	2,99	11,38	14,36	20,79	79,21

Tableau II- Récapitulatif des résultats de l'essai par paliers de débits du P4

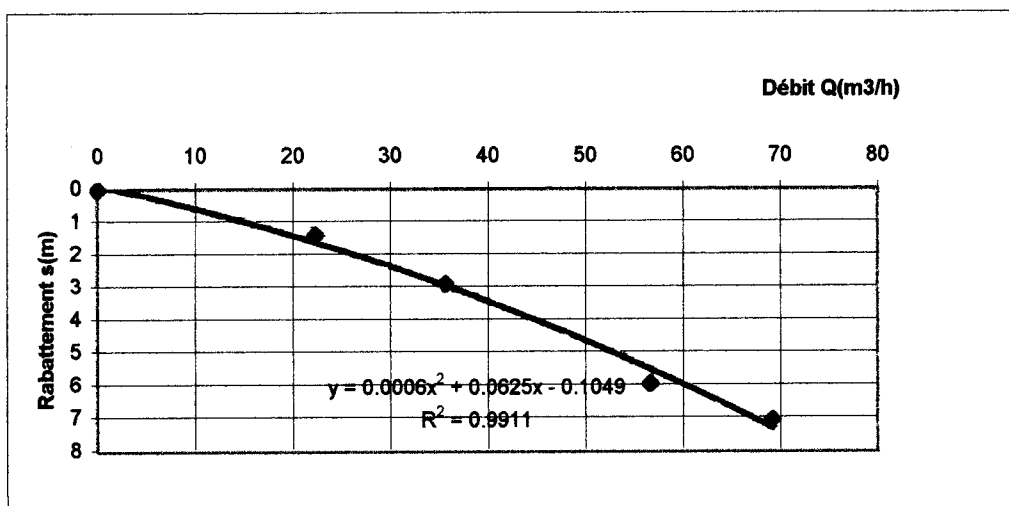


Fig.20a- Courbe caractéristique du P3

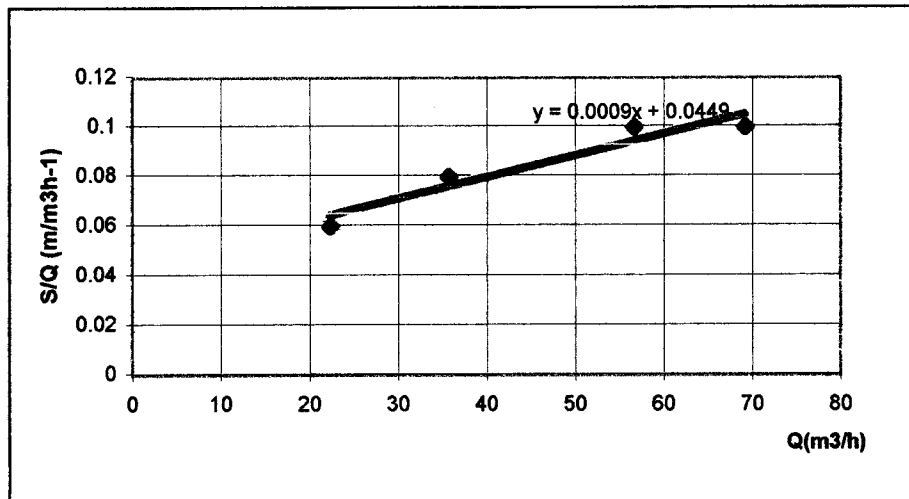


Fig.20b- Détermination des constantes de Jacob sur P3

Débits (Qm3/h)	Rabattemen ts (m)	S/Q (m/m ³ h ⁻¹)	BQ	CQ2	%BQ	%CQ2
22,33	1,38	0,06	1,0026	0,4487	69,08	30,91
35,68	2,89	0,08	1,6020	1,1457	58,3	41,69
56,71	5,94	0,10	2,5462	2,8944	46,8	53,19
69,23	7,05	0,10	3,1084	4,3135	41,88	58,11

Tableau III- Récapitulatif de l'essai par palier du P3

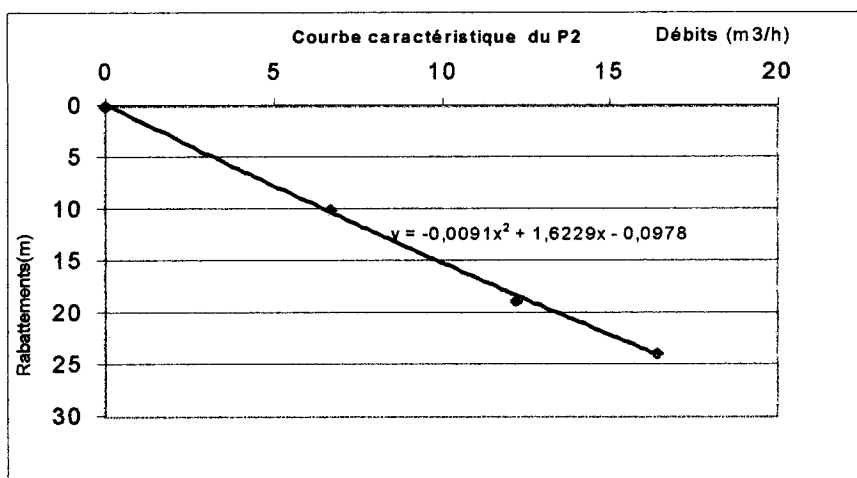


Fig.21- Courbe caractéristique du P2

Les essais par palier de débit du P2 n'ont pas eu la réussite escomptée car le réglage de la vanne ne permettait pas à la pompe de 6 pouces à 6 étages de respecter les petits débits d'essai par conséquent les constantes de Jacob n'ont pas été déterminées. Ainsi la courbe caractéristique du P2 avec son allure hyperbolique, montre un développement au cours de l'essai (fig.21).

II.2- Pompages d'essai de longue durée:

Ces pompages de longue durée sont exécutés en un seul palier à débit constant $69\text{m}^3\text{h}^{-1}$ durant quatre jours sur le P3 et $21.78\text{m}^3\text{h}^{-1}$ pendant 8heures sur le P2.

L'interprétation des données mesurées, rabattements et temps, repose sur l'emploi des expressions hydrodynamiques en régime transitoire, établies par CV.Theis (1935) et Jacob(1950).

II.2.1 -Notions sur le régime transitoire :

C'est un régime d'écoulement variable dans le temps, encore non stabilisé. C'est CV.Theis (1935) qui a établi le premier les expressions de l'écoulement de l'eau souterraine vers les ouvrages de captages, dites en régime transitoire.

Les conditions générales de base d'application de ces expressions sont celles de l'essai de puits:

- validité de la loi de Darcy: écoulement laminaire en milieu isotrope ;
- puits complet ;
- surface piézométrique subhorizontale ;

En outre le type hydrodynamique d'aquifère, base des calculs, doit répondre aux trois caractéristiques suivantes: aquifère à nappe captive, illimité, à substratum et toit imperméable.

L'expression de Theis applicable à tous les dispositifs de station d'essai (Castany G, 1982) est :

$$s = (Q/4\pi T) \int_u^\infty e^{-u} du / u , \text{ ou } (Q/4\pi T) W(u) , \text{ avec } u = r^2 S/4Tt$$

Ce terme $W(u)$ est une fonction exponentielle intégrale décroissante , de type - $Ei(-u)$

$$W(u) = -0,577216 - \text{Log } u + u - u^2/2.2! + u^3/3.3! - u^4/4.4! + \dots$$

La signification des symboles est la suivante:

s , rabattement mesuré dans un piézomètre, en m;

Q , débit de pompage constant, en m^3s^{-1} ;

T , transmissivité en m^2s^{-1}

S , coefficient d'emmagasinement, sans dimension;

T , temps écoulé, à un instant donné depuis le début du pompage en s;

r , distance du piézomètre à l'axe du puits, en m.

Les termes du développement en série de la fonction $-Ei(-u)$, deviennent négligeables comparés au premier terme constant, lorsque le temps de pompage croît. D'où l'expression d'approximation logarithmique donnée par CE. Jacob (1950).

$$s = (Q/4\pi T) \text{Log } 4Tt/r^2S - 0,577216$$

D'où

$$s = (Q/4\pi T) \text{Log } 2,25Tt/r^2S$$

Soit après solution numérique et log décimaux

$$s = 0,183Q/T \log 2,25T t/r^2S$$

II.2.2- Conditions hydrogéologiques:

□ Superposition de nappes:

Le modèle de captage montre une nappe qui occupe l'ensemble du Crétacé supérieur. Le réservoir d'eau douce est constitué de sables grossiers et moyens, il repose sur des sables fins intercalés de minces bandes d'argile. Cet aquifère maastrichtien, dans la zone pilote, est limité au toit par les argiles supposées appartenir au Danien et le mur est constitué d'argiles compactes supposées appartenir au Turonien. Nous avons ainsi une configuration de nappe captive qui est confirmée par les mesures de niveaux statiques situés au dessus du toit de l'aquifère dans les piézomètres P1, P2 et P3. La carte isopièze de la zone d'étude établie avec quelques points, montre que le niveau piézométrique dans la zone pilote est à 1m au dessus du niveau de la mer. Elle montre également l'existence d'un dôme piézométrique au niveau de la ville de Louga. Néanmoins cette carte confirme l'insuffisance de piézomètres dans le centre de la zone.

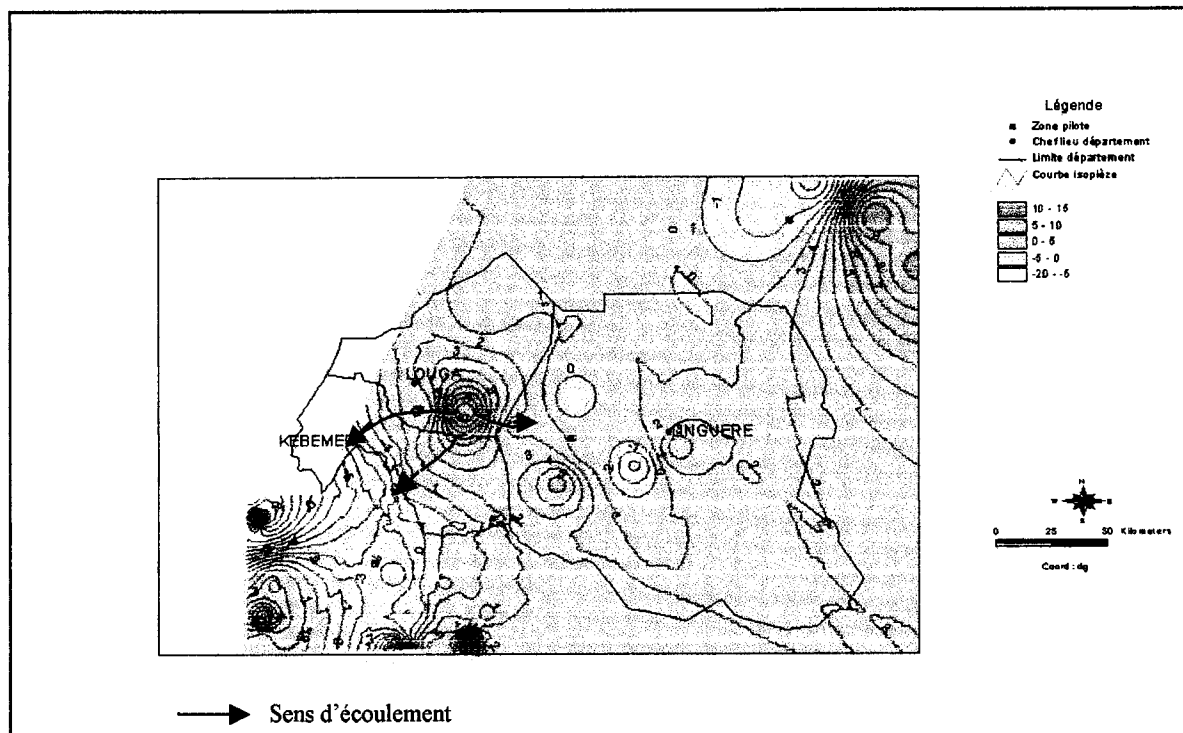


Fig.22- Carte isopièze du Maastrichtien dans le Ferlo

La seconde nappe qui intéresse cette étude, celle du Paléocène, captée par le P4 est également captive. Cet aquifère est constitué par des calcaires gréseux. L'observation des mesures de niveaux statiques par rapport au sol dans les piézomètres captant le Maastrichtien (P1:41,43m; P2:39,70m; P3:39,40m) montre une différence qui confirme la complexité du Maastrichtien dans ce secteur. En réalité il s'agit d'une nappe d'eau douce captée par les piézomètres P2 et P3 qui se superpose à une nappe d'eau salée captée par le P1. Sur cette même démarche le réservoir de la nappe d'eau douce peut être également considéré comme une nappe hétérogène.

Cependant notre modèle de captage n'a pas respecté la condition du puits complet, puits idéal crépiné sur toute la hauteur de la couche aquifère et n'introduisant aucune perte de charge locale à la paroi du puits. En effet le P3 qui joue le rôle de puits de pompage est à pénétration partielle. L'aquifère est si épaisse qu'il est très difficile techniquement et financièrement de réaliser un puits parfait. Dans ce cas de figure, on a un puits incomplet ou puits à pénétration partielle, ne captant qu'une partie de l'épaisseur de la nappe. Or ce type de puits crée des gradients d'écoulements verticaux, provoquant ainsi un écoulement tridimensionnel au moins aux alentours

immédiats du puits pompé. Ce phénomène rend inapplicable les solutions développées ci-dessus pour le puits complet.

Les effets de la pénétration partielle sont indépendants de la réalimentation verticale. Ils produisent des courbes de rabattements-temps analogues dans leur forme à:

- -une drainance à partir d'une couche épaisse semi-permanente présentant un emmagasinement non négligeable;
- -l'effet d'une limite d'alimentation, dans le cas d'un puits pénétrant totalement une nappe libre;
- -l'effet d'une épaisseur variable d'aquifère pour un puits à pénétration totale.
- Ces observations semblables de contextes différents seront éclaircies par l'interprétation des pompage de longue durée.

II.2.3 - Exploitation des données de pompage longue durée :

L'allure des courbes de rabattement des piézomètres P2 et P3 laisse croire à une drainance dont le volume est proportionnel au volume pompé mais il peut être provoqué par des écoulements verticaux (fig.23a,23b,23c).

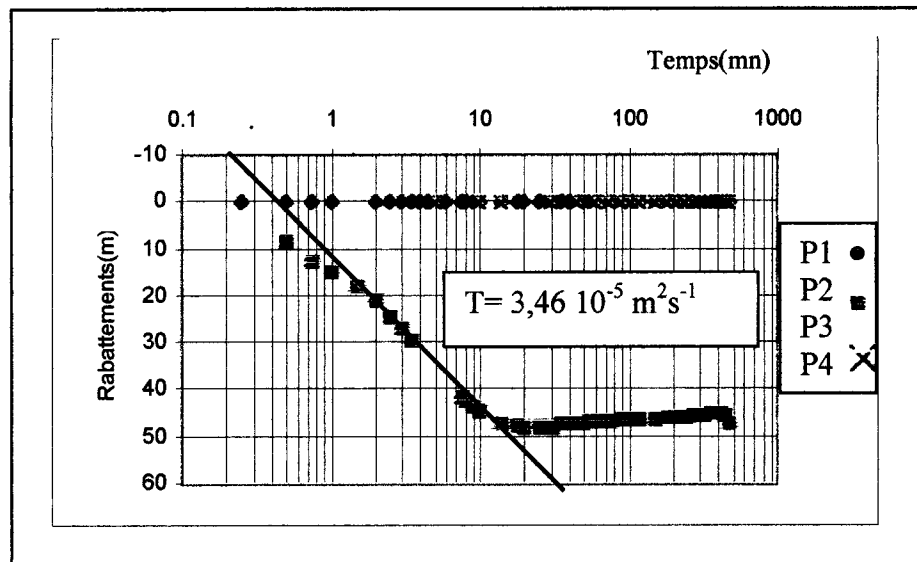


Fig.23a- Allure des courbes de rabattement lors du pompage sur le P2

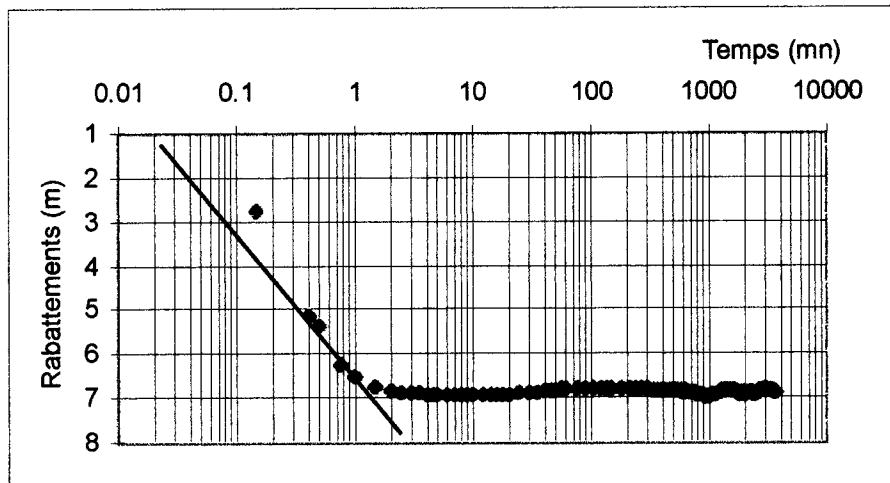


Fig.23b - Courbe de descente du P3 en coordonnées semi-log

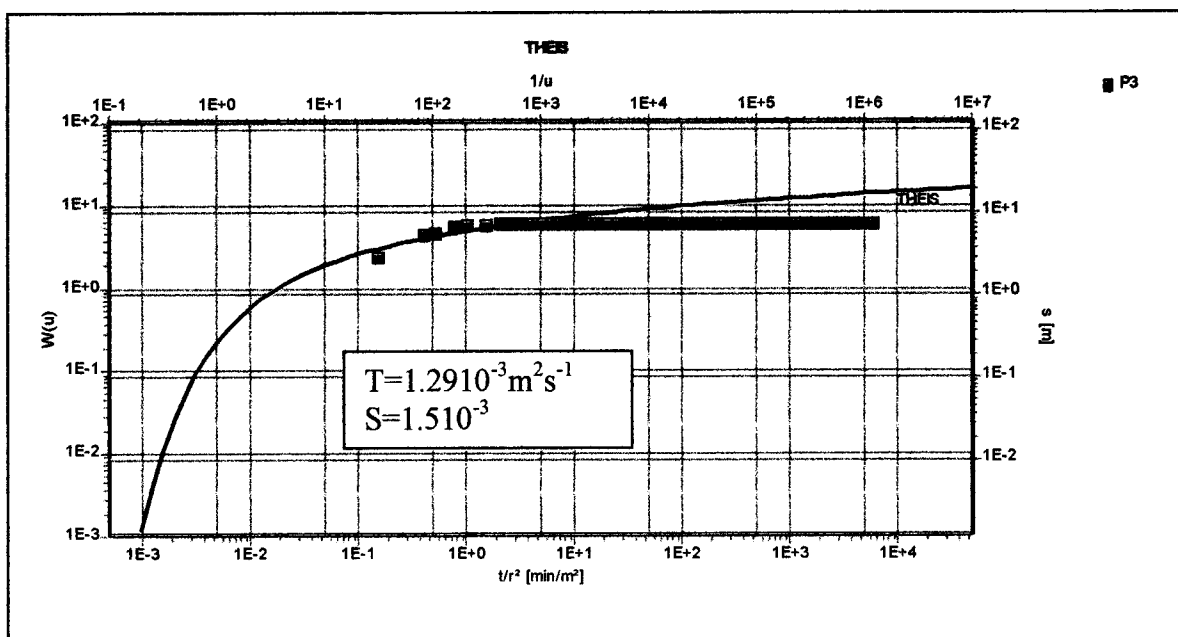


Fig.23c- Courbe de descente du P3 en échelle bilogarithmique

Comme l'eau doit provenir de la réduction de l'emmagasinement de la nappe, le niveau piézométrique continue à baisser aussi longtemps que l'aquifère reste infini. Donc il n'existe théoriquement aucun régime permanent. Or la courbe rabattement-temps du puits pompé montre le contraire.

D'une part l'allure des courbes rabattement-temps sur échelle semi-log est quasi stationnaire (fig.23a). Cela peut résulter de deux hypothèses:

1. ces différents piézomètres ont capté différentes nappes autre que celle du P2.
2. le rayon d'influence est si faible que les effets de pompage sur le P2 ne sont pas ressentis sur les autres.

D'autre part l'allure des courbes des piézomètres P4 et P1 n'est pas surprenant car le premier a capté les calcaires gréseux du Paléocène qui sont séparés du Maastrichtien par les argiles; alors que le second capte le niveau inférieur qui est séparé du niveau intermédiaire par une bande d'argile de 10m d'épaisseur.

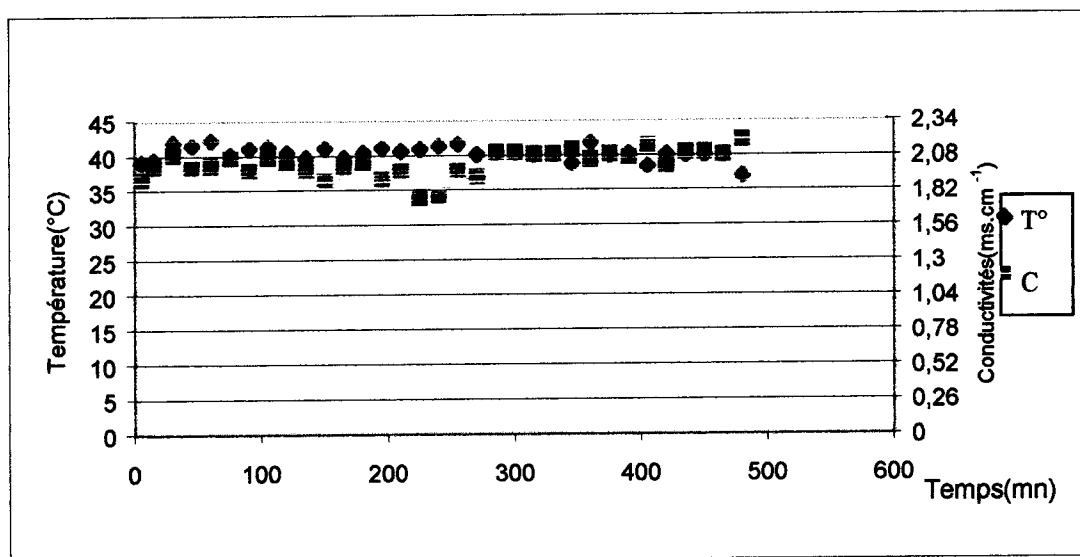


Fig.24- Variation de la température et de la conductivité lors du pompage sur P2

Par ailleurs le P2 , crépiné entre 415 et 435m ,qui devrait jouer le rôle de piézomètre d'observation n'a pas été à la hauteur de nos attentes. Ce dernier refoule des eaux dont le TDS est de 800mg/l. Les températures sont en moyenne 30°C et la conductivité 2ms.cm⁻¹ (fig.24). Par conséquent les niveaux argileux observés entre 280 et 300m sont d'une étanchéité non négligeable.

Le P3 offre des eaux de TDS moyen égale à 400mg/l. Par contre les eaux du niveau inférieur ont un TDS variant autour de 13 000mg/l.

Vu tout cela, la détermination des paramètres hydrodynamiques devient plus difficile, mais nous avons proposé de travailler avec un piézomètre fictif nommé P3f

distant d'un mètre du P3. La détermination des constantes de Jacob nous a permis de connaître les rabattements réels spécifiques aux capacités de la nappe ($\%BQ = 41,88$). C'est ainsi que sur la base des pertes de charges linéaires, la détermination des rabattements dans un piézomètre fictif situé à 1m du P3 a permis d'obtenir grossièrement un coefficient d'emmagasinement (fig.25).

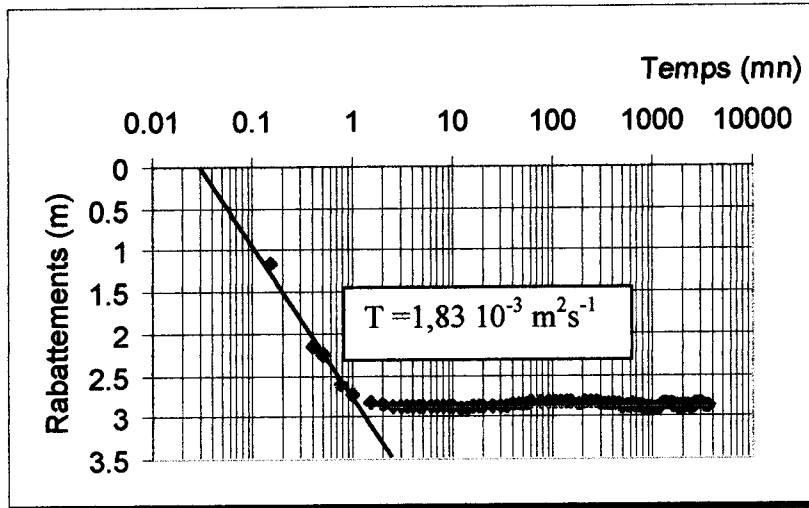
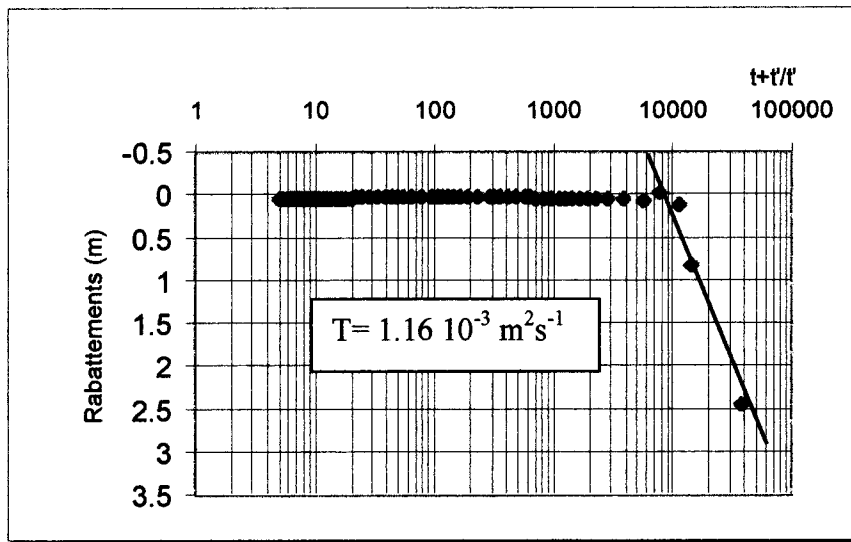


Fig.25- Courbe de descente du P3f en semi-log

Methode	Transmissivité ($m^2.s^{-1}$)	Coeff.emmag.	Rayon d'influence(m)	Perméabilité ($m.s^{-1}$)
Jacob	1.8310^{-3}	7.610^{-3}	12.21	1.8310^{-5}
Theis	1.2910^{-3}	1.510^{-3}	11.19	1.2910^{-5}

Tableau IV - Récapitulatif des résultats du pompage longue durée.

Tableau IV - Récapitulatif des résultats du pompage longue durée.**Fig.26** Courbe de remontée du P3

L'expression de la remontée, après arrêt du pompage, est:

$$sr = 0,183Q / T \log (t + t' / t')$$

sr, est un rabattement résiduel mesuré à un instant donné pendant la remontée, en m ;

t, temps écoulé depuis le début du pompage;

t', temps écoulé depuis l'arrêt du pompage.

Les résultats obtenus lors de la remontée sont reconnus être plus fiables que ceux obtenus lors de la descente, étant donné que les conditions de pompage notamment le régime de la pompe utilisée, ne sont généralement pas constantes, et que seules les caractéristiques de la nappe influencent la remontée et non plus celles du forage ou du pompage (fig.26).

L'hypothèse de la faiblesse du rayon d'influence se confirme également car la distance entre P3 et P2 est égale à 29m.

Toutefois par souci de précaution on a également utilisé les méthodes de correction des puits à pénétration partielle établies par Jacob en régime permanent et Hantush en régime transitoire pour les pompages de longue durée, décrites par Kruseman G.P. et De Ridder N.A (1974).

II.2.4- Méthode de correction de pénétration partielle :

II.2.4.1 -En régime permanent (Jacob) :

La méthode de correction de Jacob s'appuie sur les formules données par Muskat (1937, In Kruseman G.P. et De Ridder N.A. (1974).

L'écart entre le niveau réel et le niveau donné par une loi purement logarithmique vaut, à une distance r du puits de pompage.

$$\delta = \frac{(2/\pi P) \sum_{n=1}^{\infty} \left[(\pm 1)^n K_0(n \pi r/D) \sin(n \pi P) \right]}{n}$$

Où K_0 est la fonction modifiée de Bessel de seconde espèce et d'ordre zéro (fonction de Hankel).

Le signe positif s'applique à la répartition du rabattement au toit, tandis que le signe négatif s'applique à la répartition au mur de l'aquifère.

$P = d/D =$ rapport de pénétration

$\delta =$ facteur de correction des rabattements

De là on tire :

$$(s_m)_{\text{complet}} - (s_m)_{\text{partiel}} = \delta Q / 2\pi kD$$

où $(s_m)_{\text{complet}}$ $(s_m)_{\text{partiel}}$ est la correction de rabattement, c'est à dire la différence entre le rabattement observé $(s_m)_{\text{partiel}}$ et le rabattement $(s_m)_{\text{complet}}$ que l'on aurait mesuré si le puits de pompage, toutes choses égales par ailleurs, avait traversé la totalité de la nappe.

II.2.4.2- Régime transitoire (Hantush) :

Pour une longue durée de pompage, on utilise la modification de Hantush de la méthode de Jacob pour la pénétration partielle (fig.27).

$$T > D^2 (S/D)/2k$$

Le rabattement vaut selon Hantush (1962)

$$s = Q [w(u) + f_s (r/D, b/D, d/D, z/D)] / 4 \pi K d$$

Où $W(u)$ est la fonction de puits de Theis et

$$f_s = (4D^2 / \pi^2 (b-d)(b'-d')) \sum_{n=1}^{\infty} (1/n^2) K_0 (n\pi r/D) * [\sin (n \pi b/D) - \sin(n\pi d/D)] * [\sin (n \pi b'/D) - \sin(n\pi d'/D)]$$

NB: les angles s'expriment en radians.

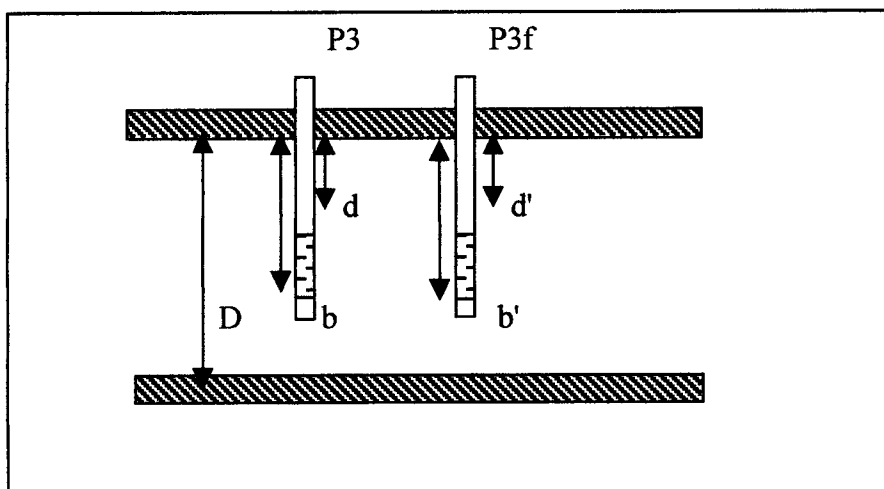


Fig.27- Illustration schématique des paramètres de la modification de Hantush de la méthode de Théis

$$D = 100m, b = b' = 45m, d = d' = 25m$$

En échelle semi-log la courbe rabattement-temps affiche une droite dont la pente est :

$$\Delta s = 2,3Q/4\pi KD$$

Cette droite rencontre l'axe des abscisses ($s=0$) au point(fig.23b) :

$$t_0 = 1.08 s = Sr^2/2,25Te^{fs}$$

Methode	Facteur de correction	Transmissivité (m^2s^{-1})	Coeff.emmag.	Rayon (m)	Perméabilité($m.s^{-1}$)
Jacob	$\delta= 0,028$	2.1910^{-3}	5.910^{-3}	15.21	2.1910^{-5}
Hantush	$F_s = 1,65$	1.8310^{-3}	$23.15 10^{-3}$	3.26	1.8310^{-5}

TableauV - Récapitulatif des résultats du pompage longue durée après correction

II.3- Conclusion

Les paramètres hydrodynamiques du Maastrichtien dans ce secteur qui sont de l'ordre de 10^{-3} pour la transmissivité et l'emmagasinement montrent l'importance de cette zone pour une éventuelle centre de captage. Mais, il faut admettre que les eaux captées dans ces nappes sont sans rapport avec l'alimentation actuelle, et qu'elles sont essentiellement et pendant très longtemps, pour partie prélevées sur les réserves (produit de la décompression), et pour partie (croissante avec le temps) dues aux modifications de transfert d'eau à travers le mur et le toit des couches aquifères.

Le captage de l'eau des nappes captives n'est possible, et durant très longtemps, qu'en régime transitoire et on a pas la possibilité de choisir entre une exploitation présumée équilibrée et une exploitation en régime non équilibré (Margat J,1967). Toute exploitation de la nappe captive est en soi une surexploitation, et on peut seulement en choisir la mesure. La définition de la ressource ne dépend pas d'une estimation de l'alimentation de la nappe, elle ramène au choix du déclin des pressions jugées les plus admissibles.

CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

Le secteur de Dahra et environs, se trouve à l'ouest de la bande salée orientée nord sud. Le réservoir maastrichtien présente dans ce secteur de grandes épaisseurs, plus de 200m de sables perméables, renfermant des eaux admissibles ($400 < \text{TDS} < 1000 \text{mg/l}$) suivant les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Pailleurs une découverte vient d'être faite avec l'aquifère paléocène, aux ressources jadis supposées négligeables dans ce secteur et constitué par des formations calcaires gréseuses pouvant fournir des débits de l'ordre de $15 \text{m}^3 \text{h}^{-1}$ avec une pompe de 4 pouces.

En ce qui concerne les paramètres hydrodynamiques de la nappe maastrichtienne dans la zone, on trouve en moyenne :

- une transmissivité $T = 1.810^{-3} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$;
- un coefficient d'emmagasinement $S = 9.510^{-3}$
- une perméabilité $K = 1.810^{-5} \text{ms}^{-1}$

Ces résultats montrent les énormes capacités de ce réservoir maastrichtien dans ce secteur.

Toutefois la carte piézométrique du secteur montre des lacunes dues à une insuffisance des piézomètres captant le Maastrichtien au nord ouest de Dahra. La mise en place d'un réseau complémentaire de piézomètres devrait permettre de mieux caractériser la géologie mais aussi d'élucider les conditions hydrogéologiques au nord du Ferlo.

La zone pilote qui pourrait être aménagée en centre de captage pour l'approvisionnement des villes comme Touba, Mbacké et Diourbel doit satisfaire à un certain nombre de critères:

- Disposer d'un forage de gros diamètre pouvant donner des débits de 200 à $250 \text{m}^3 \text{h}^{-1}$ distant de 12m du P3. Pour ce, le diamètre des crépines doit être du 8 "5/8 sur une

longueur de 30m et celui de la chambre de pompage du 13" 3/8 , située à une profondeur de 100 à 110m.

- Ce forage jouera le rôle du puits d'essai et le P3 le piézomètre d'observation. Le pompage se fera sur une durée d'au moins quatre jours.

Lors de ces travaux, il y'a un certain comportement à respecter :

- éviter les immobilisations de chantier sans pour autant assurer des circulations régulières de boue ;
- veiller à une exploitation rationnelle des données de forage, mesures instantanées lors de la foration telles que la vitesse d'avancement et la pression sur l'outil mais également les mesures différées surtout la conductivité et la température qui donnent des résultats fiables sur les venues d'eau et la variation de la salinité en fonction de la profondeur ;
- veiller au respect stricte des techniques de diagraphie notamment les mesures des paramètres de la boues d'injection.

Dans un cadre plus général :

- j'invite également le SGPPE, à une révision de la banque de données mais aussi à une attention particulière sur le traitement des données et des conditions d'échantillonnage ;
- à procéder à un découpage du territoire sénégalais en différentes zones d'étude attribuées aux différents techniciens pour une amélioration de ce travail déjà entamé afin de mieux gérer la carte d'identité hydrogéologique du pays.

Enfin je ne saurai terminer sans inviter nos autorités à une meilleure attention vis à vis des populations de Mboussobé et environs. Ces dernières se trouvent dans un manque criard d'eau. Les villages de Mboussobé, Ndioussy, Niandoul et les hameaux peuls ne disposent pas d'eau ni en permanence ni en quantité suffisante, ce qui les oblige à consommer l'eau des marigots en même temps que le bétail ou faire 9km pour s'approvisionner en eau potable. Or l'eau est sur notre planète est un des éléments essentiels au maintien de la vie. C'est aussi une ressource inégalement répartie à la surface du globe et les grandes modifications climatiques qui ont affecté durant une décennie toute la région sahélienne de l'Afrique, ont montré sa valeur inestimable dans les pays tropicaux.

L'exploitation actuelle de la nappe des sables maastrichtiens entraîne une diminution inéluctable de ses réserves, qui ne se traduit que par une diminution modérée de la pression. Il est souhaitable de poursuivre les observations régulières et précises sur l'état des pressions et débits prélevés dans la nappe.

Ces données seront utiles en particulier pour évaluer les ressources exploitables, si l'on augmente globalement ou dans un secteur restreint le débit prélevé dans la nappe. Cette évaluation conduirait à définir un nombre optimal de forages pour un niveau de pompage économique.

Références bibliographiques

- Archie G.E. (1942)**-The Electrical Resistivity Logs as and Aid in Determining Some Reservoir Characteristics.*Trans AIME*. p.46-54.
- Audibert M.(1962)** – Hydrogéologie de la nappe maastrichtienne du Sénégal.*Rap. BRGM*, Dak.62 A14.
- Audibert M.(1964)**-Hydrogéologie de la nappe maastrichtienne du Nord du Sénégal(campagne 1962-1963) *Rap.BRGM*, Dak 64-A22 ,38p.
- Audibert M.(1966)** - Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal « Nappe maastrichtienne » .Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Montpellier, 1963 ; *Mem. B.R.G.M.* , 41, 84 p.
- Bellion Y.J.C.(1987)** - Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l' étude de quelques bassins sédimentaires.(Sénégal, Taoudéni, Iullemeden, Tchad).*Thèse Sciences*, Univ. Avignon, 296 p.
- Castany G.(1982)**- Principe et Méthodes de l'Hydrogéologie. *Ed. Dunod*, Paris, 238p.
- Chapellier D. (1987)**- Diagraphies appliquées à l'hydrogéologie.*Lavoisier-TECDOC*.164p.
- Davis,S.N. et De Wiest (1967)** – Hydrogeology.2nd Ed.463p.NY , London ,Sydney.
- Degallier R. (1954)** - Hydrogéologie du Ferlo septentrional (Sénégal).*Mem.B.R.G.M.* , 2, 24p.
- Diéne M. (1995)**- Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de la nappe superficielle du Ferlo septentrional. *Thèse 3^{ème} cycle*, Univ. C.A.Diop, Dakar,87p.
- Dieng B. (1987)**- Paléohydrologie et hydrogéologie quantitatives du bassin du bassin sédimentaire du Sénégal. Essai d'explication des anomalies piézométriques observées. *Thèse Sciences*, Ecol.Nat. Sup.Min. , Pris, 172 p.
- Doumouya I. (1988)**- Synthèse des propriétés de réservoir, des électro-faciés et des faciés sédimentologiques de l'aquifère maastrichtien : Etablissement d' un outil d'équivalence. *Thèse 3^{ème} cycle*, Univ. C.A.Diop, Dakar, 123 p.
- Faye A. (1994)**- Recharge et paléorecharge des aquifères profonds du bassin du Sénégal. Apport des isotopes stables et radioactifs de l'environnement et implication paléohydrologique et paléoclimatique. *Thèse Sciences*, Univ. C.A.Diop,Dakar,185 p.
- Jacob C.E.(1946)** – On the flow of water in an elastic artesian aquifer.*Am.geoph.union. Trans*.72p.
- Jacob C.E.(1950)**- Flow of groundwater.*In Rouse*, Engineering Hydraulics.p34-386
- Kruseman G.P. et DE Ridder N.A. (1974)**- Pumping Test Data and Evaluation. *Bull. ILRI*. Wageningen.377p.

- Lappartient J.R. (1978)** – Le Continental terminal du Sénégal. Une formation marine néogène continentalisée. *In* : Proc.2d Working Conférence, Projet n° 127 IUGS- IGCP, Revision of the concept of Continental terminal in Africa, Ahmadou Bello Univ., Oceans Pbli., 1, 7,5 p.
- Lepriol J. et Dieng B. (1985)**- Synthèse hydrogéologique du Sénégal 1984-1985, *Rap. Synthèse*, Dir. Gén. Hydraul., DEH , 01-85-MH ,77 p.
- Hölting B.(1996)** – Hydrogéologie, Stuttgart(Enke Verlag) 5è Ed.441p,114fig,46 tab.
- Margat J.(1967)**- Le bilan des nappes captives. *Rap. BRGM DS 67 A 85*
- Michel P. (1973)** – Les bassins du fleuve Sénégal et de la Gambie. Etude géomorphologique. *Thèse lettres*, Strasbourg, et Mem. ORSTOM , Paris, 3 tomes, 743 p.
- Monteillet M. (1986)**.- Evolution quaternaire d' un écosystème fluvio – marin tropical de marge passive .Environnements sédimentaires et paléoécologie du delta et de la basse vallée du Sénégal depuis environ 100000 ans. *Thèse Sciences*, Univ . Perpignan, 264 p.
- Moussu H. et Vuillaume Y. (1972)** - Etude par la méthode isotopique de la nappe des sables maastrichtiens et du Continental terminal du Sénégal. *Rap.B.R.G.M.*, 72 SGN 029 AME , 35 p.
- Ndiaye B. Aranyossy J.F. et Faye A (1993)**- Le rôle de l'évaporation dans la formation des dépressions piézométriques en Afrique sahélienne :hypothèses et modélisation . *A.I.E.A.-TECDOC* ,721, 53-63.
- Sarr R. (1982)**- Etude géologique et hydrogéologique de la région de Joal – Fadiouth (Sénégal). *Thèse 3^{ème} cycle*,Univ . C. A. Diop, Dakar,191 p.
- Theis C.V. (1935)**- The relation between the lowering of the piezometersurface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.*Am.geoph.Union Trans.*p519-524.
- SGPRE-Cowi.(2000)**- Synthèse structurale. *Doc. Tav. PSE*. SGPRE.M.E.M.H
- Travi Y. (1988)** – Hydrogéochimie et hydrologie isotopique des aquifères fluorurés du bassin du Sénégal. Origine des conditions de transport du Fluor dans les eaux souterraines. *Thèse Sciences*, Univ. Paris- sud, 216 p.

Liste des figures

	Page
Fig.1 Carte de localisation du secteur d'étude -----	5
Fig.2 Carte isobathe du toit de la nappe maastrichtienne au Ferlo -----	7
Fig.3- Coupe hydrogéologique schématique à travers le bassin du Sénégal -----	11
Fig.4 - Carte structurale synthétique dans la zone du Ferlo -----	12
Fig.5- Carte piézométrique isopièze de la nappe maastrichtien -----	14
Fig.6- Carte de distribution spatiale des forages maastrichtiens -----	19
Fig.7- Carte de distribution spatiale des teneurs en résidus secs du Maastrichtien dans le Ferlo -----	20
Fig.8- Représentation des eaux maastrichtiennes de la partie ouest du Ferlo sur le diagramme de Piper -----	21
Fig.9a- Diagramme de Stiff de l'analyse chimique de l'échantillon du forage 064x0019 -----	23
Fig.9b : - Diagramme de Stiff de l'analyse chimique de l'échantillon du forage 066x0015-----	23
Fig.9c-- Diagramme de Stiff de l'analyse chimique de l'échantillon du forage 077x0009 -----	24
Fig.10- Représentation des eaux du Maastrichtien de l'ouest Ferlo sur le diagramme de Shoeller, modifié -----	26
Fig.10- Représentation des eaux du Gr2sur le diagramme de Shoeller, modifié -----	26
Fig.11- Représentation de quelques analyses sur le diagramme de wilcox -----	27
Fig.12- Schéma du dispositif de la zone pilote -----	32
Fig.13a - Potentiel de membrane -----	37
Fig.13b-Potentiel de diffusion -----	37
Fig.14a-Diagraphie du P2 entre 0 à 130m (captage du P4) -----	41
Fig.14b- Diagraphie du P2 entre 130 et 250m (captage du P3) -----	42
Fig. 15 -Coupes lithologiques -----	43
Fig.16 - Typologie de captage de la zone pilote -----	48
Fig.17- Carte de l'interface eau douce/ eau salée -----	49
Fig. 18a -Base des colonnes de captage des piézomètres P3 et P4 -----	52
Fig.18b -Base des colonnes de captage des piézomètresP1 et P2 -----	53
Fig.19a - Courbe caractéristique du P4 -----	53
Fig.19b- Détermination des constantes de Jacob, B et C sur le P4 -----	53
Fig.20a- Courbe caractéristique du P3 -----	54
Fig.20b- Détermination des constantes de Jacob sur P3 -----	54
Fig.21- Courbe caractéristique du P2 -----	55
Fig.22- Carte isopièze du Maastrichtien dans le Ferlo -----	58
Fig.23a- Allure des courbes de descente lors du pompage sur P2 -----	59
Fig.23b - Courbe de descente du P3 en coordonnées semi-log -----	60
Fig.23c- Courbe de descente du P3 en échelle bilogarithmique -----	60
Fig.24- Variation de la température et de la conductivité -----	62
Fig.25- Courbe de descente du P3f en semi-log -----	61
Fig.26 Courbe de remontée du P3 -----	63
Fig.27- Illustration schématique des paramètre de la modification de Hantush de la méthode de Théis -----	65

Liste des tableaux

Tableau I- Caractéristiques techniques des piezomètres de la zone pilote -----	34
Tableau II- Récapitulatif des résultats de l'essai par paliers de débits du P4 -----	54
Tableau III- Récapitulatif de l'essai par palier du P3 -----	5 5
Tableau IV - Récapitulatif des résultats du pompage longue durée -----	62
TableauV - Récapitulatif des résultats du pompage longue durée après correction -----	66

ANNEXES

A₁ : Données Chimiques.

A₂ : Description Lithologique.

A₃ : Diagraphie.

A₄ : Pompage d'essai.

A₄₁ : Courbes du P₄.

A_{4 2} : Données du pompage sur P₂.

A_{4 3} : Données du pompage sur P₃.

NO. IRH	DESIGNATION	XCOORD	YCOORD	Cond(μ S/cm)	Ca	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)
059X0014	SARE SARA K.MATAR BINTA	-16,0639	15,1322		15,8	0,79	0,375
059X0020	OUOLOF	-16,1778	15,0819		15,6	0,78	0,1
059X0021	DAROU DIOP I	-16,1167	15,0486		13,6	0,68	0,058333333
059X0022	DEKHELE	-16,1861	15,0333	3800	16,4	0,82	0,141666667
059X0023	SINE NDIAYE NGOL	-16,0297	15,2464	3250	20,8	1,04	1,458333333
059X0024	GOUREYE THILMAKHA NGOL	-16,0653	15,3044		16,8	0,84	0,791666667
059X0025	NGOL	-16,0761	15,3206	4500	21,6	1,08	1,041666667
059X0027	FASS TOURE MBACKE	-16,1494	15,0592	3580	12,4	0,62	0,425
059X0029	KADIOR DAROU	-16,1972	15,1139		18,2	0,91	0,158333333
059X0092	MOUSTY TAWFEKH	-16,0500	15,0389		15,4	0,77	1,325
059X0093	MBACKE TOUBA	-16,0736	15,1403		14,6	0,73	2,083333333
059X0094	MERINA	-16,0095	15,2572		20,4	1,02	1,883333333
059X0095	SAR SARA KEUR BALLA	-16,0639	15,2989		15,23	0,7615	0,890833333
061X0002	SEYE KEUR NDIOUGA	-15,9000	15,6972		11,6	0,58	0,55
061X0004	SARR MBOULA	-15,9542	15,6764		16,8	0,84	1,016666667
062X0003	MBENGUENE MBEYENE	-15,4278	15,6778		29,3	1,465	1,233333333
062X0005	NGUENE MBOYNANE	-15,5556	15,6778		14	0,7	0,533333333
062X0006	NIANGUENE	-15,4167	15,6678	1080	27,8	1,39	1,133333333
064X0006	COKI ESCALE KEUR	-15,9875	15,5083		29,2	1,46	1,841666667
064X0007	BASSINE I THIDE	-15,8917	15,5819		15,2	0,76	0,625
064X0008	NGANADO	-15,8750	15,3361		13,2	0,66	0,766666667
064X0010	TOUBA BELEL MAKA TOURE	-15,9831	15,3461		15,6	0,78	1,075
064X0011	(DAROU NDIAY MOUKH	-15,9250	15,4167		1275,5	63,775	53,5
064X0012	MOUKH	-15,7814	15,4389		10	0,5	0,283333333
064X0013	THIEYENE	-15,6669	15,5500	890	9,2	0,46	0,283333333
064X0014	TAWFEKH	-15,9333	15,4847		19	0,95	0,791666667
064X0015	GANDE PETE	-15,8333	15,5769	1100	10,8	0,54	0,55
064X0016	OUARACK	-15,9906	15,6467	2000	20,8	1,04	1,533333333
064X0018	SANGHE TOUBA	-15,8200	15,4433		8	0,4	0,366666667
064X0019	NDIAYE	-15,9125	15,4550	1200	10,4	0,52	0,508333333

NO IRH	DESIGNATIO	XCOORD	YCOORD	Cond(µs/cm)	Ca	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)
064X0021	KOKI ESCALE LOUGUERE	-15,9964	15,5014		27,2	1,36	1,866666667
064X0022	WANDE	-15,8333	15,6528		13,8	0,69	0,716666667
064X0024	NDALLA AVENE MBOYENANE	-15,9444	15,5333		13,6	0,68	1,033333333
065X0006	NDIAYENE	-15,3833	15,6528		31,3	1,565	1,441666667
065X0008	YANG YANG FASS E.H.	-15,3500	15,5833		32,1	1,605	1,541666667
065X0009	ABDOUL A.	-15,5472	15,4194		10,8	0,54	0,316666667
065X0011	DAHRA	-15,4717	15,3658		12,8	0,64	0,408333333
065X0013	MBEULEUKHE	-15,3500	15,6472		31,3	1,565	1,441666667
065X0014	MOUYE	-15,5333	15,5647	104	13	0,65	0,583333333
065X0015	DEPAL	-15,6528	15,4208		8,42	0,421	1,013333333
066X0002	LOUMBI DEK DO WARKHOKH	-15,1167	15,6042		40,1	2,005	1,55
066X0003	FARBA MEDINA	-15,2333	15,3853		40,1	2,005	1,35
066X0004	GOULOUM	-15,2833	15,4556		33,3	1,665	4,366666667
066X0011	NGUITH	-15,1528	15,4056		56,9	2,845	1,65
066X0013	LINGUERE	-15,1000	15,4014		55,7	2,785	1,783333333
066X0015	BEYNABE	-15,0083	15,4375	1011	45,7	2,285	1,4
067X0005	TOUBA BELEL 1 DAROU MINAME	-15,8347	15,1056		8,8	0,44	0,483333333
067X0006	PETE	-15,8333	15,1444		10	0,5	0,408333333
067X0007	NDIKY LARRY	-15,8806	15,2806		8,8	0,44	0,691666667
067X0008	KAMBOUNAR	-15,7042	15,2417		10	0,5	0,3
067X0009	KHOYOYE	-15,9803	15,1722		20	1	1,416666667
067X0011	ARAFAT	-15,9500	15,0500		18,2	0,91	0,666666667
067X0012	MBADIANE	-15,8678	15,1011		11,2	0,56	0,725
067X0013	SAM YABAL	-15,9000	15,1833	2190	10,8	0,54	0,75
067X0014	TOUBA BELEL 2 DAROU	-15,8417	15,0333		12,8	0,64	0,466666667
067X0017	KARATHIEL	-15,9542	15,1389		20,2	1,01	1,975
068X0003	AFFE OUOLOF	-15,4333	15,1333		10	0,5	0,25
068X0007	KHATALY MBACKE	-15,5967	15,1906		11,2	0,56	0,35
068X0010	DJOLOF	-15,6258	15,1561		9,6	0,48	0,366666667
069X0002	THIARNY I WENDOU SENO	-15,2875	15,1875		19,4	0,97	0,508333333
069X0004	I TOUBA	-15,0856	15,2667		62,1	3,105	1,766666667
069X0005	LINGUERE TOUBA BELEL	-15,0317	15,2375		62,9	3,145	1,741666667
069X0006	LINDE	-15,1667	15,1056		36,3	1,815	1
069X0007	THIARGNY	-15,2861	15,1861		17,4	0,87	0,5
069X0009	VIS VIS	-15,2653	15,2725	954	31,7	1,585	0,816666667
069X0011	MAUGRE	-15,0222	15,3181		55,7	2,785	1,983333333

NO	IRH	DESIGNATIO	XCOORD	YCOORD	Cond(us/cm)	Ca	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)
072X0003		LOUMBOL DJIBY I	-14,6569	15,8403		20,4	1,02	0,6583333333
077X0004		DOMOKE THIEL	-14,8944	15,0611		39,7	1,985	1
077X0006		TOUBA NDAR FALL	-14,9000	15,2667		60,5	3,025	0,991666667
077X0007		DIAGALI	-14,6694	15,2778		25,6	1,28	0,341666667
077X0008		SAMALY	-14,7353	15,1606		56,1	2,805	1,216666667
077X0009		VELINGARA	-14,6833	15,0000	1030	68,1	3,405	1,616666667
077X0010		BARKEDJI	-14,8708	15,3311		47,29	2,3645	1,4583333333
121X0016		NGUILLO E.H. MAMADOU	-15,8017	14,9950		10,6	0,53	0,225
131X0005		KHOUMOUK	-14,8075	14,9917		58,52	2,926	2,43

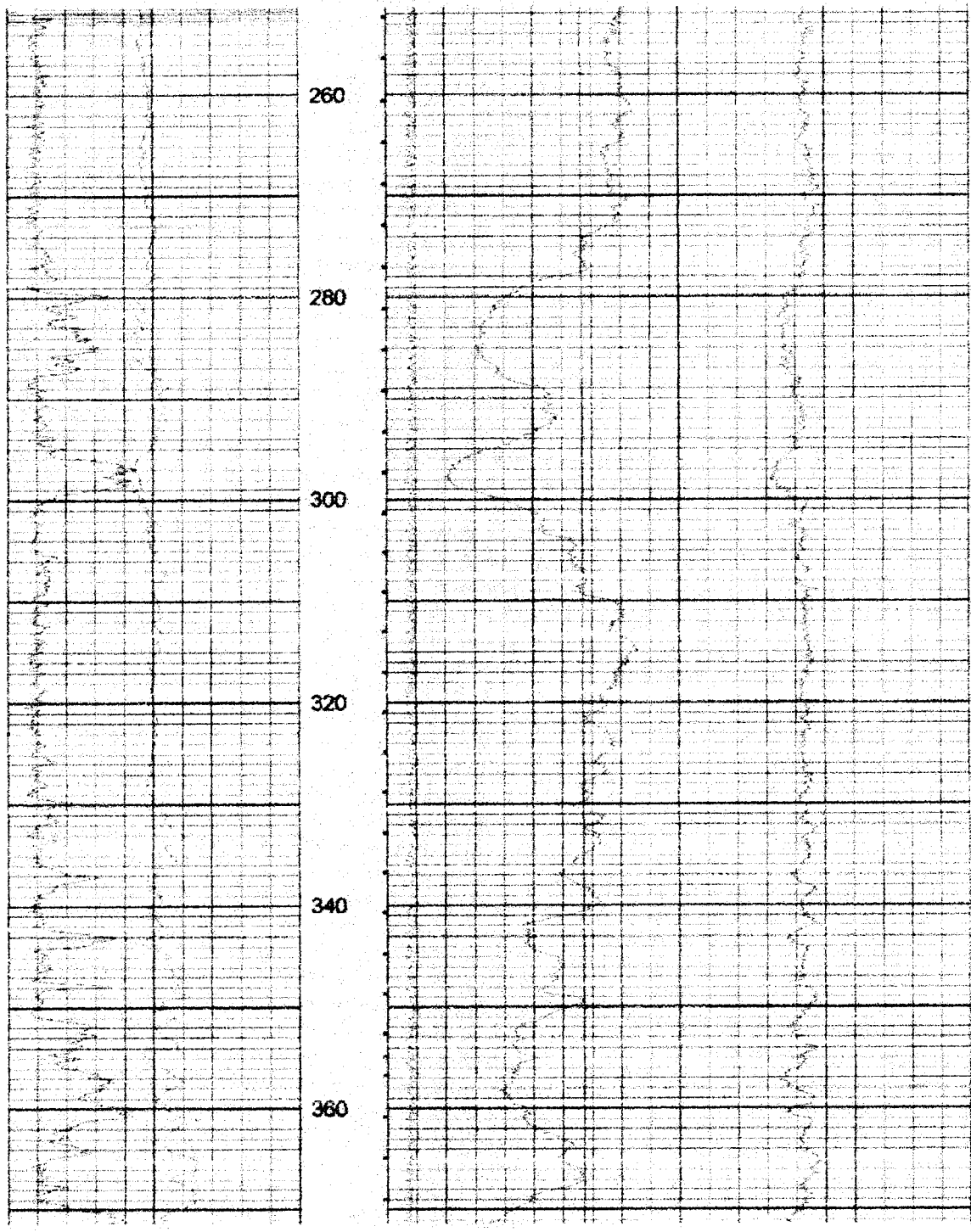
NO IRH	SAR	Na(meq/l)	Cl(meq/l)	SO4(meq/l)	HCO3(meq/l)	NO3(meq/l)
059X0014	45,85852475	35	28,56619718	0,639583333	6,70163934	-0,003225806
059X0020	60,16462243	39,90869565	30,96619718	0,960416667	8,20327869	-0,032258065
059X0021	54,80661673	33,3	25,87042254	0,910416667	7,10163934	-0,032258065
059X0022	49,20779161	34,12173913	26,87042254	0,1	8,15245902	-0,032258065
059X0023	33,09317252	36,98695652	31,76338028	1,820833333	6,30163934	-0,032258065
059X0024	44,55001598	40,23913043	32,96338028	1,860416667	7,00163934	-0,032258065
059X0025	41,166342	42,4	36,75774648	1,370833333	6,60163934	-0,032258065
059X0027	46,23660073	33,42173913	26,96901408	1,460416667	6,03442623	-0,032258065
059X0029	55,6456395	40,66956522	33,36338028	1,070833333	7,85245902	-0,032258065
059X0092	31,75457797	32,5	24,77183099	1,520833333	8,25245902	0,080645161
059X0093	28,04753947	33,26521739	24,97183099	2,541666667	8,4704918	0,080645161
059X0094	28,94818699	34,87826087	28,96619718	1,039583333	7,80163934	-0,032258065
059X0095	34,32580727	31,2	26,2	1,68	6,5	1,290322581
061X0002	21,51745384	16,17391304	10,52676056	1,03125	6,35245902	-0,032258065
061X0004	24,36766702	23,47826087	19,67887324	0,220833333	5,75245902	0,096774194
062X0003	6,4382496	7,47826087	1,45915493	4,033333333	4,80163934	
062X0005	9,971503361	7,830434783	1,21971831	2,9125	5,30163934	-0,032258065
062X0006	13,06779423	14,67826087	7,030985915	5,454166667	4,80163934	-0,032258065
064X0006	28,01888741	36	33,49859155	1,420833333	5,85081967	1,961290323
064X0007	20,27187879	16,86956522	11,38591549	1,010416667	6,35245902	
064X0008	23,01089061	19,43478261	14,26478873	1,1	6,40163934	-0,032258065
064X0010	28,30627657	27,26086957	22,17464789	1,620833333	5,90163934	-0,032258065
064X0011	2,861639866	21,91304348	319,6338028	11,60625	2,25081967	1,237096774
064X0012	17,22921692	10,7826087	5,135211268	0,38125	6,31147541	-0,032258065
064X0013	12,55185823	7,652173913	1,357746479	1,241666667	5,95245902	-0,032258065
064X0014	32,46946302	30,3	25,26760563	0,320833333	6,20163934	-0,032258065
064X0015	23,02181625	16,99565217	9,887323944	1,3	6,50163934	-0,032258065
064X0016	34,82283064	39,5	33,46197183	2,354166667	6,25245902	-0,032258065
064X0018	19,73988948	12,22173913	5,752112676	0,810416667	6,4852459	-0,032258065
064X0019	24,23563221	17,37826087	10,88732394	1,020833333	6,50163934	-0,032258065
064X0021	40,3814296	51,29130435	43,94929577	2,402083333	6,25245902	1,612903226
064X0022	28,92848984	24,26086957	17,47887324	1,260416667	6,95245902	-0,032258065
064X0024	15,06016561	13,93913043	8,74084507	0,5	6,50163934	-0,032258065
065X0006	6,801318661	8,339130435	1,43943662	5,704166667	3,42459016	0,048387097
065X0008	6,100626822	7,652173913	1,357746479	5,654166667	4,30163934	-0,032258065
065X0009	11,57920158	7,57826087	0,957746479	1,58125	5,70163934	-0,032258065
065X0011	10,56338975	7,647826087	0,977464789	2,441666667	5,30163934	0,048387097
065X0013	7,421876933	9,1	1,65915493	5,904166667	4,60163934	-0,032258065
065X0014	10,24279912	8,043478261	0,985915493	3,4375	4,50819672	
065X0015	13,70284326	11,60434783	2,895774648	1,460416667	8,25245902	0,225806452
066X0002	4,109016682	5,47826087	0,929577465	4,302083333	3,90163934	
066X0003	6,445285035	8,347826087	1,352112676	6,425	4,30163934	-0,032258065
066X0004	3,530104876	6,130434783	4,174647887	2,8125	5,35245902	-0,032258065
066X0011	5,429103964	8,139130435	1,25915493	6,804166667	4,25081967	-0,032258065
066X0013	5,1465786	7,77826087	1,298591549	6,34375	4,80163934	-0,032258065
066X0015	5,128138519	6,960869565	1,098591549	4,083333333	5,88360656	-0,032258065
067X0005	21,24447428	14,43478261	8,749295775	0,9	5,80163934	-0,032258065

NO IRH	SAR	Na(meq/l)	Cl(meq/l)	SO4(meq/l)	HCO3(meq/l)	NO3(meq/l)
067X0006	20,64498227	13,91304348	8,290140845	0,839583333	6,00163934	-0,032258065
067X0007	20,57680291	15,47826087	9,988732394	0,720833333	6,40163934	-0,032258065
067X0008	14,9864463	9,47826087	3,377464789	0,939583333	6,20163934	-0,032258065
067X0009	29,26917664	32,17391304	27,96901408	1,73125	5,95245902	-0,032258065
067X0011	34,4053012	30,54782609	25,77183099	0,939583333	6,20163934	-0,032258065
067X0012	25,38525037	20,34782609	14,18309859		1 6,50163934	-0,032258065
067X0013	22,41262103	18	14,47887324	0,68125	4,20163934	-0,032258065
067X0014	23,87650788	17,76086957	12,58591549	0,11875	6,20163934	-0,032258065
067X0017	28,07611096	34,3	27,16901408	2,041666667	6,56065574	0,112903226
068X0003	10,507956	6,434782609	0,718309859	1,18125	5,45245902	-0,032258065
068X0007	10,22924057	6,9	1,538028169	0,220833333	5,90163934	-0,032258065
068X0010	10,87890869	7,07826087	2,498591549	1,479166667	6,1	-0,032258065
069X0002	8,698200695	7,47826087	0,98028169	3,1125	5,3	
069X0004	4,791558847	7,47826087	1,278873239	6,754166667	4,65081967	-0,032258065
069X0005	4,116636491	6,434782609	1,138028169	6,104166667	4,35081967	-0,032258065
069X0006	6,611263935	7,843478261	1,211267606	4,8125	4,80163934	-0,032258065
069X0007	8,825435798	7,304347826	0,957746479	3,1625	4,85081967	0,032258065
069X0009	7,435332306	8,147826087	1,25915493	4,533333333	4,95081967	-0,032258065
069X0011	4,637644528	7,160869565	0,749295775	5,272916667	6,00163934	-0,032258065
072X0003	3,189461211	2,92173913	0,318309859	0,760416667	3,90163934	-0,032258065
077X0004	5,480696017	6,695652174	1,078873239	4,7625	3,70163934	-0,032258065
077X0006	4,408704939	6,247826087	1,098591549	4,322916667	4,65081967	-0,032258065
077X0007	3,109511979	2,8	0,41971831	0,220833333	3,90163934	-0,032258065
077X0008	3,384957338	4,8	0,777464789	4,252083333	3,90163934	-0,032258065
077X0009	0,921939661	1,460869565		11,241666667	4,30163934	0,048387097
077X0010	10,98450857	15,18652174		1,1 13,2	4,5	0,048387097
121X0016	26,80548419	16,46956522	10,66760563	0,73125	6,00163934	-0,032258065
131X0005	1,399362385	2,29	1,298028169	2,12	4,4	-0,032258065

NO. IRH	K(meq/l)	Fe(meq/l)	F(meq/l)	RS(mg/l)
059X0014	0,248717949	-0,0268817	0,210526	2100
059X0020	0,230769231		0,263158	2346
059X0021	0,248717949	0,01612903	0,184211	2018
059X0022	0,058974359	0,0483871	0,184211	2094
059X0023	0,038461538	0,02311828	0,126316	2400
059X0024	0,048717949	0,02688172	0,131579	2530
059X0025	0,158974359	0,01612903	0,136842	2596
059X0027	0,020512821		0,184211	2050
059X0029	0,269230769		0,210526	2450
059X0092	0,030769231	0,00537634	0,157895	2184
059X0093	0,030769231	0,01075269	0,157895	2190
059X0094	0,030769231	0,01075269	0,147368	2324
059X0095	0,3	0,00860215	0,178947	1977
061X0002	0,420512821		0,105263	1054
061X0004	0,535897436		0,131579	1640
062X0003	0,38974359		0,021053	696
062X0005	0,330769231		0,094737	572
062X0006	0,030769231	0,06989247	0,073684	1050
064X0006	0,78974359	0,09139785	0,073684	2378
064X0007	0,512820513	0,02311828	0,063158	1124
064X0008	0,474358974	0,01612903	0,094737	1306
064X0010	0,679487179	0,05376344	0,131579	1752
064X0011	0,025641026		0,015789	18600
064X0012	0,328205128		0,084211	712
064X0013	0,164102564		0,094737	510
064X0014	0,1		0,126316	1896
064X0015	0,020512821	-0,0053763	0,084211	1024
064X0016	0,030769231	0,01075269	0,136842	2448
064X0018	0,020512821	-0,0053763	0,084211	735
064X0019	0,01025641	-0,0053763	0,115789	1054
064X0021	0,041025641	-0,0053763	0,126316	3408
064X0022	0,030769231	-0,0053763	0,157895	1577
064X0024	0,020512821	0,01075269	0,115789	1246
065X0006	0,415384615		0,063158	698
065X0008	0,466666667		0,057895	720
065X0009	0,079487179	0,01075269	0,073684	480
065X0011	0,048717949	0,01075269	0,073684	554
065X0013	0,030769231		0,057895	782
065X0014	0,358974359	0,01075269	0,094737	448
065X0015	0,030769231	-0,0053763	0,105263	500
066X0002	0,441025641	0,00537634		604
066X0003	0,405128205	0,0483871	0,042105	774
066X0004	0,351282051		0,084211	696
066X0011	0,030769231	0,03763441	0,031579	770
066X0013	0,020512821	-0,0053763	0,036842	778
066X0015	0,030769231	0,00537634	0,021053	720
067X0005	0,412820513		0,031579	916

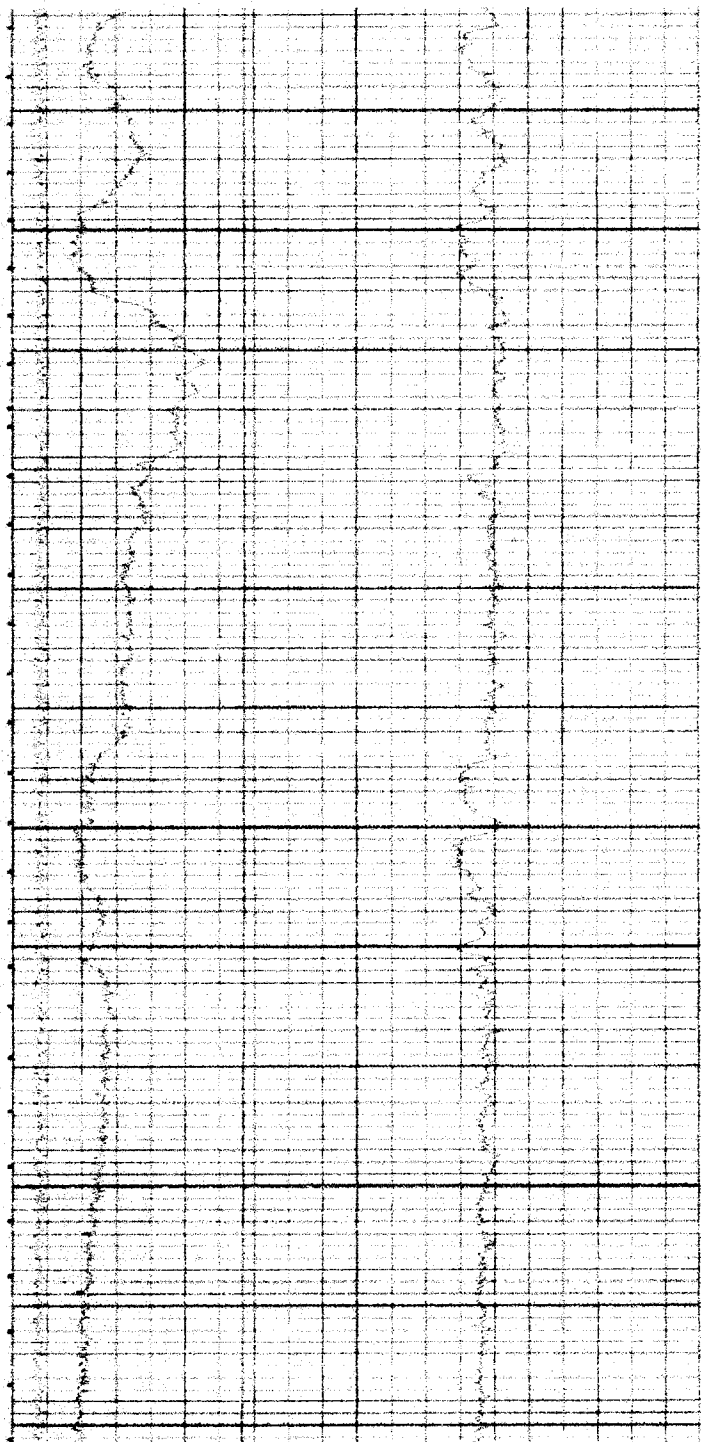
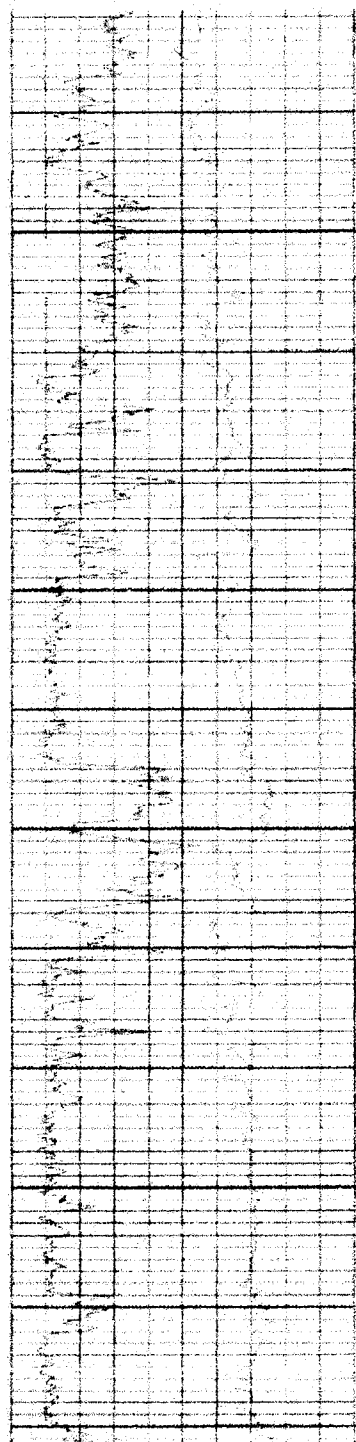
NO	IRH	K(meq/l)	Fe(meq/l)	F(meq/l)	RS(mg/l)
067X0006		0,4		0,094737	948
067X0007		0,4		0,078947	1000
067X0008		0,287179487	0,01075269	0,073684	624
067X0009		0,746153846		0,131579	2110
067X0011		0,230769231		0,115789	1890
067X0012		0,030769231		0,084211	1296
067X0013		0,041025641		0,084211	1174
067X0014		0,041025641	0,06989247	0,094737	1090
067X0017		0,030769231	-0,0053763	0,136842	2306
068X0003		0,256410256		0,052632	520
068X0007		0,08974359		0,052632	508
068X0010		1,430769231	0,00806452	0,073684	544
069X0002		0,297435897	0,02688172	0,052632	574
069X0004		2,969230769		0,052632	796
069X0005		0,38974359	0,05645161	0,031579	806
069X0006		0,266666667		0,131579	680
069X0007		0,356410256		0,073684	592
069X0009		0,120512821	0,01075269	0,052632	676
069X0011		0,030769231	0,00537634	0,052632	710
072X0003		0,366666667	0,0483871	0,026316	300
077X0004		0,279487179		0,036842	630
077X0006		0,1		0,036842	706
077X0007		0,11025641		0,021053	354
077X0008		0,030769231		0,026316	598
077X0009		0,020512821	-0,0053763	0,023684	421
077X0010		0,1	0,00913978	0,036842	600
121X0016		0,41025641		0,031579	1032
131X0005		0,09	0,04516129	0,036842	470

0.	SP MV	600.	0.	16N OHMM	50.0	SPR OHM	50.
0.	NGAM CPS	100.	0.	64N OHMM	50.		
10.	TEMP DEGC	40.	0.	COND uSie	4000.		



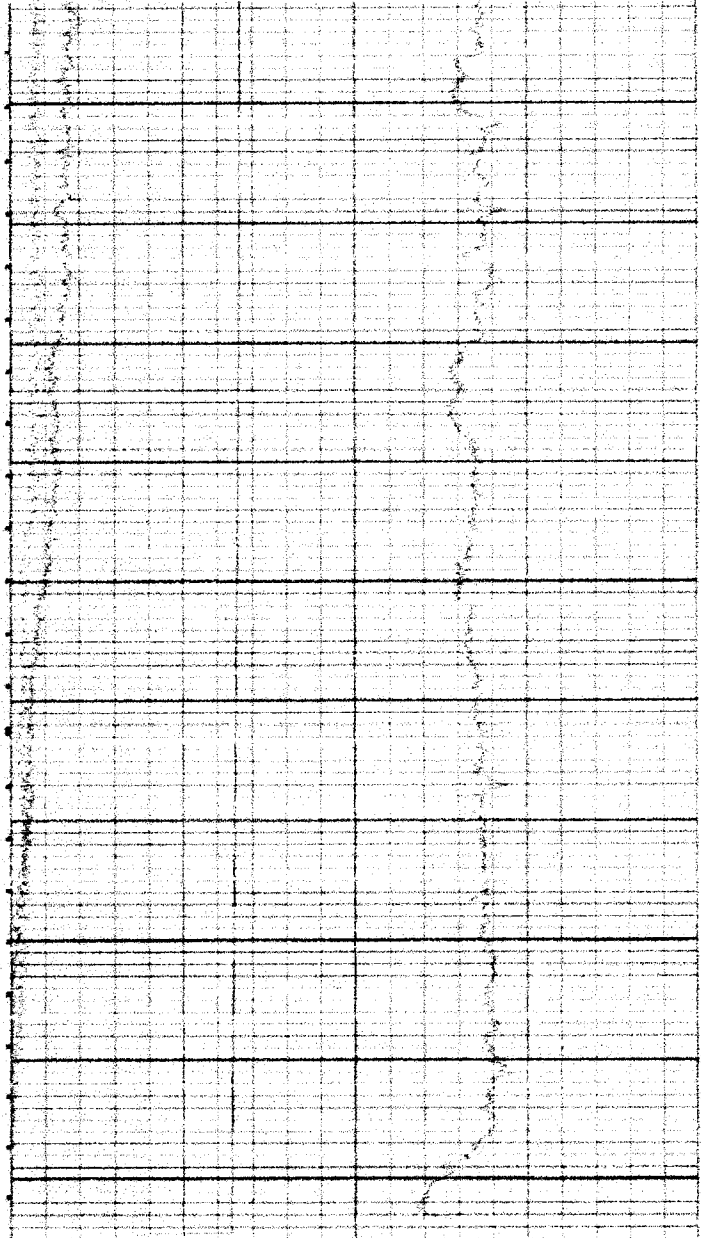
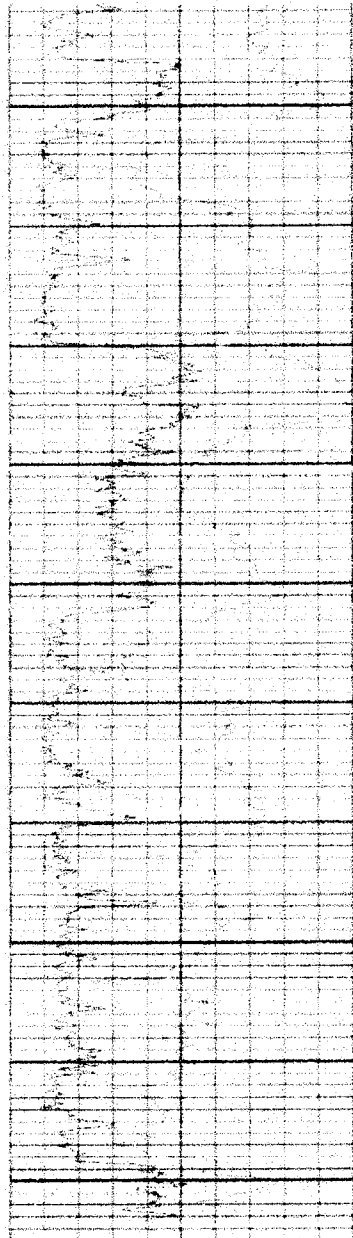
0. SP MV 500.
0. NGAM CPS 100.
10. TEMP DEGC 40.

0. 16N OHMM 50.0. SPR OHM 50.
0. 64N OHMM 50.
0. COND uSie 4000.



0. SP MV 600.
0. NGAM CPS 100.
10. TEMP DEGC 40.

0. 16N OHMM 50.0. SPR OHM 50.
0. 64N OHMM 50.
0. COND uSie 4000.



COURBE DE DESCENTE

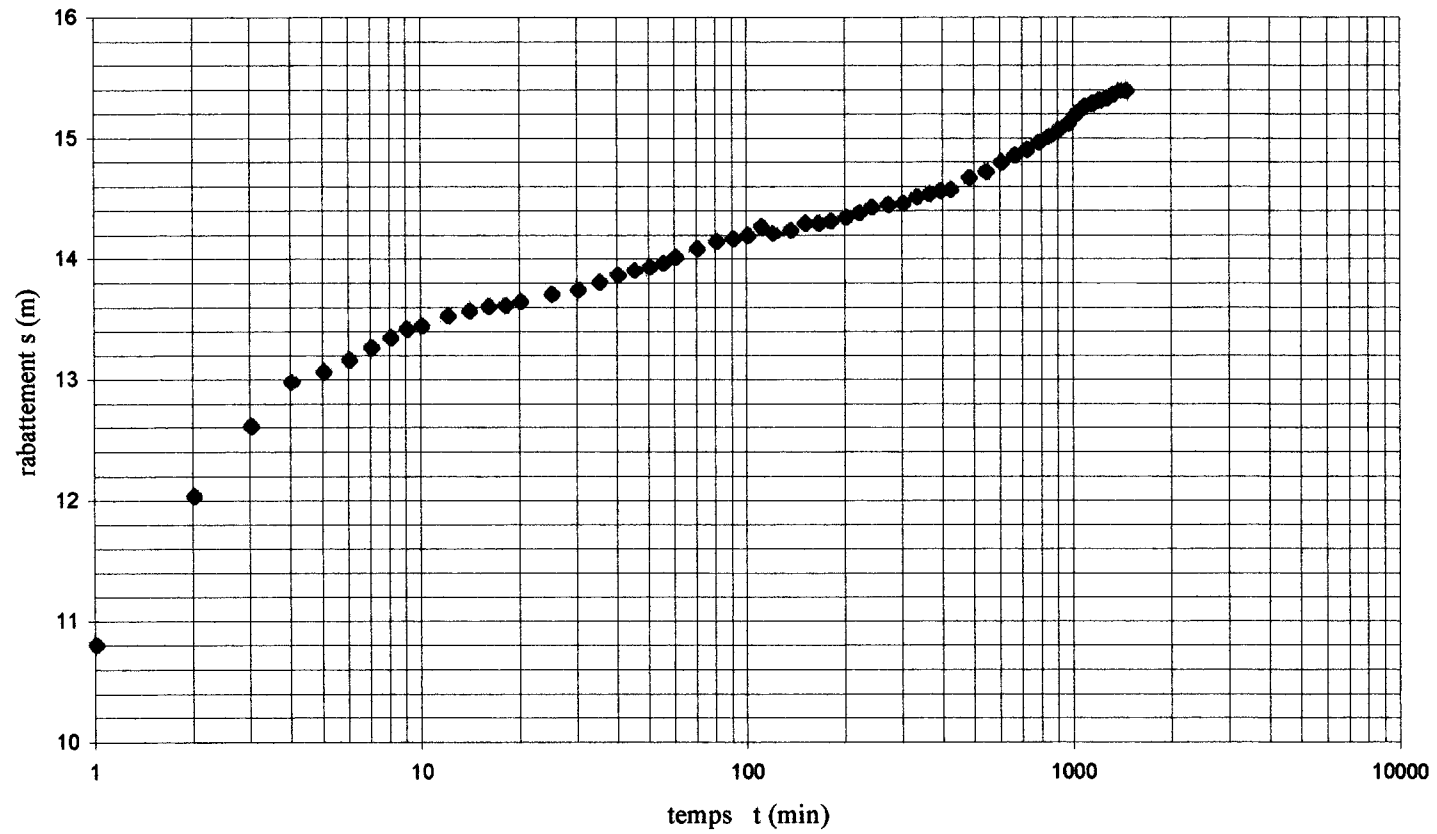


Figure : Courbe de descente du P4 ($Q \cong 11 \text{ m}^3 / \text{h}$; durée de pompage = 24 h)

COURBE DE REMONTEE

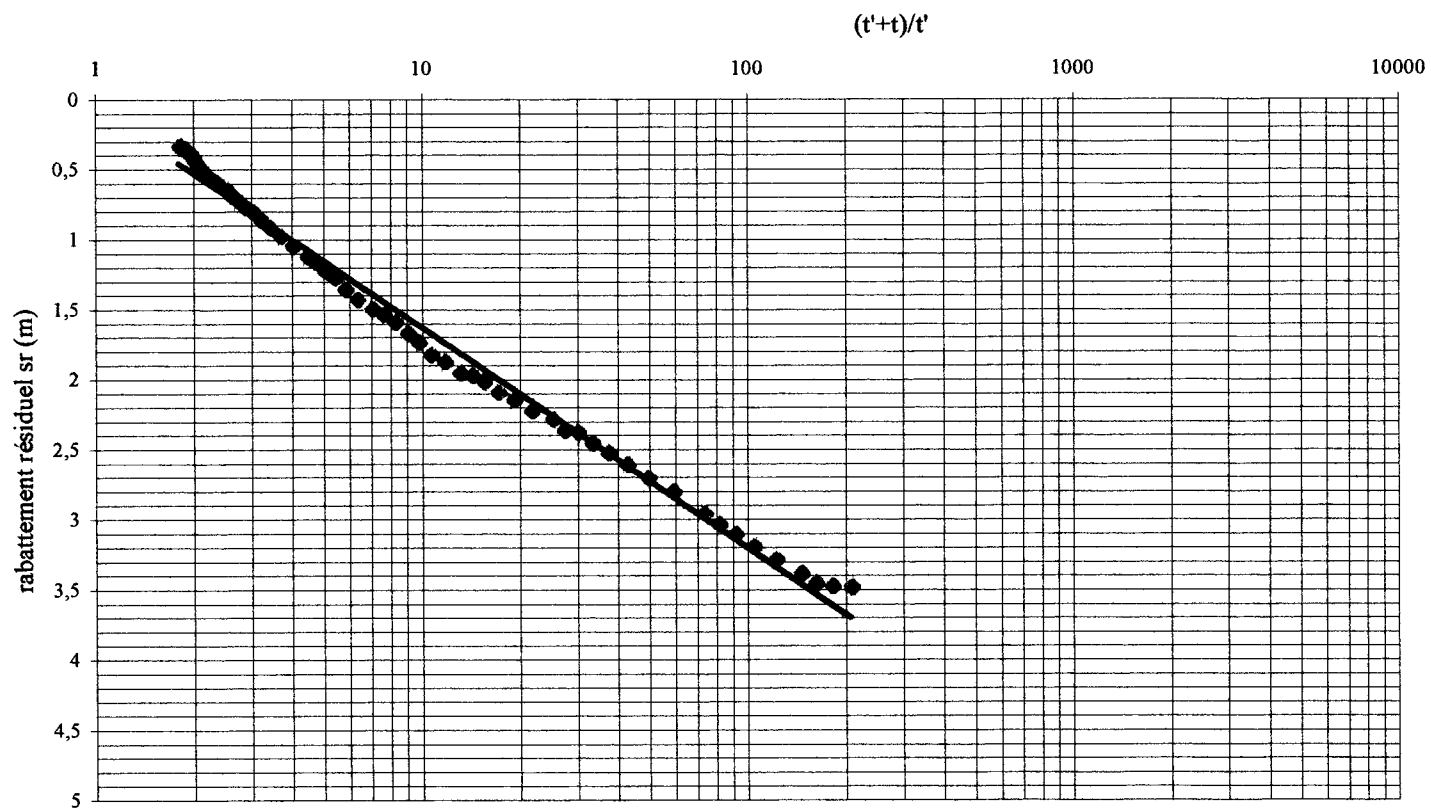


Figure : Courbe de remontée du P4 après 24 h de pompage ($Q \cong 11 \text{ m}^3 / \text{h}$)

Mardi 27 Novembre 2001

Réception du piézomètre n° 2 DE LA ZONE PILOTE(DAHRA)

Durée de pompage: 8heures

Niveau statique:39.7/ sol

Débit:21,78m

3/h

Tableau des mesures de la descente

Temps(mn)	ND(m)	s(m)
0		
0,25		
0,5	49,34	8,64
0,75	53,45	12,75
1	55,77	15,07
1,5	58,59	17,89
2	61,62	20,92
2,5	64,96	24,26
3	67,82	27,12
3,5	70,23	29,53
7,5	82,17	41,47
8	83,05	42,35
9	84,35	43,65
10	85,32	44,62
14	87,63	46,93
18	88,33	47,63
20	88,5	47,8
25	88,5	47,8
30	88,5	47,8
35	88,02	47,32
40	87,93	47,23
45	87,81	47,11
50	87,67	46,97
55	87,44	46,74
60	87,35	46,65
75	87,2	46,5
90	87,06	46,36
105	87,08	46,38
120	86,96	46,26
150	86,82	46,12
180	86,6	45,9
210	86,45	45,75
240	86,32	45,62
270	86,25	45,55
300	86,22	45,52
330	86,12	45,42
360	85,87	45,17
390	85,61	44,91
420	85,76	45,06
450	86,28	45,58
480	87,87	47,17

Mesures du pompage longue durée sur P3

Niveau statique:P1(42.35m).P2(40.57m).P3(40.00m).P4(54.07m)

Niveau dynamique (m)

Temps(mn)	P1	P2	P3	P4
0	42,35	40,57	40	54,07
0,15	42,35	40,57	42,76	54,07
0,4	42,35	40,57	45,12	54,07
0,5	42,35	40,57	45,36	54,07
0,75	42,35	40,57	46,22	54,07
1	42,35	40,57	46,5	54,07
1,5	42,35	40,57	46,74	54,07
2	42,35	40,57	46,82	54,07
2,5	42,3	40,57	46,85	54,07
3	42,45	40,57	46,86	54,07
3,5	42,4	40,57	46,87	54,07
4	42,4	40,57	46,88	54,07
4,5	42,4	40,57	46,88	54,07
5	42,35	40,57	46,88	54,07
6	42,35	40,57	46,88	54,07
7	42,3	40,57	46,88	54,07
8	42,3	40,57	46,88	54,07
9	42,25	40,57	46,88	54,07
10	42,35	40,57	46,88	54,08
12	42,35	40,57	46,89	54,08
14	42,35	40,57	46,89	54,08
16	42,3	40,57	46,88	54,08
18	42,3	40,57	46,88	54,08
20	42,3	40,57	46,88	54,08
25	42,3	40,57	46,87	54,08
30	42,3	40,57	46,86	54,08
35	42,3	40,57	46,84	54,08
40	42,3	40,57	46,82	54,08
45	42,3	40,57	46,8	54,08
50	42,3	40,57	46,79	54,08
55	42,25	40,57	46,78	54,08
60	42,25	40,57	46,77	54,08
75	42,25	40,57	46,76	54,08
90	42,25	40,57	46,77	54,08
105	42,27	40,57	46,77	54,08
120	42,27	40,57	46,77	54,08
135	42,27	40,57	46,77	54,08
150	42,27	40,57	46,77	54,08
180	42,3	40,57	46,78	54,08
210	42,22	40,57	46,77	54,08
240	42,3	40,57	46,77	54,08
270	42,3	40,57	46,77	54,08
300	42,3	40,57	46,78	54,08

Temps(mn)	P1	P2	P3	P4
330	42,26	40,57	46,79	54,1
360	42,26	40,57	46,81	54,1
390	42,26	40,57	46,82	54,1
420	42,27	40,57	46,82	54,1
450	42,27	40,57	46,82	54,1
480	42,27	40,57	46,83	54,1
510	42,27	40,57	46,83	54,1
540	42,27	40,57	46,83	54,1
570	42,27	40,57	46,83	54,1
600	42,26	40,57	46,86	54,1
630	42,26	40,57	46,82	54,09
660	42,26	40,57	46,86	54,09
690	42,27	40,57	46,87	54,09
720	42,27	40,57	46,87	54,09
750	42,27	40,57	46,87	54,09
780	42,27	40,57	46,88	54,09
810	42,27	40,57	46,89	54,1
840	42,27	40,57	46,9	54,1
870	42,27	40,57	46,9	54,1
900	42,27	40,58	46,9	54,1
930	42,27	40,58	46,94	54,1
960	42,27	40,58	46,94	54,1
990	42,27	40,58	46,93	54,1
1020	42,27	40,58	46,91	54,1
1080	42,27	40,58	46,91	54,1
1140	42,27	40,58	46,89	54,1
1200	42,27	40,58	46,86	54,09
1260	42,26	40,58	46,82	54,08
1320	42,25	40,58	46,8	54,07
1380	42,27	40,57	46,8	54,06
1440	42,3	40,57	46,8	54,06
1500	42,3	40,57	46,82	54,07
1560	42,3	40,57	46,83	54,08
1620	42,3	40,57	46,81	54,08
1680	42,28	40,57	46,83	54,09
1740	42,27	40,57	46,87	54,1
1800	42,27	40,57	46,89	54,1
1860	42,27	40,57	46,85	54,1
1920	42,27	40,57	46,87	54,1
1980	42,27	40,57	46,89	54,09
2040	42,27	40,57	46,89	54,09
2100	42,27	40,57	46,85	54,09
2160	42,27	40,57	46,84	54,09
2220	42,27	40,58	46,84	54,09
2280	42,27	40,58	46,84	54,09
2340	42,27	40,58	46,86	54,1
2400	42,27	40,58	46,9	54,1
2460	42,27	40,59	46,88	54,1
2520	42,27	40,59	46,87	54,1

Temps(mn)	P1	P2	P3	P4
2580	42,27	40,59	46,84	54,1
2640	42,27	40,59	46,81	54,1
2700	42,27	40,59	46,8	54,09
2760	42,27	40,58	46,8	54,08
2820	42,27	40,58	46,81	54,08
2880	42,27	40,57	46,8	54,07
2940	42,27	40,57	46,78	54,8
3000	42,27	40,57	46,79	54,09
3060	42,32	40,59	46,8	54,09
3120	42,36	40,59	46,81	54,1
3180	42,27	40,6	46,82	54,12
3240	42,3	40,61	46,83	54,12
3300	42,3	40,6	46,83	54,12
3360	42,3	40,61	46,83	54,12
3420	42,3	40,6	46,83	54,11
3480	42,3	40,6	46,83	54,11
3540	42,3	40,6	46,83	54,1
3600	42,3	40,59	46,84	54,1
3660	42,3	40,6	46,84	54,1
3720	42,3	40,6	46,86	54,11
3780	42,3	40,6	46,84	54,11
3840	42,3	40,61	46,89	54,11
3900	42,32	40,62	46,86	54,12
3960	42,35	40,62	46,87	54,13
4020	42,3	40,63	46,89	54,13
4080	42,32	40,62	46,87	54,12
4140	42,31	40,61	46,84	54,11
4200	42,3	40,6	46,82	54,1
4260	42,3	40,59	46,84	54,09
4320	42,28	40,58	46,84	54,09
4380	42,29	40,59	46,82	54,09
4440	42,28	40,59	46,83	54,1
4500	42,28	40,59	46,82	54,11
4560	42,29	40,6	46,84	54,13
4620	42,29	40,59	46,86	54,13
4680	42,3	40,63	46,84	54,14
4740	42,32	40,62	46,84	54,14
4800	42,32	40,6	46,86	54,14
4860	42,32	40,6	46,85	54,13
4920	42,32	40,61	46,86	54,12
4980	42,32	40,6	46,87	54,1
5040	42,31	40,6	46,86	54,1
5100	42,31	40,6	46,85	54,1
5160	42,3	40,6	46,86	54,1
5220	42,32	40,61	46,86	54,12
5280	42,32	40,62	46,89	54,13
5340	42,5	40,63	46,91	54,13
5400	42,4	40,63	46,93	54,14

Temps(mn)	P1	P2	P3	P4
5460	42,37	40,65	46,93	54,14
5520	42,38	40,65	46,93	54,14
5580	42,32	40,65	46,9	54,13
5640	42,4	40,61	46,9	54,12
5700	42,4	40,64	46,89	54,11
5760	42,4	40,64	46,86	54,11