

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



GC.0337

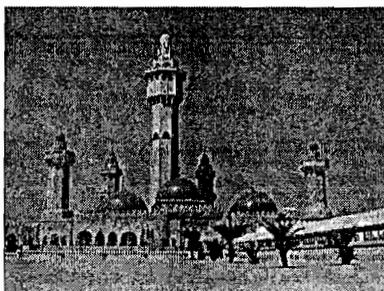
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

Département de Génie Civil  
(Centre de Thiès)

## PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception en Génie Civil)

### TITRE : MODELISATION DE LA NAPPE DU MAASTRICHTIEN DANS LA ZONE DE TOUBA



**Auteurs : Modou NDIAYE**

**Saliou NGOM**

**Directeurs internes : M, Babacar NDIAYE**

**M. Seyni NDOYE**

**Directeur externe : M. Mamadou SARR, Ing. Hydrogéologue**

Juillet 2006

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à adresser nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce Projet de Fin d'Etude en particulier :

- ❖ **Madame Anta SECK**, Directrice de la Gestion et la Planification des Ressources en Eau qui nous a toujours adressé soutien et conseil.
  
- ❖ **Monsieur Mamadou SARR**, Hydrogéologue, Chef de la Division Hydrogéologie à la DGPRE qui nous a facilité les recueils de données de terrains et bibliographiques. En sa qualité d'encadreur externe, ses conseils et suggestions nous ont été d'un grand apport.
  
- ❖ **Monsieur Gora NDIAYE**, Chef de Division Hydrologie à la DGPRE qui n'a ménagé aucun effort pour nous apporter son soutien en tout lieu et tout temps. Qu'il trouve ici nos vifs remerciements.
  
- ❖ **Monsieur Babacar NDIAYE**, Professeur à l'ESP, notre encadreur interne dans ce projet auprès de qui nous avons beaucoup appris. Nous le remercions d'avoir bien voulu nous encadrer dans ce travail.
  
- ❖ **Monsieur Séni NDOYE**, Professeur à l'ESP, notre deuxième encadreur interne qui nous a toujours accueilli dans son bureau pour la bonne réussite de ce projet. Nous lui témoignons nos remerciements.
  
- ❖ **Monsieur Doudou CISS**, Chef de l'Unité de Maintance des forages de Touba qui nous accueilli chez lui et accompagner sur le terrain. Nous le remercions profondément.

- ❖ Nous adressons très sincèrement nos remerciements à tout le personnel de la DGPRE. Nous citerons entre autres **Monsieur Serigne DIA, Monsieur Samba BA, Farba Oumar SY** et surtout Mamadou et **Moussa CISSE** qui ont, tous les deux, mis leur compétence à notre disposition pour la réussite de ce projet.
  
- ❖ Nos camarades de classe, nos frères et sœurs et amis notamment **Abdoulaye SARR** qui a bien voulu mettre sa main dans ce travail.

Nous remercions tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué pour la réussite de ce travail.

## SOMMAIRE

Couvrant les 4/5 du territoire national, la nappe du Maastrichtien constitue un recours inévitable pour l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable des populations compte tenu de ses énormes potentialités estimées entre 30 et 40 milliard de mètres cube. Cependant son exploitation intense a entraîné une dégradation de sa qualité dans certaines zones dont la ville sainte de Touba où quinze forages exploitent cet aquifère sur un rayon de dix kilomètres.

En vu d'apporter une solution au problème d'alimentation en eau potable de Touba, nous nous sommes proposés d'effectuer un modèle régional de cet aquifère pour dégager un schéma d'exploitation.

La zone d'étude s'étend sur une bande Est-Ouest longue de 130 km et large de 65 km dans la région de Touba. Avec un climat de type sahélien on note une faible pluviométrie et une forte évapotranspiration ce qui ne favorise pas la recharge de la nappe. Le système aquifère est constitué d'une puissante couche sédimentaire allant des âges du Quaternaire au Maastrichtien. Mais seule la couche maastrichtienne présente un aquifère intéressant d'environ 300m d'épaisseur. Le but du projet est donc de modéliser cette couche.

Pour faire cette modélisation, nous avons procédé à un recueil de données sur la topographie, la géométrie de l'aquifère, l'ensemble des ouvrages d'exploitation et d'observation et la piézométrie. Après analyse, ces données ont permis, avec le logiciel MODFLOW de faire la calibration en régime permanent. Ensuite plusieurs scénarii d'exploitations ont été élaborés et leur impact sur l'évolution piézométrique étudiée. A cet effet une zone de captage a été proposée à Touba Bobo pour assurer l'alimentation en eau potable de Touba d'ici 2026.

**Mots clés** : Touba, Modflow, Quaternaire, Maastrichtien, simulation, piézométrie, topographie, aquifère.

## TABLE DES MATIERES

|  | Pages |
|--|-------|
| <b>REMERCIEMENTS</b>   | i     |
| <b>SOMMAIRE</b>  | iii   |
| <b>TABLE DES MATIERES</b>  | iv    |
| <b>LISTES DES TABLEAUX</b>   | vii   |
| <b>LISTES DES FIGURES</b>  | vii   |
| <b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>                                      | ix    |
| <b>LISTES DES ANNEXES</b>  | x     |
| <br>   |       |
| <b>INTRODUCTION</b>  | 1     |
| <br>   |       |
| <b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b>                | 3     |
| <b>I. SITUATION GEOGRAPHIQUE</b>                                   | 4     |
| <b>II. SITUATION CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE</b>                    | 6     |
| <b>III. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE</b>                 | 7     |
| 1. Le cadre géologique et structural                               | 7     |
| 1.1 Cadre géologique   | 7     |
| 1.2 Cadre structural   | 8     |
| 2. Le cadre hydrogéologique  | 9     |
| 2.1. Le système aquifère du Continental Terminal et du Quaternaire | 16    |
| 2. 2. L'aquifère de l'Eocène                                       | 16    |
| 2. 3. L'aquifère du Paléocène                                      | 16    |
| 2. 4. La nappe profonde du Maastrichtien                           | 17    |
| a. Les caractéristiques hydrodynamiques du Maastrichtien           | 18    |
| b. Caractéristiques hydrogéochimiques                              | 22    |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CHAPITRE II : ETAT DES LIEUX DE LA PROBLEMATIQUE</b>            |           |
| <b>DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE TOUBA</b>                   | <b>32</b> |
| <b>I. LES OUVRAGES EXISTANTS</b>                                   | <b>33</b> |
| 1. Forages   | 33        |
| 2. Ouvrages de stockage  | 39        |
| <b>II. LE RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE</b>                 | <b>41</b> |
| <br>   |           |
| <b>CHAPITRE III : MODELISATION DE LA NAPPE</b>                     |           |
| <b>MAASTRICHTIENNE</b>   | <b>42</b> |
| <br>   |           |
| <b>I. PRESENTATION DE MODFLOW</b>                                  | <b>43</b> |
| 1. Différents modèles utilisés pour la description de l'écoulement | 43        |
| 2. Le modèle MODFLOW   | 44        |
| 3. Méthode de résolution   | 44        |
| 4. Les principales fonctions du logiciel                           | 46        |
| <b>II. SIMULATION EN REGIME PERMANENT</b>                          | <b>48</b> |
| 1. Recueil et analyse des données d'entrée                         | 48        |
| a. La topographie  | 48        |
| b. La géométrie de l'aquifère                                      | 50        |
| c. Liste des ouvrages d'exploitation et d'observation              | 52        |
| d. Données piézométriques  | 52        |
| e. Les paramètres hydrodynamiques                                  | 54        |
| 2. Présentation du domaine à modéliser                             | 55        |
| a. Discrétisation spatiale   | 56        |
| b. Discrétisation du temps   | 56        |
| c. Conditions aux limites  | 57        |
| d. Calage du modèle en régime permanent                            | 58        |
| 3. Résultats de la simulation en régime permanent                  | 59        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>III. SIMULATION EN REGIME TRANSITOIRE</b> | <b>65</b> |
| 1. Scénario 1                                | 65        |
| 2. Scénario 2                                | 68        |
| 3. Scénario 3                                | 70        |
| 4. Conclusion sur la simulation              | 73        |
| <b>CONCLUSION GENERALE</b>                   | <b>74</b> |
| <b>PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS</b>       | <b>76</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>           | <b>77</b> |
| <b>ANNEXES</b>                               | <b>79</b> |

## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Caractéristiques des forages exploités de Touba
- Tableau 2 : Débits d'exploitation des forages de Touba
- Tableau 3 : Ouvrages de stockage
- Tableau 4 : Linéaire du réseau d'AEP de Touba par diamètre (après Magal 2004)
- Tableau 5 : Données piézométriques Juin 2006
- Tableau 6 : Comparaison des charges observées et des charges simulées
- Tableau 7 : Bilan scénario 1
- Tableau 8 : Bilan scénario 2
- Tableau 9 : Bilan scénario 3

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de situation de la zone d'étude

Figure 2 : Carte de situation des ouvrages et des profils

Figure 3 : Coupes lithologiques (3.a à 3.f)

Figure 4 : Répartition spatiale de la transmissivité du Maastrichtien

Figure 5 : Répartition spatiale de la transmissivité du Maastrichtien  
dans la zone d'étude

Figure 6 : Répartition spatiale du résidu sec

Figure 7 : Répartition spatiale des chlorures

Figure 8 : Répartition spatiale du fluor

Figure 9 : Répartition spatiale du nitrate

Figure 10 : Répartition spatiale du fer

Figure 11 : Carte topographique du terrain naturel

Figure 12 : Carte du toit du Maastrichtien

Figure 13 : Carte du substratum du Maastrichtien

Figure 14 : Carte piézométrique juin 2006 de la zone d'étude

Figure 15 : Coupe transversale au droit de Touba

Figure 16 : Reconstitution de la carte piézométrique en régime permanent

Figure 17.a : Droite de régression linéaire entre charges mesurées et simulées

Figure 17.b : Droite de régression linéaire après le calage en régime permanent

Figure 18 : Zones de perméabilité après le calage en régime permanent

Figure 19 : Carte piézométrique scénario 1

Figure 20 : Carte représentative des zones du bilan

Figure 21 : Carte piézométrique scénario 2

Figure 22 : Carte piézométrique scénario 3

## LISTE DES ABREVIATIONS

| SIGLE  | SIGNIFICATION   |
|--------|---|
| AEP    | Alimentation en Eau Potable                                       |
| DEH    | Direction des Etudes Hydrauliques                                 |
| DEM    | Direction de l'Exploitation et de la Maintenance                  |
| DGPRES | Direction de Gestion et de la Planification des Ressources en Eau |
| DHA    | Direction de l'Hydraulique et Assainissement                      |
| GPS    | Global Position Systeme   |
| IGN    | Institut Géographique National                                    |
| OMS    | Organisation Mondiale de la Santé                                 |
| PSE    | Programme Sectoriel Eau   |

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 0-1 : Essais de pompage du forage de Darou Minam Taïf  
et courbes de rabattement

Annexe 0-2 : Essais de pompage du forage de Fass Loly  
et courbes de rabattement

Annexe 0-3 : Essais de pompage du forage de Khaïra Gassane  
et courbes de rabattement

Annexe 0-4 : Essais de pompage du forage de Darou Salam Diop  
et courbes de rabattement

Annexe 1 : Données topographiques du terrain naturel

Annexe 2 : Données sur le toit du Maastrichtien

Annexe 3 : Données sur la transmissivité et la perméabilité

Annexe 4 : Données sur le résidu sec

Annexe 5 : Données sur les concentrations en chlorure

Annexe 6 : Données sur les concentrations en nitrate

Annexe 7 : Données sur les concentrations en fluor

Annexe 8 : Données sur les concentrations en fer

Annexes 9 : Photos de mesure de niveau statique

## INTRODUCTION

La maîtrise de l'eau dans les pays sahéliens comme le nôtre constitue une préoccupation particulière des pouvoirs publics. Celle-ci passe par la recherche et l'exploitation des ressources en eau indispensables aussi bien en quantité et en qualité pour le développement économique et social. Le potentiel des eaux de surface demeure important ; cependant leur mobilisation vers les grands centres urbains, grands consommateurs d'eau, nécessite souvent des investissements de taille. Ainsi, les eaux souterraines pratiquement disponibles sur l'étendu du pays sont de plus en plus sollicitées.

Parmi celles-ci, la nappe maastrichtienne couvrant les 4/5 du territoire national, demeure un réservoir énorme. Le Maastrichtien est le principal aquifère du pays. Il est exploité par plus de 800 forages à travers le pays.

Pour une gestion adéquate des ressources en eaux souterraines à long terme, il est nécessaire de connaître le fonctionnement et les caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère afin de maîtriser son évolution piézométrique suite à son exploitation intense dans certaines régions, notamment à Touba. Cette situation qui a comme conséquence une dégradation notoire de cette denrée dans la ville sainte, mérite une attention particulière. C'est à cet effet et suite aux recommandations et perspectives de l'étude de la nappe profonde du Maastrichtien de 2001 sur la nécessité d'élaborer un modèle de simulation hydrogéologique sur une échelle régionale que nous avons pensé à la zone Est de Touba.

Dans le cadre de cette modélisation, nous envisageons la démarche suivante:

- étude géologique de la couche maastrichtienne par l'aide de coupes géologiques pour définir précisément la nature des faciès rencontrés. Pour cela la base de données constituée de plusieurs dizaines de forages disponible à la DGPRES sera utilisée.
- Une étude exhaustive des ouvrages d'exploitation de la nappe avec les débits réels d'exploitation sera aussi menée en vue de déterminer les sorties de l'aquifère. De même la qualité chimique de la nappe sera appréciée.
- A l'aide du logiciel MODFLOW le modèle de nappe sera construit et un calage en régime permanent effectué sur la base d'une cartographie piézométrique.

Enfin plusieurs scénarii d'exploitation de la nappe avec positionnement de nouveaux ouvrages de captage seront étudiés. Le but étant de voir leur impact sur la baisse à long terme de la nappe maastrichtienne.

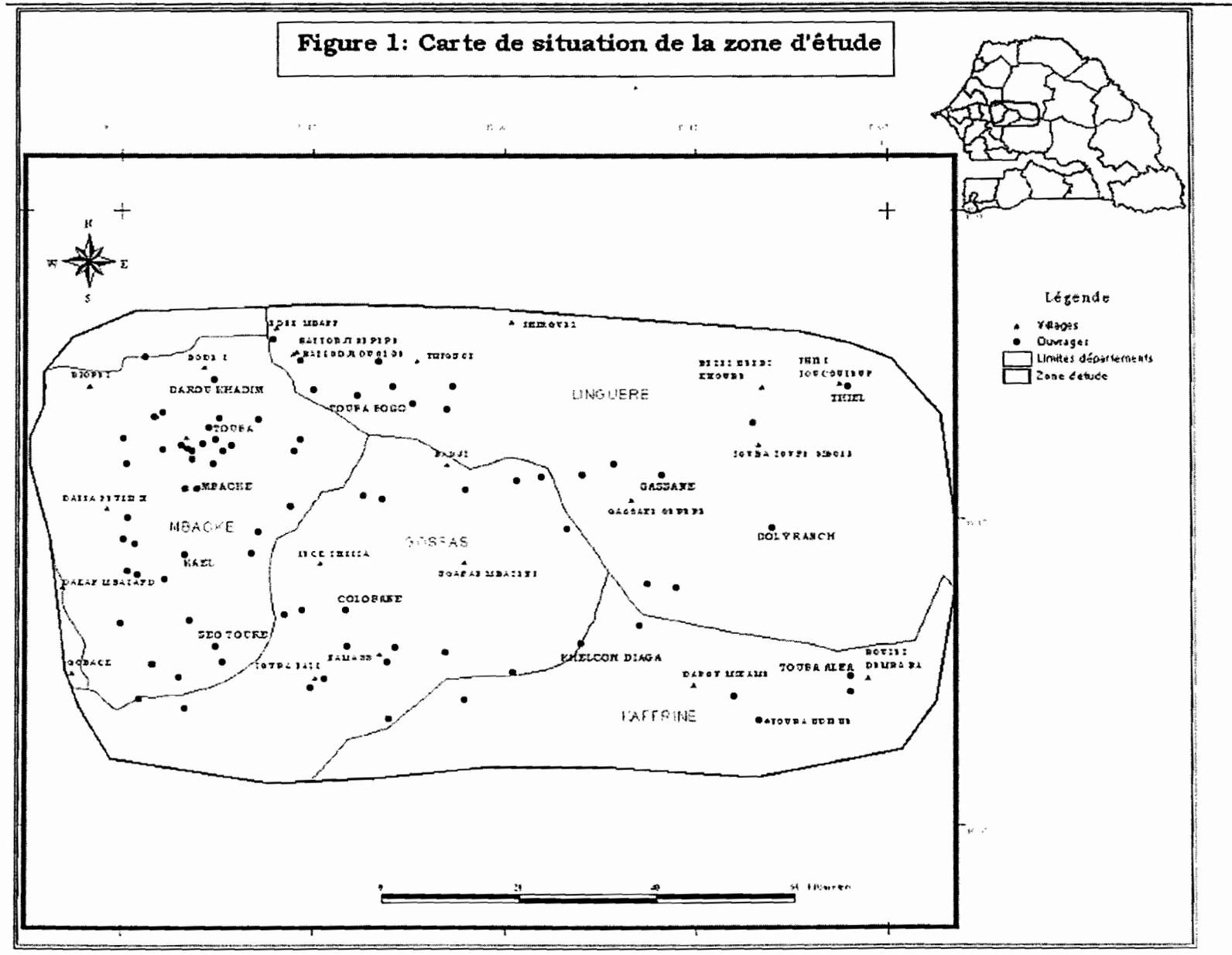
# CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

## I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La zone d'étude s'étend sur une bande Est- Ouest longue de 130 km (Thiel à Dalla) et large de 65 km (Déalé-Gniby). Elle se situe dans les régions de Diourbel, Fatick, Kaolack et Louga (Cf. figure 1).

Les coordonnées géographiques varient de 15 à 16° en longitude et de 14°30' et 15° en latitude. La ville sainte de Touba se situe au centre Ouest de cette bande (15°54'00'' Ouest et 14°52'00'' Nord).

La zone se trouve sur un plateau du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien très peu accidenté. Les sols sont constitués de type Dior favorables à la culture des céréales mais surtout de l'arachide d'où son appartenance au bassin arachidier.



## II. SITUATION CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

Le climat est de type sahélien. La pluviométrie qui varie entre 200 et 400 mm par an est faible et s'étend sur quatre mois de juin à septembre ; le mois le plus pluvieux est août. La température moyenne annuelle est de 30° Celsius. Cependant, la chaleur prédomine avec les vents chauds et secs de l'harmattan venant du Nord pendant la saison sèche. La mousson, vent chaud et humide venant du sud et du Sud-Est du pays est responsable de la pluviométrie.

La végétation est dominée par une savane arborée constituée essentiellement de « Cad » (*Acacia albida*), de « Soumpe » (*Balanites aegyptiacea* parsemée d'arbustes comme le Nguère (*Guera senegalensis*) etc. Dans la partie Est de la zone d'étude l'existence de réserve sylvo-pastorale favorise le développement d'autres espèces telles que le « dimbe » (*Cordia pinnata*) dans la partie Sud-Est du secteur d'étude.

Cette végétation peu verdoyante est toutefois source d'évapotranspiration considérable en zone sahélienne.

Les cours d'eau réguliers sont inexistantes. Par contre on trouve quelques rares vallées telles que le Sine et des affluents de la vallée du Ferlo constituant les marigots dans la réserve sylvo-pastorale de Doli.

### III. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

#### 1. Le cadre géologique et structural

##### 1.1 Cadre géologique

La zone d'étude se situe au point de vue géologique au centre du bassin Sénégal-mauritanien. Tous les âges (du socle cristallin au Quaternaire) sont représentés. Les études hydrogéologiques, les forages et les sondages réalisés dans le secteur nous ont permis d'établir la description lithologique ci-après :

##### - **Le Quaternaire et Continental Terminal**

Ils sont constitués essentiellement de sable jaune à sable argileux ou argile sableuse et des gravillons latéritiques utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics au niveau de la ville sainte. Les carrières sont identifiées dans les villages de Ndock au Sud de Touba et ceux au Nord de Ndiindy.

La puissance de ces formations peut atteindre 40m dans certains endroits. Des dépôts calcaires d'origine lacustre peuvent être aussi observés par endroit dans la zone d'étude.

##### - **L'Eocène**

Les formations de l'Eocène inférieur et moyen sont représentées dans notre zone d'étude, par des faciès argilo-marneux de calcaires marneux aux marno-calcaires et marnes grises. L'épaisseur de l'Eocène avoisine les 100 m.

### - **Le Paléocène**

La formation du Paléocène s'étend sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 100 m. Le Paléocène est également constitué de calcaires à calcaires marneux, de marnes. Il est limité à sa base par une couche d'argile noire constituant ainsi la zone de transition entre le Paléocène et le Maastrichtien.

### - **Le Maastrichtien**

Le Maastrichtien se compose de sable argileux à sable grossier avec des intercalations de grès et d'argiles. Les forages d'eau ne captant que la partie superficielle ne permettent pas de déterminer son épaisseur exacte. Cependant les sondages pétroliers dans le secteur (Ga1 de Gassane, Kb1 de Kolobane et DI 1 de Diourbel) donnent des épaisseurs de l'ordre de 300 m.

## **1.2 Cadre structural**

L'étude structurale a permis de relever deux failles dans la zone d'étude. Une faille méridienne ( $15^{\circ}40'$ ) et une faille de direction Nord-Est affectent toute la zone sédimentaire.

Le secteur d'étude est à cheval sur deux zones qui sont :

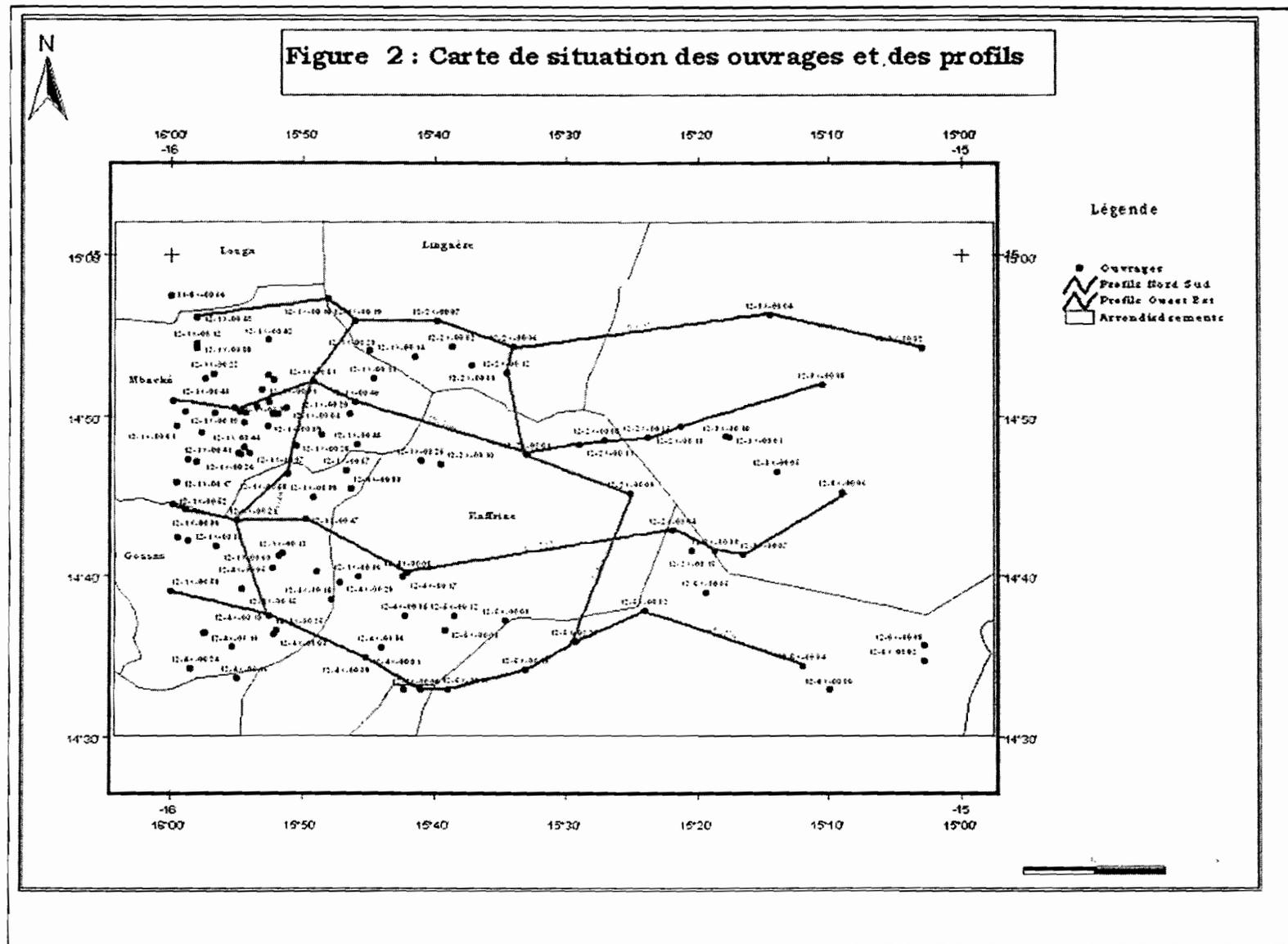
- La zone Est qui englobe la partie Est du bassin (jusqu'à  $15^{\circ}30' W$ ). Sa limite Ouest correspond à la faille méridienne ;
- La zone centrale (entre  $16^{\circ}$  et  $16^{\circ}35'W$ ), est caractérisée par des courbures épirogéniques.

## 2. Le cadre hydrogéologique

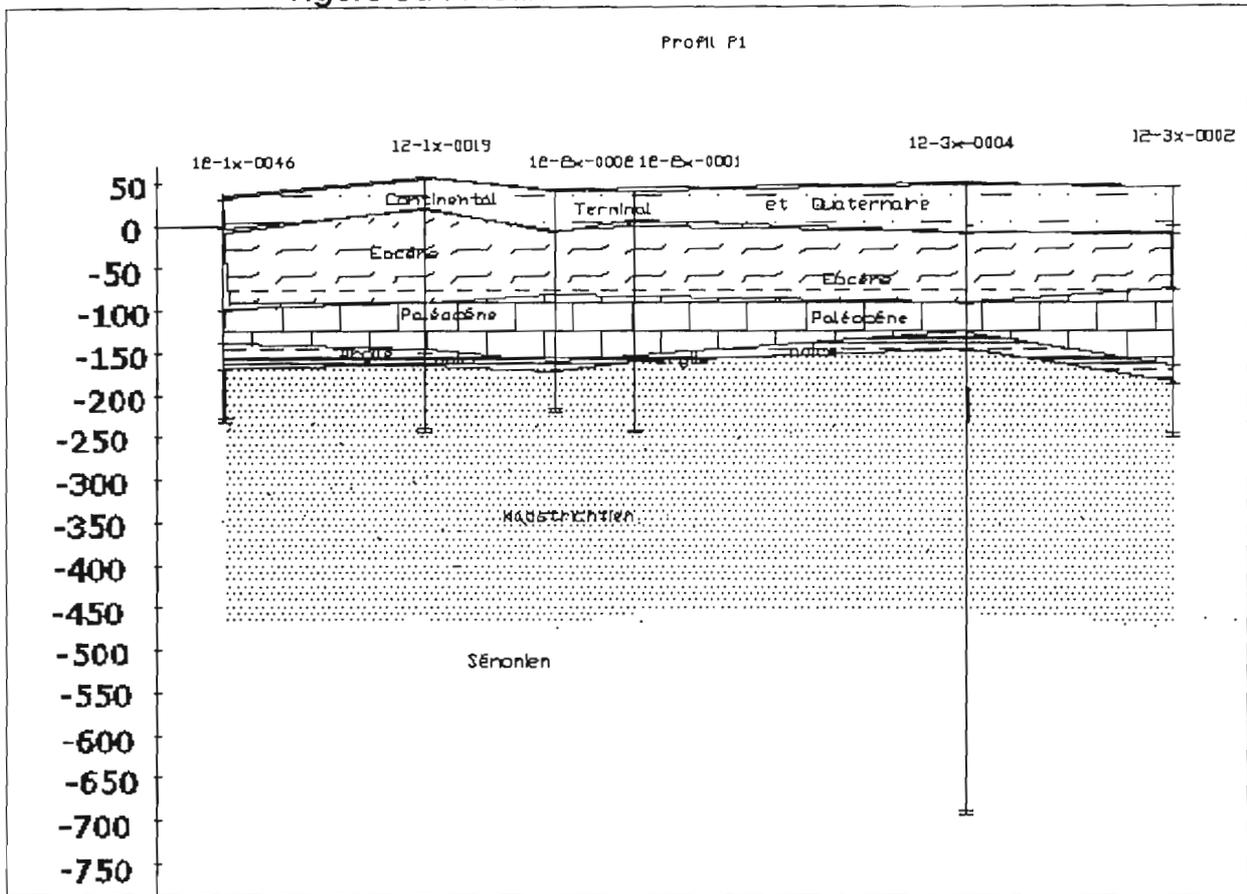
Le système aquifère de la zone d'étude est constitué d'une puissante sédimentation où tous les âges y sont représentés : du socle granitique au Quaternaire en passant par le Crétacé et le Tertiaire (Ga.1, 1959). Ce remplissage, qui dépasse 700 m d'épaisseur, est composé de sables grossiers à sables argileux ou argiles sableuses (Maastrichtien), de calcaires à calcaires marneux ou marno-calcaires (Paléocène-Eocène) et de sables jaunes à sables argileux (Continental Terminal et Quaternaire).

Cette sédimentation correspond parfaitement au cadre structural. Elle forme un réservoir bien distinct avec des horizons aquifères empilés les uns sur les autres.

Afin de mieux apprécier la géométrie de ce système aquifère dans la région étudiée, nous avons établi six coupes de corrélation lithologiques (figures 2 et 3) en se basant sur les logs géologiques des forages et des sondages effectués tout en se référant aux caractéristiques hydrogéologiques (débit spécifique, profondeur de captage, résidus secs ...).



**Figure 3 : Coupes lithologique**  
**Figure 3a : Profil1**



**Figure 3b : Profil2**

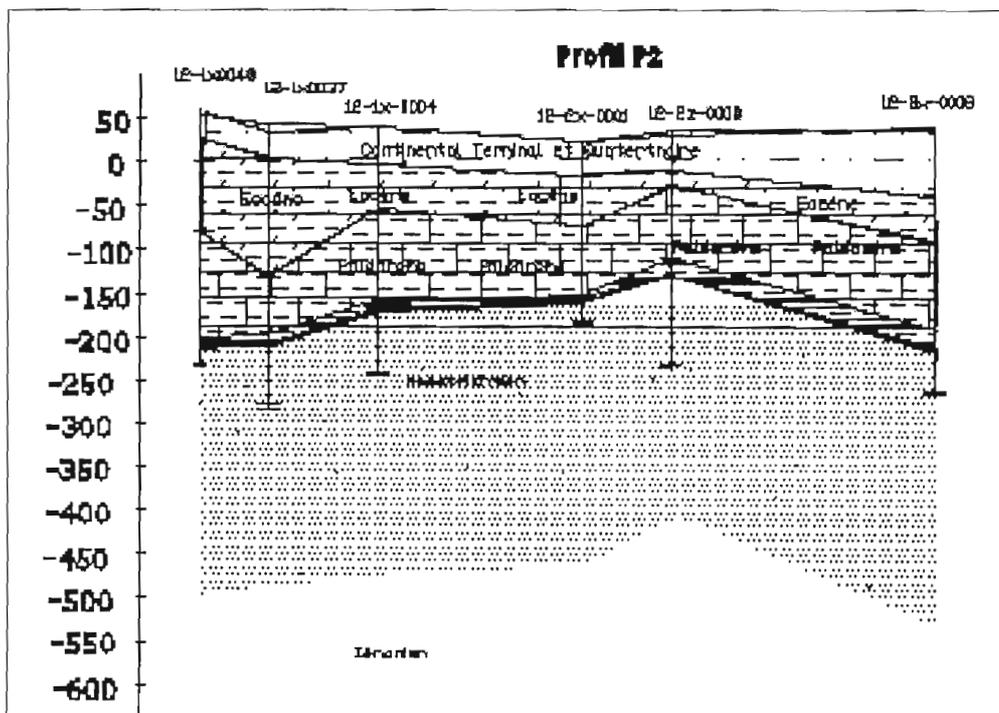


Figure 3d : Profil 4

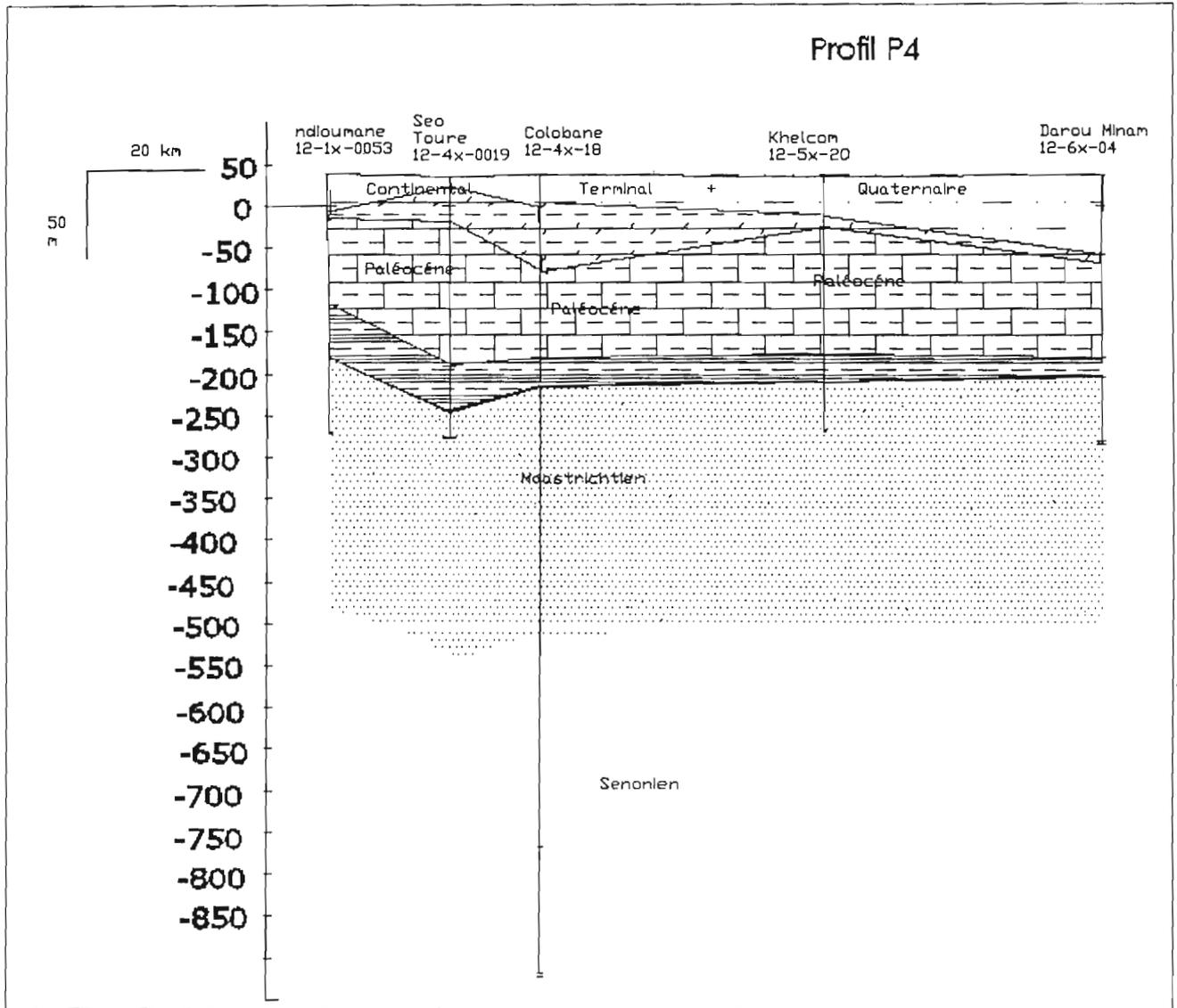


Figure 3 e : Profil 5

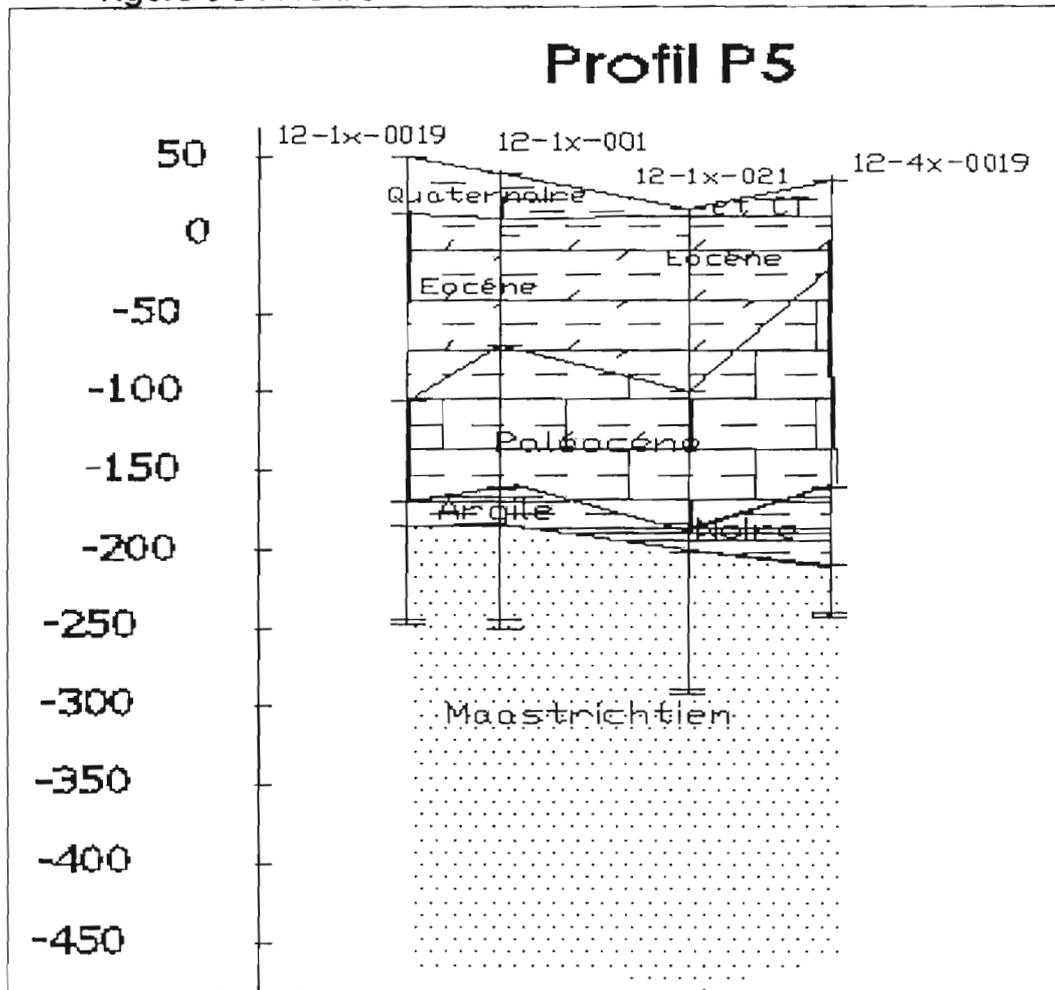
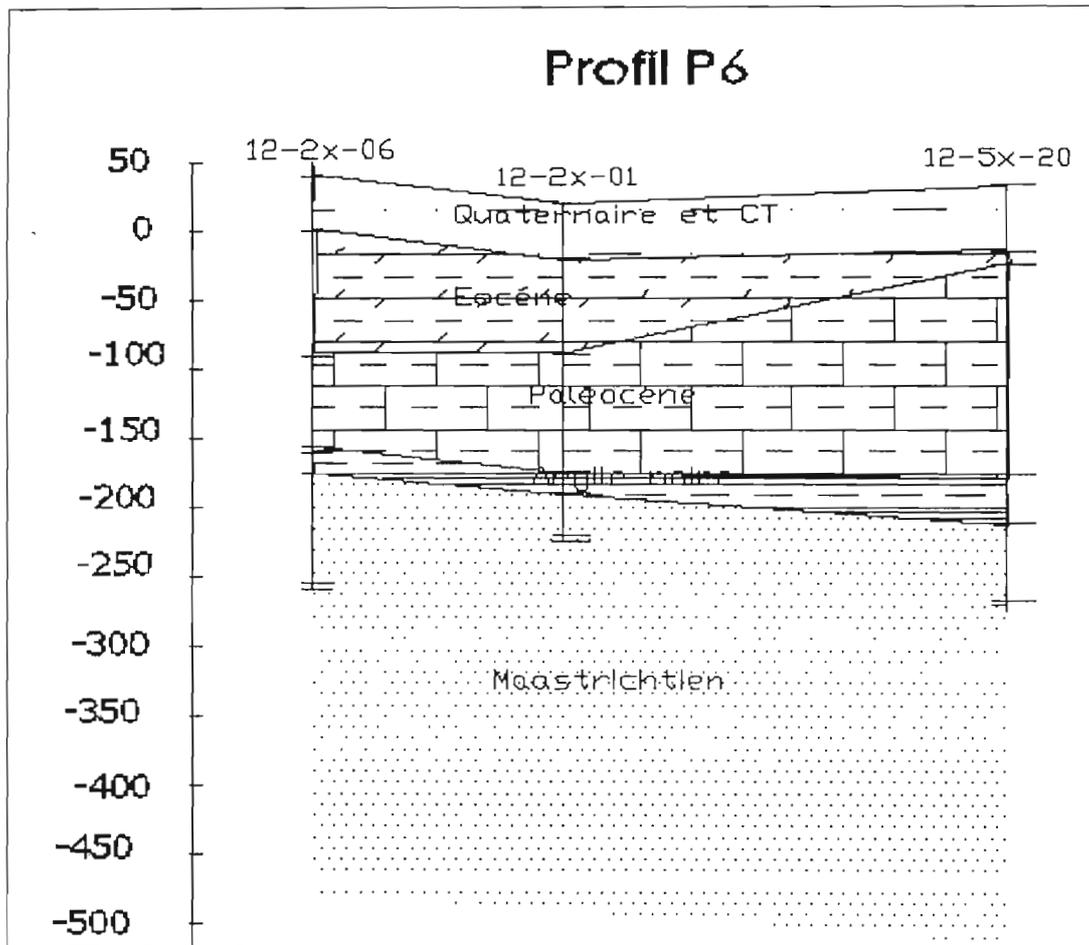


Figure 3f : Profil 6



Ces coupes ont permis de mettre en évidence les aquifères suivants :

### **2.1. Le système aquifère du Continental Terminal et du Quaternaire**

Dans le secteur d'étude, l'exploitation du complexe du Continental Terminal et du Quaternaire est très faible. Ce système aquifère est gravement affecté par les années de sécheresse successives des années 70 et 80. Seuls les puits traditionnels non pérennes villageois exploitent cet aquifère surtout dans les rares vallées.

### **2. 2. L'aquifère de l'Eocène**

Les faciès de cet horizon sont non productifs car ils sont constitués de marnes et de marno-calcaires. Aucun forage d'exploitation ne capte cette formation dans notre zone d'étude.

### **2. 3. L'aquifère du Paléocène**

Le faciès de la nappe Paléocène est composé comme l'éocène de calcaire et calcaire marneux avec quelque passage de fractures qui constitue la partie aquifère. Il est capté dans la ville sainte par le forage de Aïnourahmaty avec un débit faible (10 m<sup>3</sup>/h).

L'étude des nappes superficielles (Quaternaire et Continental Terminal) et des nappes intermédiaires (Eocène et Paléocène) montre que celles-ci sont très peu favorables à l'exploitation pour l'alimentation en eau potable de Touba en quantité et en qualité.

Cependant la nappe profonde du Maastrichtien demeure un réservoir important dans l'ensemble du bassin sédimentaire Sénégal-mauritanien.

#### **2. 4. La nappe profonde du Maastrichtien**

Le Maastrichtien est bien représenté dans la zone d'étude. Il correspond à une époque marquée par une sédimentation de type détritique ; cette séquence s'est poursuivie jusqu'au début du Paléocène. Ainsi les dépôts du Maastrichtien correspondent à :

- o des éléments détritiques grossiers : galets, graviers quartzeux
- o des éléments détritiques fins : sables parfois argileux et grès,
- o des argiles marquant les limites verticales de l'aquifère.

Il est important de souligner que la pureté des sables augmente suivant la profondeur alors que les faciès argileux et gréseux correspondent aux niveaux inférieurs du Paléocène.

Pour la limite inférieure, nous nous intéresserons à la limite d'eau douce contenu dans le faciès du Maastrichtien et du Sénonien.

Les études effectuées dans cette zone indiquent une puissance avoisinant les 300 m. Cette valeur est confirmée par les coupes longitudinales (Est-Ouest) et les coupes transversales (Nord-Sud) utilisant les sondages pétroliers de Gassane, Kolobane et de Diourbel. Cela est confirmé par les travaux de Babacar DIENG (1985) qui estime l'épaisseur de la nappe maastrichtienne à 300 m.

## a. Les caractéristiques hydrodynamiques du Maastrichtien

Les caractéristiques hydrauliques à savoir la transmissivité, la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement sont les éléments clés dans l'élaboration du modèle de simulation hydrogéologique.

Ces caractéristiques liées par relations mathématiques sont ainsi définies :

### ➤ La transmissivité T

Elle est définie par  $T = Kb$  où  $b$  est la puissance de l'aquifère et  $K$  est la conductivité hydraulique (perméabilité) en considérant l'aquifère homogène dans notre secteur d'étude.

Les données de transmissivité ont été obtenues auprès de la Direction Gestion de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE) d'une part ; d'autre part, nous avons complété ces données par calcul à partir des essais de pompage effectués sur les forages de Darou Minam Taïf, Fass Loly, Khaïra Gassane et de Darou Salam Diop (voir annexe 0-1 à 0-4). Cela nous permet d'avoir une bonne répartition de la transmissivité dans l'espace.

L'analyse de ces données donne des valeurs de transmissivité variant entre  $1.6 \cdot 10^{-3}$  et  $10 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ .

L'utilisation du logiciel de cartographie « ArcView » nous a permis d'établir la carte de la répartition spatiale de la transmissivité au niveau de notre zone d'étude. Une carte de la distribution de la transmissivité du système aquifère du maastrichtien au Sénégal montre la même allure (SGPRE et COWI-POLYCONSULT, 2001). L'analyse de ces cartes fait remarquer que notre zone d'intervention (partie Est) dispose d'une bonne transmissivité comparée au reste du pays (Cf. figure 4 et 5).

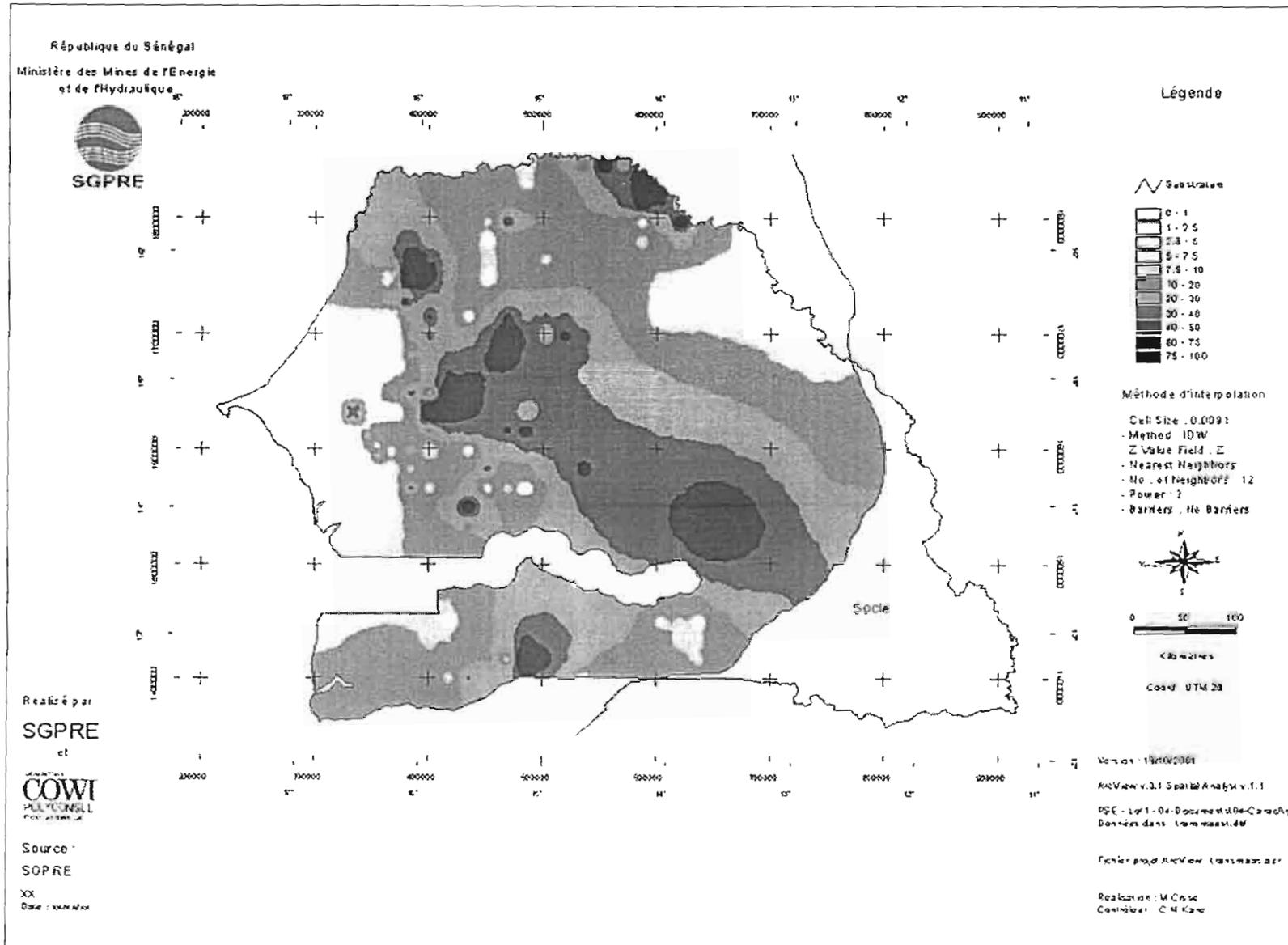
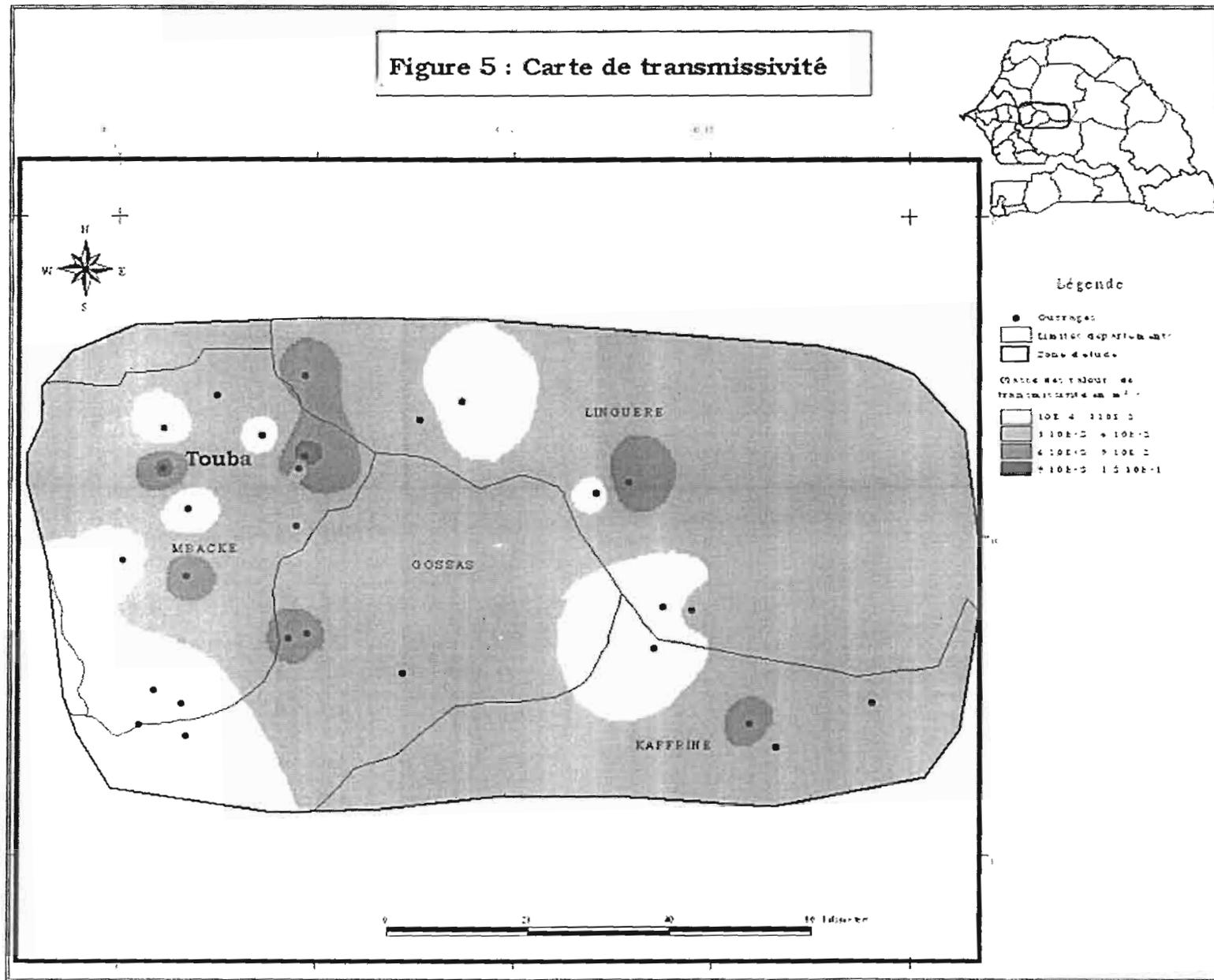


Figure 4 : Carte de transmissivité du Maastrichtien dans bassin sédimentaire sénégalais



➤ **La perméabilité K ou conductivité hydraulique :**

C'est le rapport entre la transmissivité et la puissance. Par conséquent, en tenant compte d'une puissance de l'aquifère maastrichtien égale à 300 m, **la perméabilité** oscille dans la fourchette  **$5.3 \cdot 10^{-6}$**  et  **$3.8 \cdot 10^{-4}$**  m/s.

➤ **Le coefficient d'emmagasinement S :**

Il est défini comme la quantité d'eau d'un aquifère relâchée ou emmagasinée par unité de surface d'épaisseur **b** lorsque la charge hydraulique varie d'une unité. C'est un coefficient adimensionnel. L'eau est mobilisée de la façon suivante : une variation de charge engendre une variation de pression d'eau interstitielle, donc une variation de contrainte effective et donc un tassement des solides de l'aquifère. Par conséquent dans le cas de nappe captive, les valeurs de S sont faibles ( $10^{-5}$  à  $10^{-3}$ ).

➤ **Le coefficient d'emmagasinement spécifique Ss :**

Il est défini comme étant le quotient du coefficient d'emmagasinement et de l'épaisseur de l'aquifère.

On note que :  **$Ss = S/b$** . Etant dans le cas d'une nappe captive, S et Ss peuvent être supposés constants dans les équations des essais de pompage.

## **b. Caractéristiques hydrogéochimiques**

Depuis les années 1950, de nombreux ouvrages (forages, sondages et piézomètres) ont vu le jour ; notamment pendant et après la décennie de l'eau (1981-1990). Il s'y ajoute les études hydrogéologiques menées par Degallier (1962) ; Audibert (1964), Travi (1988); et les thèses universitaires de Babacar Dieng (1988) et Abdoulaye Faye (1994), mettant en œuvre des analyses chimiques et isotopiques de la nappe maastrichtienne. Toute cette documentation a permis la mise en place d'une base de données des analyses chimiques des différents ouvrages hydrauliques réalisées au Sénégal. Cette base peut être consultée à la DGPRE. L'analyse de ces données indique que notre secteur d'étude se trouve sur une partie plus ou moins complexe. En effet d'après l'étude hydrogéologique COWI-Polyconsult (2001) ; la zone de Touba est à cheval sur la bande centrale salée et la partie Est du bassin sénégal-mauritanien où la qualité est meilleure au point de vue hydrochimique (Figures 6 à 10)

➤ **Le résidu sec**

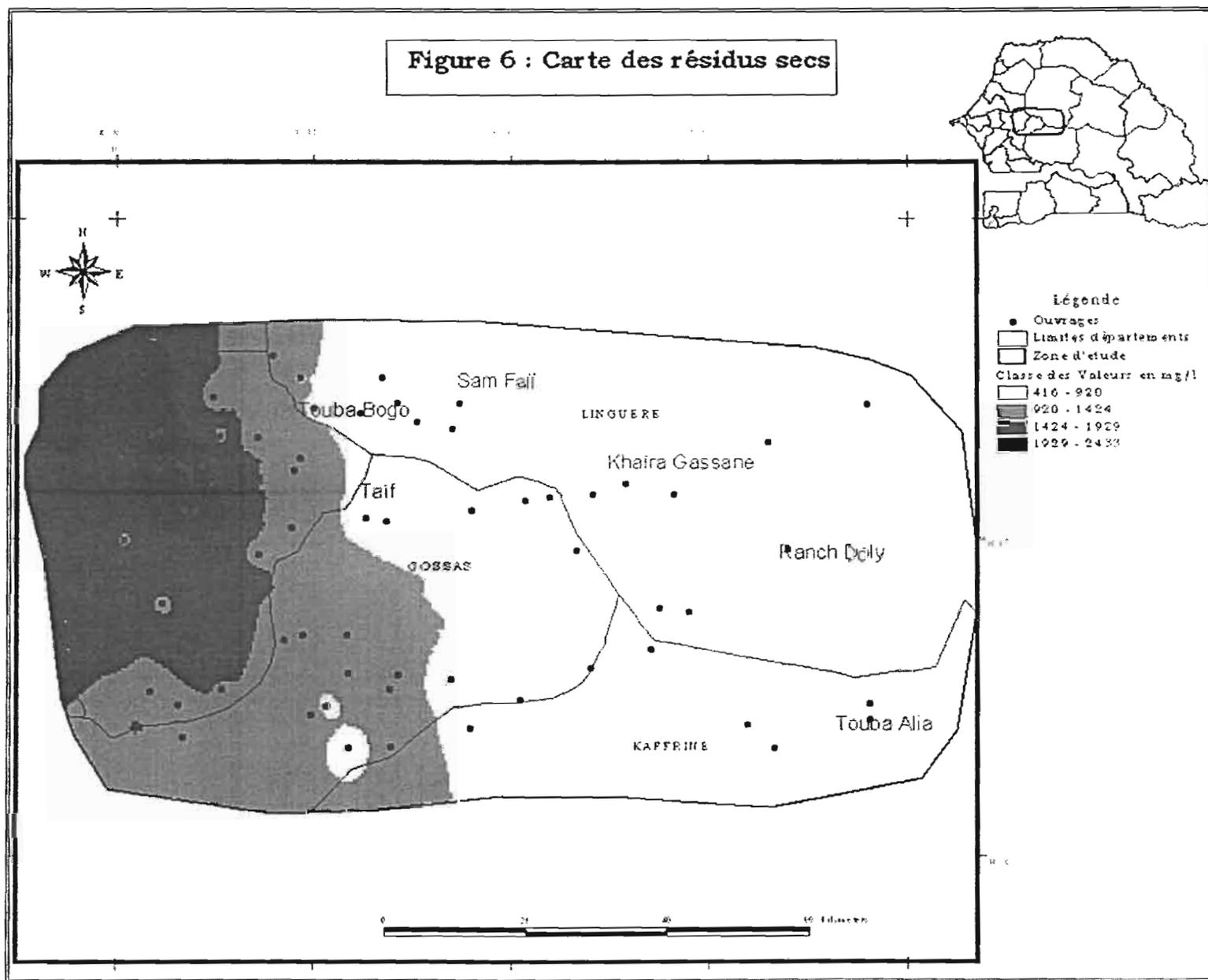
Le résidu sec diminue d'Ouest en Est. Pour les forages situés à l'intérieur de la ville sainte, le résidu sec varie de 1318 à 2168 mg/l. Ce résidu sec diminue considérablement si l'on se déplace vers l'Est dans les localités de Touba Bogu, Taïf et Sam Fall ; il est respectivement 650, 786 et 560 mg/l. Plus à l'Est, ce taux passe de 480 à Khaira Gassane, 420 au Ranch Doly et à 416 mg/l à Touba Alia.

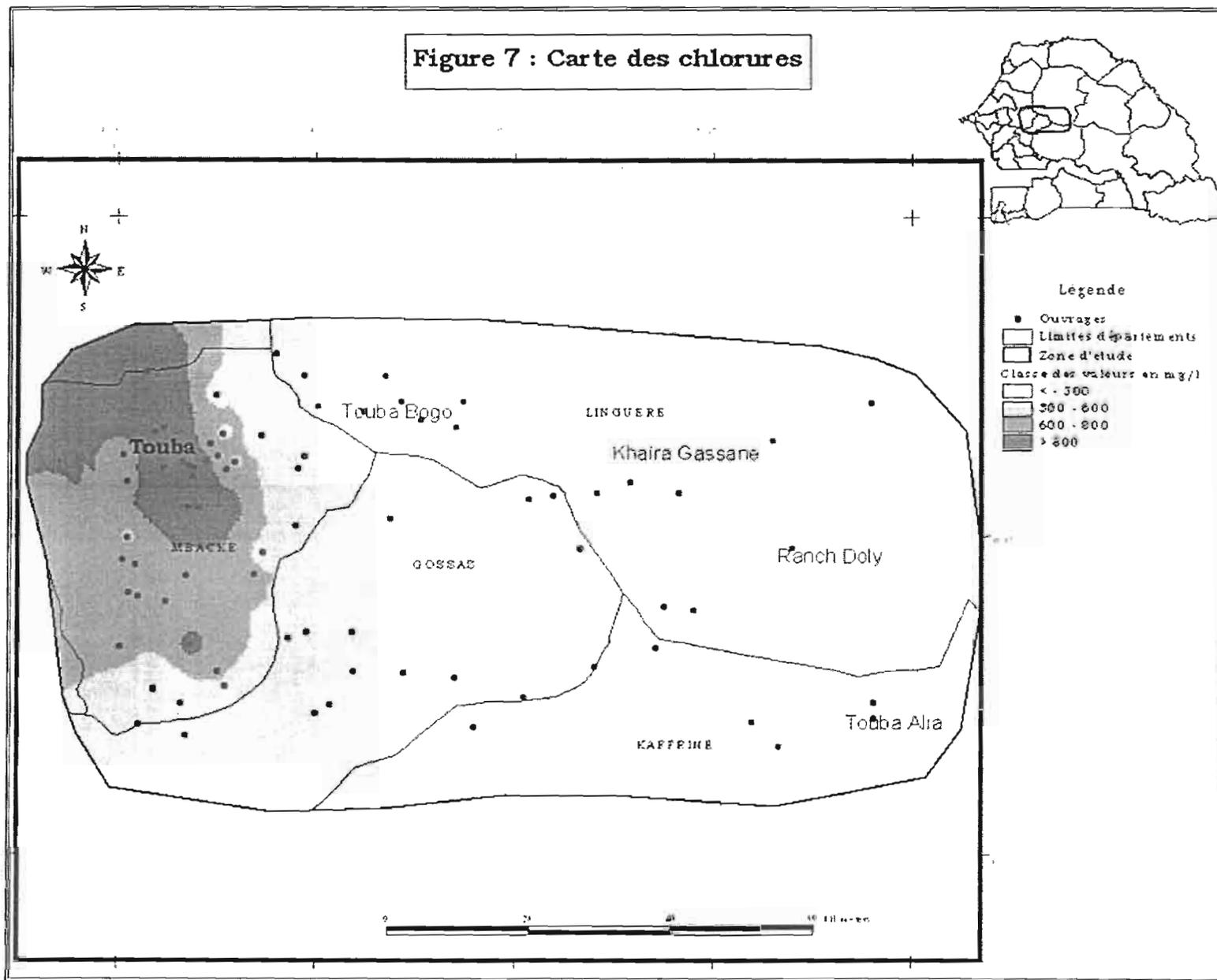
Par ailleurs le résidu sec et le chlorure étroitement liés présentent les mêmes distributions spatiales. Les teneurs en chlorure varient de 66 mg/l à Touba Bogu, 187,2 à Taïf, 117 à Sam Fall, elles deviennent plus faibles à Khaira Gassane (28), Ranch Doly (18.4) et Touba Alia (17.7 mg/l)

On remarque que ces taux de résidu sec dépassent les normes de l'OMS (1500 mg/l) dans la partie occidentale alors qu'à l'Est des villages de Ndindy et Ndiouroul Daara, ils restent inférieurs à 1300 mg/l (Figure 6).

➤ **Le Chlorure**

Le chlorure suit les mêmes variations que le résidu sec. Les concentrations sont élevées à Touba et Mbacké comme celles des résidus secs (Figure 7).

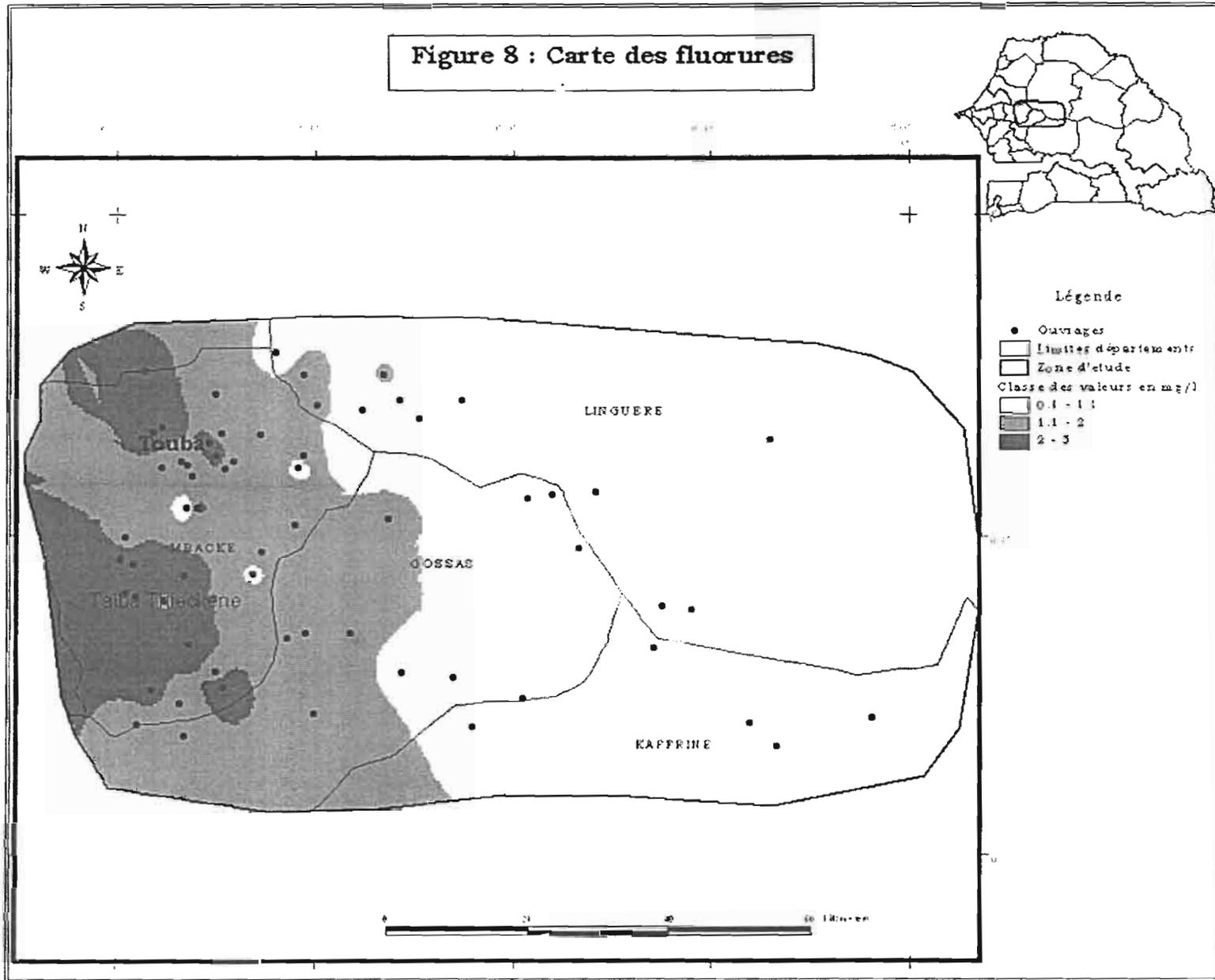




### ➤ **Le Fluor**

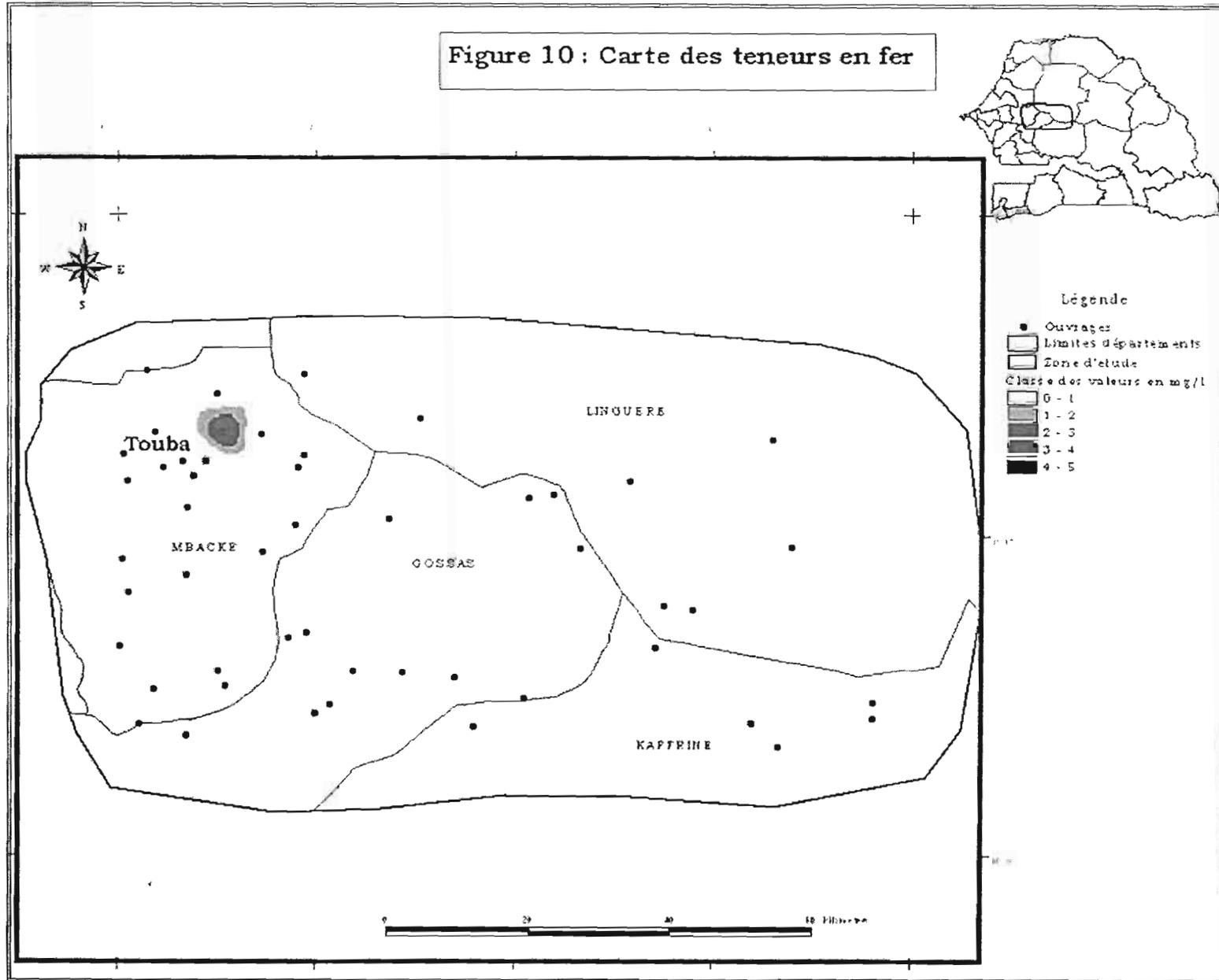
Suivant les normes de l'OMS la valeur maximale de la teneur en fluor admise est de 1.5 mg/l. Au delà de cette valeur, la consommation de l'eau devient dangereuse pour la santé publique. La fluorose dentaire apparaît à partir des concentrations de l'ordre de 2 mg/l alors que les formes de fluoroses graves (osseuse, dentaire et articulaire) apparaissent à partir de 4 mg/l.

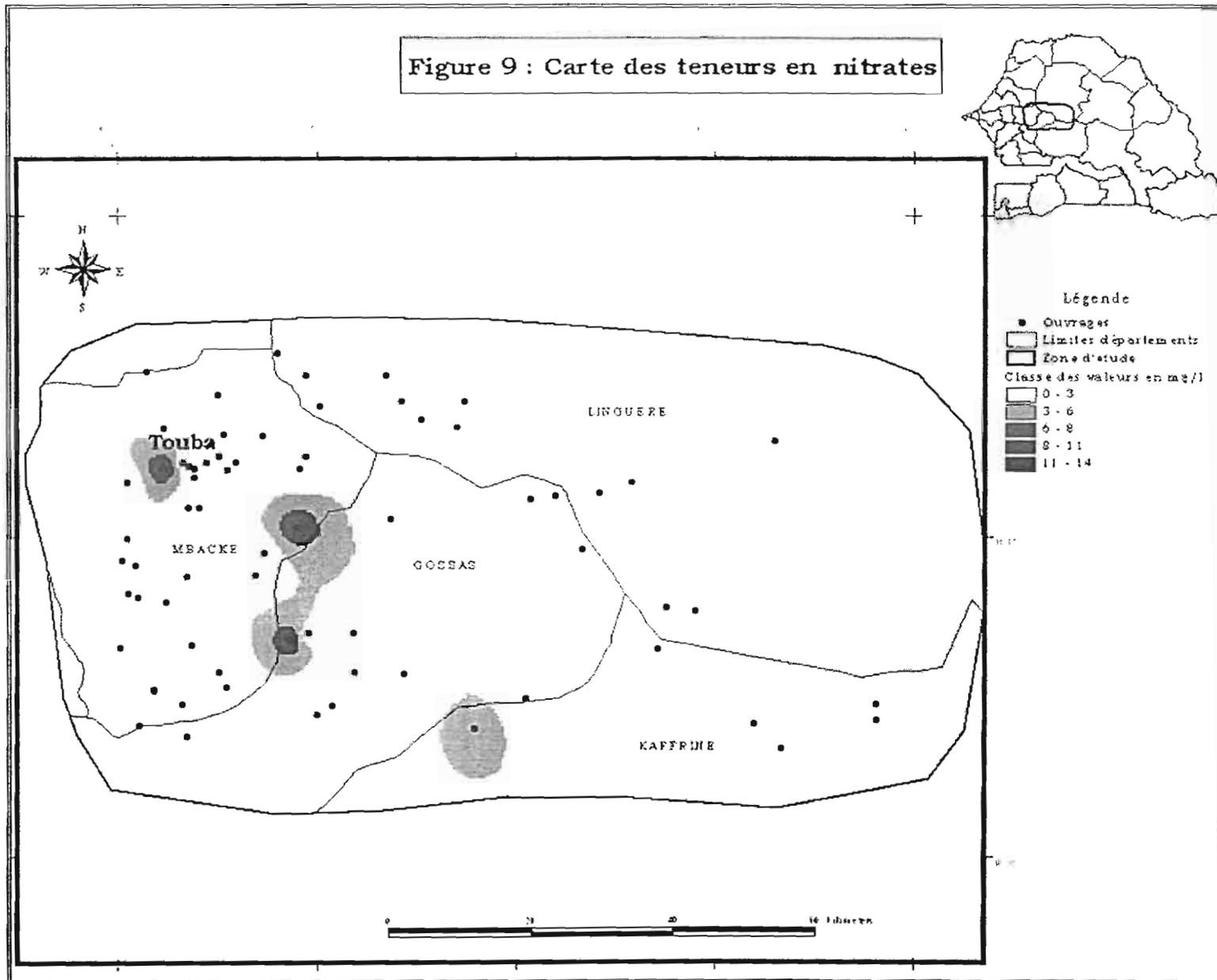
Dans notre secteur d'étude, la teneur varie entre 0.1 et 2.8 mg/l (Figure 8). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au Nord-Ouest de Touba (Mbayenne Missirah 2.2 mg/l) et Sud-Ouest (Taïba Thieckène 2.8 mg/l).



➤ **Le Nitrate**

Le taux de nitrate observé dans la zone d'étude est généralement inférieur à 2 mg/l (Figure 9). Les seules valeurs supérieures à ce taux sont notées à Touba F7 (14), à Ndiouroul Dara et à Khayane (10mg/l). Cette faible valeur du nitrate pourrait être due à la captivité de l'aquifère. En effet, la profondeur du toit constitué d'une couche d'argile, limite toute pollution ; ce qui préserve la bonne qualité au point de vue du taux de nitrate.





### ➤ **Autres caractéristiques**

L'étude des caractéristiques sur les autres propriétés physico-chimiques réalisée dans la zone de la ville sainte montre :

- Un pH maximal de 8.4 inférieur à la limite tolérable d'après la norme OMS (8.5)
- Un taux en fer oscillant entre 0.1 et 1 mg/l. Un goût désagréable apparaît à partir de 1 mg/l et une couleur rougeâtre franche à partir de 3 mg/l. Dans notre domaine d'étude la teneur en fer reste faible.
- L'origine du bore est souvent attribuée à de l'eau résiduelle d'origine marine (Travi et Faye, 1990). La distribution spatiale des concentrations en bore semble correspondre à celle observée pour les chlorures et les fluorures.

Par ailleurs, la profondeur des eaux captées étant de l'ordre de 300 m, l'étude des caractéristiques bactériologiques n'est pas nécessaire car à cette profondeur les eaux ne peuvent être contaminées.

**CHAPITRE II :**  
**ETAT DES LIEUX DE LA PROBLEMATIQUE DE**  
**L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE TOUBA**

## I. LES OUVRAGES EXISTANTS

Les ouvrages sont essentiellement constitués par les ouvrages d'exploitation (forages) et de stockage (réservoirs).

### 1. Forages

Hormis le forage de Aïnou Rakhmati appelé forage d'eau bénite avec un débit de 10 m<sup>3</sup>/h, la ville sainte compte actuellement 15 forages équipés et exploités. Tous ces forages captent la nappe maastrichtienne.

Le tableau 1 ci-dessous indique les forages de Touba et leurs caractéristiques.

Tableau 1 : Caractéristiques des forages exploités de Touba

| Désignation           | Année de mise en service | Prof. (m) | Niveau Statique /TN (m) | Débit de réception (m3/h) | Débit d'équipement (m3/h) | Rabat. (m) |
|-----------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| F. Baye Lahat F1      | 1970                     | 286       | 40.55                   | 150                       | 132                       | 9.2        |
| Touba Guédé F2        | 1978                     | 301       | 42.48                   | 150                       | 132                       | 7.32       |
| Ndamatou F3           | 1979                     | 280       | 39.5                    | 150                       | 150                       | 12.5       |
| Darou Rakhmane F4     | 1979                     | 306       | 33.3                    | 250                       | 211                       | 9.36       |
| Khaira F5             | 1979                     | 322       | 38.53                   | 233                       | 186                       | 10.77      |
| Sam Touba F6          | 1982                     | 324       | 43.96                   | 141                       | 132                       | 9.65       |
| F7                    | 1996                     | 295       | 43.2                    | 210                       | 188                       | 13.75      |
| Route Darou Mousty F8 | 2002                     | 311       | 48.2                    | 360                       | 264                       | 27.96      |
| Université F9         | 2002                     | 292       | 49.7                    | 263                       | 198                       | 29.6       |
| Gouye Mbind F10       | 2002                     | 270       | 45.03                   |                           | 200                       | 27.86      |
| Darou Khadim F11      | 1978                     | 273       | 45.5                    | 250                       | 200                       | 8.8        |
| F. Kébé 2             | 1998                     | 290       | 49.1                    | 200                       | 186                       | 12.61      |
| F.Ndame 2             | 1998                     | 295       | 44.61                   | 300                       | 180                       | 13.67      |
| F. Hopital            | 2002                     | 292       | 51.7                    | 60                        | 30                        | 9.5        |
| F. Mbousobé           | 2005                     | 302       | 45.72                   | 257                       | 200                       | 23.64      |

**Sources : DEM et DGPRE (2006)**

Selon les données de la DEM, les débits d'exploitation des forages de la ville sainte de Touba varient entre 100 m<sup>3</sup>/h (Sam Fall F6) et 240 m<sup>3</sup>/h (Darou Khadim F11, Route de Darou Mousty F8). Le forage F. hôpital dont le débit est faible dessert uniquement l'Hôpital. Cependant il peut venir en appoint aux heures de pointe et surtout pendant le Grand Magal.

Pendant la période du grand Magal (18 Safar), tous les forages fonctionnent 24 heures sur 24 avec leurs débits maximaux. Le tableau 2 donne les débits d'exploitation des 15 forages de Touba captant la nappe maastrichtienne. Le débit horaire total est de 2658 m<sup>3</sup>/h ; soit une production journalière de **58 696 m<sup>3</sup>**

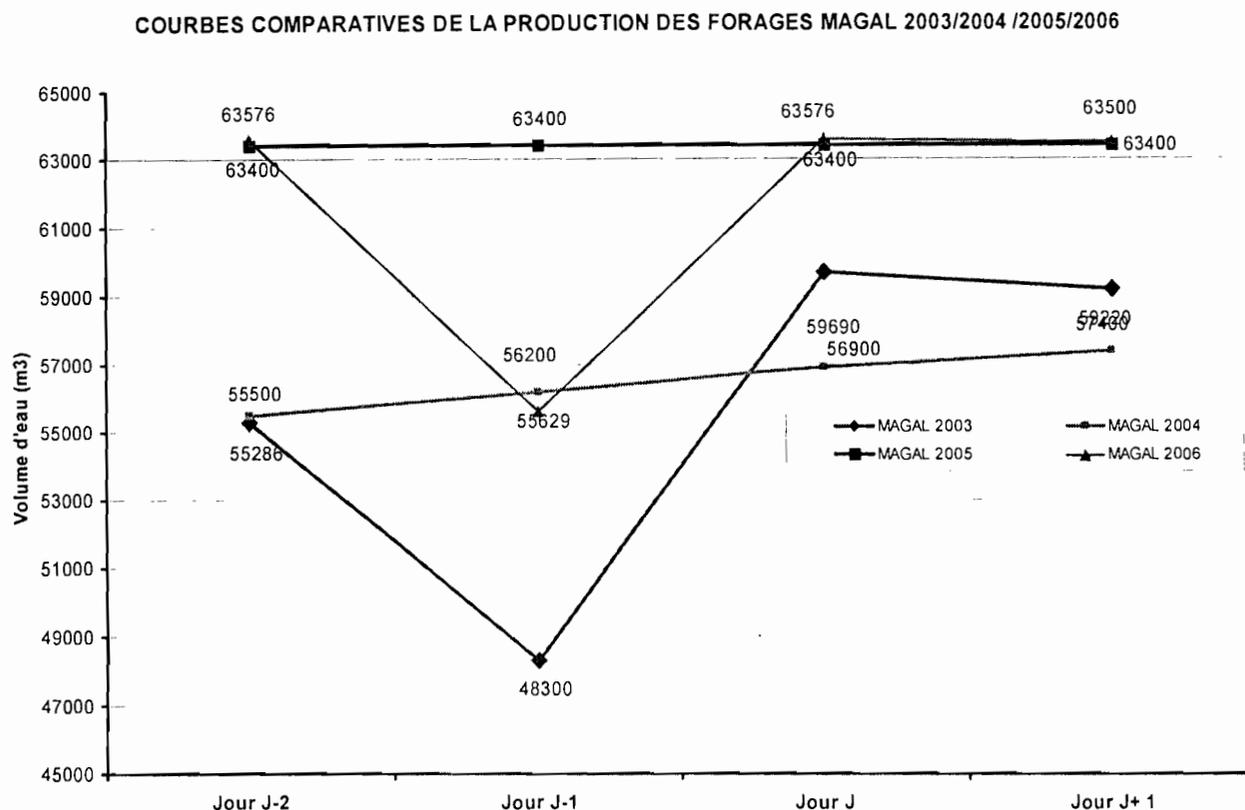
Tableau 2 : Débits d'exploitation des forages de Touba

| N°           | Désignation           | Débit<br>d'exploitation<br>(m <sup>3</sup> /h) | Production<br>Journalière<br>(m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------------------|--|--|
| 1            | Baye Lahat F1         | 132  | 2904   |
| 2            | Touba Guédé F2        | 123  | 2706   |
| 3            | Ndamatou F3           | 156  | 3432   |
| 4            | Darou Rakhmane F4     | 204  | 4488   |
| 5            | Khaïra F5             | 186  | 4092   |
| 6            | Sam Touba F6          | 100  | 2200   |
| 7            | Darou Tanzil F7       | 220  | 4840   |
| 8            | Route Darou Mousty F8 | 240  | 5280   |
| 9            | Université F9         | 220  | 3564   |
| 10           | Gouye Mbind F10       | 211  | 4642   |
| 11           | Darou Khadim F11      | 240  | 4840   |
| 12           | F. Kébé               | 162  | 5280   |
| 13           | F.Ndame 2             | 234  | 5148   |
| 14           | F. Mboussobé          | 200  | 4400   |
| 15           | F. Hôpital            | 30   | 660  |
| <b>TOTAL</b> |                       |  | <b>58696</b>                                   |

Source : Unité de Maintenance des forages de Touba (DEM)

NB : Le temps de pompage retenu est de 22 heures par jour.

Les statistiques de la Direction de l'Entretien et de la Maintenance (DEM) ont permis de suivre l'évolution de la production de ces forages pendant ces quatre derniers grands Magal (de 2003 à 2006)



Les courbes indiquent, à la veille du grand Magal de l'année 2003, des productions passant de 55283 à 48300 m<sup>3</sup> par jour soit une perte de production de 6983 m<sup>3</sup> par jour. Pour l'année 2006, la chute va de 63400 à 55629 m<sup>3</sup> par jour, soit 7771 m<sup>3</sup> de perte en production.

Ces pics en baisse seraient dus aux délestages ou aux baisses de tension de la compagnie d'énergie et non aux caractéristiques de la nappe.

Ces deux faits ont été marqués par une pénurie terrible en eau dans la ville pendant le jour même du Grand Magal où la demande atteint son maximum estimé à 65 000 m<sup>3</sup>.

L'augmentation de la production entre les années 2003 et 2006 s'explique par la réalisation de quatre nouveaux forages : Gouye Mbind, Route de Darou moutsy, Université, le Forage de l'hôpital et l'équipement du forage de Darou Khadim réalisé en 1978, situé à 10 km au nord de Touba.

L'accroissement exponentiel du nombre de pèlerins venant se recueillir d'année en année dans la ville sainte pendant les événements religieux (Gamou, Laïlatoul Khadre et surtout le Grand Magal) explique une telle augmentation de la production.

Par ailleurs, cela peut être expliqué par une importante augmentation de la population résidente de Touba chaque année. En effet beaucoup de personnes effectuent l'exode rural pour aller s'installer définitivement à Touba.

Cet accroissement démographique s'accompagne de la naissance d'industries alimentaires grandes consommatrices d'eau (boulangeries, usine de glace et les stations de service).

## 2. Ouvrages de stockage

Les réservoirs et château d'eau sont au nombre de 10 répartis comme suit :

- 2 réservoirs semi-enterrés sur les sites de F7 et Darou Khadim de capacité de 2000 m<sup>3</sup> unitaire soit au total 4000. Ils sont réalisés en 2002.
- 1 réservoir au sol sur le site de F Ndamé 2 d'une capacité de 800 m<sup>3</sup>, réfectionné en 1998
- 3 châteaux d'eau de 1000 m<sup>3</sup> chacun, situés sur les sites de Baye Lakhat F1, Université F9 et F. Mboussobé, mis en service respectivement en 1970, 2002 et 2006.
- 1 Château d'eau sur le site de F3 dont la capacité est de 800 m<sup>3</sup> après réfection.
- 2 châteaux d'eau sur le site de Darou Khadim F11 et Route de Darou Mousty F8 de capacité unitaire de 500 m<sup>3</sup>.
- 2 Châteaux d'eau sur les sites F7 et F. Kébé de capacité de 800 m<sup>3</sup> ;
- 2 Châteaux d'eau sur les sites de Sam F6 et F.Ndamé 2 de capacité unitaire de 150 m<sup>3</sup> ;
- 2 Château d'eau d'une capacité de 50m<sup>3</sup> chacun sur les sites F. Hôpital et F. Aïnou Rakhmati.

Soit une capacité de stockage de **11 600 m<sup>3</sup>**.

Tableau 3 : Ouvrages de stockage

| Château d'eau     |          |                    | Réservoirs au sol |
|-------------------|----------|--------------------|-------------------|
| Site              | Capacité | Hauteur /TN<br>(m) | Capacité (m3)     |
| Baye Lahat F1     | 1000     | 20                 | -                 |
| Ndamatou F3       | 1000     | 20                 | -                 |
| Sam Touba F6      | 150      | 15                 | -                 |
| F7                | 800      | 20                 | 2000              |
| Darou Khadim (F8) | 500      | 20                 | -                 |
| F Ndamé 2         | 150      | 15                 | 800               |
| F Kébé            | 800      | 20                 | -                 |
| F Université      | 1000     | 20                 | -                 |
| Darou Khadim      | 500      | 20                 | 2000              |
| F Mbousobé        | 1000     | -                  | -                 |

Source: DEM 2006

Il est important de noter que les réservoirs au sol ne sont fonctionnels qu'en période de Magal.

## II. LE RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

### ➤ Caractéristiques du réseau

Le réseau de distribution de l'eau potable dans la ville sainte de Touba compte 379 446 mètres linéaires (ml) de canalisation, 257 vannes, 20 ventouses et 87 bornes fontaines en 2004 (voir tableau 4). Il est constitué d'une gamme de diamètres variant de 32 à 315 mm. Les matériaux utilisés sont essentiellement l'amiante ciment, la fonte grise, le polyéthylène et le PVC.

**Tableau 4 : Linéaire du réseau d'AEP de Touba par diamètre (après Magal 2004)**

| Ø<br>(mm)       | 32  | 63    | 90     | 110    | 125   | 160   | 200   | 250   | 315   | Total  |
|-----------------|-----|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Linéaire<br>(m) | 659 | 16905 | 114744 | 101554 | 18440 | 25431 | 41492 | 33865 | 26357 | 379446 |

Source : DEM 2004

### ➤ Problèmes du réseau

Les problèmes du réseau d'AEP de Touba se situent essentiellement sur :

- Un mauvais dimensionnement de certains tronçons ;
- Un problème de configuration et de gestion du réseau : refoulement direct dans le réseau pour certains forages
- Un non respect des normes techniques de conception du réseau
- Une insuffisance du réseau qui ne suit pas l'extension de la ville et de l'accroissement démographique.

Certains de ces problèmes ont comme conséquence des pertes importantes d'eau dans le réseau dues à la vétusté de certaines conduites, le manque d'ouvrages annexes l'exécution des branchements particuliers de manière artisanale et anarchique.

**CHAPITRE III :**  
**MODELISATION DE LA NAPPE MAASTRICHTIENNE**  
**DANS LA ZONE DE TOUBA**

# I. PRESENTATION DE MODFLOW

## 1. Différents modèles utilisés pour la description de l'écoulement

Un modèle est une description plus ou moins fidèle d'un phénomène naturel. On peut classer les modèles selon le nombre de dimensions (1D, 2D, 3D), le type d'écoulement (saturé/non saturé) et le régime d'écoulement (permanent ou transitoire) qu'ils représentent. Chacun de ces modèles a ses avantages et ses inconvénients. La bonne description, et implicitement la complexité, augmentent avec le nombre de dimensions et la prise en compte de l'écoulement non-saturé et/ou du régime variable.

- **Le modèle saturé :**

Pour des systèmes ayant des dimensions importantes, le modèle saturé peut être suffisant, compte tenu du fait que l'influence de la zone non saturée diminue beaucoup.

- **Le modèle saturé/non saturé :**

Le modèle qui prend en compte la zone saturée et la zone non saturée est le modèle qui décrit le mieux l'écoulement de l'eau mais il demande beaucoup de paramètres. Pour des sols avec de larges pores, le modèle saturé- non saturé s'approche du modèle saturé.

Dans le cas du régime permanent, la surface phréatique et la hauteur de suintement ne varient pas avec la conductivité hydraulique ; le débit drainé, lui, est directement proportionnel à la conductivité hydraulique à saturation.

## 2. Le modèle MODFLOW

Le modèle MODFLOW (modèle de l'écoulement) est un logiciel qui permet de simuler l'écoulement à deux ou trois dimensions d'une nappe qu'il soit en régime permanent ou en régime transitoire.

Ce logiciel est développé par USGS avec MC Donald et Harbaugh A. W en 1988.

## 3. Méthode de résolution

L'équation de diffusivité en nappe captive est donnée par :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{Eq 1})$$

Dans cette équation,

-  $K_x$ ,  $K_y$  et  $K_z$  sont les conductivités hydrauliques suivant les axes  $x$ ,  $y$ , et  $z$  (les directions principales d'anisotropie sont les mêmes que les axes du référentiel Oxyz [m/s]).

-  $h$  est la charge hydraulique [m]

-  $W$  est le terme source ou perte par unité de volume [1/s]

-  $S_s$  est le coefficient d'emmagasinement spécifique [1/m].

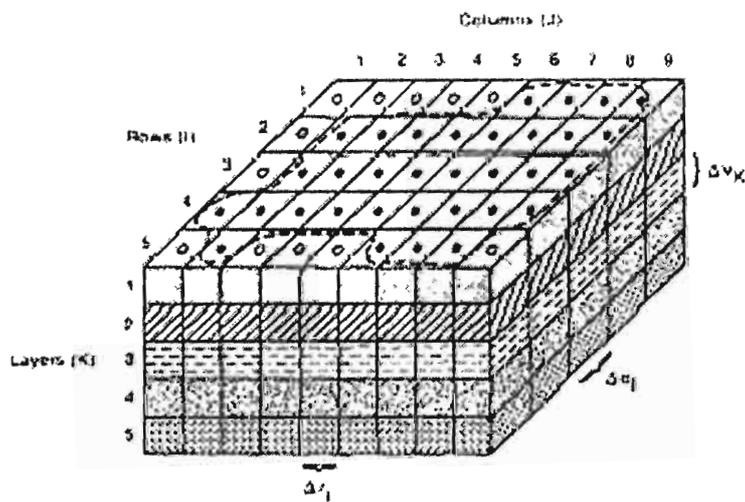
-  $t$  est le temps [s]

La conductivité hydraulique ou transmissivité, le coefficient d'emmagasinement spécifique et la porosité de drainage constituent les paramètres de base du modèle. Ils sont des fonctions de l'espace :  $S_s = S_s(x, y, z)$ ,  $K_x = K_x(x, y, z)$  etc.

Le terme  $W$  peut être considéré comme une fonction de l'espace et du temps.

$$W = W(x, y, z, t).$$

Exceptant les systèmes très simples, l'Eq. 1 ne peut pas être résolue analytiquement. Dans le code MODFLOW, la résolution de l'équation différentielle est basée sur la méthode des différences finies, résolue par un schéma implicite.



Explication

--- Aquifer Boundary

# Active Cell

0 Inactive Cell

$\Delta x_j$  Dimension of Cell Along the Row Direction. Subscript (j) Indicates the Number of the Column

$\Delta x_i$  Dimension of Cell Along the Column Direction. Subscript (i) Indicates the Number of the Row

$\Delta v_k$  Dimension of the Cell Along the Vertical Direction. Subscript (k) Indicates the Number of the Layer

Column  
Row  
Layer

Dans le logiciel ModFlow, chaque couche représente un aquifère qui appartient à une de ces quatre catégories :

1. **Confiné.** La transmissivité et le coefficient d'emménagement sont constants pendant toute la simulation.
2. **Non confiné.** La transmissivité est calculée à partir de l'épaisseur de la couche saturée et de sa conductivité hydraulique. La porosité de drainage est constante. Ce type d'aquifère ne peut être défini que pour la couche de surface.
3. **Confiné/non confiné.** La transmissivité de la couche peut varier et elle est calculée à partir de l'épaisseur de la couche saturée et de sa conductivité hydraulique. L'aquifère peut être confiné ou non confiné.

Les paramètres hydrodynamiques de chaque aquifère-couche ( $K_s$ ,  $w$  et  $S_s$ ) peuvent être distribués horizontalement alors que sur la même verticale il ne peut y avoir qu'une seule valeur.

#### 4. Les principales fonctions du logiciel

Pour prendre en compte les conditions aux limites, Visual ModFlow a défini un certain nombre de fonctions.

##### ➤ **Fonction « RIVIERE »**

La fonction « RIVIERE » simule l'échange entre un aquifère et une rivière, un lac etc.

➤ **Fonction « DRAINAGE » linéaire et spatiale**

La fonction « DRAINAGE » simule l'effet des drains linéaires enterrés. Le débit simulé est proportionnel à la différence entre la charge de l'aquifère et l'altitude du drain.

➤ **Fonction «RECHARGE»**

La fonction de recharge permet de représenter la distribution spatiale de la pluie efficace ou d'autres sources, comme l'irrigation.

➤ **Fonction «EVAPOTRANSPIRATION »**

La condition d'évapotranspiration simule l'effet de la transpiration des plantes et de l'évaporation directe par prélèvement dans l'aquifère.

➤ **Charge initiale.**

En régime permanent, le modèle nécessite des valeurs initiales, qui doivent être les plus proches possibles de la réalité pour assurer la convergence. En régime transitoire, le logiciel permet l'importation de charges initiales obtenues par une modélisation en régime permanent ou transitoire.

## II. SIMULATION EN REGIME PERMANENT

### 1. Recueil et analyse des données d'entrée

Les données d'entrée du modèle concernent principalement la topographie du domaine, la géométrie de l'aquifère, les ouvrages d'exploitation et d'observation, les données piézométriques et les paramètres hydrodynamiques.

#### a. La topographie

Le domaine d'étude appartient à une zone relativement plate. Les faibles altitudes sont notées dans les vallées du Sine et du Saloum ou du Ferlo notamment à Kael et à Gassane (15 m) et les plus grandes altitudes à Kadd Ballodji (57m).

Les altitudes des ouvrages d'exploitation et d'observation ont été recueillies dans la base de données de la DGPRES. Ces altitudes ont été obtenues par nivellement au GPS ou par nivellement traditionnel effectué dans le cadre du PSE. D'autres altitudes de forages ont fait l'objet d'interprétation sur la carte IGN à 1/200 000.

Ces données topographiques ont permis d'établir la carte du terrain naturel avec le logiciel SURFER (figure 11).

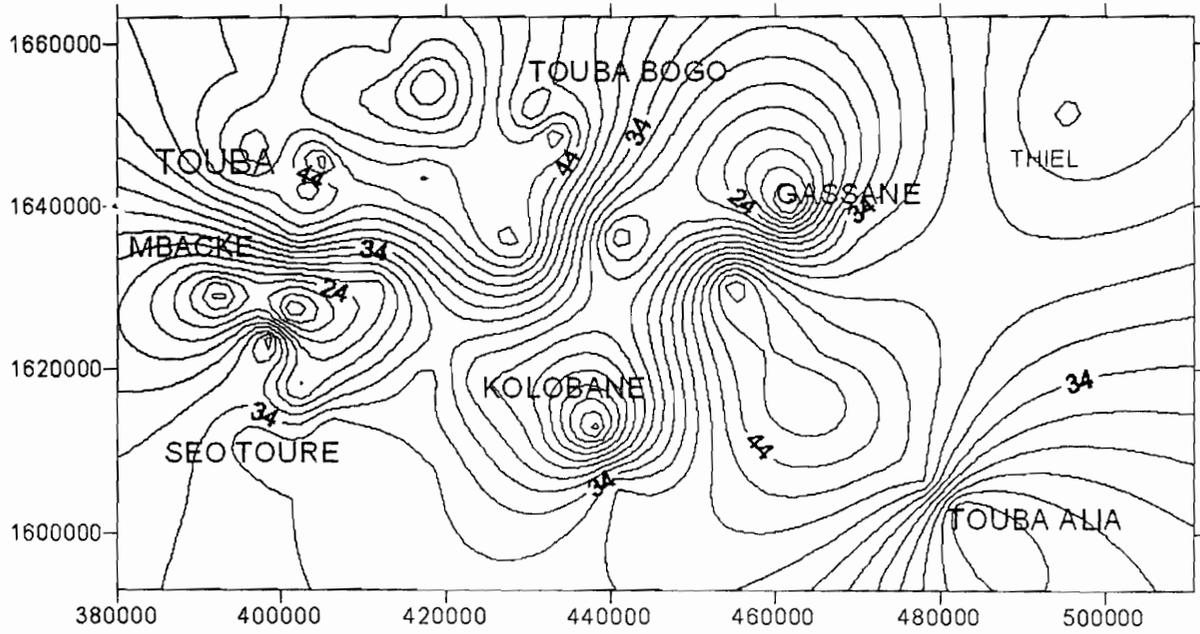


Figure 11 : Carte topographique du terrain naturel

### **b. La géométrie de l'aquifère**

La géométrie du Maastrichtien dans la zone d'étude est définie par son toit et son substratum.

- Le toit est constitué par une couche d'argile noire d'une épaisseur moyenne de 15m. Cette interface située environ à 200 m de profondeur couvre toute la nappe maastrichtienne dans notre domaine (figure 12).
- Le substratum ou mur du Maastrichtien : Il se situe environ à 600 m de profondeur si l'on estime la puissance à 300m selon Babacar DIENG (1985) confirmé par les quelques sondages pétroliers de Gassane, Diourbel et Kolobane. La carte du substratum devant être entrée dans le modèle a été établie avec les données de profondeurs du toit et de la puissance de l'aquifère (figure 13).

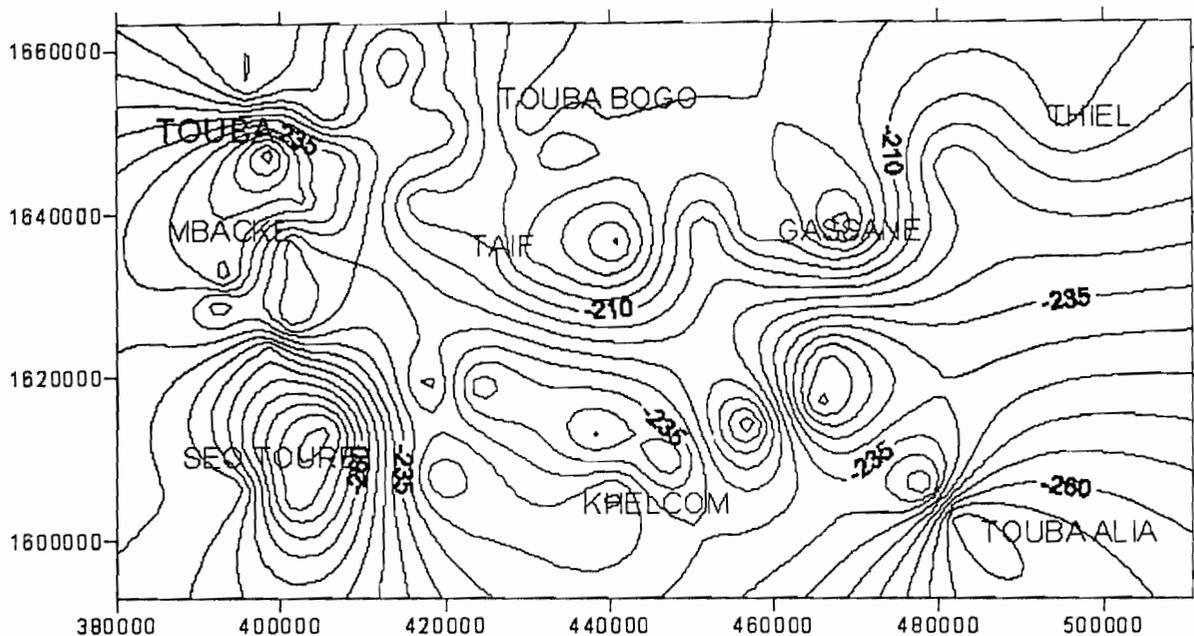


Figure 12 : Carte du toit du Maastrichtien

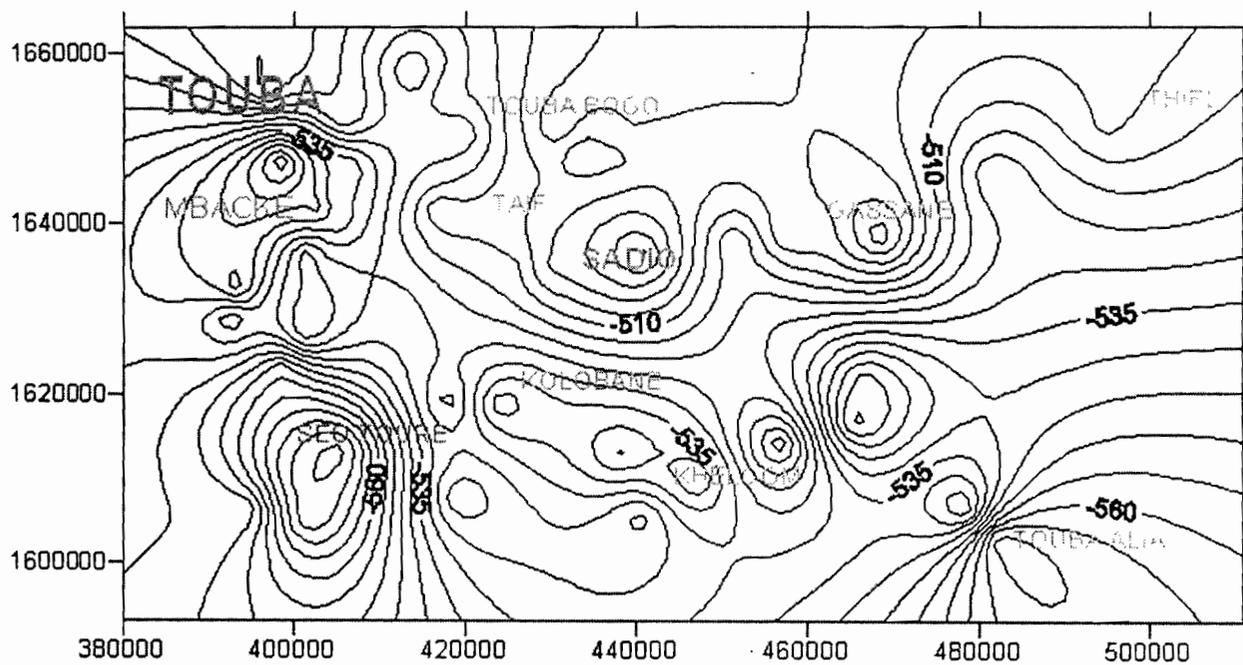
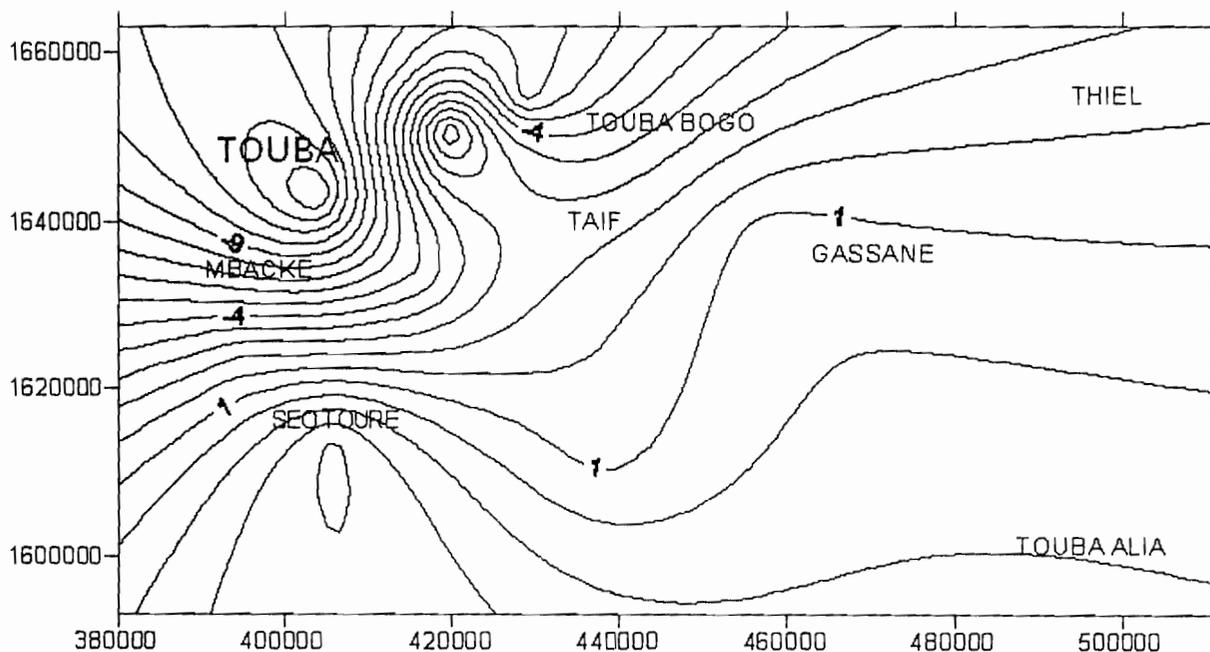


Figure 13 : Carte du substratum du Maastrichtien

**Tableau 5 : Données piézométriques Juin 2006**

| No_IRH     | Désignation             | Longitude UTM | Latitude UTM | Alt (m) | NS (Juin2006) (m) | Charge piézo (m) |
|------------|-------------------------|---------------|--------------|---------|-------------------|------------------|
| 12-1X-0001 | TOUBA F1 (Baye Lakhat)  | 404832.13     | 1645275.40   | 36.75   | 49.75             | -13              |
| 12-1X-0009 | TOUBA F NDAME           | 404069.37     | 1642844.87   | 44.3    | 58.18             | -13.88           |
| 12-1X-0016 | NGUILLO E.H. MAMADOU    | 413806.81     | 1657929.00   | 48      | 54.2              | -7               |
| 12-1X-0027 | TAINABE                 | 394756.29     | 1624078.71   | 28.79   | 29.1              | -1.11            |
| 12-1X-0029 | TOUBA SOURANG (Nébodji) | 419491.49     | 1650630.73   | 52      | 49.1              | 2.1              |
| 12-1X-0057 | NDIOUROUL DARAH         | 416292.72     | 1633894.86   | 40      | 44.05             | -4.85            |
| 12-2X-0002 | DAROU BOGO              | 430635.41     | 1651204.17   | 40      | 43.57             | -4.37            |
| 12-2X-0005 | DAROU MINAME TAIF       | 457262.10     | 1638388.88   | 31.5    | 29.18             | 1.52             |
| 12-2X-0007 | DAROU KHOUDOSS          | 428613.36     | 1654749.69   | 45      | 51.7              | -7.5             |
| 12-4X-0019 | SEO TOURE               | 405752.77     | 1613646.97   | 37      | 31.05             | 5.15             |
| 12-5X-0009 | DIABEL                  | 437914.41     | 1612714.77   | 31      | 29.67             | 0.53             |



**Figure 14 : Carte piézométrique Juin 2006 de la zone d'étude**

### **c. Liste des ouvrages d'exploitation et d'observation**

La base de données des forages d'exploitation est constituée de 86 ouvrages répartis dans tout le domaine d'étude, captant tous le Maastrichtien. Ces données ont été recueillies à la DGPRES où tous les ouvrages relatifs à l'hydraulique souterraine sont gérés par une base de données. Ces données ont fait l'objet d'analyse et de vérification concernant plus particulièrement les caractéristiques de ces ouvrages (identification, profondeur, altitude, niveaux crépinés, les débits ...).

Toutes les caractéristiques des ouvrages sont mentionnées en annexes (1 à 8).

### **d. Données piézométriques**

A défaut de données piézométriques suffisantes dans la zone d'étude, nous avons effectué du 12 au 14 juin 2006 une tournée de mesure des niveaux d'eau pour établir la carte piézométrique (tableau 5). Les points de mesure ont été sélectionnés de façon à obtenir une bonne répartition dans l'espace.

Par ailleurs le choix de ces points de mesure est entre autre guidé par l'accessibilité et la disponibilité des altitudes de ces points nivelés en 2000 dans le cadre le Projet Sectoriel Eau (PSE).

### e. Les paramètres hydrodynamiques

#### ▪ la conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique (perméabilité  $K$ ) est déterminée à partir de la transmissivité. En outre on a supposé que l'aquifère est isotrope et homogène d'où la valeur constante de  $K$  suivant toutes les directions ( $K_x = K_y = K_z$ ). Sa valeur initiale est fixée à  $1.10^{-4}$  m/s. La calibration du modèle porte essentiellement sur ce paramètre.

#### ▪ Le coefficient d'emmagasinement

- Le coefficient d'emmagasinement  $S$  ( $1.10^{-4}$ ), la porosité et la porosité efficace sont déterminés à partir de la littérature et estimés respectivement à 0.2 et 0.35.

## 2. Présentation du domaine à modéliser

Nous avons distingué deux couches :

- **La couche 1** constituée par l'ensemble des aquifères supérieurs (Paléocène, de l'Eocène et le complexe Quaternaire Continental Terminal). Cette couche est considérée comme inactive dans la modélisation.
- **La couche 2** constituée par le Maastrichtien est la couche active confinée (figure 15)

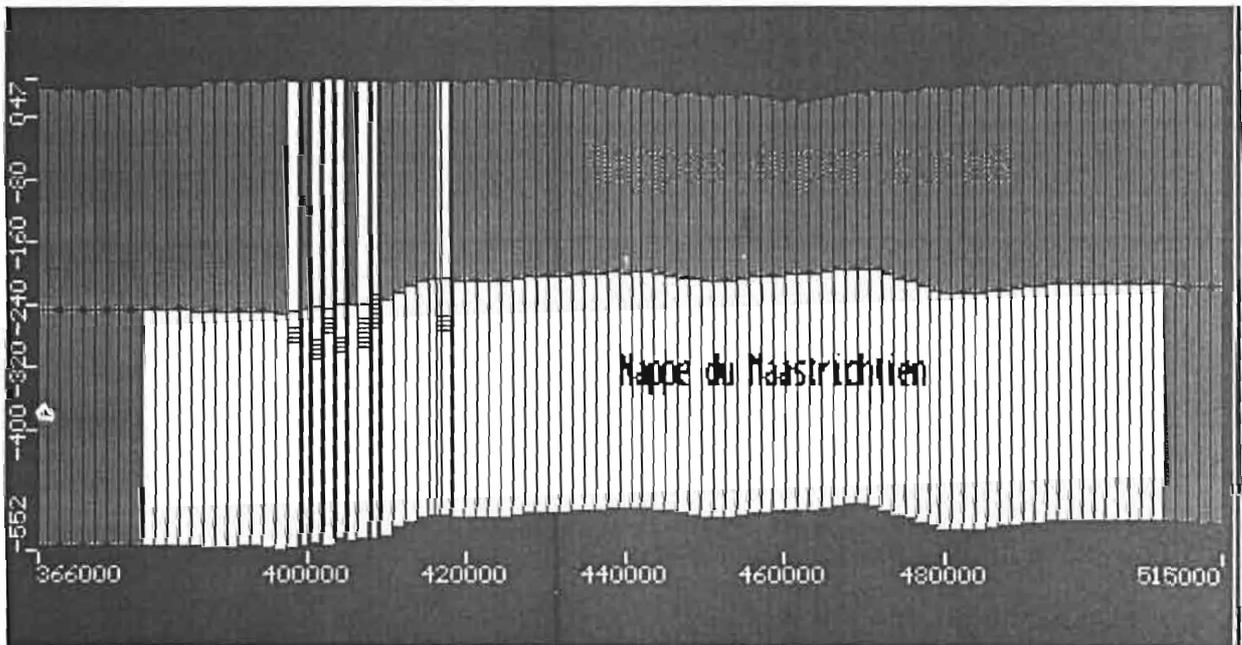


Figure 15 : Coupe transversale au droit de Touba

La définition du domaine à modéliser est basée sur les constatations suivantes :

#### **a. Discrétisation spatiale**

La discrétisation horizontale est faite grâce à un maillage rectangulaire. La surface à modéliser est approximée par une zone rectangulaire de 130x65 km<sup>2</sup>. Ainsi les dimensions des mailles sont prises égales à 1000/1000 m.

Les règles à prendre en compte lors de la discrétisation horizontale sont :

- la variation de surface entre deux cellules adjacentes ne doit pas dépasser 50%
- le rapport entre la longueur et la largeur d'une cellule doit être inférieur à 10.

#### **b. Discrétisation du temps**

Pour les simulations en régime transitoire, le logiciel ModFlow définit la notion de stress qui représente toutes les perturbations possibles sur un domaine à modéliser : la recharge, le régime de pompage etc. Compte tenu du fait que les stress peuvent avoir des pas de mesure différents ou qui ne se correspondent pas, le logiciel fusionne toutes les évolutions chronologiques afin d'obtenir des périodes de temps pendant lesquelles tous les stress ont une valeur constante. Cette période s'appelle une « période de stress ».

### **c. Conditions aux limites**

Les études réalisées par le groupe COWI-POLYCONSULT en 2001 ont montré l'existence de flux Est-Ouest. Les conditions aux limites ont été fixées à partir de la carte piézométrique juin 2006 (Cf. figure 14) prise comme référence en imposant une condition de potentiel sur les limites latérales; plutôt que de prendre un débit d'écoulement qui, jusqu'ici reste connu avec précision. La recharge sera assurée par la différence de potentiel.

#### **- Conditions à la limite supérieure du domaine**

Le domaine est limité à sa partie supérieure par une couche d'argile noire d'une épaisseur moyenne de 15m la séparant du Paléocène.

L'évapotranspiration est le phénomène conjugué de l'évaporation et de la transpiration des plantes puisant dans une nappe donnée.

Avec des profondeurs de l'ordre de 200m en partie supérieure, il sera difficile de parler d'évapotranspiration dans cette zone.

#### **- Conditions à la limite inférieure du domaine**

La partie basse de la zone correspond le plus souvent aux limites supérieures du sénonien. Cette couche est formée essentiellement d'argile, de numilithes, le rendant pratiquement imperméable. Dans la partie Est, elle correspond le plus souvent au socle granitique.

Avec ces deux hypothèses, il est loisible d'imposer un flux nul comme conditions aux limites en partie inférieure de la nappe.

#### **d. Calage du modèle en régime permanent**

Cette modélisation en régime permanent nous permet de déterminer les conductivités hydrauliques à saturation des différents horizons.

Les paramètres de calage sont donc :

- Les conductivités hydrauliques ;
- Les conditions de potentiel;
- Les débits d'exploitation des forages

### 3. Résultats de la simulation en régime permanent

Le calage du modèle a été effectué « manuellement » par la méthode des essais – erreurs en changeant la conductivité hydraulique jusqu'à ce que les différences entre les valeurs des charges mesurées et les charges simulées soient suffisamment faibles (tableau 6).

En effet la piézométrie observée a été bien restituée. La différence est partout inférieure à 2m. Dans certains points d'observation comme Nébodji et Darou Bogu, la variation est quasi nulle (0.1 à 0.16 m). Les variations les plus importantes ont été observées au niveau de Séo Touré (1.96m) et Darou Minam Taif (1.77m).

| Points d'observation  | Charge mesurée (m) | Charge simulée (m) | $\Delta h$ (m) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| NDIOUROUL DARA        | -4.85              | -3.23              | -1.62          |
| DAROU BOGO            | -4.37              | -4.53              | 0.16           |
| NGUILO PEULH          | -7.00              | -5.72              | -1.28          |
| DAROU MINAM TAIF      | 1.52               | -0.25              | 1.77           |
| SEO TOURE             | 5.15               | 3.19               | 1.96           |
| DIABEL                | 0.53               | 1.01               | -0.48          |
| NEBODJI (TOUBASOURAN) | 2.10               | 2.00               | 0.10           |
| TOUBA1                | -13.00             | -13.71             | 0.71           |
| TOUBA F. NDAM2        | -14.00             | -15.19             | 1.19           |
| TAINABE               | -1.11              | -0.64              | -0.47          |

**Tableau 6** : Comparaison des charges observées et des charges simulées

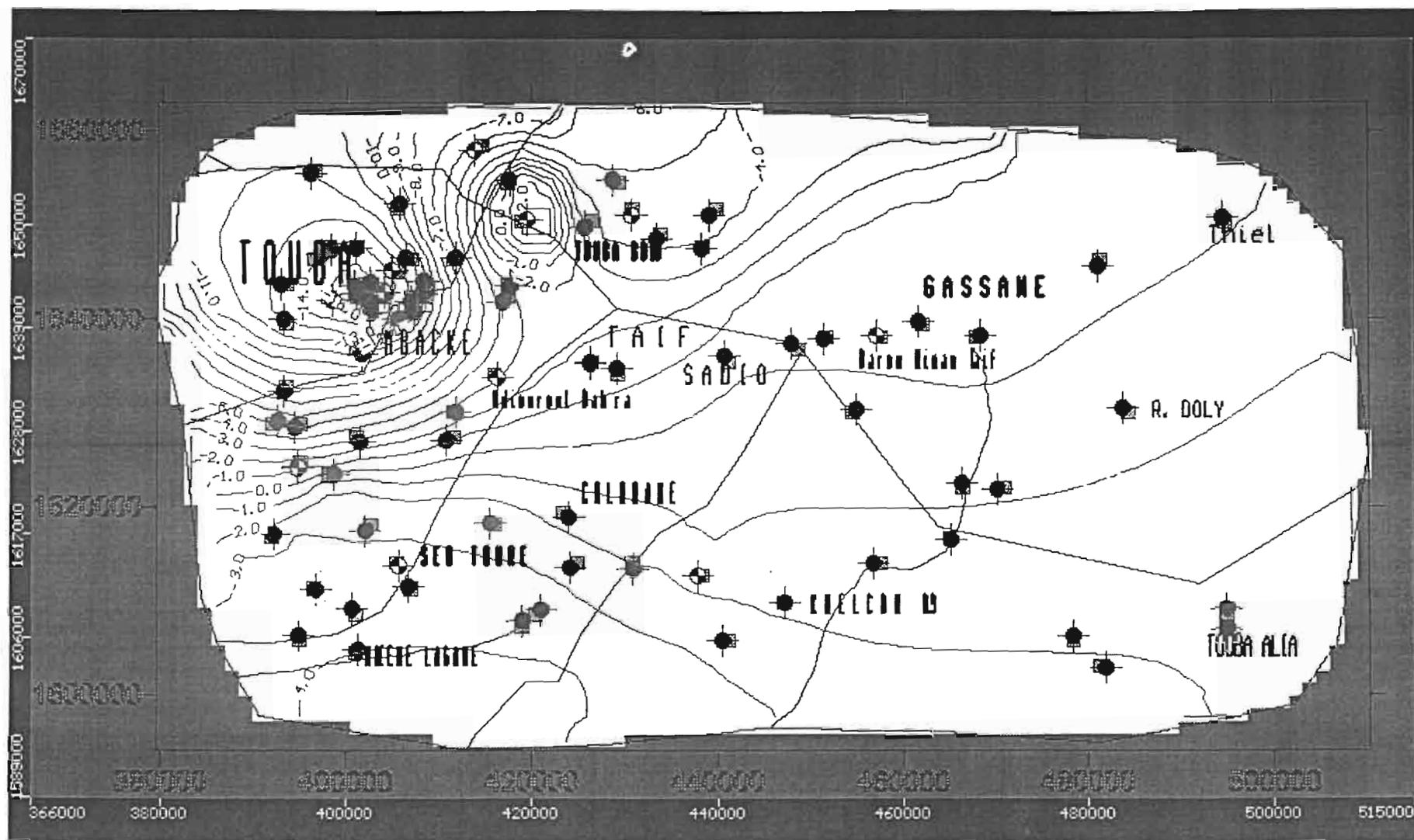


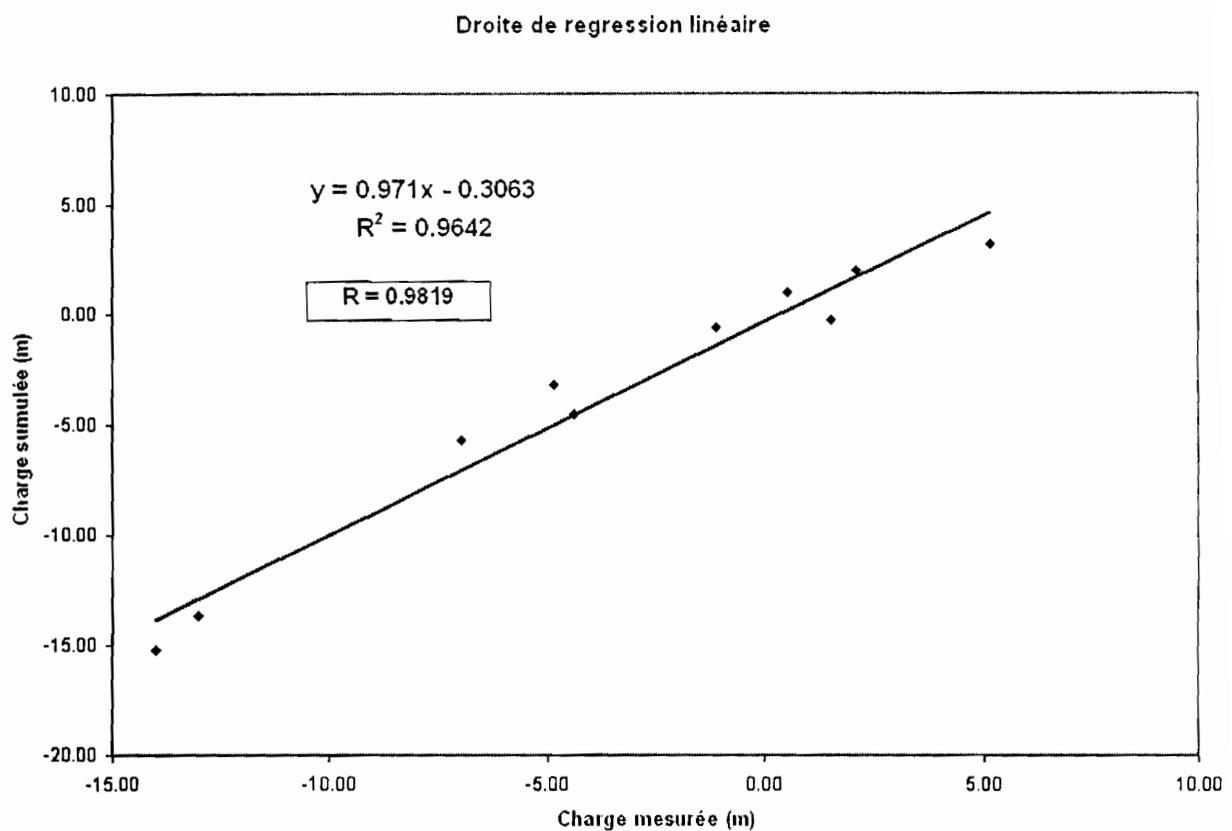
Figure 16 : Reconstitution de la carte piézométrique en régime permanent



La comparaison des charges mesurées et calculées a permis d'établir l'équation de la droite de régression linéaire, qui s'écrit :

$$Y = 0.971x - 0.3063 \quad (\text{Eq. 2})$$

Le coefficient de corrélation R est égal à 0.9819



**Figure 17 a :** Droite de régression linéaire entre charges mesurées et simulées

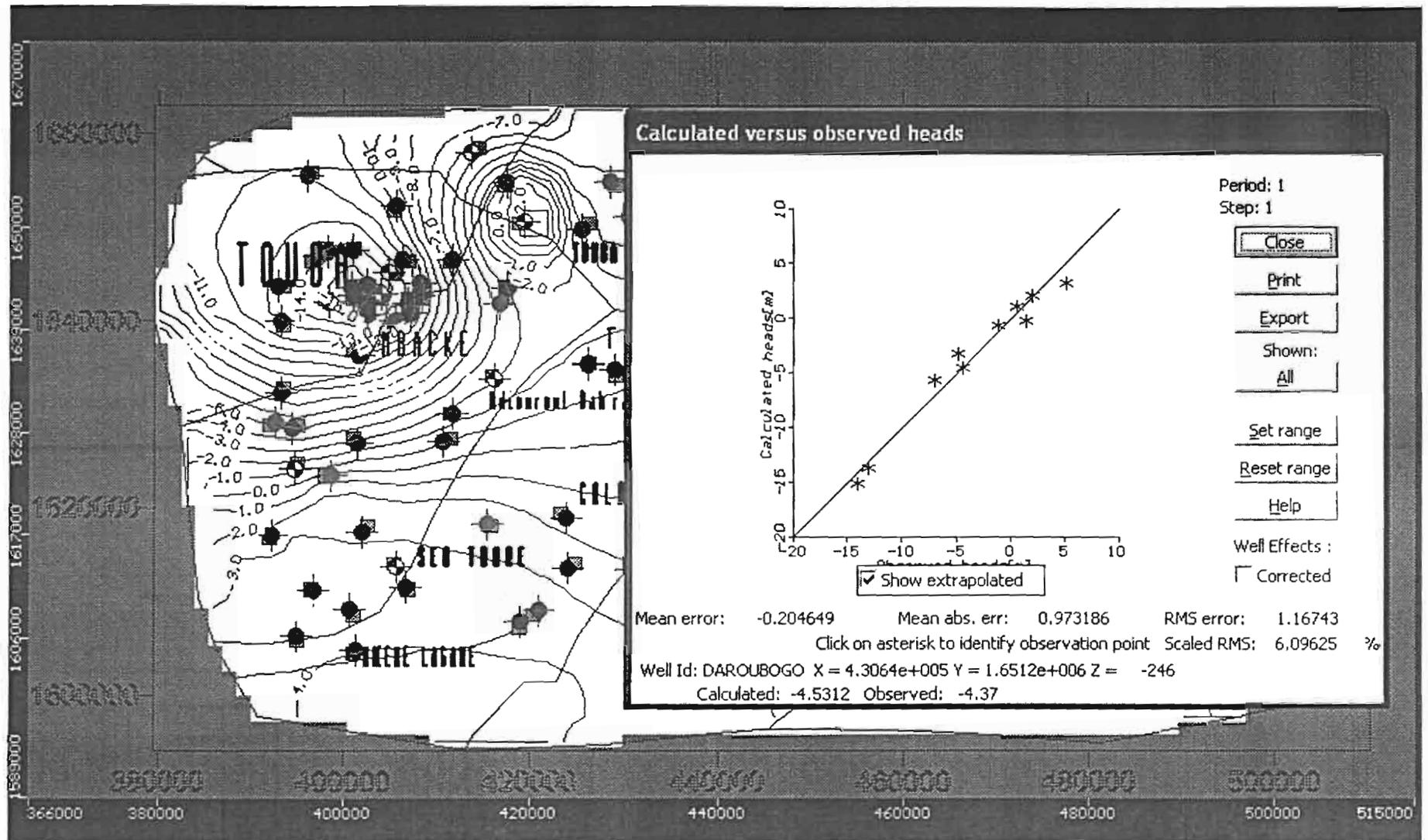


Figure 17 b : Droite de régression linéaire après le calage en régime permanent

Par ailleurs la quantification des erreurs a permis de déterminer :

- L'erreur moyenne (Mean error) qui constitue la moyenne de la différence entre les charges mesurées et simulées. Elle vaut - 0.2 ;
- L'erreur moyenne absolue (Mean absolute error) représente la moyenne de la somme des différences absolues. Elle est égale à 0.97.

La piézométrie restituée étant proche de celle mesurée et les marges d'erreur tolérables, nous pouvons juger valable la calibration en régime permanent.

Cette phase de calage a mis en évidence la nécessité de distinguer plusieurs zones de conductivités hydrauliques différentes variant de  $1.10^{-3}$  à  $1.10^{-5}$  m/s pour l'aquifère Maastrichtien.

Ces zones sont numérotées de 1 à 5 :

- **Zone 1** de perméabilité de  $1.10^{-5}$  m/s. Elle correspond à la limite Ouest du domaine ;
- **Zone 2** de perméabilité  $5.10^{-5}$  m/s. Elle se situe au Nord Ouest et Sud Est de Touba.
- **Zone 3** de conductivité hydraulique  $5.10^{-4}$  m/s. Elle correspond à la partie Sud Ouest du domaine ;
- **Zone 4** représente le centre du domaine d'étude et la valeur de la perméabilité est de  $1.10^{-4}$  m/s ;
- **Zone 5** : Elle couvre toute la partie Est, en partant de Sadio à Thiel et de Khelcom à Touba Alia. La perméabilité est plus élevée ( $1.10^{-3}$  m/s). Ce qui corrobore l'écoulement d'Est en Ouest annoncé plus haut.

La répartition spatiale des conductivités hydrauliques résultant du calage est présentée dans la Figure 18.

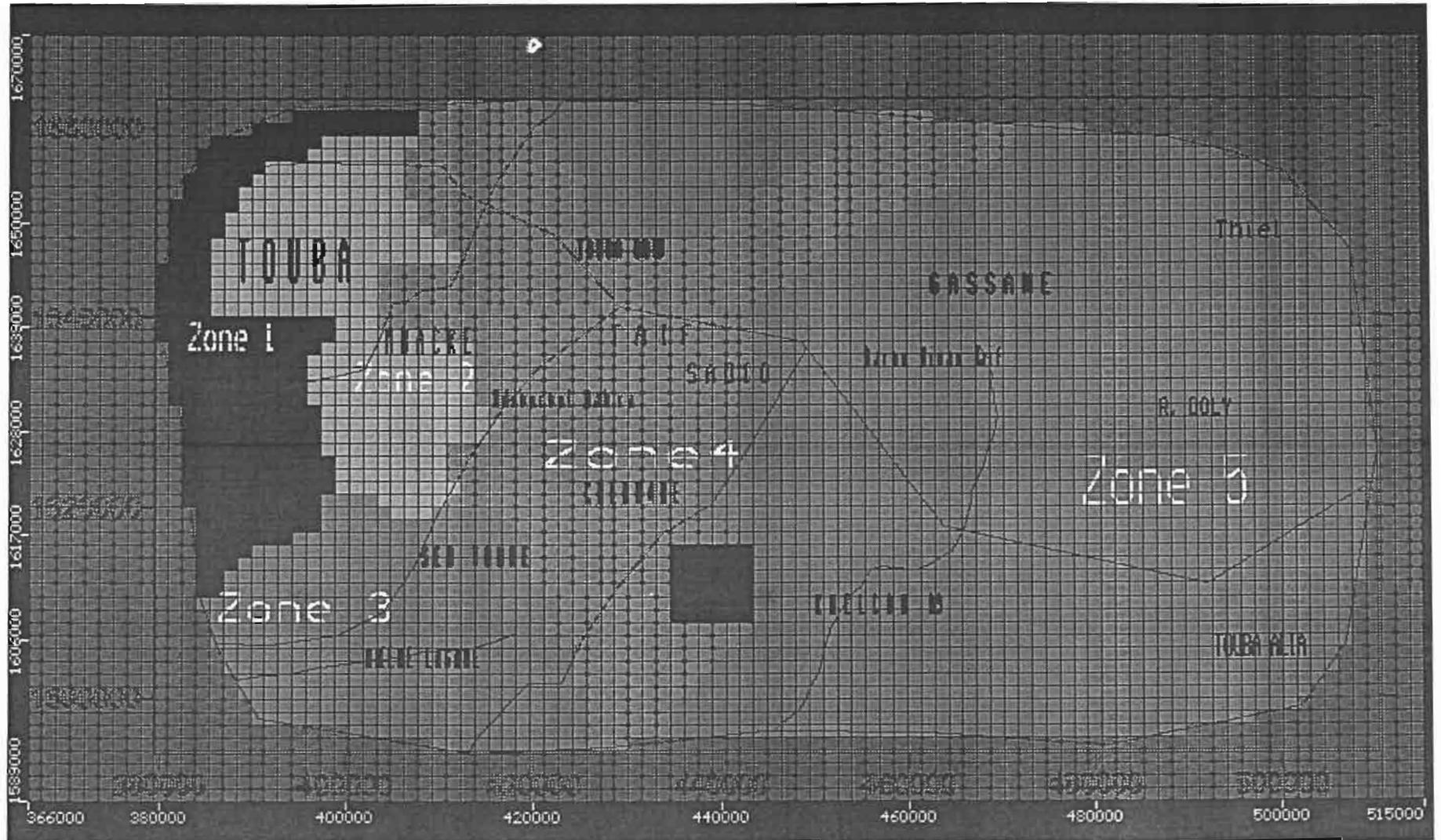


Figure 18 : Zones de perméabilité après le calage en régime permanent

### III. SIMULATION EN REGIME TRANSITOIRE

Dans cette partie, nous présentons trois scénarii d'exploitation :

#### 1. Scénario 1

Celui-ci envisage l'exploitation des forages en place pour une projection de 20 ans. Il permettra de prédire l'évolution de la surface piézométrique ainsi que les échanges produits entre la zone de Touba et le reste de notre domaine.

Cette Simulation montre que la piézométrie serait la même par rapport au régime permanent.

La charge piézométrique reste égale à **-14m** à Touba (F.Ndam) et le dôme de Nébodji (+2m) reste intact.

La partie Est et Sud-Est garde toujours sa charge piézométrique positive. Elle varie de +1 au Ranch Doly à +2m à Khelcom.

Ce schéma d'exploitation ne peut perdurer dans la mesure où la ville de Touba connaît un accroissement drastique de ses besoins en eau. A cela il faut ajouter les projets de développement prévus dans la zone.

Le tableau 7 ci-dessous montre le bilan de la simulation du schéma d'exploitation actuel sur l'horizon 2026.

**Tableau 7** : Bilan du scénario 1

| Zones | Entrées (m <sup>3</sup> /j) |         | Sortie (m <sup>3</sup> /j) |         |         |
|-------|-----------------------------|---------|----------------------------|---------|---------|
|       | Emmag.                      | Volume  | Emmag.                     | Forages | Autres  |
| 1     | 0.000014                    | 376 600 | 0.000023                   | 59 601  | 316 999 |
| 2     | 0.000018                    | 69 601  | 0.000016                   | 66 938  | 2 663   |
| 3     | 0.000003                    | 48 177  | 0.00001                    | 5 488   | 42 689  |

**NB : Autres : Ce sont les sorties dues aux échanges entre zones**

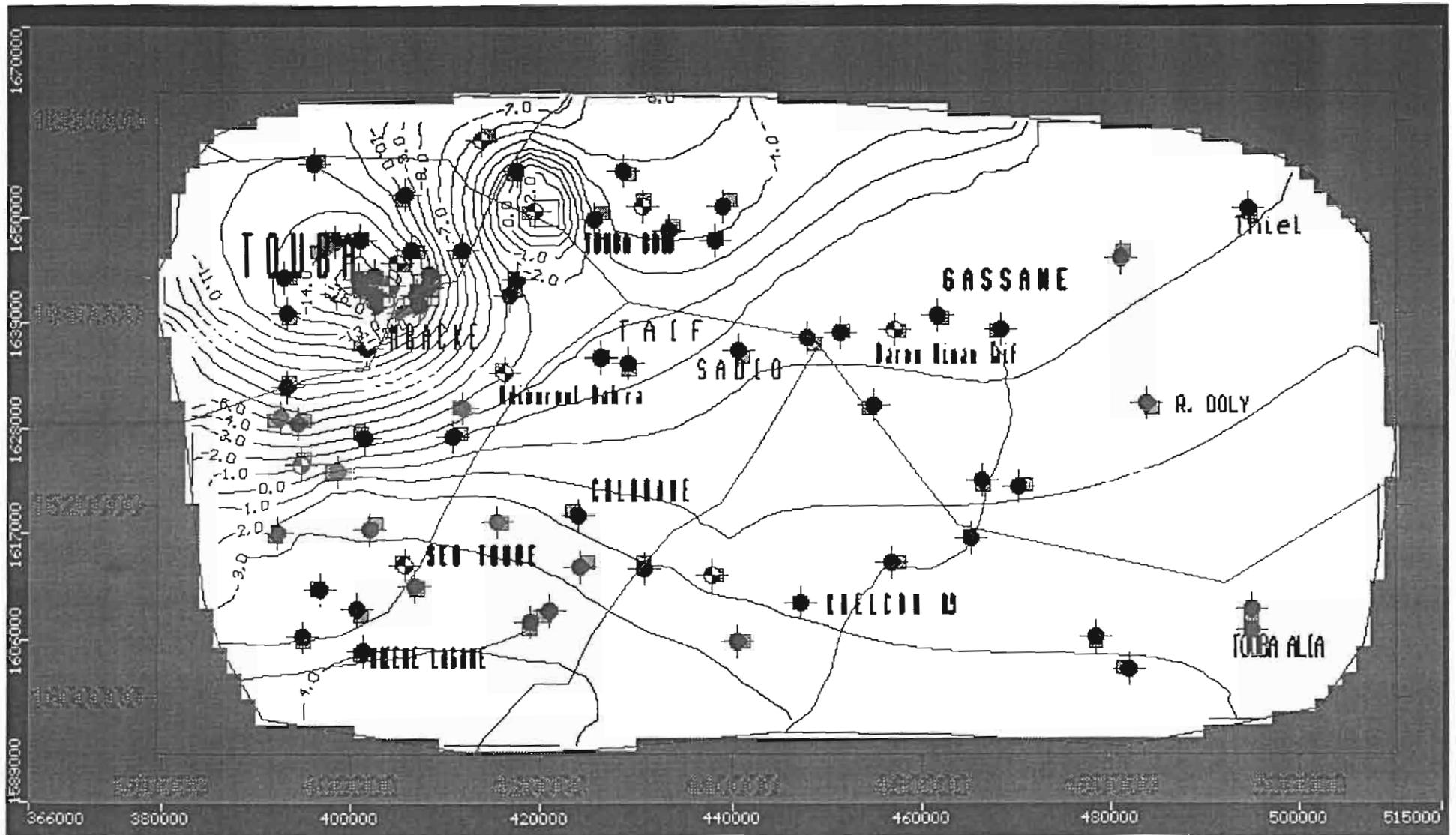


Figure 19 : Carte piézométrique scénario 1

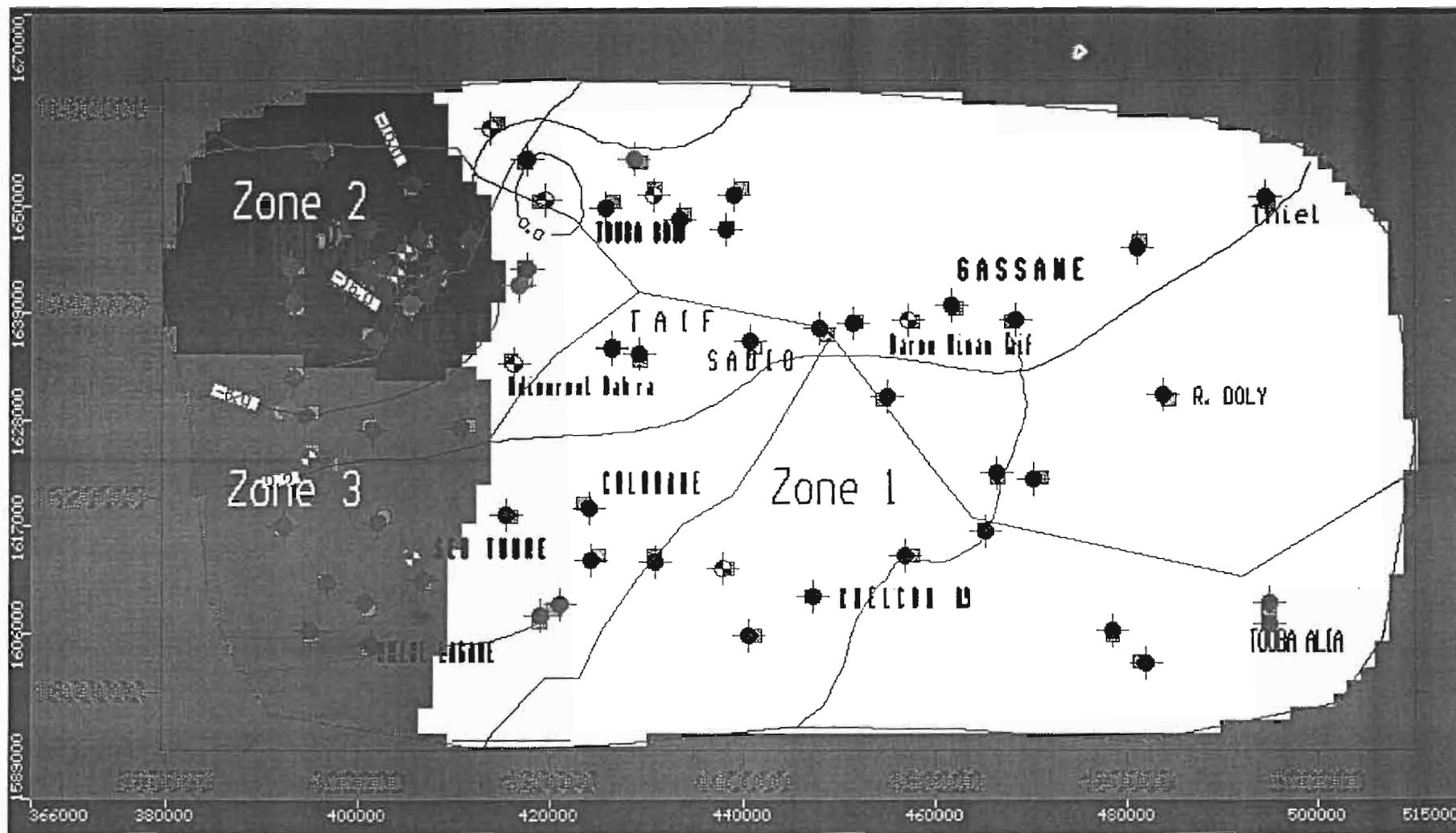


Figure 20 : Carte représentative des zones du bilan

## 2. Scénario 2

Suite à l'augmentation des besoins en eau de la ville sainte, un champ de captage est envisagé dans la zone de Touba Bogu situé à une vingtaine de kilomètres de Touba. Cette simulation permettra de faire une projection pour 20 ans. Il s'agit d'implanter une batterie de forages dans cette zone où la conductivité hydraulique est meilleure. A cela il faut ajouter la bonne qualité chimique de l'eau dont nous avons fait cas dans le chapitre 1.

Pour un scénario à long terme, horizon 20 ans, les besoins en eau des populations de Touba sont estimés **118 600** m<sup>3</sup> par jour selon le rapport : « Etude de faisabilité de l'alimentation en eau potable de la ville de Touba » réalisé par le groupe CONCEPT/SETICO-INGENIEURS-CONSEILS en Juin 2005.

Avec un temps de pompage de 22 heures, la production des 15 forages de Touba est de **58 696** m<sup>3</sup> par jour (Cf. Tableau 3).

Le déficit projeté sera alors égal à **59 904** m<sup>3</sup> par jour ce qui correspond à 11 forages au débit moyen de 250 m<sup>3</sup>/h fonctionnant pour une durée de 22 heures dans la journée.

Dans ce scénario, une batterie de 11 forages sera implantée dans la zone de Touba Bogu. Une conduite d'une vingtaine de kilomètres et dont le diamètre peut être estimé à 800mm devra être réalisée pour acheminer cette eau vers la ville sainte. Les forages seront distants d'au moins un kilomètre et un réseau piézométrique devra être proposé pour surveiller l'évolution de la nappe.

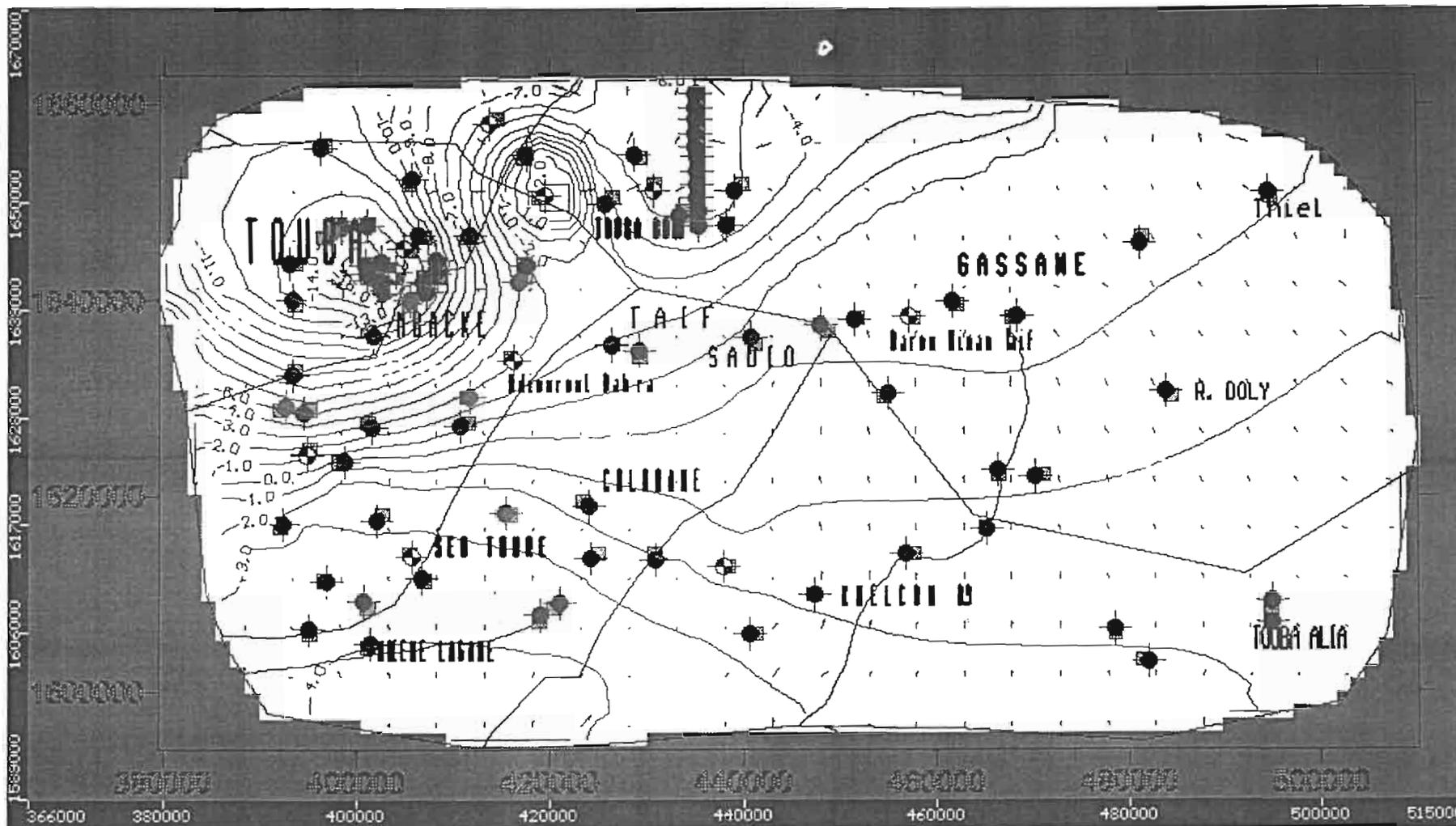


Figure 21 : Carte piézométrique scénario 2

Dans ce scénario, la piézométrie reste plus ou moins au même niveau et le creux de Touba demeure ; de même le dôme de Nébodji.

Au sud et Sud-Est la charge piézométrique est positive : + 4m à Séo Touré et proche de +2 à Touba Alia.

Le bilan se présente comme suit :

**Tableau 8** : Bilan du scénario 2

| Zones | Entrées (m <sup>3</sup> /j) |         | Sortie (m <sup>3</sup> /j) |         |         |
|-------|-----------------------------|---------|----------------------------|---------|---------|
|       | Emmag.                      | Volume  | Emmag.                     | Forages | Autres  |
| 1     | 0.000018                    | 390 370 | 0.000003                   | 120 100 | 270 270 |
| 2     | 0.000004                    | 69 560  | 0.000038                   | 66 938  | 2 622   |
| 3     | 0.000014                    | 51 461  | 0.000001                   | 5 488   | 45 973  |

**NB : Autres : Ce sont les sorties dues aux échanges entre zones**

On remarque que les entrées sont constituées par la recharge latérale qui vient du côté Est et Sud Est. Ce qui corrobore les conclusions de l'étude du Maastrichtien réalisée en 2001 par le groupe COWI-POLYCONSULT dans le cadre du PSE.

### 3. Scénario 3 : Remplacement de six forages à Touba

Il s'agira entre autre de remplacer au fur à en mesure les forages vétustes de Touba jusqu'à mettre hors service six forages d'entre eux et de les remplacer par six autres forages d'un débit moyen de 250 m<sup>3</sup>/h dans la zone de Touba Bogu, qui deviendra une zone de captage.

Pour la simulation, nous avons inactivé les forages F1, F2, F3, F5, F6 et F.Ndam dont la teneur en chlorure est très élevée.

Le troisième scénario complète le second pour l'horizon 2026.

Ce schéma d'exploitation à un double avantage : réduction des forages maastrichtiens situés sur la bande centrale salée pour améliorer la qualité de l'eau à Touba ; l'autre avantage est de diminuer la surexploitation de la nappe dans un rayon restreint de 10 kilomètres des 15 forages au débit moyen de 200 m<sup>3</sup>/h.

Les résultats de cette simulation montrent que la charge piézométrique dans la partie Est et Sud Est demeure supérieure à zéro. A Touba, la simulation donne une piézométrie de **-11 m** d'où une nette amélioration de la charge qui était de **-15m** actuellement. Au droit de Touba Bogu, la charge piézométrie tourne autour de **- 4m**.

Un tel scénario permettrait de rehausser le niveau piézométrique d'une manière significative dans le temps.

Le bilan issu de cette simulation est mentionné sur le tableau ci-après.

**Tableau 8** : Bilan du scénario 3

| Zones | Entrées (m <sup>3</sup> /j) |         | Sortie (m <sup>3</sup> /j) |         |         |
|-------|-----------------------------|---------|----------------------------|---------|---------|
|       | Emmag.                      | Volume  | Emmag.                     | Forages | Autres  |
| 1     | 0.000009                    | 418 760 | 0.000035                   | 153 100 | 265 660 |
| 2     | 0                           | 51 783  | 0.000045                   | 46 456  | 5 327   |
| 3     | 0.000004                    | 44 870  | 0.000005                   | 5 488   | 39 382  |

**NB : Autres : Ce sont les sorties dues aux échanges entre zones**

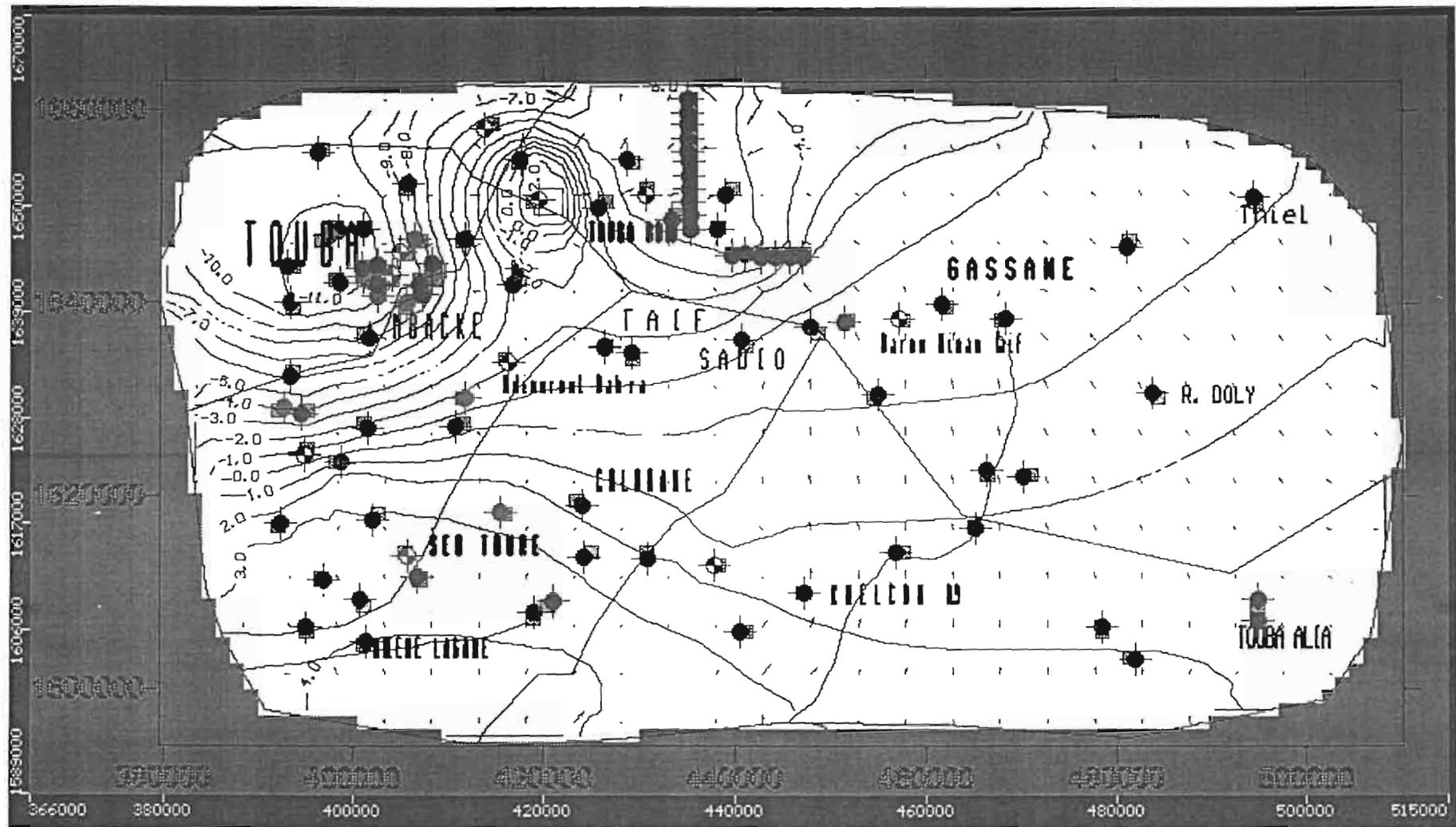


Figure 22 : Carte piézométrique scénario 3

#### **4. Conclusion sur la simulation**

Suite à ce modèle régional de la nappe du Maastrichtien dans la zone de Touba, nous pouvons dire qu'il est possible d'améliorer l'approvisionnement en eau de la ville sainte en qualité et en quantité suffisante en réalisant la zone de captage de Touba Bogu d'ici 2026. L'impact de ces scénarii sur la piézométrie est faible à Touba Bogu (-4m) contrairement au schéma actuel où la charge piézométrique est -15m à Touba. L'évolution de la piézométrie reste constante dans les deux premiers scénarii et s'améliore de manière significative à Touba où elle passe de -15 à -11m au scénario 3.

## CONCLUSION GENERALE

La nappe du Maastrichtien, aquifère d'une puissance moyenne de 300 m, est essentiellement constituée de sable et de grés. Son toit est formé d'une couche d'argile noire et se trouve à une profondeur moyenne de 200 m dans la zone d'étude. La plus part des forages dans le domaine d'étude captent cette nappe avec des débits importants, notamment dans la ville sainte.

L'exploitation intensive du Maastrichtien par 15 forages situés sur un rayon de 10 km dans Touba met en évidence une piézométrie négative.

Par ailleurs, la qualité de l'eau est affectée à **Touba** par un taux de sclinité supérieur à **2000** mg/l, dépassant largement les normes de l'OMS qui fixe ce taux à 1500 g/l.

Par contre, dans la partie Est, notamment à **Touba Bogu**, la qualité est meilleure avec des taux de **650** mg/l.

Afin de proposer un schéma d'exploitation, nous avons eu à faire des simulations sur la nappe pour voir l'évolution de la charge piézométrique.

Cette modélisation a nécessité quatre étapes :

- Une première, effectuée en régime permanent, a permis de restituer la piézométrie ainsi que la répartition spatiale de la perméabilité.
- La deuxième phase consiste en la mise en œuvre d'un régime transitoire en gardant le même système d'exploitation actuel pour un horizon de 20 ans. Les charges piézométriques restent globalement identiques par rapport à la première étape.

- La troisième a porté sur un régime transitoire avec la réalisation d'un champ de captage de 11 forages d'un débit moyen de 250m<sup>3</sup>/h dans le secteur de Touba Bogu en vue d'acheminer l'eau vers Touba pour combler le déficit projeté d'ici 2026.

On note une légère variation de la charge piézométrique dans la zone de Touba Bogu.

- La dernière complète la troisième phase en remplaçant progressivement 6 des 15 forages de Touba selon l'état de vétusté. Les résultats montrent une faible baisse du dôme piézométrique de Nébodji et son amélioration dans Touba.

Parmi ces trois scénarii, nous retenons la dernière, qui voit une nette amélioration en qualité et quantité de l'alimentation en eau potable des populations de la capitale du mouridisme. Ce scénario peut intégrer également l'exploitation de l'ensemble des forages avec des débits maximum pendant les jours du Grand Magal.

## PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Les scénarii d'exploitation proposés montrent qu'il n'y a pas d'inquiétude majeure sur la pérennité de la ressource en eau dans la zone d'étude. Cependant la qualité des forages situés dans la ville demeure une préoccupation particulière des autorités.

Pour apporter une solution à ce problème, nous préconisons la mise en œuvre du schéma d'exploitation proposé dans le scénario 3. Toutefois un suivi régulier du réseau piézométrique proposé doit constituer une priorité.

D'autres mesures d'accompagnement sont à recommander. Il s'agit entre autre :

- la bonne gestion de l'eau à Touba ;
- l'optimisation du réseau d'alimentation en eau potable afin de réduire les pertes estimées à plus de 30%.
- La réalisation de nouveaux ouvrages de stockage (châteaux d'eau) pour éviter le refoulement direct de certains forages dans le réseau.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**AUDIBERT M. (1966)** – Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal (nappe maastrichtienne). Thèse doctorat 3<sup>ème</sup> cycle Univ. De Montpellier, et mémoire BRGM, 41, 84p.

**ARLAB (1981)** – Alimentation en eau potable de la presque île de Dakar. Etude complémentaire du Maastrichtien. Rapport final Projet n°31 05 070. 1542.

**CASTANY G. (1998)** – Hydrogéologie Principes et méthodes. Bordas, Paris. 236p.

**GENETIER B. (1984)** – La pratique des pompages d'essai en hydrogéologie. Editions du BRGM, 132p.

**DEGALLIER R. (1962)** – Possibilité de la nappe maastrichtienne au Sénégal. Rapport BRGM, Dak 62-A11, 25p.

**DIENG B. (1987)** – Paléohydrogéologie et hydrologie quantitative du bassin sédimentaire du Sénégal. Essai d'explication des anomalies piézométriques. Thèse doctorat, Ecole Nationale des Mines de Paris, 156p.

**NDIAYE B.** Cours d'Hydrogéologie.

**LE PRIOL J., DIENG B. (1985)** – Synthèse hydrogéologique du Sénégal (1984-1985). Etude géologique structurale par photo-interprétation. Géométrie et limites des aquifères souterrains. Doc. Ministère de l'hydraulique, 01/85/MH/DEH, 77p.

**TRAVI Y. (1988)**- Hydrogéochemie et hydrogéologie des aquifères fluorés du bassin du Sénégal. Origine et conditions de transport du fluor dans les eaux souterraines. Thèse doctorat es-sciences Univ. De Paris Sud (Orsay), 190p.

**NDOYE S.** (2003) – Comportement hydrodynamique et hydrochimique de la nappe cotière du continental terminal du Saloum. Thèse doctorat 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Cheikh Anta DIOP Dakar.

**MBAYE M., NDIAYE B.** (2002) – Reconstruction et optimisation du réseau d'adduction d'eau potable de la ville de Touba. Projet de fin d'études. ESP Thiès.

**COWI-POLYCONSULT** (2001) – Caractéristiques hydrogéologiques du Système aquifère maastrichtien au Sénégal.

**CONCEPT-SETICO (2005)** – Etude de faisabilité de l'alimentation en eau potable de la ville de Touba. Rapport de mission 2.

**CONCEPT-SETICO (2005)** – Etude de faisabilité de l'alimentation en eau potable de la ville de Touba. Rapport de mission 3.

# ANNEXES

## Annexe 0-1 : Essai de pompage du forage de Darou Minam Taïf et courbes de rabattement

Forage de Darou Minam Taïf  
N°IRH : 12-2X-0005

Niveau statique : 25.05m

Date :  
26/12/83

Niveau dynamique : 30.09 m

Dernier palier Q=40m<sup>3</sup>.h

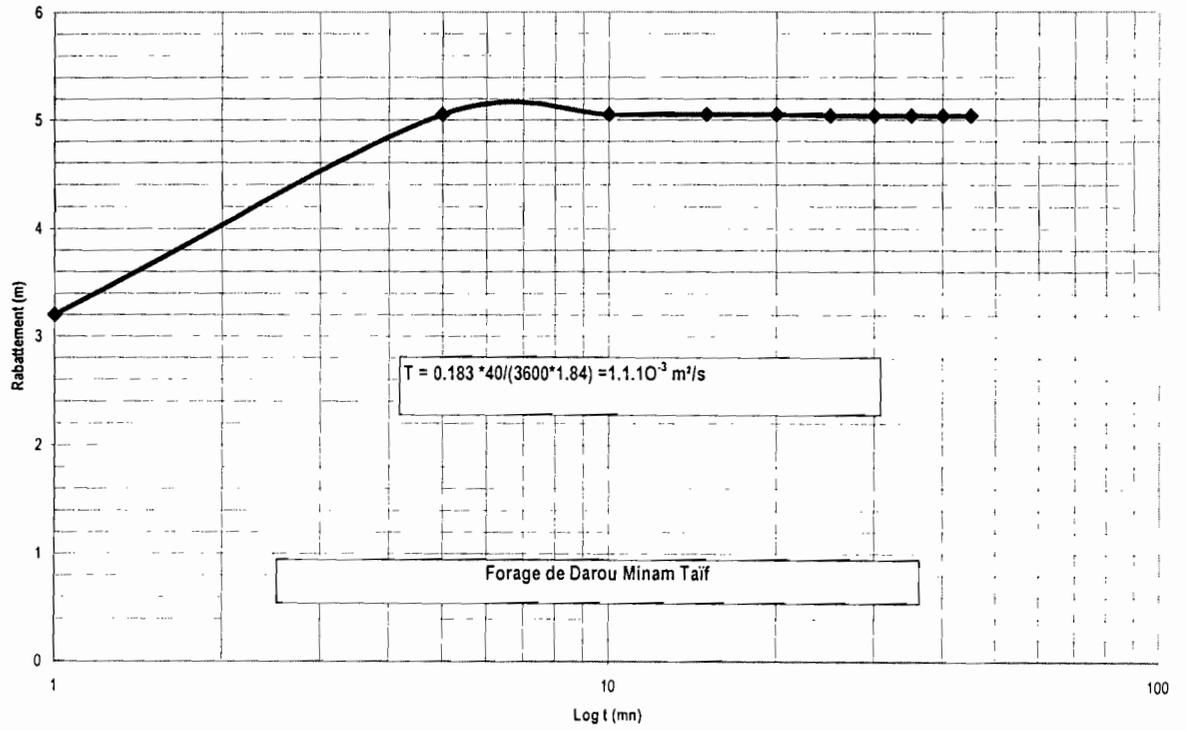
### Descente

| Temps (mn) | Rabattement (m) |
|------------|-----------------|
| 1          | 3.2             |
| 5          | 5.05            |
| 10         | 5.05            |
| 15         | 5.05            |
| 20         | 5.05            |
| 25         | 5.04            |
| 30         | 5.04            |
| 35         | 5.04            |
| 40         | 5.04            |
| 45         | 5.04            |

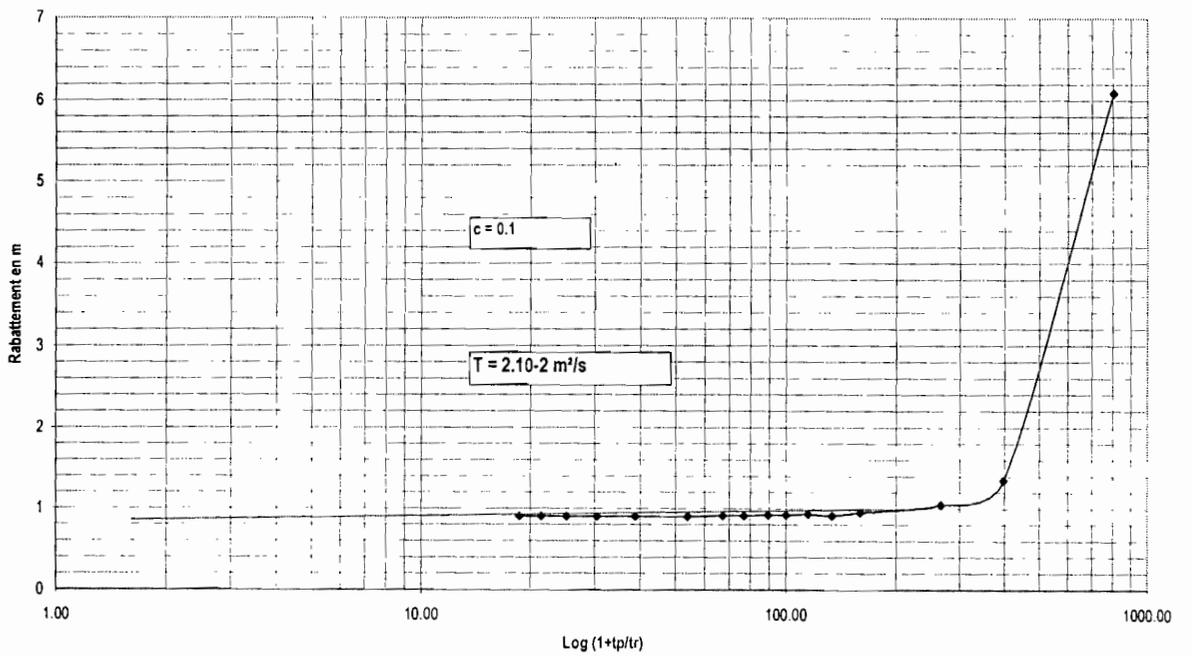
### Remonté

| Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (mn) : t | 1+ ( t <sub>p</sub> / t <sub>r</sub> ) | ND (m) | Rabattement (m) |
|---|--|--------|-----------------|
| 0.33  | 804.03                                 | 30.09  | 6.09            |
| 0.67  | 396.52                                 | 25.35  | 1.35            |
| 1   | 266.00                                 | 25.05  | 1.05            |
| 1.67  | 159.68                                 | 24.95  | 0.95            |
| 2   | 133.50                                 | 24.91  | 0.91            |
| 2.33  | 114.73                                 | 24.93  | 0.93            |
| 2.67  | 100.25                                 | 24.92  | 0.92            |
| 3   | 89.33                                  | 24.92  | 0.92            |
| 3.5   | 76.71                                  | 24.91  | 0.91            |
| 4   | 67.25                                  | 24.91  | 0.91            |
| 5   | 54.00                                  | 24.9   | 0.9             |
| 7   | 38.86                                  | 24.9   | 0.9             |
| 9   | 30.44                                  | 24.9   | 0.9             |
| 11  | 25.09                                  | 24.9   | 0.9             |
| 13  | 21.38                                  | 24.9   | 0.9             |
| 15  | 18.67                                  | 24.9   | 0.9             |

Courbe rabattement en fonction log t



Courbe de remontée



## Annexe 0-2 : Essai de pompage du forage de Fass Loly et courbes de rabattement

Forage de Fass Loli

N°IRH : 12-3X-0007

Niveau Dynamique = 50.95 m

Longue durée :  
descente

Niveau Statique = 50.95 m/sol

Q = 43 m<sup>3</sup>/h

Date : 07 / 12/86

Longue durée : remonté

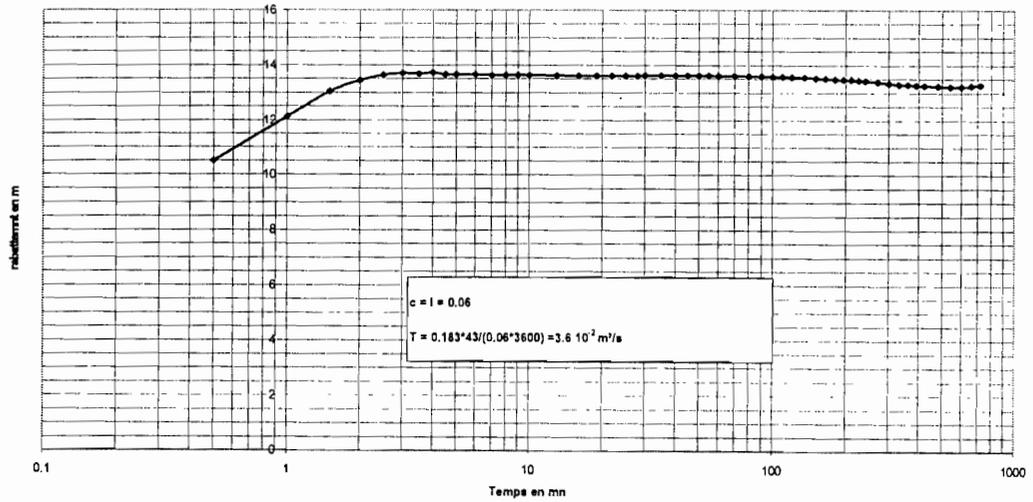
| Temps (mn) | ND (m) | Rabattement |
|------------|--------|-------------|
| 0          | 50.95  | 0           |
| 0.5        | 61.45  | 10.5        |
| 1          | 63.07  | 12.12       |
| 1.5        | 63.99  | 13.04       |
| 2          | 64.39  | 13.44       |
| 2.5        | 64.59  | 13.64       |
| 3          | 64.65  | 13.7        |
| 3.5        | 64.63  | 13.68       |
| 4          | 64.68  | 13.73       |
| 4.5        | 64.61  | 13.66       |
| 5          | 64.61  | 13.66       |
| 6          | 64.61  | 13.66       |
| 7          | 64.59  | 13.64       |
| 8          | 64.59  | 13.64       |
| 9          | 64.59  | 13.64       |
| 10         | 64.59  | 13.64       |
| 13         | 64.58  | 13.63       |
| 16         | 64.57  | 13.62       |
| 19         | 64.57  | 13.62       |
| 22         | 64.57  | 13.62       |
| 25         | 64.56  | 13.61       |
| 28         | 64.57  | 13.62       |
| 30         | 64.58  | 13.63       |
| 35         | 64.58  | 13.63       |
| 40         | 64.58  | 13.63       |
| 45         | 64.58  | 13.63       |
| 50         | 64.58  | 13.63       |
| 55         | 64.58  | 13.63       |
| 60         | 64.57  | 13.62       |
| 70         | 64.56  | 13.61       |
| 80         | 64.55  | 13.6        |
| 90         | 64.55  | 13.6        |
| 100        | 64.53  | 13.58       |
| 110        | 64.53  | 13.58       |
| 120        | 64.52  | 13.57       |
| 135        | 64.511 | 13.561      |
| 150        | 64.48  | 13.53       |
| 165        | 64.46  | 13.51       |

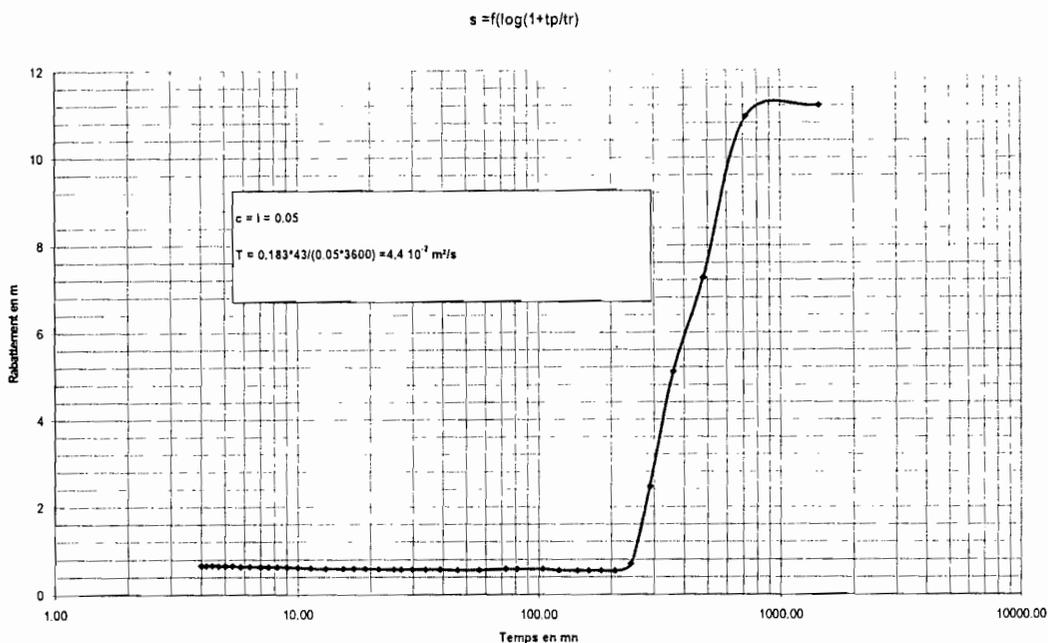
| Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (mn) : tr | 1+ (t <sub>p</sub> / tr) | ND (m) | Rabattement (m) |
|--|--------------------------|--------|-----------------|
| 0  |                          | 64.23  | 13.28           |
| 0.5  | 1441.00                  | 62.15  | 11.2            |
| 1  | 721.00                   | 61.9   | 10.95           |
| 1.5  | 481.00                   | 58.2   | 7.25            |
| 2  | 361.00                   | 56.05  | 5.1             |
| 2.5  | 289.00                   | 53.41  | 2.46            |
| 3  | 241.00                   | 51.65  | 0.7             |
| 3.5  | 206.71                   | 51.49  | 0.54            |
| 4  | 181.00                   | 51.49  | 0.54            |
| 4.5  | 161.00                   | 51.49  | 0.54            |
| 5  | 145.00                   | 51.49  | 0.54            |
| 6  | 121.00                   | 51.5   | 0.55            |
| 7  | 103.86                   | 51.53  | 0.58            |
| 9  | 81.00                    | 51.53  | 0.58            |
| 10   | 73.00                    | 51.53  | 0.58            |
| 13   | 56.38                    | 51.51  | 0.56            |
| 16   | 46.00                    | 51.51  | 0.56            |
| 19   | 38.89                    | 51.52  | 0.57            |
| 22   | 33.73                    | 51.52  | 0.57            |
| 25   | 29.80                    | 51.52  | 0.57            |
| 28   | 26.71                    | 51.52  | 0.57            |
| 30   | 25.00                    | 51.52  | 0.57            |
| 35   | 21.57                    | 51.53  | 0.58            |
| 40   | 19.00                    | 51.54  | 0.59            |
| 45   | 17.00                    | 51.54  | 0.59            |
| 50   | 15.40                    | 51.54  | 0.59            |
| 60   | 13.00                    | 51.54  | 0.59            |
| 70   | 11.29                    | 51.55  | 0.6             |
| 80   | 10.00                    | 51.56  | 0.61            |
| 90   | 9.00                     | 51.57  | 0.62            |
| 100  | 8.20                     | 51.58  | 0.63            |
| 110  | 7.55                     | 51.58  | 0.63            |
| 120  | 7.00                     | 51.58  | 0.63            |
| 135  | 6.33                     | 51.59  | 0.64            |
| 150  | 5.80                     | 51.59  | 0.64            |
| 165  | 5.36                     | 51.6   | 0.65            |
| 180  | 5.00                     | 51.6   | 0.65            |
| 195  | 4.69                     | 51.6   | 0.65            |

|     |       |       |
|-----|-------|-------|
| 180 | 64.44 | 13.49 |
| 195 | 64.43 | 13.48 |
| 210 | 64.43 | 13.48 |
| 225 | 64.4  | 13.45 |
| 240 | 64.38 | 13.43 |
| 270 | 64.34 | 13.39 |
| 300 | 64.3  | 13.35 |
| 330 | 64.25 | 13.3  |
| 360 | 64.25 | 13.3  |
| 390 | 64.23 | 13.28 |
| 420 | 64.22 | 13.27 |
| 480 | 64.19 | 13.24 |
| 540 | 64.17 | 13.22 |
| 600 | 64.17 | 13.22 |
| 660 | 64.21 | 13.26 |
| 720 | 64.23 | 13.28 |

|     |      |       |      |
|-----|------|-------|------|
| 210 | 4.43 | 51.61 | 0.66 |
| 225 | 4.20 | 51.61 | 0.66 |
| 240 | 4.00 | 51.61 | 0.66 |

s = f(logt)





### Annexe 0-3 : Essai de pompage du forage de Khaïra Gassane et courbes de rabattement

Forage de Khaïra Gassane

N°IRH : 12-2X-0013

Niveau Dynamique = 43.00 m / sol

Longue durée :  
descente

Niveau Statique = 43.00 m (NS final)

Q = 69 m<sup>3</sup>/h

Date : 29/07/99

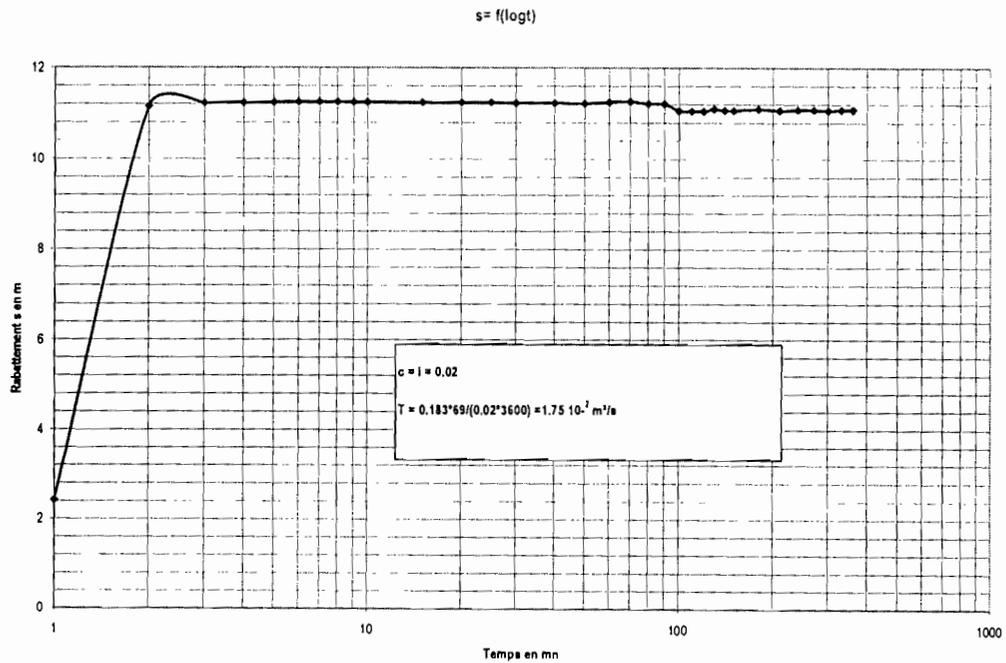
Longue durée : remonté

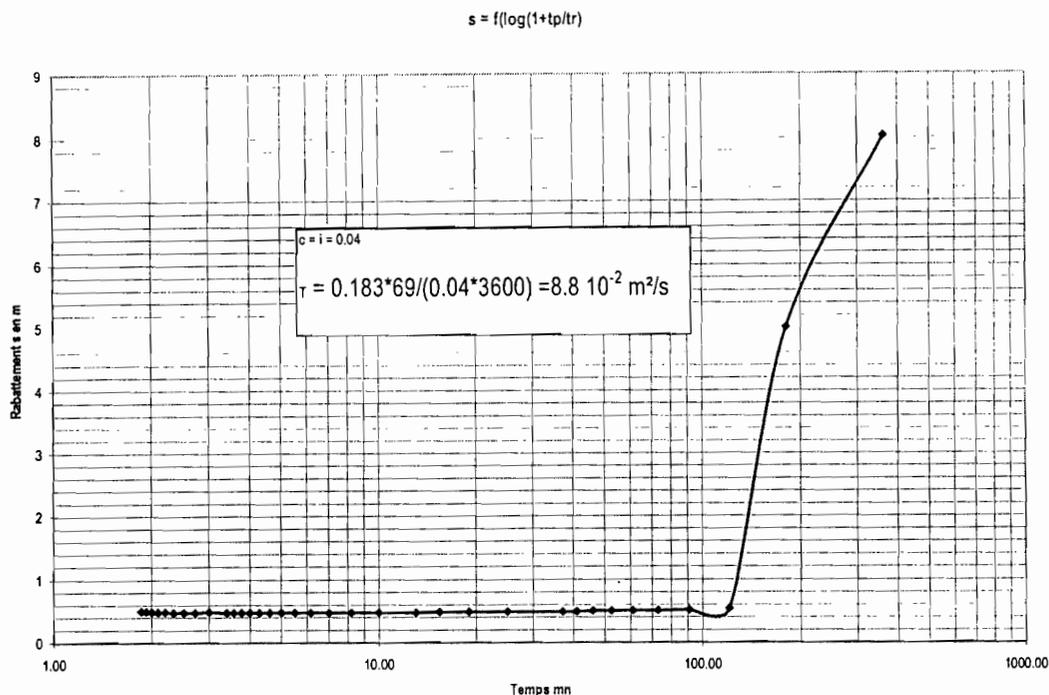
| Temps (mn) | ND (m) | Rabattement s (m) |
|------------|--------|-------------------|
| 0          | 43     | 0                 |
| 1          | 45.42  | 2.42              |
| 2          | 54.15  | 11.15             |
| 3          | 54.22  | 11.22             |
| 4          | 54.23  | 11.23             |
| 5          | 54.24  | 11.24             |
| 6          | 54.25  | 11.25             |
| 7          | 54.25  | 11.25             |
| 8          | 54.25  | 11.25             |
| 9          | 54.25  | 11.25             |
| 10         | 54.25  | 11.25             |
| 15         | 54.24  | 11.24             |
| 20         | 54.24  | 11.24             |
| 25         | 54.24  | 11.24             |
| 30         | 54.23  | 11.23             |
| 40         | 54.23  | 11.23             |
| 50         | 54.22  | 11.22             |
| 60         | 54.25  | 11.25             |

| Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (mn) : tr | 1+ (t <sub>p</sub> / tr) | Niv. Dynamique (m) | Rabattement s (m) |
|--|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 0  |                          | 54.08              | 11.08             |
| 1  | 361.00                   | 51.03              | 8.03              |
| 2  | 181.00                   | 48.01              | 5.01              |
| 3  | 121.00                   | 43.54              | 0.54              |
| 4  | 91.00                    | 43.52              | 0.52              |
| 5  | 73.00                    | 43.51              | 0.51              |
| 6  | 61.00                    | 43.51              | 0.51              |
| 7  | 52.43                    | 43.5               | 0.5               |
| 8  | 46.00                    | 43.5               | 0.5               |
| 9  | 41.00                    | 43.49              | 0.49              |
| 10   | 37.00                    | 43.49              | 0.49              |
| 15   | 25.00                    | 43.49              | 0.49              |
| 20   | 19.00                    | 43.49              | 0.49              |
| 25   | 15.40                    | 43.49              | 0.49              |
| 30   | 13.00                    | 43.48              | 0.48              |
| 40   | 10.00                    | 43.48              | 0.48              |
| 50   | 8.20                     | 43.48              | 0.48              |
| 60   | 7.00                     | 43.48              | 0.48              |

|     |       |       |
|-----|-------|-------|
| 70  | 54.27 | 11.27 |
| 80  | 54.22 | 11.22 |
| 90  | 54.21 | 11.21 |
| 100 | 54.06 | 11.06 |
| 110 | 54.05 | 11.05 |
| 120 | 54.05 | 11.05 |
| 130 | 54.1  | 11.1  |
| 140 | 54.07 | 11.07 |
| 150 | 54.07 | 11.07 |
| 180 | 54.1  | 11.1  |
| 210 | 54.07 | 11.07 |
| 240 | 54.08 | 11.08 |
| 270 | 54.08 | 11.08 |
| 300 | 54.07 | 11.07 |
| 330 | 54.08 | 11.08 |
| 360 | 54.08 | 11.08 |

|     |      |       |      |
|-----|------|-------|------|
| 70  | 6.14 | 43.48 | 0.48 |
| 80  | 5.50 | 43.48 | 0.48 |
| 90  | 5.00 | 43.48 | 0.48 |
| 100 | 4.60 | 43.48 | 0.48 |
| 110 | 4.27 | 43.48 | 0.48 |
| 120 | 4.00 | 43.48 | 0.48 |
| 130 | 3.77 | 43.48 | 0.48 |
| 140 | 3.57 | 43.48 | 0.48 |
| 150 | 3.40 | 43.48 | 0.48 |
| 180 | 3.00 | 43.49 | 0.49 |
| 210 | 2.71 | 43.48 | 0.48 |
| 240 | 2.50 | 43.48 | 0.48 |
| 270 | 2.33 | 43.48 | 0.48 |
| 300 | 2.20 | 43.49 | 0.49 |
| 330 | 2.09 | 43.49 | 0.49 |
| 360 | 2.00 | 43.49 | 0.49 |
| 390 | 1.92 | 43.5  | 0.5  |
| 420 | 1.86 | 43.5  | 0.5  |





### Annexe 0-4 : Essai de pompage du forage de Darou Salam Diop et courbes de rabattement

Forage de Darou Salam DIOP

N°IRH : 12-3X-0003

Niveau Statique = 37.02 m / sol

Longue durée : descente

Q = 69 m<sup>3</sup>/h

Date : 26/03/78

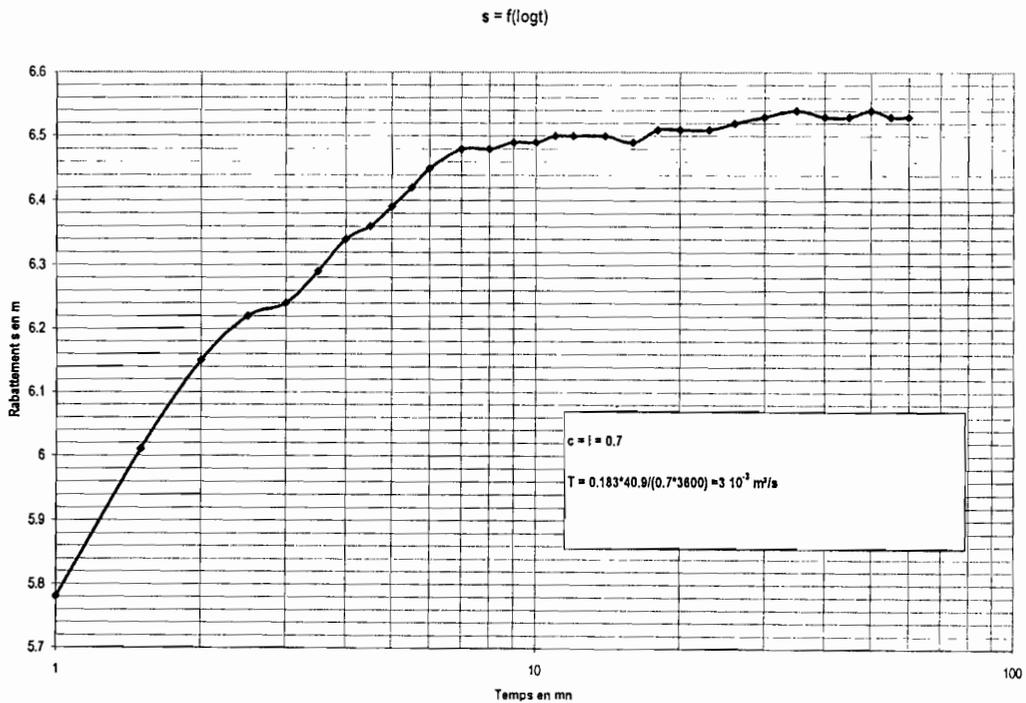
Longue durée : remonté

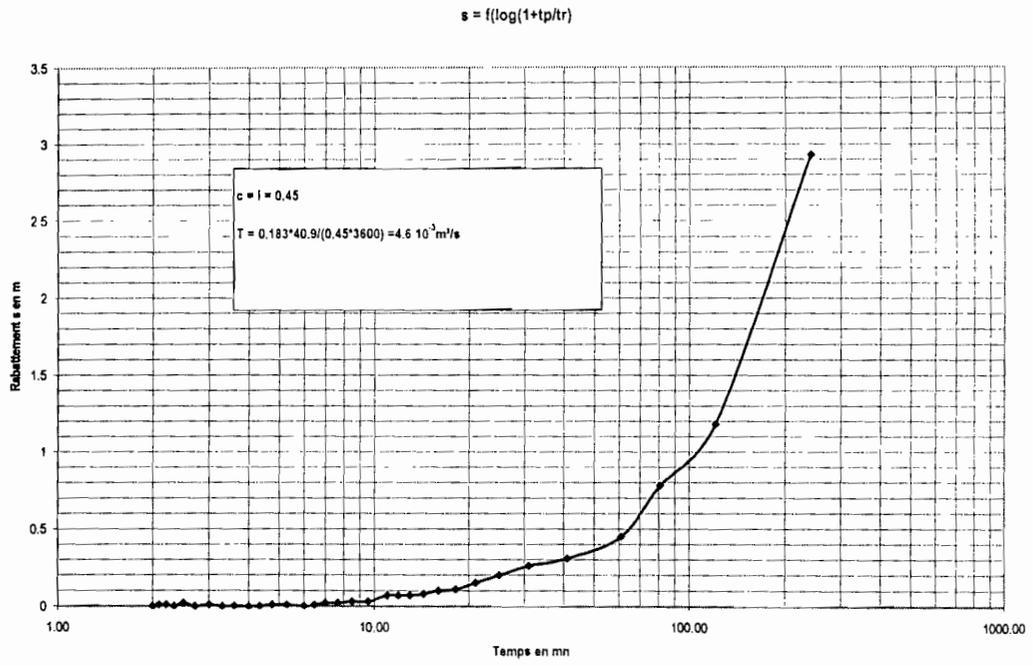
| Temps (mn) | ND (m) | Rabattement s (m) |
|------------|--------|-------------------|
| 0          | 37.02  | 0                 |
| 1          | 42.8   | 5.78              |
| 1.5        | 43.03  | 6.01              |
| 2          | 43.17  | 6.15              |
| 2.5        | 43.24  | 6.22              |
| 3          | 43.26  | 6.24              |
| 3.5        | 43.31  | 6.29              |
| 4          | 43.36  | 6.34              |
| 4.5        | 43.38  | 6.36              |
| 5          | 43.41  | 6.39              |
| 5.5        | 43.44  | 6.42              |
| 6          | 43.47  | 6.45              |
| 7          | 43.5   | 6.48              |
| 8          | 43.5   | 6.48              |
| 9          | 43.51  | 6.49              |

| Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (mn) : tr | 1+ (t <sub>p</sub> / tr) | Niv. Dynamique (m) | Rabattement s (m) |
|--|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 0  |                          | 43.55              | 6.53              |
| 0.25   | 241.00                   | 39.95              | 2.93              |
| 0.5  | 121.00                   | 38.2               | 1.18              |
| 0.75   | 81.00                    | 37.8               | 0.78              |
| 1  | 61.00                    | 37.47              | 0.45              |
| 1.5  | 41.00                    | 37.33              | 0.31              |
| 2  | 31.00                    | 37.28              | 0.26              |
| 2.5  | 25.00                    | 37.22              | 0.2               |
| 3  | 21.00                    | 37.17              | 0.15              |
| 3.5  | 18.14                    | 37.13              | 0.11              |
| 4  | 16.00                    | 37.12              | 0.1               |
| 4.5  | 14.33                    | 37.1               | 0.08              |
| 5  | 13.00                    | 37.09              | 0.07              |
| 5.5  | 11.91                    | 37.09              | 0.07              |
| 6  | 11.00                    | 37.09              | 0.07              |

|    |       |      |
|----|-------|------|
| 10 | 43.51 | 6.49 |
| 11 | 43.52 | 6.5  |
| 12 | 43.52 | 6.5  |
| 14 | 43.52 | 6.5  |
| 16 | 43.51 | 6.49 |
| 18 | 43.53 | 6.51 |
| 20 | 43.53 | 6.51 |
| 23 | 43.53 | 6.51 |
| 26 | 43.54 | 6.52 |
| 30 | 43.55 | 6.53 |
| 35 | 43.56 | 6.54 |
| 40 | 43.55 | 6.53 |
| 45 | 43.55 | 6.53 |
| 50 | 43.56 | 6.54 |
| 55 | 43.55 | 6.53 |
| 60 | 43.55 | 6.53 |

|    |      |       |      |
|----|------|-------|------|
| 7  | 9.57 | 37.05 | 0.03 |
| 8  | 8.50 | 37.05 | 0.03 |
| 9  | 7.67 | 37.04 | 0.02 |
| 10 | 7.00 | 37.04 | 0.02 |
| 11 | 6.45 | 37.03 | 0.01 |
| 12 | 6.00 | 37.02 | 0    |
| 14 | 5.29 | 37.03 | 0.01 |
| 16 | 4.75 | 37.03 | 0.01 |
| 18 | 4.33 | 37.02 | 0    |
| 20 | 4.00 | 37.02 | 0    |
| 23 | 3.61 | 37.02 | 0    |
| 26 | 3.31 | 37.02 | 0    |
| 30 | 3.00 | 37.03 | 0.01 |
| 35 | 2.71 | 37.02 | 0    |
| 40 | 2.50 | 37.04 | 0.02 |
| 45 | 2.33 | 37.02 | 0    |
| 50 | 2.20 | 37.03 | 0.01 |
| 55 | 2.09 | 37.03 | 0.01 |
| 60 | 2.00 | 37.02 | 0    |





## ANNEXE 1: Données topographique du terrain naturel

| No_IRH     | No_Biblio | Désignation              | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | Alt (m) | ProTle (m) |
|------------|-----------|--------------------------|------------|-----------|----------|---------|---------|------------|
| 12-1X-0007 |           | MBACKE                   | -15°54'00" | 14°48'00" | -15.9000 | 14.8000 | 40.4    | 204        |
| 12-2X-0005 | 765       | DAROU MINAME TAIF        | -15°23'50" | 14°49'10" | -15.3972 | 14.8194 | 26      | 240        |
| 12-2X-0013 | 2532      | KHAIRE GASSANE           | -15°21'20" | 14°50'00" | -15.3556 | 14.8333 | 14.5    | 241        |
| 12-2X-0002 | 761       | DAROU BOGO               | -15°38'42" | 14°56'05" | -15.6450 | 14.9347 | 40      | 255        |
| 12-3X-0001 | 770       | GASSANE NDAVENE          | -15°17'35" | 14°49'10" | -15.2931 | 14.8194 | 33.8    | 257.35     |
| 12-1X-0046 | 1640      | MBAYENE MISSIRAH         | -15°58'00" | 14°58'20" | -15.9667 | 14.9722 | 44      | 257.71     |
| 12-2X-0008 | 768       | GUERLE OUOLOF            | -15°27'05" | 14°48'59" | -15.4514 | 14.8164 | 28      | 260        |
| 12-5X-0012 | 802       | MOURE                    | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 27      | 267        |
| 12-2X-0009 | 1546      | MEDINA FALL DIAGA        | -15°25'06" | 14°44'53" | -15.4183 | 14.7481 | 50      | 267        |
| 12-5X-0009 | 797       | DIABEL                   | -15°34'35" | 14°35'13" | -15.5764 | 14.5869 | 31      | 267.3      |
| 12-1X-0029 | 751       | TOUBA SOURANG            | -15°44'55" | 14°55'45" | -15.7486 | 14.9292 | 52      | 268        |
| 12-2X-0012 | 2301      | SAM FALL                 | -15°34'30" | 14°54'10" | -15.5750 | 14.9028 | 40      | 270        |
| 12-1X-0042 | 1506      | DAROU KHADIM             | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 50      | 273        |
| 12-1X-0040 | 1516      | KERE MBAYE               | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 43      | 274.94     |
| 12-2X-0010 | 769       | TAIF MBACKE              | -15°39'30" | 14°47'10" | -15.6583 | 14.7861 | 48      | 275        |
| 12-2X-0003 | 763       | TOUBA BOGO               | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 50      | 275        |
| 12-1X-0020 | 744       | KERE NDAO                | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 46      | 279.7      |
| 12-4X-0009 | 777       | MBAR FORAGE              | -15°45'10" | 14°32'30" | -15.7528 | 14.5417 | 36      | 280        |
| 12-1X-0030 | 752       | BOBY                     | -15°49'10" | 14°44'40" | -15.8194 | 14.7444 | 25      | 280.5      |
| 12-2X-0006 | 766       | SAM FALL                 | -15°34'00" | 14°56'05" | -15.5667 | 14.9347 | 40      | 281        |
| 12-1X-0001 | 731       | TOUBA 1                  | -15°53'05" | 14°52'49" | -15.8847 | 14.8803 | 36.75   | 286.1      |
| 12-1X-0052 | 2079      | DAROU NAIM THIENGOU      | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 16      | 287        |
| 12-1X-0017 | 741       | LAH                      | -15°59'28" | 14°45'45" | -15.9911 | 14.7625 | 26      | 288        |
| 12-4X-0017 | 784       | COLOBANE                 | -15°42'22" | 14°38'34" | -15.7061 | 14.6428 | 28      | 290        |
| 12-1X-0059 | 2306      | TOUBA KEBE               | -15°54'21" | 14°51'01" | -15.9058 | 14.8503 | 47      | 290        |
| 12-3X-0002 | 771       | THIEL OUOLOF I           | -15°03'00" | 14°56'00" | -15.0500 | 14.9333 | 44.35   | 292.35     |
| 12-1X-0016 | 740       | NGUILLO E.H. MAMADOU     | -15°48'06" | 14°59'42" | -15.8017 | 14.9950 | 48      | 293.6      |
| 12-1X-0036 | 756       | MEDINA MBOBA             | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 35      | 294        |
| 12-1X-0008 | 736       | MBACKE                   | -15°54'00" | 14°48'00" | -15.9000 | 14.8000 | 40.4    | 294        |
| 12-1X-0060 | 2307      | TOUBA NDAME              | -15°53'30" | 14°51'30" | -15.8917 | 14.8583 | 47      | 295        |
| 12-1X-0019 | 743       | KADO BALLODJI            | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 57      | 295        |
| 12-4X-0015 | 782       | LAMA                     | -15°54'34" | 14°37'40" | -15.9094 | 14.6278 | 25      | 298        |
| 12-5X-0019 | 1740      | MBEGUE FORET             | -15°33'05" | 14°31'30" | -15.5514 | 14.5250 | 38      | 299        |
| 12-5X-0020 | 1933      | KHEL COM 9               | -15°29'20" | 14°33'40" | -15.4889 | 14.5611 | 35      | 300        |
| 12-3X-0008 | 1377      | TOUBA TOURE SIBOLE 2     | -15°10'30" | 14°53'10" | -15.1750 | 14.8861 | 38      | 300        |
| 12-5X-0002 | 794       | KHEL COM DIAGA           | -15°24'00" | 14°36'00" | -15.4000 | 14.6000 | 45      | 300.25     |
| 12-1X-0003 | 732       | TOUBA 2                  | -15°52'12" | 14°53'36" | -15.8700 | 14.8933 | 45      | 301.7      |
| 12-4X-0010 | 779       | PATHIENE I               | -15°55'20" | 14°33'15" | -15.9222 | 14.5542 | 37      | 302        |
| 12-1X-0009 |           | TOUBA F NDAME            | -15°52'40" | 14°50'00" | -15.8778 | 14.8333 | 44.3    | 302        |
| 12-1X-0021 | 745       | KAEL                     | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 15      | 305        |
| 12-1X-0025 |           | BAILA                    | -15°41'02" | 14°47'26" | -15.6839 | 14.7906 | 48      | 306        |
| 12-3X-0003 | 772       | DAROU SALAM DIOP         | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 43      | 311.5      |
| 12-1X-0022 | 747       | DAROU RAHMANE II         | -15°56'42" | 14°54'01" | -15.9450 | 14.9003 | 48      | 312        |
| 12-4X-0019 | 787       | SEO TOURE                | -15°52'30" | 14°35'40" | -15.8750 | 14.5944 | 37      | 312.8      |
| 12-1X-0041 | 759       | MBACKE                   | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 40.4    | 315        |
| 12-6X-0006 | 816       | TOUBA NDIENE             | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 22      | 320        |
| 12-1X-0032 | 754       | DAROU MBAYENE            | -15°56'30" | 14°40'55" | -15.9417 | 14.6819 | 38      | 320        |
| 12-6X-0004 | 813       | DAROU MINAME             | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 40      | 320        |
| 12-1X-0037 | 1833      | TOUBA 6                  | -15°55'11" | 14°51'27" | -15.9197 | 14.8575 | 44      | 320        |
| 12-1X-0043 | 1494      | DAROU RAHMANE II         | -15°57'20" | 14°53'40" | -15.9556 | 14.8944 | 50      | 320        |
| 12-6X-0005 | 815       | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 48      | 322        |

## ANNEXE 1: Données topographique du terrain naturel

| No_IRH     | No_Biblio | Désignation   | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | Alt (m) | ProTle (m) |
|------------|-----------|---------------|------------|-----------|----------|---------|---------|------------|
| 12-4X-0016 | 783       | NDIENE LAGANE | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 36      | 325        |
| 12-4X-0011 | 780       | TOUBA MBOUL   | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 38      | 336.7      |
| 12-4X-0024 | 793       | LAGANE MBACKE | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 35      | 357        |
| 12-1X-0015 | 738       | TOUBA FALL I  | -15°59'45" | 14°52'00" | -15.9958 | 14.8667 | 44.4    | 365        |

## ANNEXE 2 : Données sur le toit et le substratum du Maastrichtien

| No_IRH     | No_Biblio | Désignation                | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProTle | P.SupCrép | Prof.Toit (m) | Prof. Substratum (m) |
|------------|-----------|----------------------------|------------|-----------|----------|---------|--------|-----------|---------------|----------------------|
| 12-1X-0001 | 731       | TOUBA 1                    | -15°53'05" | 14°52'49" | -15.8847 | 14.8803 | 286.1  | 255.97    | 237           | 537                  |
| 12-1X-0003 | 732       | TOUBA 2                    | -15°52'12" | 14°53'36" | -15.8700 | 14.8933 | 301.7  | 249       | 240           | 540                  |
| 12-1X-0004 | 733       | TOUBA 3                    | -15°51'17" | 14°51'28" | -15.8547 | 14.8578 | 280    | 224.25    | 208           | 508                  |
| 12-1X-0005 | 734       | TOUBA 4                    | -15°51'55" | 14°50'57" | -15.8653 | 14.8492 | 306    | 255.13    | 221           | 521                  |
| 12-1X-0006 | 735       | TOUBA 5                    | -15°54'23" | 14°50'20" | -15.9064 | 14.8389 | 322.5  | 272.15    | 260           | 560                  |
| 12-1X-0008 | 736       | MBACKE                     | -15°54'00" | 14°48'00" | -15.9000 | 14.8000 | 294    | 252       | 225           | 525                  |
| 12-1X-0009 |           | TOUBA F NDAME              | -15°52'40" | 14°50'00" | -15.8778 | 14.8333 | 302    | 249       | 238           | 538                  |
| 12-1X-0014 |           | TOUBA BOGO                 | -15°41'30" | 14°55'20" | -15.6917 | 14.9222 | 263    | 241.07    | 208           | 508                  |
| 12-1X-0015 | 738       | TOUBA FALL I               | -15°59'45" | 14°52'00" | -15.9958 | 14.8667 | 365    | 330.82    | 247           | 547                  |
| 12-1X-0016 | 740       | NGUILLO E.H. MAMADOU       | -15°48'06" | 14°59'42" | -15.8017 | 14.9950 | 293.6  | 278.4     | 231           | 531                  |
| 12-1X-0017 | 741       | LAH                        | -15°59'28" | 14°45'45" | -15.9911 | 14.7625 | 288    | 271       | 248           | 548                  |
| 12-1X-0018 | 742       | TOUBA KEBE                 | -15°54'45" | 14°51'10" | -15.9125 | 14.8528 | 350    | 260       | 248           | 548                  |
| 12-1X-0019 | 743       | KADO BALLODJI              | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 295    | 273       | 215           | 515                  |
| 12-1X-0020 | 744       | KERE NDAO                  | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 279.7  | 253.7     | 205           | 505                  |
| 12-1X-0021 | 745       | KAEL                       | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 305    | 283.15    | 215           | 515                  |
| 12-1X-0022 | 747       | DAROU RAHMANE II           | -15°56'42" | 14°54'01" | -15.9450 | 14.9003 | 312    | 289       | 265           | 565                  |
| 12-1X-0025 |           | BAILA                      | -15°41'02" | 14°47'26" | -15.6839 | 14.7906 | 306    | 243       | 210           | 510                  |
| 12-1X-0027 | 750       | TAINABE                    | -15°58'39" | 14°41'18" | -15.9775 | 14.6883 | 301.33 | 271       | 257           | 557                  |
| 12-1X-0029 | 751       | TOUBA SOURANG              | -15°44'55" | 14°55'45" | -15.7486 | 14.9292 | 268    | 247.65    | 225           | 525                  |
| 12-1X-0030 | 752       | BOBY                       | -15°49'10" | 14°44'40" | -15.8194 | 14.7444 | 280.5  | 260.36    | 229           | 529                  |
| 12-1X-0031 | 753       | THIALLE                    | -15°59'25" | 14°41'35" | -15.9903 | 14.6931 | 340    | 318.8     | 275           | 575                  |
| 12-1X-0032 | 754       | DAROU MBAYENE              | -15°56'30" | 14°40'55" | -15.9417 | 14.6819 | 320    | 299       | 253           | 553                  |
| 12-1X-0036 | 756       | MEDINA MBOBA               | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 294    | 262.03    | 217           | 517                  |
| 12-1X-0037 | 1833      | TOUBA 6                    | -15°55'11" | 14°51'27" | -15.9197 | 14.8575 | 320    | 280       | 245           | 545                  |
| 12-1X-0039 | 1514      | TAIBA TIECKENE             | -15°58'51" | 14°43'40" | -15.9808 | 14.7278 | 304    | 287.92    | 235           | 535                  |
| 12-1X-0040 | 1516      | KERE MBAYE                 | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 274.94 | 255.95    | 213           | 513                  |
| 12-1X-0041 | 759       | MBACKE                     | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 315    | 272.65    | 216           | 516                  |
| 12-1X-0042 | 1506      | DAROU KHADIM               | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 273    | 231       | 209           | 509                  |
| 12-1X-0043 | 1494      | DAROU RAHMANE II           | -15°57'20" | 14°53'40" | -15.9556 | 14.8944 | 320    | 276.32    | 258           | 558                  |
| 12-1X-0046 | 1640      | MBAYENE MISSIRAH           | -15°58'00" | 14°58'20" | -15.9667 | 14.9722 | 257.71 | 225.01    | 200           | 500                  |
| 12-1X-0047 |           | KEUR SERIGNE MBACKE MADINA | -15°49'45" | 14°43'00" | -15.8292 | 14.7167 | 332    | 288.85    | 237           | 537                  |
| 12-1X-0051 | 2110      | NDINDY ABDOU               | -15°49'13" | 14°53'30" | -15.8203 | 14.8917 | 275    | 248.25    | 200           | 500                  |
| 12-1X-0052 | 2079      | DAROU NAIM THIENGOU        | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 287    | 262.31    | 220           | 520                  |

## ANNEXE 2 : Données sur le toit et le substratum du Maastrichtien

| No_IRH     | No_Biblio | Désignation          | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProTle | P.SupCrép | Prof.Toit (m) | Prof. Substratum (m) |
|------------|-----------|----------------------|------------|-----------|----------|---------|--------|-----------|---------------|----------------------|
| 12-1X-0053 | 2468      | NDIOUMANE            | -16°00'00" | 14°37'30" | -16.0000 | 14.6250 | 308    | 278.48    | 264           | 564                  |
| 12-1X-0054 | 2099      | TOUBA F7             | -15°56'40" | 14°51'03" | -15.9444 | 14.8508 | 295.13 | 269.43    | 262           | 562                  |
| 12-1X-0057 | 2109      | NDIOUROUL DARAH      | -15°46'40" | 14°46'40" | -15.7778 | 14.7778 | 269    | 244.28    | 205           | 505                  |
| 12-1X-0059 | 2306      | TOUBA KEBE           | -15°54'21" | 14°51'01" | -15.9058 | 14.8503 | 290    | 254.81    | 248           | 548                  |
| 12-1X-0060 | 2307      | TOUBA NDAME          | -15°53'30" | 14°51'30" | -15.8917 | 14.8583 | 295    | 257.6     | 238           | 538                  |
| 12-1X-0061 | 2469      | TOUBA FALL           | -15°59'30" | 14°50'00" | -15.9917 | 14.8333 | 356    | 330       | 264           | 564                  |
| 12-2X-0001 |           | SADIO DIAKHAYE       | -15°33'00" | 14°47'55" | -15.5500 | 14.7986 | 205    | 189.5     | 183           | 483                  |
| 12-2X-0002 | 761       | DAROU BOGO           | -15°38'42" | 14°56'05" | -15.6450 | 14.9347 | 255    | 240       | 195           | 495                  |
| 12-2X-0003 | 763       | TOUBA BOGO           | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 275    | 248.5     | 209           | 509                  |
| 12-2X-0005 | 765       | DAROU MINAME TAIF    | -15°23'50" | 14°49'10" | -15.3972 | 14.8194 | 240    | 220.26    | 200           | 500                  |
| 12-2X-0006 | 766       | SAM FALL             | -15°34'00" | 14°56'05" | -15.5667 | 14.9347 | 200    | 262.08    | 200           | 500                  |
| 12-2X-0007 | 767       | DAROU KHOUDOSS       | -15°39'50" | 14°58'00" | -15.6639 | 14.9667 | 255    | 229.4     | 197           | 497                  |
| 12-2X-0008 | 768       | GUERLE OUOLOF        | -15°27'05" | 14°48'59" | -15.4514 | 14.8164 | 260    | 228.38    | 220           | 520                  |
| 12-2X-0009 | 1546      | MEDINA FALL DIAGA    | -15°25'06" | 14°44'53" | -15.4183 | 14.7481 | 267    | 238       | 223           | 523                  |
| 12-2X-0010 | 769       | TAIF MBACKE          | -15°39'30" | 14°47'10" | -15.6583 | 14.7861 | 275    | 241.1     | 200           | 500                  |
| 12-2X-0011 | 1374      | MEDINA BOURLE        | -15°29'00" | 14°48'40" | -15.4833 | 14.8111 | 280    | 246.82    | 240           | 540                  |
| 12-2X-0012 | 2301      | SAM FALL             | -15°34'30" | 14°54'10" | -15.5750 | 14.9028 | 270    | 241.7     | 206           | 506                  |
| 12-2X-0013 | 2532      | KHAIRE GASSANE       | -15°21'20" | 14°50'00" | -15.3556 | 14.8333 | 241    | 213.72    | 203           | 503                  |
| 12-3X-0001 | 770       | GASSANE NDAVENE      | -15°17'35" | 14°49'10" | -15.2931 | 14.8194 | 257.35 | 201.15    | 186           | 486                  |
| 12-3X-0002 | 771       | THIEL OUOLOF I       | -15°03'00" | 14°56'00" | -15.0500 | 14.9333 | 292.35 | 250.43    | 209           | 509                  |
| 12-3X-0003 | 772       | DAROU SALAM DIOP     | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 311.5  | 291.3     | 256           | 556                  |
| 12-3X-0006 | 775       | DOLY RANCH           | -15°09'00" | 14°45'00" | -15.1500 | 14.7500 | 299    | 278.36    | 245           | 545                  |
| 12-3X-0007 | 776       | FASS LOLY            | -15°16'31" | 14°40'16" | -15.2753 | 14.6711 | 318    | 290.5     | 245           | 545                  |
| 12-3X-0008 | 1377      | TOUBA TOURE SIBOLE 2 | -15°10'30" | 14°53'10" | -15.1750 | 14.8861 | 300    | 273       | 230           | 530                  |
| 12-4X-0009 | 777       | MBAR FORAGE          | -15°45'10" | 14°32'30" | -15.7528 | 14.5417 | 280    | 229.96    | 215           | 515                  |
| 12-4X-0010 | 779       | PATHIENE I           | -15°55'20" | 14°33'15" | -15.9222 | 14.5542 | 302    | 280.85    | 278           | 578                  |
| 12-4X-0011 | 780       | TOUBA MBOUL          | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 336.7  | 309       | 266           | 566                  |
| 12-4X-0015 | 782       | LAMA                 | -15°54'34" | 14°37'40" | -15.9094 | 14.6278 | 298    | 279       | 268           | 568                  |
| 12-4X-0016 | 783       | NDIENE LAGANE        | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 325    | 292       | 279           | 579                  |
| 12-4X-0017 | 784       | COLOBANE             | -15°42'22" | 14°38'34" | -15.7061 | 14.6428 | 290    | 260.9     | 244           | 544                  |
| 12-4X-0019 | 787       | SEO TOURE            | -15°52'30" | 14°35'40" | -15.8750 | 14.5944 | 312.8  | 292       | 282           | 582                  |
| 12-4X-0024 | 793       | LAGANE MBACKE        | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 357    | 316.14    | 241           | 541                  |
| 12-4X-0025 |           | KEUR MADIOP SERERE   | -15°52'00" | 14°34'30" | -15.8667 | 14.5750 | 310.8  | 263.94    | 239           | 539                  |

## ANNEXE 2 : Données sur le toit et le substratum du Maastrichtien

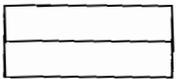
| No_IRH     | No_Biblio | Désignation               | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProTle | P.SupCrép | Prof.Toit (m) | Prof. Substratum (m) |
|------------|-----------|---------------------------|------------|-----------|----------|---------|--------|-----------|---------------|----------------------|
| 12-4X-0028 |           | TOUBA MBOUL               | -15°57'27" | 14°34'17" | -15.9575 | 14.5714 | 325    | 294.14    | 280           | 580                  |
| 12-4X-0029 |           | KHAYANE                   | -15°47'10" | 14°38'10" | -15.7861 | 14.6361 | 263    | 232       | 210           | 510                  |
| 12-4X-0035 |           | BENE COUP COUP 2          | -15°42'15" | 14°35'40" | -15.7042 | 14.5944 | 263    | 237.84    | 220           | 520                  |
| 12-4X-0036 | 2589      | TOUBA SAM FALL(TOUBA FALL | -15°44'00" | 14°33'10" | -15.7333 | 14.5528 | 250    | 225.18    | 192           | 492                  |
| 12-5X-0002 | 794       | KHELCOM DIAGA             | -15°24'00" | 14°36'00" | -15.4000 | 14.6000 | 300.25 | 264       | 200           | 500                  |
| 12-5X-0007 |           | KEUR ABASS SALL           | -15°39'00" | 14°30'05" | -15.6500 | 14.5014 | 318.5  | 282.5     | 232           | 532                  |
| 12-5X-0009 | 797       | DIABEL                    | -15°34'35" | 14°35'13" | -15.5764 | 14.5869 | 267.3  | 254.33    | 246           | 546                  |
| 12-5X-0012 | 802       | MOURE                     | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 267    | 247       | 235           | 535                  |
| 12-5X-0019 | 1740      | MBEGUE FORET              | -15°33'05" | 14°31'30" | -15.5514 | 14.5250 | 299    | 262.1     | 218           | 518                  |
| 12-5X-0020 | 1933      | KHELCOM 9                 | -15°29'20" | 14°33'40" | -15.4889 | 14.5611 | 300    | 265.45    | 246           | 546                  |
| 12-6X-0002 | 810       | TOUBA ALLIA               | -15°02'50" | 14°32'10" | -15.0472 | 14.5361 | 312.5  | 285.1     | 281           | 581                  |
| 12-6X-0004 | 813       | DAROU MINAME              | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 320    | 294.5     | 219           | 519                  |
| 12-6X-0005 | 815       | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG  | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 322    | 291.63    | 262           | 562                  |
| 12-6X-0006 | 816       | TOUBA NDIENE              | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 320    | 287       | 273           | 573                  |
| 12-6X-0008 | 2472      | TOUBA ALEA                | -15°02'50" | 14°33'21" | -15.0472 | 14.5558 | 300    | 272.79    | 268           | 568                  |

### ANNEXE 3 : Données sur la transmissivité et la perméabilité

| No_IRH     | Désignation              | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | Prof_Totale | Niv_Statique | Débit_Essai | Rabattement | Transmissivité en m <sup>2</sup> /s | K (m/s)  |
|------------|--------------------------|------------|-----------|----------|---------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------------------------------|----------|
| 12-1X-0019 | KADO BALLODJI            | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 295         | 51.2         | 39.1        | 5.73        | 6.70E-02                            | 2.23E-04 |
| 12-1X-0020 | KERE NDAO                | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 279.7       | 40           | 40          | 11.45       | 5.00E-02                            | 1.67E-04 |
| 12-1X-0021 | KAEL                     | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 305         | 8.6          | 39.1        | 6.78        | 8.30E-02                            | 2.77E-04 |
| 12-1X-0022 | DAROU RAHMANE II         | -15°56'42" | 14°54'01" | -15.9450 | 14.9003 | 312         | 46.9         | 38.3        | 8.44        | 2.00E-03                            | 6.67E-06 |
| 12-1X-0036 | MEDINA MBOBA             | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 294         | 27.61        | 105.6       | 16.27       | 5.50E-02                            | 1.83E-04 |
| 12-1X-0040 | KERE MBAYE               | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 274.94      | 41.15        | 41.5        | 5           | 1.15E-01                            | 3.83E-04 |
| 12-1X-0041 | MBACKE                   | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 315         | 36.62        | 272         | 36.63       | 4.50E-03                            | 1.50E-05 |
| 12-1X-0042 | DAROU KHADIM             | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 273         | 45.55        | 100         | 4.8         | 4.80E-02                            | 1.60E-04 |
| 12-1X-0051 | NDINDY ABDOU             | -15°49'13" | 14°53'30" | -15.8203 | 14.8917 | 275         | 53.16        | 60          | 10.84       | 8.80E-03                            | 2.93E-05 |
| 12-1X-0052 | DAROU NAIM THIENGOU      | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 287         | 10.65        | 60.4        | 12.62       | 2.40E-02                            | 8.00E-05 |
| 12-1X-0054 | TOUBA F7                 | -15°56'40" | 14°51'03" | -15.9444 | 14.8508 | 295.13      | 43.2         | 250         | 16.36       | 9.80E-02                            | 3.27E-04 |
| 12-1X-0057 | NDIOUROUL DARAH          | -15°46'40" | 14°46'40" | -15.7778 | 14.7778 | 269         | 40.47        | 70.31       | 12.77       | 3.00E-02                            | 1.00E-04 |
| 12-2X-0003 | TOUBA BOGO               | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 275         | 45.07        | 40          | 9.92        | 4.50E-02                            | 1.50E-04 |
| 12-2X-0005 | DAROU MINAME TAIF        | -15°23'50" | 14°49'10" | -15.3972 | 14.8194 | 240         | 25.05        | 40          | 5.04        | 2.20E-02                            | 7.33E-05 |
| 12-2X-0006 | SAM FALL                 | -15°34'00" | 14°56'05" | -15.5667 | 14.9347 | 281         | 38.11        | 41.9        | 4.91        | 2.10E-03                            | 7.00E-06 |
| 12-2X-0013 | KHAIRE GASSANE           | -15°21'20" | 14°50'00" | -15.3556 | 14.8333 | 241         | 43.59        | 75          | 13.03       | 8.80E-02                            | 2.93E-04 |
| 12-3X-0003 | DAROU SALAM DIOP         | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 311.5       | 37.02        | 40.9        | 6.57        | 4.60E-03                            | 1.53E-05 |
| 12-3X-0007 | FASS LOLY                | -15°16'31" | 14°40'16" | -15.2753 | 14.6711 | 318         | 50.95        | 42          | 12.9        | 4.40E-02                            | 1.47E-04 |
| 12-4X-0010 | PATHIENE I               | -15°55'20" | 14°33'15" | -15.9222 | 14.5542 | 302         | 26.93        | 55.5        | 24.52       | 2.00E-02                            | 6.67E-05 |
| 12-4X-0011 | TOUBA MBOUL              | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 336.7       | 31.95        | 41.8        | 11.86       | 3.10E-02                            | 1.03E-04 |
| 12-4X-0016 | NDIENE LAGANE            | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 325         | 30.94        | 56.3        | 18.93       | 5.00E-03                            | 1.67E-05 |
| 12-4X-0024 | LAGANE MBACKE            | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 357         | 28.03        | 56          | 14.25       | 1.60E-03                            | 5.33E-06 |
| 12-4X-0028 | TOUBA MBOUL              | -15°57'27" | 14°34'17" | -15.9575 | 14.5714 | 325         | 35.28        | 73.77       | 17.7        | 1.25E-02                            | 4.17E-05 |
| 12-4X-0029 | KHAYANE                  | -15°47'10" | 14°38'10" | -15.7861 | 14.6361 | 263         | 34.89        | 66.3        | 11.77       | 6.50E-02                            | 2.17E-04 |
| 12-5X-0012 | MOURE                    | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 267         | 21.1         | 40          | 6.1         | 4.40E-02                            | 1.47E-04 |
| 12-6X-0004 | DAROU MINAME             | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 320         | 37.51        | 41.9        | 6.16        | 6.90E-02                            | 2.30E-04 |
| 12-6X-0005 | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 322         | 45.55        | 56          | 8.29        | 1.40E-02                            | 4.67E-05 |
| 12-6X-0006 | TOUBA NDIENE             | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 320         | 30.23        | 65.5        | 9.95        | 4.80E-02                            | 1.60E-04 |
| 12-6X-0008 | TOUBA ALEA               | -15°02'50" | 14°33'21" | -15.0472 | 14.5558 | 300         | 30.85        | 90          | 17.4        | 3.50E-02                            | 1.17E-04 |



### ANNEXE 3 : Données sur la transmissivité et la perméabilité



## ANNEXE 4 : Données sur le résidu sec

| No_IRH     | Désignation                | Longitude  | Latitude  | XCoord   | YCoord  | Residu_Sec (mg/l) |
|------------|----------------------------|------------|-----------|----------|---------|-------------------|
| 12-1X-0001 | TOUBA 1                    | -15°53'05" | 14°52'49" | -15.8847 | 14.8803 | 1516              |
| 12-1X-0003 | TOUBA 2                    | -15°52'12" | 14°53'36" | -15.8700 | 14.8933 | 1350              |
| 12-1X-0004 | TOUBA 3                    | -15°51'17" | 14°51'28" | -15.8547 | 14.8578 | 1418              |
| 12-1X-0005 | TOUBA 4                    | -15°51'55" | 14°50'57" | -15.8653 | 14.8492 | 1440              |
| 12-1X-0006 | TOUBA 5                    | -15°54'23" | 14°50'20" | -15.9064 | 14.8389 | 2244              |
| 12-1X-0008 | MBACKE                     | -15°54'00" | 14°48'00" | -15.9000 | 14.8000 | 2436              |
| 12-1X-0009 | TOUBA F NDAME              | -15°52'40" | 14°50'00" | -15.8778 | 14.8333 | 2000              |
| 12-1X-0014 | TOUBA BOGO                 | -15°41'30" | 14°55'20" | -15.6917 | 14.9222 | 650               |
| 12-1X-0015 | TOUBA FALL I               | -15°59'45" | 14°52'00" | -15.9958 | 14.8667 | 1756              |
| 12-1X-0016 | NGUILLO E.H. MAMADOU       | -15°48'06" | 14°59'42" | -15.8017 | 14.9950 | 1032              |
| 12-1X-0017 | LAH                        | -15°59'28" | 14°45'45" | -15.9911 | 14.7625 | 1394              |
| 12-1X-0018 | TOUBA KEBE                 | -15°54'45" | 14°51'10" | -15.9125 | 14.8528 | 2110              |
| 12-1X-0019 | KADO BALLODJI              | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 920               |
| 12-1X-0020 | KERE NDAO                  | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 1032              |
| 12-1X-0021 | KAEL                       | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 1640              |
| 12-1X-0022 | DAROU RAHMANE II           | -15°56'42" | 14°54'01" | -15.9450 | 14.9003 | 2176              |
| 12-1X-0024 | TOUBA AINOUE RAHMADI       | -15°52'33" | 14°51'55" | -15.8758 | 14.8653 | 1490              |
| 12-1X-0025 | BAILA                      | -15°41'02" | 14°47'26" | -15.6839 | 14.7906 | 760               |
| 12-1X-0027 | TAINABE                    | -15°58'39" | 14°41'18" | -15.9775 | 14.6883 | 1640              |
| 12-1X-0029 | TOUBA SOURANG              | -15°44'55" | 14°55'45" | -15.7486 | 14.9292 | 882               |
| 12-1X-0030 | BOBY                       | -15°49'10" | 14°44'40" | -15.8194 | 14.7444 | 1336              |
| 12-1X-0031 | THIALLE                    | -15°59'25" | 14°41'35" | -15.9903 | 14.6931 | 1408              |
| 12-1X-0032 | DAROU MBAYENE              | -15°56'30" | 14°40'55" | -15.9417 | 14.6819 | 1360              |
| 12-1X-0036 | MEDINA MBOBA               | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 1324              |
| 12-1X-0037 | TOUBA 6                    | -15°55'11" | 14°51'27" | -15.9197 | 14.8575 | 2084              |
| 12-1X-0039 | TAIBA TIECKENE             | -15°58'51" | 14°43'40" | -15.9808 | 14.7278 | 1520              |
| 12-1X-0040 | KERE MBAYE                 | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 1330              |
| 12-1X-0041 | MBACKE                     | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 2004              |
| 12-1X-0042 | DAROU KHADIM               | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 1280              |
| 12-1X-0043 | DAROU RAHMANE II           | -15°57'20" | 14°53'40" | -15.9556 | 14.8944 | 2186              |
| 12-1X-0046 | MBAYENE MISSIRAH           | -15°58'00" | 14°58'20" | -15.9667 | 14.9722 | 2180              |
| 12-1X-0047 | KEUR SERIGNE MBACKE MADINA | -15°49'45" | 14°43'00" | -15.8292 | 14.7167 | 1468              |
| 12-1X-0051 | NDINDY ABDOU               | -15°49'13" | 14°53'30" | -15.8203 | 14.8917 | 1208              |
| 12-1X-0052 | DAROU NAIM THIENGOU        | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 1824              |
| 12-1X-0053 | NDIOUMANE                  | -16°00'00" | 14°37'30" | -16.0000 | 14.6250 | 1538              |
| 12-1X-0054 | TOUBA F7                   | -15°56'40" | 14°51'03" | -15.9444 | 14.8508 | 2126              |
| 12-1X-0057 | NDIOUROUL DARAH            | -15°46'40" | 14°46'40" | -15.7778 | 14.7778 | 1148              |
| 12-1X-0059 | TOUBA KEBE                 | -15°54'21" | 14°51'01" | -15.9058 | 14.8503 | 2179              |
| 12-1X-0060 | TOUBA NDAME                | -15°53'30" | 14°51'30" | -15.8917 | 14.8583 | 2079              |
| 12-1X-0061 | TOUBA FALL                 | -15°59'30" | 14°50'00" | -15.9917 | 14.8333 | 1750              |
| 12-2X-0001 | SADIO DIAKHAYE             | -15°33'00" | 14°47'55" | -15.5500 | 14.7986 | 700               |
| 12-2X-0002 | DAROU BOGO                 | -15°38'42" | 14°56'05" | -15.6450 | 14.9347 | 648               |
| 12-2X-0003 | TOUBA BOGO                 | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 654               |
| 12-2X-0005 | DAROU MINAME TAIF          | -15°23'50" | 14°49'10" | -15.3972 | 14.8194 | 552               |
| 12-2X-0006 | SAM FALL                   | -15°34'00" | 14°56'05" | -15.5667 | 14.9347 | 560               |
| 12-2X-0007 | DAROU KHOUDOSS             | -15°39'50" | 14°58'00" | -15.6639 | 14.9667 | 660               |
| 12-2X-0008 | GUERLE OUOLOF              | -15°27'05" | 14°48'59" | -15.4514 | 14.8164 | 564               |
| 12-2X-0009 | MEDINA FALL DIAGA          | -15°25'06" | 14°44'53" | -15.4183 | 14.7481 | 548               |
| 12-2X-0010 | TAIF MBACKE                | -15°39'30" | 14°47'10" | -15.6583 | 14.7861 | 786               |
| 12-2X-0011 | MEDINA BOURLE              | -15°29'00" | 14°48'40" | -15.4833 | 14.8111 | 657               |
| 12-2X-0012 | SAM FALL                   | -15°34'30" | 14°54'10" | -15.5750 | 14.9028 | 578               |

## ANNEXE 4 : Données sur le résidu sec

| No_IRH     | Désignation               | Longitude  | Latitude  | XCoord   | YCoord  | Residu_Sec (mg/l) |
|------------|---------------------------|------------|-----------|----------|---------|-------------------|
| 12-2X-0013 | KHAIRE GASSANE            | -15°21'20" | 14°50'00" | -15.3556 | 14.8333 | 480               |
| 12-3X-0001 | GASSANE NDAVENE           | -15°17'35" | 14°49'10" | -15.2931 | 14.8194 | 440               |
| 12-3X-0002 | THIEL OUOLOF I            | -15°03'00" | 14°56'00" | -15.0500 | 14.9333 | 526               |
| 12-3X-0003 | DAROU SALAM DIOP          | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 654               |
| 12-3X-0006 | DOLY RANCH                | -15°09'00" | 14°45'00" | -15.1500 | 14.7500 | 420               |
| 12-3X-0007 | FASS LOLY                 | -15°16'31" | 14°40'16" | -15.2753 | 14.6711 | 432               |
| 12-3X-0008 | TOUBA TOURE SIBOLE 2      | -15°10'30" | 14°53'10" | -15.1750 | 14.8861 | 500               |
| 12-4X-0009 | MBAR FORAGE               | -15°45'10" | 14°32'30" | -15.7528 | 14.5417 | 1128              |
| 12-4X-0010 | PATHIENE I                | -15°55'20" | 14°33'15" | -15.9222 | 14.5542 | 1354              |
| 12-4X-0011 | TOUBA MBOUL               | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 1192              |
| 12-4X-0015 | LAMA                      | -15°54'34" | 14°37'40" | -15.9094 | 14.6278 | 2200              |
| 12-4X-0016 | NDIENE LAGANE             | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 1326              |
| 12-4X-0017 | COLOBANE                  | -15°42'22" | 14°38'34" | -15.7061 | 14.6428 | 1194              |
| 12-4X-0019 | SEO TOURE                 | -15°52'30" | 14°35'40" | -15.8750 | 14.5944 | 1500              |
| 12-4X-0024 | LAGANE MBACKE             | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 1440              |
| 12-4X-0025 | KEUR MADIOP SERERE        | -15°52'00" | 14°34'30" | -15.8667 | 14.5750 | 1400              |
| 12-4X-0028 | TOUBA MBOUL               | -15°57'27" | 14°34'17" | -15.9575 | 14.5714 | 1096              |
| 12-4X-0029 | KHAYANE                   | -15°47'10" | 14°38'10" | -15.7861 | 14.6361 | 1355              |
| 12-4X-0035 | BENE COUP COUP 2          | -15°42'15" | 14°35'40" | -15.7042 | 14.5944 | 1336              |
| 12-4X-0036 | TOUBA SAM FALL(TOUBA FALL | -15°44'00" | 14°33'10" | -15.7333 | 14.5528 | 788.7             |
| 12-5X-0002 | KHELCOM DIAGA             | -15°24'00" | 14°36'00" | -15.4000 | 14.6000 | 524               |
| 12-5X-0007 | KEUR ABASS SALL           | -15°39'00" | 14°30'05" | -15.6500 | 14.5014 | 1120              |
| 12-5X-0009 | DIABEL                    | -15°34'35" | 14°35'13" | -15.5764 | 14.5869 | 786               |
| 12-5X-0012 | MOURE                     | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 978               |
| 12-5X-0019 | MBEGUE FORET              | -15°33'05" | 14°31'30" | -15.5514 | 14.5250 | 875               |
| 12-5X-0020 | KHELCOM 9                 | -15°29'20" | 14°33'40" | -15.4889 | 14.5611 | 660               |
| 12-6X-0002 | TOUBA ALLIA               | -15°02'50" | 14°32'10" | -15.0472 | 14.5361 | 464               |
| 12-6X-0004 | DAROU MINAME              | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 452               |
| 12-6X-0005 | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG  | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 480               |
| 12-6X-0006 | TOUBA NDIENE              | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 452               |
| 12-6X-0008 | TOUBA ALEA                | -15°02'50" | 14°33'21" | -15.0472 | 14.5558 | 416               |

## ANNEXE 5 : Données sur les concentrations en chlorure

| No_IRH     | Désignation                | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProFile (m) | Cl (mg/l) |
|------------|----------------------------|------------|-----------|----------|---------|-------------|-----------|
| 12-1X-0001 | TOUBA 1                    | -15°53'05" | 14°52'49" | -15.8847 | 14.8803 | 286.1       | 629.8     |
| 12-1X-0003 | TOUBA 2                    | -15°52'12" | 14°53'36" | -15.8700 | 14.8933 | 301.7       | 551.8     |
| 12-1X-0004 | TOUBA 3                    | -15°51'17" | 14°51'28" | -15.8547 | 14.8578 | 280         | 563.1     |
| 12-1X-0005 | TOUBA 4                    | -15°51'55" | 14°50'57" | -15.8653 | 14.8492 | 306         | 622.7     |
| 12-1X-0006 | TOUBA 5                    | -15°54'23" | 14°50'20" | -15.9064 | 14.8389 | 322.5       | 1106.4    |
| 12-1X-0008 | MBACKE                     | -15°54'00" | 14°48'00" | -15.9000 | 14.8000 | 294         | 1180.1    |
| 12-1X-0014 | TOUBA BOGO                 | -15°41'30" | 14°55'20" | -15.6917 | 14.9222 | 263         | 66        |
| 12-1X-0015 | TOUBA FALL I               | -15°59'45" | 14°52'00" | -15.9958 | 14.8667 | 365         | 640       |
| 12-1X-0016 | NGUILLO E.H. MAMADOU       | -15°48'06" | 14°59'42" | -15.8017 | 14.9950 | 293.6       | 378.7     |
| 12-1X-0017 | LAH                        | -15°59'28" | 14°45'45" | -15.9911 | 14.7625 | 288         | 567.4     |
| 12-1X-0018 | TOUBA KEBE                 | -15°54'45" | 14°51'10" | -15.9125 | 14.8528 | 350         | 1002.8    |
| 12-1X-0019 | KADO BALLODJI              | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 295         | 285.7     |
| 12-1X-0020 | KERE NDAO                  | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 279.7       | 356       |
| 12-1X-0021 | KAEL                       | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 305         | 666       |
| 12-1X-0022 | DAROU RAHMANE II           | -15°56'42" | 14°54'01" | -15.9450 | 14.9003 | 312         | 1083.6    |
| 12-1X-0024 | TOUBA AINOUE RAHMADI       | -15°52'33" | 14°51'55" | -15.8758 | 14.8653 | 189.5       | 540       |
| 12-1X-0027 | TAINABE                    | -15°58'39" | 14°41'18" | -15.9775 | 14.6883 | 301.33      | 755.3     |
| 12-1X-0029 | TOUBA SOURANG              | -15°44'55" | 14°55'45" | -15.7486 | 14.9292 | 268         | 272.3     |
| 12-1X-0030 | BOBY                       | -15°49'10" | 14°44'40" | -15.8194 | 14.7444 | 280.5       | 570.9     |
| 12-1X-0031 | THIALLE                    | -15°59'25" | 14°41'35" | -15.9903 | 14.6931 | 340         | 620.5     |
| 12-1X-0032 | DAROU MBAYENE              | -15°56'30" | 14°40'55" | -15.9417 | 14.6819 | 320         | 599.3     |
| 12-1X-0036 | MEDINA MBOBA               | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 294         | 595.7     |
| 12-1X-0037 | TOUBA 6                    | -15°55'11" | 14°51'27" | -15.9197 | 14.8575 | 320         | 1000      |
| 12-1X-0039 | TAIBA TIECKENE             | -15°58'51" | 14°43'40" | -15.9808 | 14.7278 | 304         | 609.9     |
| 12-1X-0040 | KERE MBAYE                 | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 274.94      | 531.9     |
| 12-1X-0041 | MBACKE                     | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 315         | 1078      |
| 12-1X-0042 | DAROU KHADIM               | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 273         | 524.8     |
| 12-1X-0043 | DAROU RAHMANE II           | -15°57'20" | 14°53'40" | -15.9556 | 14.8944 | 320         | 1017      |
| 12-1X-0046 | MBAYENE MISSIRAH           | -15°58'00" | 14°58'20" | -15.9667 | 14.9722 | 257.71      | 1063.8    |
| 12-1X-0047 | KEUR SERIGNE MBACKE MADINA | -15°49'45" | 14°43'00" | -15.8292 | 14.7167 | 332         | 604.9     |
| 12-1X-0051 | NDINDY ABDOU               | -15°49'13" | 14°53'30" | -15.8203 | 14.8917 | 275         | 450.3     |
| 12-1X-0052 | DAROU NAIM THIENGOU        | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 287         | 789.2     |
| 12-1X-0053 | NDIOUMANE                  | -16°00'00" | 14°37'30" | -16.0000 | 14.6250 | 308         | 653.2     |
| 12-1X-0054 | TOUBA F7                   | -15°56'40" | 14°51'03" | -15.9444 | 14.8508 | 295.13      | 975.1     |
| 12-1X-0057 | NDIOUROUL DARAH            | -15°46'40" | 14°46'40" | -15.7778 | 14.7778 | 269         | 411.8     |
| 12-1X-0059 | TOUBA KEBE                 | -15°54'21" | 14°51'01" | -15.9058 | 14.8503 | 290         | 1045.77   |
| 12-1X-0060 | TOUBA NDAME                | -15°53'30" | 14°51'30" | -15.8917 | 14.8583 | 295         | 985.51    |
| 12-1X-0061 | TOUBA FALL                 | -15°59'30" | 14°50'00" | -15.9917 | 14.8333 | 356         | 726.72    |
| 12-2X-0002 | DAROU BOGO                 | -15°38'42" | 14°56'05" | -15.6450 | 14.9347 | 255         | 144       |
| 12-2X-0003 | TOUBA BOGO                 | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 275         | 148.9     |
| 12-2X-0005 | DAROU MINAME TAIF          | -15°23'50" | 14°49'10" | -15.3972 | 14.8194 | 240         | 27.6      |
| 12-2X-0006 | SAM FALL                   | -15°34'00" | 14°56'05" | -15.5667 | 14.9347 | 281         | 91.5      |
| 12-2X-0007 | DAROU KHOUDOSS             | -15°39'50" | 14°58'00" | -15.6639 | 14.9667 | 255         | 143.2     |
| 12-2X-0008 | GUERLE OUOLOF              | -15°27'05" | 14°48'59" | -15.4514 | 14.8164 | 260         | 51.2      |
| 12-2X-0009 | MEDINA FALL DIAGA          | -15°25'06" | 14°44'53" | -15.4183 | 14.7481 | 267         | 78        |
| 12-2X-0010 | TAIF MBACKE                | -15°39'30" | 14°47'10" | -15.6583 | 14.7861 | 275         | 187.2     |
| 12-2X-0011 | MEDINA BOURLE              | -15°29'00" | 14°48'40" | -15.4833 | 14.8111 | 280         | 106.4     |
| 12-2X-0012 | SAM FALL                   | -15°34'30" | 14°54'10" | -15.5750 | 14.9028 | 270         | 116.98    |
| 12-2X-0013 | KHAIRE GASSANE             | -15°21'20" | 14°50'00" | -15.3556 | 14.8333 | 241         | 28.36     |
| 12-3X-0001 | GASSANE NDAVENE            | -15°17'35" | 14°49'10" | -15.2931 | 14.8194 | 257.35      | 21.3      |
| 12-3X-0002 | THIEL OUOLOF I             | -15°03'00" | 14°56'00" | -15.0500 | 14.9333 | 292.35      | 28.8      |

## ANNEXE 5 : Données sur les concentrations en chlorure

| No_IRH     | Désignation               | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProFile (m) | Cl (mg/l) |
|------------|---------------------------|------------|-----------|----------|---------|-------------|-----------|
| 12-3X-0003 | DAROU SALAM DIOP          | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 311.5       | 18.4      |
| 12-3X-0006 | DOLY RANCH                | -15°09'00" | 14°45'00" | -15.1500 | 14.7500 | 299         | 16        |
| 12-3X-0007 | FASS LOLY                 | -15°16'31" | 14°40'16" | -15.2753 | 14.6711 | 318         | 24.8      |
| 12-3X-0008 | TOUBA TOURE SIBOLE 2      | -15°10'30" | 14°53'10" | -15.1750 | 14.8861 | 300         | 23.4      |
| 12-4X-0009 | MBAR FORAGE               | -15°45'10" | 14°32'30" | -15.7528 | 14.5417 | 280         | 453.9     |
| 12-4X-0010 | PATHIENE I                | -15°55'20" | 14°33'15" | -15.9222 | 14.5542 | 302         | 564.5     |
| 12-4X-0011 | TOUBA MBOUL               | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 336.7       | 444       |
| 12-4X-0015 | LAMA                      | -15°54'34" | 14°37'40" | -15.9094 | 14.6278 | 298         | 897.1     |
| 12-4X-0016 | NDIENE LAGANE             | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 325         | 595.7     |
| 12-4X-0017 | COLOBANE                  | -15°42'22" | 14°38'34" | -15.7061 | 14.6428 | 290         | 457.4     |
| 12-4X-0019 | SEO TOURE                 | -15°52'30" | 14°35'40" | -15.8750 | 14.5944 | 312.8       | 634       |
| 12-4X-0024 | LAGANE MBACKE             | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 357         | 577.3     |
| 12-4X-0025 | KEUR MADIOP SERERE        | -15°52'00" | 14°34'30" | -15.8667 | 14.5750 | 310.8       | 510.6     |
| 12-4X-0028 | TOUBA MBOUL               | -15°57'27" | 14°34'17" | -15.9575 | 14.5714 | 325         | 429       |
| 12-4X-0029 | KHAYANE                   | -15°47'10" | 14°38'10" | -15.7861 | 14.6361 | 263         | 536.05    |
| 12-4X-0035 | BENE COUP COUP 2          | -15°42'15" | 14°35'40" | -15.7042 | 14.5944 | 263         | 560.11    |
| 12-4X-0036 | TOUBA SAM FALL(TOUBA FALL | -15°44'00" | 14°33'10" | -15.7333 | 14.5528 | 250         | 120.53    |
| 12-5X-0002 | KHELCOM DIAGA             | -15°24'00" | 14°36'00" | -15.4000 | 14.6000 | 300.25      | 39        |
| 12-5X-0009 | DIABEL                    | -15°34'35" | 14°35'13" | -15.5764 | 14.5869 | 267.3       | 202.3     |
| 12-5X-0012 | MOURE                     | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 267         | 309.2     |
| 12-5X-0019 | MBEGUE FORET              | -15°33'05" | 14°31'30" | -15.5514 | 14.5250 | 299         | 230.5     |
| 12-5X-0020 | KHELCOM 9                 | -15°29'20" | 14°33'40" | -15.4889 | 14.5611 | 300         | 115.2     |
| 12-6X-0002 | TOUBA ALLIA               | -15°02'50" | 14°32'10" | -15.0472 | 14.5361 | 312.5       | 14.2      |
| 12-6X-0004 | DAROU MINAME              | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 320         | 18.4      |
| 12-6X-0005 | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG  | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 322         | 19.8      |
| 12-6X-0006 | TOUBA NDIENE              | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 320         | 19.8      |
| 12-6X-0008 | TOUBA ALEA                | -15°02'50" | 14°33'21" | -15.0472 | 14.5558 | 300         | 17.72     |

## ANNEXE 6 : Données sur les concentrations en nitrate

| No_IRH     | Désignation                | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | Alt   | ProTle | NO3 (mg/l) |
|------------|----------------------------|------------|-----------|----------|---------|-------|--------|------------|
| 12-1X-0001 | TOUBA 1                    | -15°53'05" | 14°52'49" | -15.8847 | 14.8803 | 36.75 | 286.1  | 2          |
| 12-1X-0003 | TOUBA 2                    | -15°52'12" | 14°53'36" | -15.8700 | 14.8933 | 45    | 301.7  | 2          |
| 12-1X-0004 | TOUBA 3                    | -15°51'17" | 14°51'28" | -15.8547 | 14.8578 |       | 280    | 2          |
| 12-1X-0005 | TOUBA 4                    | -15°51'55" | 14°50'57" | -15.8653 | 14.8492 |       | 306    | 2          |
| 12-1X-0006 | TOUBA 5                    | -15°54'23" | 14°50'20" | -15.9064 | 14.8389 |       | 322.5  | 2          |
| 12-1X-0008 | MBACKE                     | -15°54'00" | 14°48'00" | -15.9000 | 14.8000 | 40.4  | 294    | 2          |
| 12-1X-0016 | NGUILLO E.H. MAMADOU       | -15°48'06" | 14°59'42" | -15.8017 | 14.9950 | 48    | 293.6  | 2          |
| 12-1X-0017 | LAH                        | -15°59'28" | 14°45'45" | -15.9911 | 14.7625 | 26    | 288    | 2          |
| 12-1X-0018 | TOUBA KEBE                 | -15°54'45" | 14°51'10" | -15.9125 | 14.8528 |       | 350    | 2          |
| 12-1X-0019 | KADO BALLODJI              | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 57    | 295    | 2          |
| 12-1X-0020 | KERE NDAO                  | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 46    | 279.7  | 2          |
| 12-1X-0021 | KAEL                       | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 15    | 305    | 2          |
| 12-1X-0022 | DAROU RAHMANE II           | -15°56'42" | 14°54'01" | -15.9450 | 14.9003 | 48    | 312    | 2          |
| 12-1X-0027 | TAINABE                    | -15°58'39" | 14°41'18" | -15.9775 | 14.6883 |       | 301.33 | 2          |
| 12-1X-0029 | TOUBA SOURANG              | -15°44'55" | 14°55'45" | -15.7486 | 14.9292 | 52    | 268    | 2          |
| 12-1X-0030 | BOBY                       | -15°49'10" | 14°44'40" | -15.8194 | 14.7444 | 25    | 280.5  | 2          |
| 12-1X-0031 | THIALLE                    | -15°59'25" | 14°41'35" | -15.9903 | 14.6931 |       | 340    | 2          |
| 12-1X-0032 | DAROU MBAYENE              | -15°56'30" | 14°40'55" | -15.9417 | 14.6819 | 38    | 320    | 2          |
| 12-1X-0036 | MEDINA MBOBA               | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 35    | 294    | 2          |
| 12-1X-0037 | TOUBA 6                    | -15°55'11" | 14°51'27" | -15.9197 | 14.8575 | 44    | 320    | 2          |
| 12-1X-0039 | TAIBA TIECKENE             | -15°58'51" | 14°43'40" | -15.9808 | 14.7278 |       | 304    | 2          |
| 12-1X-0040 | KERE MBAYE                 | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 43    | 274.94 | 2          |
| 12-1X-0041 | MBACKE                     | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 40.4  | 315    | 2          |
| 12-1X-0042 | DAROU KHADIM               | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 50    | 273    | 2          |
| 12-1X-0046 | MBAYENE MISSIRAH           | -15°58'00" | 14°58'20" | -15.9667 | 14.9722 | 44    | 257.71 | 2          |
| 12-1X-0047 | KEUR SERIGNE MBACKE MADINA | -15°49'45" | 14°43'00" | -15.8292 | 14.7167 |       | 332    | 0.2        |
| 12-1X-0051 | NDINDY ABDOU               | -15°49'13" | 14°53'30" | -15.8203 | 14.8917 |       | 275    | 2          |
| 12-1X-0052 | DAROU NAIM THIENGOU        | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 16    | 287    | 3          |
| 12-1X-0053 | NDIOUMANE                  | -16°00'00" | 14°37'30" | -16.0000 | 14.6250 |       | 308    | 0.05       |
| 12-1X-0054 | TOUBA F7                   | -15°56'40" | 14°51'03" | -15.9444 | 14.8508 |       | 295.13 | 14         |
| 12-1X-0057 | NDIOUROUL DARAH            | -15°46'40" | 14°46'40" | -15.7778 | 14.7778 |       | 269    | 10         |
| 12-1X-0059 | TOUBA KEBE                 | -15°54'21" | 14°51'01" | -15.9058 | 14.8503 | 47    | 290    | 2          |
| 12-1X-0060 | TOUBA NDAME                | -15°53'30" | 14°51'30" | -15.8917 | 14.8583 | 47    | 295    | 2          |
| 12-1X-0061 | TOUBA FALL                 | -15°59'30" | 14°50'00" | -15.9917 | 14.8333 |       | 356    | 0.2        |
| 12-2X-0002 | DAROU BOGO                 | -15°38'42" | 14°56'05" | -15.6450 | 14.9347 | 40    | 255    | 2          |
| 12-2X-0003 | TOUBA BOGO                 | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 50    | 275    | 2          |
| 12-2X-0005 | DAROU MINAME TAIF          | -15°23'50" | 14°49'10" | -15.3972 | 14.8194 | 26    | 240    | 2          |
| 12-2X-0006 | SAM FALL                   | -15°34'00" | 14°56'05" | -15.5667 | 14.9347 | 40    | 281    | 2          |
| 12-2X-0007 | DAROU KHOUDOSS             | -15°39'50" | 14°58'00" | -15.6639 | 14.9667 |       | 255    | 2          |
| 12-2X-0008 | GUERLE OUOLOF              | -15°27'05" | 14°48'59" | -15.4514 | 14.8164 | 28    | 260    | 2          |
| 12-2X-0009 | MEDINA FALL DIAGA          | -15°25'06" | 14°44'53" | -15.4183 | 14.7481 | 50    | 267    | 2          |
| 12-2X-0010 | TAIF MBACKE                | -15°39'30" | 14°47'10" | -15.6583 | 14.7861 | 48    | 275    | 2          |
| 12-2X-0011 | MEDINA BOURLE              | -15°29'00" | 14°48'40" | -15.4833 | 14.8111 |       | 280    | 2          |
| 12-2X-0012 | SAM FALL                   | -15°34'30" | 14°54'10" | -15.5750 | 14.9028 | 40    | 270    | 2          |
| 12-2X-0013 | KHAIRE GASSANE             | -15°21'20" | 14°50'00" | -15.3556 | 14.8333 | 14.5  | 241    | 1.99       |
| 12-3X-0003 | DAROU SALAM DIOP           | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 43    | 311.5  | 2          |
| 12-3X-0007 | FASS LOLY                  | -15°16'31" | 14°40'16" | -15.2753 | 14.6711 |       | 318    | 2          |
| 12-3X-0008 | TOUBA TOURE SIBOLE 2       | -15°10'30" | 14°53'10" | -15.1750 | 14.8861 | 38    | 300    | 3          |
| 12-4X-0009 | MBAR FORAGE                | -15°45'10" | 14°32'30" | -15.7528 | 14.5417 | 36    | 280    | 2          |
| 12-4X-0010 | PATHIENE I                 | -15°55'20" | 14°33'15" | -15.9222 | 14.5542 | 37    | 302    | 2          |
| 12-4X-0011 | TOUBA MBOUL                | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 38    | 336.7  | 2          |

## ANNEXE 6 : Données sur les concentrations en nitrate

| No_IRH     | Désignation               | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | Alt | ProTle | NO3 (mg/l) |
|------------|---------------------------|------------|-----------|----------|---------|-----|--------|------------|
| 12-4X-0015 | LAMA                      | -15°54'34" | 14°37'40" | -15.9094 | 14.6278 | 25  | 298    | 2          |
| 12-4X-0016 | NDIENE LAGANE             | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 36  | 325    | 2          |
| 12-4X-0017 | COLOBANE                  | -15°42'22" | 14°38'34" | -15.7061 | 14.6428 | 28  | 290    | 2          |
| 12-4X-0019 | SEO TOURE                 | -15°52'30" | 14°35'40" | -15.8750 | 14.5944 | 37  | 312.8  | 2          |
| 12-4X-0024 | LAGANE MBACKE             | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 35  | 357    | 2          |
| 12-4X-0025 | KEUR MADIOP SERERE        | -15°52'00" | 14°34'30" | -15.8667 | 14.5750 |     | 310.8  | 2          |
| 12-4X-0028 | TOUBA MBOUL               | -15°57'27" | 14°34'17" | -15.9575 | 14.5714 |     | 325    | 5          |
| 12-4X-0029 | KHAYANE                   | -15°47'10" | 14°38'10" | -15.7861 | 14.6361 |     | 263    | 10         |
| 12-4X-0035 | BENE COUP COUP 2          | -15°42'15" | 14°35'40" | -15.7042 | 14.5944 |     | 263    | 0.7        |
| 12-4X-0036 | TOUBA SAM FALL(TOUBA FALL | -15°44'00" | 14°33'10" | -15.7333 | 14.5528 |     | 250    | 0.1        |
| 12-5X-0012 | MOURE                     | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 27  | 267    | 2          |
| 12-5X-0019 | MBEGUE FORET              | -15°33'05" | 14°31'30" | -15.5514 | 14.5250 | 38  | 299    | 5          |
| 12-5X-0020 | KHELCOM 9                 | -15°29'20" | 14°33'40" | -15.4889 | 14.5611 | 35  | 300    | 2          |
| 12-6X-0002 | TOUBA ALLIA               | -15°02'50" | 14°32'10" | -15.0472 | 14.5361 |     | 312.5  | 2          |
| 12-6X-0004 | DAROU MINAME              | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 40  | 320    | 2          |
| 12-6X-0005 | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG  | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 48  | 322    | 2          |
| 12-6X-0006 | TOUBA NDIENE              | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 22  | 320    | 2          |
| 12-6X-0008 | TOUBA ALEA                | -15°02'50" | 14°33'21" | -15.0472 | 14.5558 |     | 300    | 0.85       |

## ANNEXE 7 : Données sur les concentrations en fluor

| No_IRH     | Désignation                | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProTle (m) | Fluor (mg/l) |
|------------|----------------------------|------------|-----------|----------|---------|------------|--------------|
| 12-1X-0001 | TOUBA 1                    | -15°53'05" | 14°52'49" | -15.8847 | 14.8803 | 286.1      | 2.3          |
| 12-1X-0003 | TOUBA 2                    | -15°52'12" | 14°53'36" | -15.8700 | 14.8933 | 301.7      | 1.6          |
| 12-1X-0004 | TOUBA 3                    | -15°51'17" | 14°51'28" | -15.8547 | 14.8578 | 280        | 1.5          |
| 12-1X-0005 | TOUBA 4                    | -15°51'55" | 14°50'57" | -15.8653 | 14.8492 | 306        | 2            |
| 12-1X-0006 | TOUBA 5                    | -15°54'23" | 14°50'20" | -15.9064 | 14.8389 | 322.5      | 1.5          |
| 12-1X-0008 | MBACKE                     | -15°54'00" | 14°48'00" | -15.9000 | 14.8000 | 294        | 2.5          |
| 12-1X-0014 | TOUBA BOGO                 | -15°41'30" | 14°55'20" | -15.6917 | 14.9222 | 263        | 0.2          |
| 12-1X-0016 | NGUILLO E.H. MAMADOU       | -15°48'06" | 14°59'42" | -15.8017 | 14.9950 | 293.6      | 0.6          |
| 12-1X-0017 | LAH                        | -15°59'28" | 14°45'45" | -15.9911 | 14.7625 | 288        | 1.4          |
| 12-1X-0018 | TOUBA KEBE                 | -15°54'45" | 14°51'10" | -15.9125 | 14.8528 | 350        | 1            |
| 12-1X-0019 | KADO BALLODJI              | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 295        | 1.5          |
| 12-1X-0020 | KERE NDAO                  | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 279.7      | 1            |
| 12-1X-0021 | KAEL                       | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 305        | 2.5          |
| 12-1X-0022 | DAROU RAHMANE II           | -15°56'42" | 14°54'01" | -15.9450 | 14.9003 | 312        | 2.4          |
| 12-1X-0024 | TOUBA AINOUE RAHMADI       | -15°52'33" | 14°51'55" | -15.8758 | 14.8653 | 189.5      | 2.5          |
| 12-1X-0027 | TAINABE                    | -15°58'39" | 14°41'18" | -15.9775 | 14.6883 | 301.33     | 2.5          |
| 12-1X-0029 | TOUBA SOURANG              | -15°44'55" | 14°55'45" | -15.7486 | 14.9292 | 268        | 1.3          |
| 12-1X-0030 | BOBY                       | -15°49'10" | 14°44'40" | -15.8194 | 14.7444 | 280.5      | 1.7          |
| 12-1X-0031 | THIALLE                    | -15°59'25" | 14°41'35" | -15.9903 | 14.6931 | 340        | 2.6          |
| 12-1X-0032 | DAROU MBAYENE              | -15°56'30" | 14°40'55" | -15.9417 | 14.6819 | 320        | 2            |
| 12-1X-0036 | MEDINA MBOBA               | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 294        | 1.2          |
| 12-1X-0037 | TOUBA 6                    | -15°55'11" | 14°51'27" | -15.9197 | 14.8575 | 320        | 2            |
| 12-1X-0039 | TAIBA TIECKENE             | -15°58'51" | 14°43'40" | -15.9808 | 14.7278 | 304        | 2.8          |
| 12-1X-0040 | KERE MBAYE                 | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 274.94     | 1.3          |
| 12-1X-0041 | MBACKE                     | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 315        | 0.1          |
| 12-1X-0042 | DAROU KHADIM               | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 273        | 1.8          |
| 12-1X-0043 | DAROU RAHMANE II           | -15°57'20" | 14°53'40" | -15.9556 | 14.8944 | 320        | 2.5          |
| 12-1X-0046 | MBAYENE MISSIRAH           | -15°58'00" | 14°58'20" | -15.9667 | 14.9722 | 257.71     | 2.2          |
| 12-1X-0047 | KEUR SERIGNE MBACKE MADINA | -15°49'45" | 14°43'00" | -15.8292 | 14.7167 | 332        | 1            |
| 12-1X-0051 | NDINDY ABDOU               | -15°49'13" | 14°53'30" | -15.8203 | 14.8917 | 275        | 1.6          |
| 12-1X-0052 | DAROU NAIM THIENGOU        | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 287        | 3            |
| 12-1X-0054 | TOUBA F7                   | -15°56'40" | 14°51'03" | -15.9444 | 14.8508 | 295.13     | 2            |
| 12-1X-0057 | NDIOUROUL DARAH            | -15°46'40" | 14°46'40" | -15.7778 | 14.7778 | 269        | 1.4          |
| 12-2X-0002 | DAROU BOGO                 | -15°38'42" | 14°56'05" | -15.6450 | 14.9347 | 255        | 0.2          |
| 12-2X-0003 | TOUBA BOGO                 | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 275        | 0.2          |
| 12-2X-0005 | DAROU MINAME TAIF          | -15°23'50" | 14°49'10" | -15.3972 | 14.8194 | 240        | 1            |
| 12-2X-0006 | SAM FALL                   | -15°34'00" | 14°56'05" | -15.5667 | 14.9347 | 281        | 1            |
| 12-2X-0007 | DAROU KHOUDOSS             | -15°39'50" | 14°58'00" | -15.6639 | 14.9667 | 255        | 1.3          |
| 12-2X-0008 | GUERLE OUOLOF              | -15°27'05" | 14°48'59" | -15.4514 | 14.8164 | 260        | 1            |
| 12-2X-0009 | MEDINA FALL DIAGA          | -15°25'06" | 14°44'53" | -15.4183 | 14.7481 | 267        | 0.9          |
| 12-2X-0010 | TAIF MBACKE                | -15°39'30" | 14°47'10" | -15.6583 | 14.7861 | 275        | 1.4          |
| 12-2X-0011 | MEDINA BOURLE              | -15°29'00" | 14°48'40" | -15.4833 | 14.8111 | 280        | 0.9          |
| 12-3X-0003 | DAROU SALAM DIOP           | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 311.5      | 0.6          |
| 12-3X-0007 | FASS LOLY                  | -15°16'31" | 14°40'16" | -15.2753 | 14.6711 | 318        | 0.8          |
| 12-3X-0008 | TOUBA TOURE SIBOLE 2       | -15°10'30" | 14°53'10" | -15.1750 | 14.8861 | 300        | 0.9          |
| 12-4X-0009 | MBAR FORAGE                | -15°45'10" | 14°32'30" | -15.7528 | 14.5417 | 280        | 2            |
| 12-4X-0010 | PATHIENE I                 | -15°55'20" | 14°33'15" | -15.9222 | 14.5542 | 302        | 1.4          |
| 12-4X-0011 | TOUBA MBOUL                | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 336.7      | 2            |
| 12-4X-0015 | LAMA                       | -15°54'34" | 14°37'40" | -15.9094 | 14.6278 | 298        | 2.4          |
| 12-4X-0016 | NDIENE LAGANE              | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 325        | 2            |
| 12-4X-0017 | COLOBANE                   | -15°42'22" | 14°38'34" | -15.7061 | 14.6428 | 290        | 1.2          |

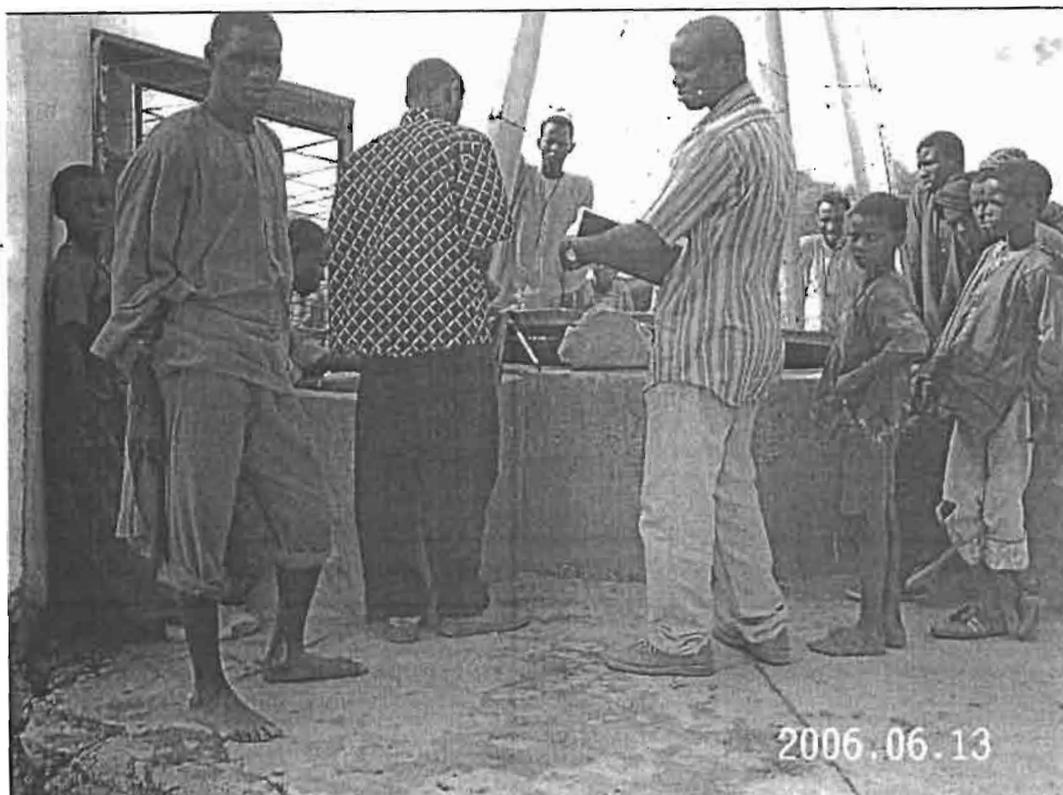
## ANNEXE 7 : Données sur les concentrations en fluor

| No_IRH     | Désignation              | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProTle (m) | Fluor (mg/l) |
|------------|--------------------------|------------|-----------|----------|---------|------------|--------------|
| 12-4X-0019 | SEO TOURE                | -15°52'30" | 14°35'40" | -15.8750 | 14.5944 | 312.8      | 1.8          |
| 12-4X-0024 | LAGANE MBACKE            | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 357        | 1.8          |
| 12-4X-0025 | KEUR MADIOP SERERE       | -15°52'00" | 14°34'30" | -15.8667 | 14.5750 | 310.8      | 2.6          |
| 12-4X-0028 | TOUBA MBOUL              | -15°57'27" | 14°34'17" | -15.9575 | 14.5714 | 325        | 2.4          |
| 12-4X-0029 | KHAYANE                  | -15°47'10" | 14°38'10" | -15.7861 | 14.6361 | 263        | 1.6          |
| 12-5X-0009 | DIABEL                   | -15°34'35" | 14°35'13" | -15.5764 | 14.5869 | 267.3      | 0.8          |
| 12-5X-0012 | MOURE                    | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 267        | 1            |
| 12-5X-0019 | MBEGUE FORET             | -15°33'05" | 14°31'30" | -15.5514 | 14.5250 | 299        | 1            |
| 12-5X-0020 | KHELCOM 9                | -15°29'20" | 14°33'40" | -15.4889 | 14.5611 | 300        | 0.9          |
| 12-6X-0002 | TOUBA ALLIA              | -15°02'50" | 14°32'10" | -15.0472 | 14.5361 | 312.5      | 0.8          |
| 12-6X-0004 | DAROU MINAME             | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 320        | 0.6          |
| 12-6X-0005 | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 322        | 0.8          |
| 12-6X-0006 | TOUBA NDIENE             | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 320        | 0.7          |

## ANNEXE 8 : Données sur les concentration en fer

| No_IRH     | No_Biblio | Désignation               | Longitude  | Latitude  | xCoord   | yCoord  | ProTle | Fe (mg/l) |
|------------|-----------|---------------------------|------------|-----------|----------|---------|--------|-----------|
| 12-1X-0003 | 732       | TOUBA 2                   | -15°52'12" | 14°53'36" | -15.8700 | 14.8933 | 301.7  | 5         |
| 12-1X-0006 | 735       | TOUBA 5                   | -15°54'23" | 14°50'20" | -15.9064 | 14.8389 | 322.5  | 0.3       |
| 12-1X-0015 | 738       | TOUBA FALL I              | -15°59'45" | 14°52'00" | -15.9958 | 14.8667 | 365    | 1.2       |
| 12-1X-0019 | 743       | KADO BALLODJI             | -15°46'00" | 14°58'02" | -15.7667 | 14.9672 | 295    | 0.3       |
| 12-1X-0020 | 744       | KERE NDAO                 | -15°46'24" | 14°51'00" | -15.7733 | 14.8500 | 279.7  | 0.25      |
| 12-1X-0021 | 745       | KAEL                      | -15°54'56" | 14°42'53" | -15.9156 | 14.7147 | 305    | 0.15      |
| 12-1X-0030 | 752       | BOBY                      | -15°49'10" | 14°44'40" | -15.8194 | 14.7444 | 280.5  | 0.3       |
| 12-1X-0031 | 753       | THIALLE                   | -15°59'25" | 14°41'35" | -15.9903 | 14.6931 | 340    | 0.3       |
| 12-1X-0036 | 756       | MEDINA MBOBA              | -15°45'46" | 14°38'34" | -15.7628 | 14.6428 | 294    | 0.2       |
| 12-1X-0037 | 1833      | TOUBA 6                   | -15°55'11" | 14°51'27" | -15.9197 | 14.8575 | 320    | 1.2       |
| 12-1X-0040 | 1516      | KERE MBAYE                | -15°46'00" | 14°51'56" | -15.7667 | 14.8656 | 274.94 | 0.2       |
| 12-1X-0041 | 759       | MBACKE                    | -15°54'52" | 14°48'00" | -15.9144 | 14.8000 | 315    | 0.1       |
| 12-1X-0042 | 1506      | DAROU KHADIM              | -15°52'37" | 14°56'35" | -15.8769 | 14.9431 | 273    | 0.75      |
| 12-1X-0043 | 1494      | DAROU RAHMANE II          | -15°57'20" | 14°53'40" | -15.9556 | 14.8944 | 320    | 0.43      |
| 12-1X-0046 | 1640      | MBAYENE MISSIRAH          | -15°58'00" | 14°58'20" | -15.9667 | 14.9722 | 257.71 | 0.1       |
| 12-1X-0051 | 2110      | NDINDY ABDOU              | -15°49'13" | 14°53'30" | -15.8203 | 14.8917 | 275    | 0.2       |
| 12-1X-0052 | 2079      | DAROU NAIM THIENGOU       | -15°59'50" | 14°44'05" | -15.9972 | 14.7347 | 287    | 0.3       |
| 12-1X-0053 | 2468      | NDIOUMANE                 | -16°00'00" | 14°37'30" | -16.0000 | 14.6250 | 308    | 0.11      |
| 12-1X-0054 | 2099      | TOUBA F7                  | -15°56'40" | 14°51'03" | -15.9444 | 14.8508 | 295.13 | 0.1       |
| 12-1X-0057 | 2109      | NDIOUROUL DARAH           | -15°46'40" | 14°46'40" | -15.7778 | 14.7778 | 269    | 0.25      |
| 12-1X-0060 | 2307      | TOUBA NDAME               | -15°53'30" | 14°51'30" | -15.8917 | 14.8583 | 295    | 0.1       |
| 12-1X-0061 | 2469      | TOUBA FALL                | -15°59'30" | 14°50'00" | -15.9917 | 14.8333 | 356    | 0.3       |
| 12-2X-0003 | 763       | TOUBA BOGO                | -15°37'10" | 14°54'40" | -15.6194 | 14.9111 | 275    | 0.3       |
| 12-2X-0008 | 768       | GUERLE OUOLOF             | -15°27'05" | 14°48'59" | -15.4514 | 14.8164 | 260    | 0.5       |
| 12-2X-0009 | 1546      | MEDINA FALL DIAGA         | -15°25'06" | 14°44'53" | -15.4183 | 14.7481 | 267    | 0.1       |
| 12-2X-0010 | 769       | TAIF MBACKE               | -15°39'30" | 14°47'10" | -15.6583 | 14.7861 | 275    | 0.7       |
| 12-2X-0011 | 1374      | MEDINA BOURLE             | -15°29'00" | 14°48'40" | -15.4833 | 14.8111 | 280    | 0.1       |
| 12-2X-0013 | 2532      | KHAIRE GASSANE            | -15°21'20" | 14°50'00" | -15.3556 | 14.8333 | 241    | 0.21      |
| 12-3X-0003 | 772       | DAROU SALAM DIOP          | -15°18'40" | 14°40'35" | -15.3111 | 14.6764 | 311.5  | 0.3       |
| 12-3X-0006 | 775       | DOLY RANCH                | -15°09'00" | 14°45'00" | -15.1500 | 14.7500 | 299    | 1.3       |
| 12-3X-0007 | 776       | FASS LOLY                 | -15°16'31" | 14°40'16" | -15.2753 | 14.6711 | 318    | 0.1       |
| 12-3X-0008 | 1377      | TOUBA TOURE SIBOLE 2      | -15°10'30" | 14°53'10" | -15.1750 | 14.8861 | 300    | 0.1       |
| 12-4X-0009 | 777       | MBAR FORAGE               | -15°45'10" | 14°32'30" | -15.7528 | 14.5417 | 280    | 0.2       |
| 12-4X-0011 | 780       | TOUBA MBOUL               | -15°57'25" | 14°34'19" | -15.9569 | 14.5719 | 336.7  | 0.4       |
| 12-4X-0016 | 783       | NDIENE LAGANE             | -15°54'55" | 14°30'52" | -15.9153 | 14.5144 | 325    | 1.4       |
| 12-4X-0019 | 787       | SEO TOURE                 | -15°52'30" | 14°35'40" | -15.8750 | 14.5944 | 312.8  | 0.2       |
| 12-4X-0024 | 793       | LAGANE MBACKE             | -15°58'31" | 14°31'40" | -15.9753 | 14.5278 | 357    | 0.2       |
| 12-4X-0025 |           | KEUR MADIOP SERERE        | -15°52'00" | 14°34'30" | -15.8667 | 14.5750 | 310.8  | 0.1       |
| 12-4X-0028 |           | TOUBA MBOUL               | -15°57'27" | 14°34'17" | -15.9575 | 14.5714 | 325    | 0.1       |
| 12-4X-0029 |           | KHAYANE                   | -15°47'10" | 14°38'10" | -15.7861 | 14.6361 | 263    | 0.2       |
| 12-4X-0035 | 0         | BENE COUP COUP 2          | -15°42'15" | 14°35'40" | -15.7042 | 14.5944 | 263    | 0.1       |
| 12-4X-0036 | 2589      | TOUBA SAM FALL(TOUBA FALL | -15°44'00" | 14°33'10" | -15.7333 | 14.5528 | 250    | 0.17      |
| 12-5X-0009 | 797       | DIABEL                    | -15°34'35" | 14°35'13" | -15.5764 | 14.5869 | 267.3  | 0.9       |
| 12-5X-0012 | 802       | MOURE                     | -15°38'30" | 14°35'35" | -15.6417 | 14.5931 | 267    | 0.6       |
| 12-5X-0019 | 1740      | MBEGUE FORET              | -15°33'05" | 14°31'30" | -15.5514 | 14.5250 | 299    | 0.4       |
| 12-5X-0020 | 1933      | KHELCOM 9                 | -15°29'20" | 14°33'40" | -15.4889 | 14.5611 | 300    | 0.5       |
| 12-6X-0002 | 810       | TOUBA ALLIA               | -15°02'50" | 14°32'10" | -15.0472 | 14.5361 | 312.5  | 0.2       |
| 12-6X-0004 | 813       | DAROU MINAME              | -15°12'00" | 14°31'49" | -15.2000 | 14.5303 | 320    | 0.9       |
| 12-6X-0005 | 815       | DIAGA KEUR SERIGNE NIANG  | -15°19'21" | 14°37'22" | -15.3225 | 14.6228 | 322    | 0.1       |
| 12-6X-0006 | 816       | TOUBA NDIENE              | -15°10'00" | 14°30'00" | -15.1667 | 14.5000 | 320    | 0.1       |
| 12-6X-0008 | 2472      | TOUBA ALEA                | -15°02'50" | 14°33'21" | -15.0472 | 14.5558 | 300    | 0.1       |

**Annexes 9 : Photos de mesure de niveau statique**



**9.a. Mesure de Niveau statique au forage Puits de Nguilo.**



**9.b. Mesure de niveau statique au forage puits de Diabel.**