

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT DU GENIE  
CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: ANALYSE DES COMPOSANTES POUR LA  
MISE EN MARCHÉ ET L'EXPLOITATION  
D'UN FORAGE D'EAU

AUTEUR: ALIOUNE B. DIENG

DIRECTEUR: ROBERT MONTULET

ANNEE SCOLAIRE: 1984-85

Dédicace :

À ma mère,  
à tous mes amis d'enfance,

à toutes les personnes qui me sont chères et  
qui se sont souciées pendant un moment, si  
court soit-il, d'une issue heureuse  
pour mes études.

## Remerciements

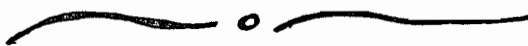
Je remercie vivement Monsieur Robert Montulet, directeur de ce projet-ci, qui a pleinement œuvré pour sa réussite totale.

Mes remerciements iront aussi à Monsieur Mahauden, géologue du projet belge des forages, pour les informations pertinentes qu'il m'a fournies.

Je n'oublie pas aussi Monsieur Sarr technicien en génie rural à la Direction des Etudes Hydrologiques (D.E.H.) et Monsieur Sydi Fall chef d'équipe à l'entreprise FORAKI chargé de la réalisation du projet belge pour le dévouement qu'ils ont manifesté à mon égard et dans le seul souci de favoriser une issue éclatante de ce projet-ci.

Je remercierai aussi Monsieur André Paris, Professeur à l'École Polytechnique et Monsieur Makhlar Fall ingénieur du génie civil titulaire d'une maîtrise en génie de l'environnement à la Direction de l'Hydrologie urbaine et de l'Assainissement.

Enfin je remercie tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur concours à l'élaboration de cette étude.



## Sommaire

Ce projet de fin d'études, qui s'intitule "Analyse des composantes pour la mise en marche et l'exploitation d'un forage d'eau", comprend quatre chapitres et des références.

Dans le premier chapitre on présente en généralités le potentiel hydraulique souterrain du Sénégal en rapport avec son contexte hydrologique

Dans les trois autres qui suivent, on présente respectivement la description de l'exécution d'un forage d'eau, l'analyse des mesures de diagraphie et celle des essais de puits.

L'analyse théorique qui clarifiera les principes fondamentaux des phénomènes étudiés sera illustrée par des cas pratiques, récents, effectués au Sénégal dans le cadre du projet belge des forages tels que ceux de Sanghaie et de NDiogo.

Cette étude détaillée sera complétée par certains éléments fournis dans les références.





- II.4.5	La tête d'injection	15
- II.4.6	Le derrick ou mât	15
- II.4.7	Avancement de l'outil	15
- II.4.8	Performance de l'outil	16
- II.4.9	Poids sur l'outil	16
- II.4.10	le débit de circulation de la boue	17
- II.4.11	la contrôle de la vitesse de rotation	17
- II.4.12	Les fluides de circulation	17
* II.4.12.1	Importance	17
* II.4.12.2	Rôle de la boue	18
* II.4.12.3	Composition de la boue	18
* II.4.12.4	le cake	18
* II.4.12.5	Formation du cake	19
* II.4.12.6	Préparation de la boue	19
• II.5	Dimensionnement des éléments principaux:	
	tubes, crépines et gravier filtre	22
- II.5.1	Dimensionnement des tubes	22
- II.5.2	Dimensionnement de la crépine	24
* II.5.2.1	Longueur de la crépine	24
* II.5.2.2	Ouverture de la crépine et choix du gravier filtre	25
o II.5.2.2.1	choix du gravier filtre	25
o II.5.2.2.2	Dimensionnement des ouvertures de la crépine	27

• II.6	Procédure d'exécution d'un forage	.....27
- II.6.1	Procédure	.....28
- II.6.2	Gimentation de l'espace annulaire	... 29
- II.6.3	Mise en place du gravier filtre par circulation inverse	..... 31
- II.6.4	Le développement	.....32
<u>Chapitre III Analyse des mesures de</u>		
	<u>diagraphies</u>	..... 35
• III.1	Le carottage électrique	.....36
- III.1.1	Mesure de la résistivité	..... 37
* III.1.1.1	Principe de la mesure	..... 37
- III.1.2	Mesure du potentiel spontané (PS)	... 40
* III.1.2.1	Principe de mesure du potentiel spontané	..... 40
• II.2	Le carottage radioactif	.....42
• II.3	Analyse des mesures de diagraphies effectuées sur les forages de Sanghaie et de Ndiago	.....43
- III.3.1	Description sommaire des forages	... 43
- III.3.2	Radiation naturelle gamma ( $\gamma$ )	... 43
- III.3.3	Polarisation spontanée	... 45
- III.3.4	Diamétrage	.....56
<u>Chapitre IV Analyse des caractéristiques du complexe</u>		
	<u>forage-nappe par les essais de pompage</u>	.....58

• IV.1	But des essais de pompage	58
• IV.2	Execution des essais de puits	59
• IV.3	Interpretation des essais de puits	60
- IV.3.1	Phénomène du rabattement: causes	60
- IV.3.2	Les essais avec faibles rabattement	61
- IV.3.3	Les essais avec rabattement importants	62
• IV.4	Interpretation des essais de puits des forages de Sanghaie et de Ndiogo	64
- IV.4.1	Tableau de mesures	64
- IV.4.2	Courbes débit-rabattement	64
- IV.4.3	Courbes débit spécifique-rabattement	67
- IV.4.4	Tableau de résultats	68
	Conclusions et recommandations	70
	References	72
•	Appendices	73
•	Bibliographie	81





## Introduction

L'eau : source de vie ; chercher de l'eau en quantité suffisante pour les populations, tel est le lourd défi lancé à tous les états de notre planète en général et aux pays sahéliens en particulier.

Dans le contexte de ce sahel martelé par une sécheresse plus ou moins continue un pays, le Sénégal, mène son combat pour la résolution du problème de l'eau.

C'est dans le cadre de cette lutte globale pour la résolution du problème de l'eau, que s'intègre le projet belge n° 320-4401 baptisé :

"Approvisionnement en eau du Sahel"

C'est ainsi que, dans le cadre de ce projet, deux études ont été faites à titre de projet de fin d'études dans le courant de l'année scolaire 1983-84 et intitulées respectivement :

- suivi de l'exécution d'un forage d'eau
- et - Campagne de forages au Sine-Saloum

Ce projet-ci est le dernier maillon de cette série d'études

Il se propose d'analyser les composantes pour la mise en marche et l'exploitation d'un forage d'eau

compte tenu des spécificités sénégalaises.  
Ce projet-ci constitue par la même occasion  
une des facettes multiples du processus de  
transfert de technologie entre pays développés  
et pays en voie de développement.



## CH. I. Généralités

### I.1 Potentiel hydrique du Sénégal

Vaste bassin sédimentaire situé sur la pointe occidentale de l'Afrique, le Sénégal, soumis à un climat tropical assorti d'une sécheresse plus ou moins progressive et arrosé par deux cours d'eau importants (le fleuve Sénégal et le fleuve Gambie) ne dispose que d'un potentiel hydrique peu consistant.

Dans ce contexte plus ou moins aride, les méthodes d'alimentation en eau sont:

- le captage des eaux souterraines
- le captage des eaux de cours d'eau  
(Lac de Guiers)

L'eau de mer constitue un potentiel important mais dont les coûts d'exploitation sont jusqu'à date trop onéreux.

### I.2 Importance des eaux souterraines dans le cadre de l'alimentation en eau potable.

Les eaux dérivées du fleuve Sénégal et captées à partir du Lac de Guiers ne peuvent actuellement qu'une partie de la ville de Dakar. L'avènement du canal du cayer suite à l'installation des structures hydrauliques que sont les barrages

de Diama et de Manantali; permettra de couvrir totalement la demande à Dakar et uniquement avec les apports du lac de Guiers.

Ainsi le reste du territoire est alimenté par le captage des eaux souterraines. Les eaux souterraines sont issues de différentes nappes dont les principales sont par ordre de profondeur croissante :

- Le continental terminal dont les ressources exploitables correspondent à un débit minimum de  $550\,000\text{ m}^3/\text{j}$  pour une durée presumée de 100 ans (voir carte n° 1 des références)

- Le miocène dont les ressources sont mal connues de nos jours; toutefois elles sont estimées à  $109\,000\text{ m}^3/\text{j}$  (voir références carte n° 1)

- L'éocène dont les ressources exploitables sont évaluées à  $25\,000\text{ m}^3/\text{j}$  pour une durée d'exploitation presumée de 100 ans (voir références carte n° 2)

- Le paléocène dont les ressources exploitables varient entre  $6\,000$  et  $63\,000\text{ m}^3/\text{j}$  suivant les régions. (voir références carte n° 3)

- Le Maestrichtien qui est la nappe la plus importante et dont la profondeur moyenne sous le

sol est de 300m. Les réserves exploitables sont estimées à  $500.000 \text{ m}^3/\text{j}$  pour une durée d'exploitation présumée de 200 ans ; d'après les études réalisées par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B. R. G. M.) en 1976. (voir références carte n° 4)

Or d'après le rapport d'évaluation de la Direction de l'Hydraulique Urbaine et de l'Assainissement, la consommation à l'échelle du pays s'élève à  $270.000 \text{ m}^3/\text{j}$  soit en moyenne  $40 \text{ l/ha.j}$  pour une population de 6.200.000 ha en 1983 et se répartit comme suit :

— En milieu urbain on consomme quotidiennement  $200.000 \text{ m}^3/\text{j}$  soit en moyenne  $80 \text{ l/ha.j}$  ( $110 \text{ l/h.j}$  dans la région du Cap-Vert) pour une population de 2,5 millions d'habitants.

— En milieu rural on consomme  $70.000 \text{ m}^3/\text{j}$  soit en moyenne  $20 \text{ l/ha.j}$  ; y compris les besoins d'abreuvement du cheptel.

L'alimentation en eau du monde rural est assurée par :

- 215 forages équipés et entretenus et près de 900 puits perannes produisant globalement  $30.000 \text{ m}^3/\text{j}$ .

• 40.000 puits artisanaux et points d'eau traditionnels dont au moins le quart ( $\frac{1}{4}$ ) s'assèchent régulièrement. Les estimations ont fixé la production de ces puits entre 15.000 et 100.000 m<sup>3</sup>/j.

Les ouvrages permanents ne garantissent qu'une consommation de 7 l/ha.j pour l'ensemble du monde rural. Si l'on tient compte des points d'eau, la consommation domestique est évaluée à 14 l/ha.j avec des écarts oscillant entre 9 et 20 l/ha.j dépendamment des localités.

En moyenne les besoins reconnus à 35 l/ha.j ne sont couverts qu'à 20% par les ouvrages permanents et 40% par l'ensemble des points d'eau.

La planification en vue de la décennie internationale de l'eau et de l'assainissement vise :

- d'assurer aux populations rurales un minimum d'eau correspondant aux normes de l'OMS, c'est à dire à 35 l/ha.j en l'an 2.000 avec un stade intermédiaire de 25 l/ha.j en 1988

- de multiplier les points d'eau et d'assurer leur pérennité par le développement de puits et de forages équipés et par la mise en place de structures d'entretien et de maintenance.

Ainsi pour doter toutes les agglomérations de points d'eau perennes il s'agira de réaliser 1800 forages, de creuser 4500 nouveaux puits et d'en approfondir 4300 existants.

En milieu urbain il s'agira de couvrir en l'an 2000 les demandes suivantes :

- 372.000 m<sup>3</sup>/j au Cap-Vert contre 160.000 m<sup>3</sup>/j actuellement

- 97.000 m<sup>3</sup>/j dans les 37 centres de l'intérieur contre 40.000 m<sup>3</sup>/j présentement.

C'est donc dire l'importance du potentiel hydrique souterrain par rapport à la demande en eau potable actuelle et future.

En plus de cette consistance du point de vue potentiel, les eaux souterraines ont l'avantage d'être présentes partout et leur exploitation est plus économique que celui des eaux traitées provenant des cours d'eau ou celui de l'eau de mer dessalée.



## Ch. II Description de l'exécution d'un forage d'eau.

### II.1 Reconnaissance: détermination de la nature hydrogéologique du terrain

L'exécution d'un forage débute par la collecte des données relatives à l'environnement hydrogéologique de la localité. Cette recherche pourrait être systématisée par la démarche suivante :

- a - Recherche et examen des cartes hydrogéologiques de la localité
- b - Se procurer les coupes géologiques des forages éventuels existant dans les environs
- c - Faire la synthèse de ces différents documents qui permettra d'avoir une première idée sur la structure, l'épaisseur et la profondeur des couches aquifères

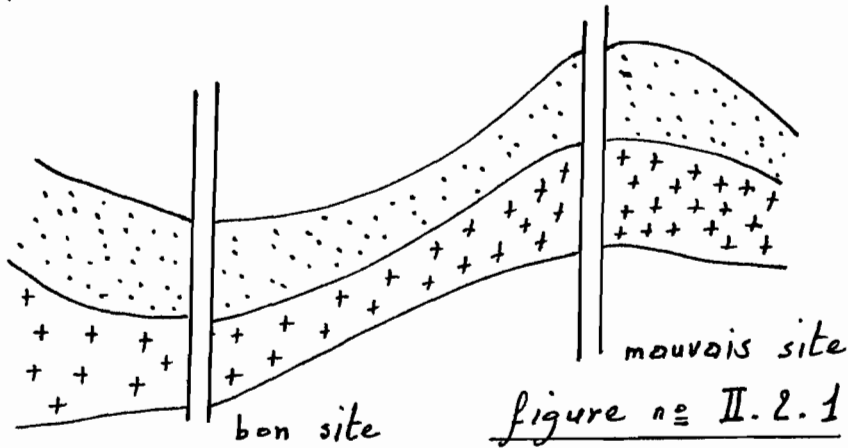
En cas d'absence totale de ces informations, il y a lieu de prélever des carottes en cours de forage. Il y a aussi la possibilité de faire des essais de reconnaissance géophysique avec des méthodes telles que la sismique réflexion ou la sismique réfraction; mais ces dernières méthodes sont moins



courantes et doivent être effectuées par des gens ayant une solide expérience dans le domaine.

## II. 2 Choix du site de forage

On choisira de préférence les points bas de manière à minimiser les coûts d'exécution qui sont proportionnels à la profondeur (cf schéma ci-dessous)



On choisira des sites éloignés de toute source de pollution telle que les fosses septiques, les cimetières et les rejets d'eaux usées.

Le site devra être éloigné des grands axes de circulation tels que les routes à grande circulation ou les chemins de fer.

L'implantation de l'ouvrage doit se faire autant que possible à proximité du lieu d'utilisation.

## II. 3 Choix de la méthode de forage

Le choix de la méthode de forage dépend en général de la profondeur requise et de la structure

géologique du site.

Il existe différentes méthodes de forage dont les principales sont :

- Le forage par percussion ou battage
- Le forage au rotary
- Les méthodes spéciales de forages

### II.3.1 Le forage par percussion ou battage

Ce procédé permet de forer en laissant tomber un outil suffisamment lourd par mouvement de chute libre sur le sol. L'outil, un trépan, est accroché à un câble directement ou bien par l'intermédiaire soit d'une masse tige, soit d'un train de tiges. Les débris ou "cuttings" sont enlevés par cuillerées. Un tubage est utilisé pour maintenir les parois du trou. C'est une méthode économique mais lente et qui est limitée du point de vue de la profondeur accessible. Elle est généralement utilisée pour les petits ouvrages à faible profondeur.

### II.3.2 Le forage au rotary.

Il consiste à forer dans la roche avec un outil soumis à un mouvement de rotation rapide et à une pression verticale (un poids ou la pression d'un vérin hydraulique). Il se fait généralement en présence de boue. C'est un procédé adaptable à tous les types de

terrain. Parfois la boue est remplacée par de l'air comprimé qui a l'inconvénient majeur de ne pouvoir consolider les parois.

Cette méthode peut atteindre de très grandes profondeurs.

### II.3.3 Les méthodes spéciales

Elles sont pour la plupart des variantes ou des raffinements de la méthode de forage au rotary: turboforage, forage à air comprimé, rotation, vibroforage, etc...

Le procédé du turboforage permet l'élimination du système de transmission avec l'installation d'une turbine hydraulique juste au dessus de l'outil; il est avantageux pour les terrains durs. Il y a aussi le forage à la pyrotechnie qui utilise des jets dirigés d'explosifs (charges creuses).

Mais ces méthodes sont généralement des méthodes nouvelles donc peu expérimentées.

Le choix de la méthode de forage doit donc dépendre de la profondeur des nappes aquifères et de la nature des terrains. Pour les besoins de cette étude nous développerons la méthode du forage au rotary parce qu'elle est rapide, elle peut

atteindre de très grandes profondeurs, elle est performante par rapport à la géologie du bassin sédimentaire sénégalais (calcaires, marnes, argile, sable, laterites etc...) et elle est de loin la méthode la plus connue, la plus expérimentée. C'est la méthode qui est utilisée dans la réalisation du projet belge des forages.

#### II.4 Description de l'appareil de forage rotary.

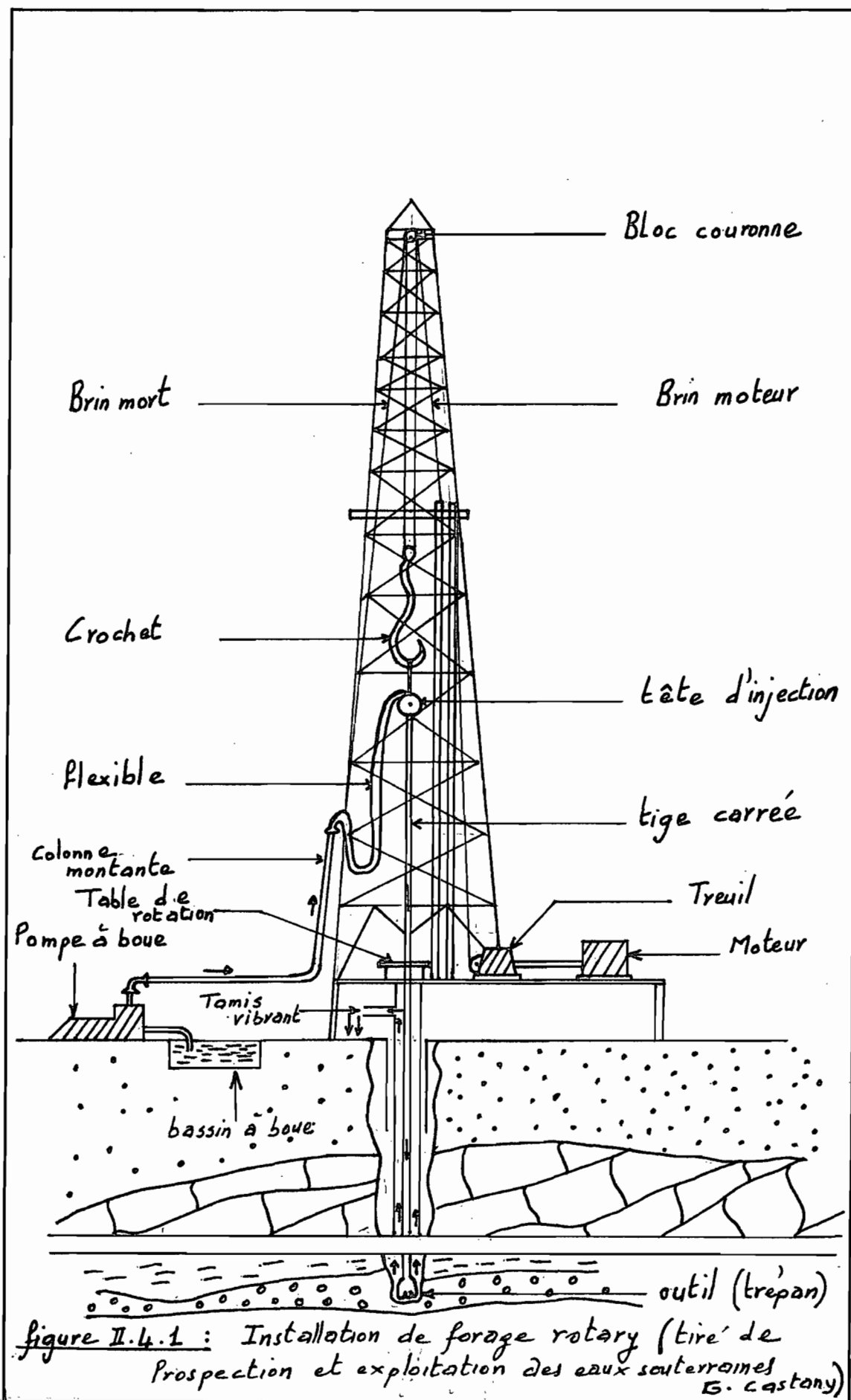
L'appareil de forage rotary comprend de bas en haut :

- La pompe à boue
- Le flexible
- l'outil
- la ligne de sonde (constituée de la table de rotation, des masses-tiges et des tiges)
- La tige carrée (ou Kelly)
- La tête d'injection
- Le derrick ou mât

La figure II.4.1 donne une représentation schématique d'une installation de forage au rotary

##### II.4.1 Le flexible

Il permet de connecter la pompe à boue et la tête d'injection assurant ainsi l'alimentation en boue par l'intermédiaire de la tige carrée.



## II.4.2 L'outil

On distingue 3 grandes catégories d'outil :

- Les trepans à lames
- Les trepans à molettes
- Les trepans à diamants

Le choix de l'outil dépend de la nature du terrain. Pour les terrains durs par exemple on utilise les outils à molettes. Les outils à lames sont utilisés dans les terrains tendres (formations sédimentaires compactes à structure fine et de dureté peu élevée). Pour les terrains très durs, on utilise les trepans à diamants.

### II.4.3.a) Les masses tiges (drill-collars)

Ce sont des tiges creuses à parois épaissies. Elles se trouvent juste au dessus de l'outil. Elles permettent d'exercer une pression sur l'outil par l'intermédiaire de leur poids propre et de faciliter ainsi son avancement.

### II.4.3.b) Les tiges (drill pipes)

Elles constituent le train de tiges situé au-dessus des masses-tiges. Elles ont un double rôle :

- transmettre le mouvement de rotation à l'outil
- Constituer une canalisation pour la circulation de boue.

Le train de tiges doit toujours être maintenu en tension pour éviter les risques de flambage qui provoqueraient des chocs contre les parois du trou. Le point neutre (point d'équilibre des contraintes de traction et de compression) doit donc se situer dans les masses-tiges.

#### II.4.4 La tige carrée (kelly)

Elle relie la tête d'injection à la table de rotation

#### II.4.5 la tête d'injection

Elle sert à injecter de nouveau la boue dans les tiges creuses une fois que celle-ci arrive de la pompe à boue par l'intermédiaire du flexible.

#### II.4.6 le derrick ou mât

Il permet la manœuvre de longueurs de tige importantes par la suspension et le levage de la ligne de sonde. Il peut atteindre plusieurs dizaines de mètres dans les appareils à grande puissance (hauteur maximale d'environ 75m)

#### II.4.7 Avancement de l'outil

L'avancement optimal est conditionné par les facteurs suivants :

- La performance de l'outil par rapport au

terrain traversé

- Le poids sur l'outil
- le débit de circulation de la boue
- La vitesse de rotation

### II. 4. 8. Performance de l'outil

Elle peut être adéquate si le choix de l'outil a été fait en accord avec la nature géologique des couches à traverser.

### II. 4. 9 Poids sur l'outil

Le contrôle du poids sur l'outil se fait par l'intermédiaire du dynamomètre ou "martin-decker".

Ce dynamomètre permet de connaître le poids de toute la ligne de sonde en maintenant celle-ci en tension et en ne laissant pas l'outil reposer sur le fond. Par suite, connaissant le poids désiré sur l'outil on en déduit celui que l'on doit avoir sur le dynamomètre par la soustraction suivante:

$L - L'$  avec  $L$ : poids total de la ligne de sonde dans la boue

$L'$ : poids désiré sur l'outil

A titre indicatif, nous donnons l'ordre de grandeur du poids à exercer sur l'outil dépendamment des types de terrain :



- Terrains tendres : 700 à 900 kg/pouce de diamètre de l'outil

- Terrains durs : 1400 à 1800 kg/pouce de diamètre de l'outil

Notons que ces valeurs pourront être précisées par l'expérience propre du foreur.

#### II.4.10 Le débit de circulation de la boue.

Le débit de circulation de la boue doit être compatible avec le terrain traversé de manière à permettre une lubrification adéquate de l'outil et une remontée aussi adéquate des débris.

#### II.4.11 le contrôle de la vitesse de rotation

La vitesse de rotation doit être compatible avec le terrain traversé. Ainsi Albert Mabillot dans "le forage d'eau" suggère les vitesses suivantes:

— 85 à 150 t/mn pour les terrains tendres

— 40 à 50 t/mn pour les terrains durs

#### II.4.12 Les fluides de circulation

##### II.4.12.1 Importance

Ils permettent l'exécution correcte du forage au rotary par les rôles importants qu'ils jouent. Ils sont constitués généralement par de la boue et la bentonite.

### II.4.12.2 Rôle de la boue

La boue joue des rôles multiples qui sont d'utilité capitale dans l'exécution au rotary. Ces rôles sont les suivants :

- a) Aider à la désagregation de la roche
- b) refroidir, lubrifier et nettoyer l'outil
- c) remonter les déblais (ou cuttings)
- d) consolider les parois du trou de sonde
- e) éviter l'éruption des nappes captives en maintenant l'eau.

### II.4.12.3 Composition de la boue

Elle est généralement formée d'un mélange colloïdal de bentonite et d'eau.

On peut dans certains cas y ajouter certains additifs pour la rendre plus performante dépendamment de la nature du terrain ou de la pression de la nappe.

### II.4.12.4 Le cake

C'est le filtrat qui se dépose sur les parois du trou de sonde suite à la traversée du terrain

La figure II.4.2 donne une idée sur la manière par laquelle le cake se dépose.

sur les parois du trou de sonde.

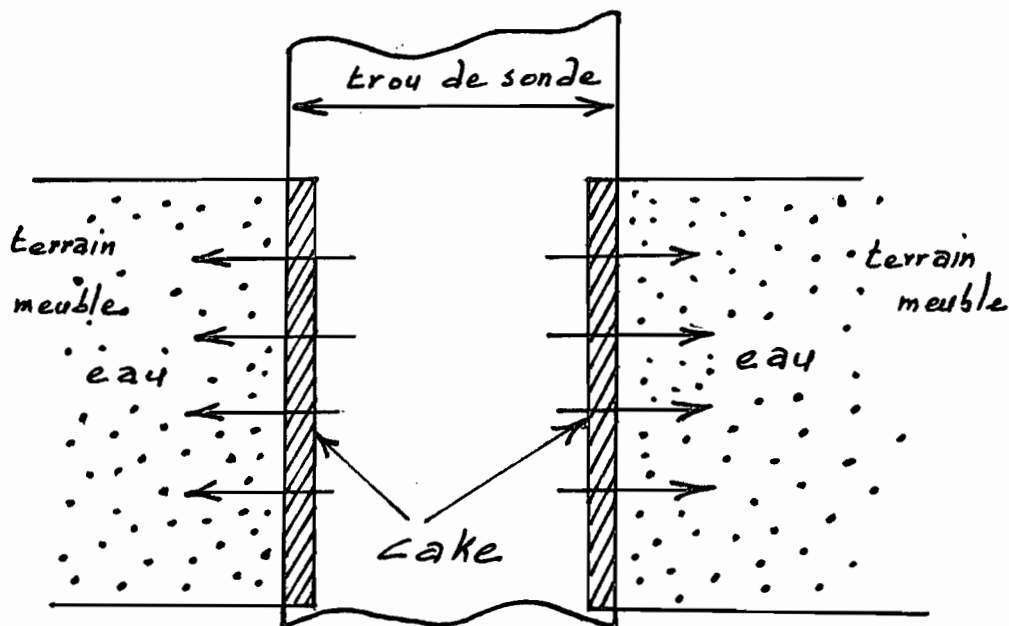


figure II.4.8 dépôt du cake

#### II.4.12.5 Formation du cake.

Pour bien assurer ses fonctions de soutènement des parois du trou de sonde, le cake doit avoir certaines caractéristiques.

Ainsi quand le cake est trop faible, il ne peut pas retenir correctement les parois du trou de sonde. Et quand il est trop épais, il risque de colmater les formations aquifères.

D'où donc la nécessité de contrôler la préparation de la boue.

#### II.4.12.6 Préparation de la boue.

Le mélange se fait dans les fosses à boue avec un mixer à boue et une mitrailleuse à boue. Il est recommandé de préparer la boue une dizaine d'heures avant son utilisation. Compte tenu de la qualité des performances requises les dosages observés varient généralement entre 3 et 8 %; et la densité moyenne initiale est de l'ordre de 1,10.

Pour assurer une pérennité de la qualité tout au long de l'exécution, les caractéristiques de cette boue doivent être constamment contrôlées. Il s'agit notamment du pH, de la densité et de la viscosité.

Ainsi la contamination de la boue (par le ciment ou par l'eau des couches aquifères) peut être vérifiée par la mesure du pH. (Des pH supérieurs à 10 ou à 11 correspondent à une boue contaminée).

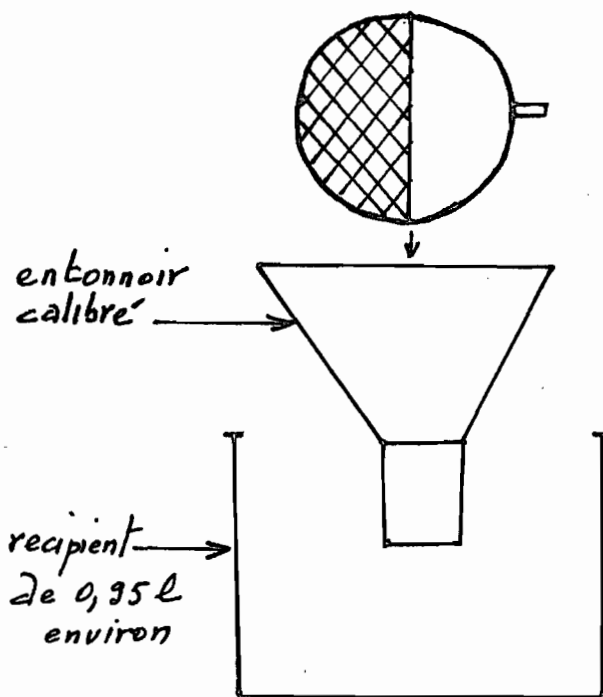
Un pH de la boue acide correspond à des risques de floculation.

Donc le pH doit être maintenu entre les valeurs 7 et 11. Il existe des papiers qui permettent de déterminer le pH suivant la

couleur qu'ils donnent au contact de la boue. Ils permettent ainsi de faciliter la mesure du pH sur le chantier.

Une boue trop visqueuse pose des problèmes de circulation. Et lorsqu'elle est trop fluide, la boue ne permet pas de consolider correctement les parois du trou de sonde.

Il existe aussi des appareils de chantier qui permettent de mesurer la viscosité. Nous donnons ici l'exemple de l'entonnoir Marsh.  
(voir figure II.4.3)



Mode opératoire  
On remplit l'entonnoir et on note le temps (en secondes) nécessaire pour remplir le recipient.

figure II.4.3 entonnoir Marsh

En général une bonne boue a une viscosité Marsh de l'ordre de 35 à 45 secondes. Parallèlement il existe des appareils de chantier qui permettent de déterminer la densité de la boue comme la balance Baroid. (voir figure II.4.4). Une bonne boue a une densité moyenne d'environ 1,2

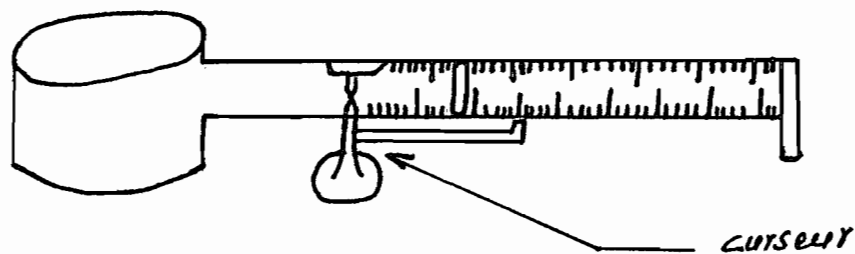


Figure II.4.4 balance Baroid

#### Mode opératoire

On remplit le cylindre de boue ; on équilibre en déplaçant le curseur puis on lit directement la valeur de la densité sur le fleau gradué.

### II.5 Dimensionnement des éléments principaux :

#### tubes, crépines et gravier filtre

##### II.5.1 Dimensionnement des tubes

Le choix du diamètre intérieur dépend principalement de l'encombrement de la pompe qui est relié au débit d'exploitation. Le tableau suivant qui permet de faire un choix de tube est

basé sur l'expérimentation des électro-pompes  
à moteur immergé (voir tableau II.5.1)

Diamètres intérieurs minimums des tubages (en pouces)	Débits maximums prévus (en m <sup>3</sup> /h)
4	3
6	50
8	140
10	250

Tableau II.5.1 choix des tubages

Mais le tableau II.5.2 montre que le débit  
varie légèrement avec le diamètre intérieur du  
tubage

D	2D	3D	4D	5D	8D
Q	1,129Q	1,199Q	1,259Q	1,359Q	1,439Q

Tableau II.5.2 relation débit-diamètre intérieur

(Tiré de Techniques rurales en Afrique; Bulletin  
n° 7)

Le choix du diamètre extérieur dépend des  
contraintes mécaniques que le tubage aura

à subir (effort de compression, de traction, de flambage, d'écrasement, d'éclatement et de flexion)

## II.5.2 Dimensionnement de la crépine

La crépine représente la partie essentielle de l'ouvrage et doit en conséquence faire l'objet d'un choix judicieux

### II.5.2.1 Longueur de la crépine

La longueur de la crépine doit légèrement dépasser l'épaisseur de la couche aquifère captée. Castany dans Prospection et exploitation des eaux souterraines propose la formule empirique suivante pour la détermination de la longueur de la crépine :

$$L = \frac{Q}{\pi D v_c} \quad \text{avec}$$

$L$  : Longueur de la crépine

$Q$  : débit du forage en  $m^3/s$

$D$  : diamètre de la crépine en  $m$

$v_c$  : vitesse critique de l'eau en  $m/s$

$$v_c = 65 \sqrt[3]{k}$$

avec  $k \rightarrow$  coefficient de perméabilité de l'aquifère.



## II. 5. 2. 2. Ouverture de la crépine et choix du gravier filtre

### II. 5. 2. 2. 1 choix du gravier filtre

Pour permettre un fonctionnement optimal de la crépine, on met autour de celle-ci un massif annulaire de gravier qui servira à filtrer l'eau de la formation aquifère en retenant les éléments fins entraînés par la vitesse de l'eau.

Ainsi l'existence d'un massif de gravier filtre adéquat permet d'augmenter l'ouverture de la crépine (slot).

On voit donc que le dimensionnement des ouvertures de la crépine et le choix du gravier sont alors étroitement liés.

Allen Hazen admet que le gravier filtre n'est nécessaire que si les deux conditions suivantes sont réunies pour la formation aquifère.

$$1^{\circ}) d_{10} \geq 0,25 \text{ mm}$$

$$2^{\circ}) \frac{d_{60}}{d_{10}} \geq 2$$

où  $d_x$  est le diamètre des ouvertures du tamis laissant passer  $x\%$  de l'échantillon.

Dans ce cas le dimensionnement du gravier

filtre varie selon les auteurs. Le tableau II.5.3 expose les points de vue des auteurs les plus crédibles en la matière jusqu'à date.

Auteur de l'expression	Cu de la formation	Diamètre $d$ du gravier en mm	Cu du gravier
- Johnson U.S.A	$Cu \leq 2,5$ homogène, uniforme	$d = 7D_{10}$ ou $d_{10} = 8D_{10}$	$Cu = 2$
- Johnson France	$Cu < 2,5$	- Terrain très homogène $d_{30} = 4D_{30}$ - Terrain peu homogène $d_{30} = 6D_{30}$	$Cu = 2$ à $2,5$
Terzaghi	$2,5 < Cu < 5$ hétérogène	$4D_{15} < d_{15} < 4D_{85}$ $d_{60} = 2D_{15}$	$Cu \leq 2$

Tableau II.5.3 Choix du gravier filtre.  
(Tiré de Prospection et exploitation des eaux souterraines)  
E. Castany)

$d$  : diamètre du gravier filtre

$D$  : diamètre de la formation aquifère

$C_u$  : coefficient d'uniformité ;  $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  (ou  $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ )

## II-5. 2.2.2 Dimensionnement des ouvertures de la

### crépine

Comme nous l'avons dit plus haut, les dimensions des ouvertures de la crépine sont liées à la granulométrie du gravier filtre. Il est généralement admis que l'ouverture maximale est

$$e_{\max} = d_{10} \quad (d \rightarrow \text{diamètre relatif au gravier filtre})$$

$e \rightarrow$  ouverture de la crépine

Ainsi différents auteurs donnant, pour l'ouverture de la crépine, les formules empiriques suivantes:

- D'après Terzaghi :  $e = d_{85}$

- D'après Johnson U.S.A.:  $e = d_0 = 7d_{10}$

- D'après Johnson France :  $e = 2d_0$

## II. 6 Procédure d'exécution d'un forage

Les procédures d'exécution varient selon la taille des ouvrages et les sociétés de réalisation.

Nous décrivons ici la procédure utilisée par l'entreprise FORAKI, chargé de la réalisation du projet belge des forages, avec la méthode rotory.

Le procédé permet de capter des nappes profondes comme le maestrichtien.

### II. 6. 1 Procédure

- a) — Implantation de l'appareil de forage
- b) — Forage en  $18''\frac{1}{2}$  et tubage en  $16''$  (tubage guide)
- c) — Cimentation de l'espace annulaire ( $18''\frac{1}{2}$  -  $16''$ )
- d) — Forage en  $14''\frac{3}{4}$  et tubage en  $10''\frac{3}{4}$   
(Chambre de pompage)
- e) — Cimentation de l'espace annulaire ( $14''\frac{3}{4}$  -  $10''\frac{3}{4}$ )
- f) — Forage en  $8''\frac{1}{2}$
- g) — Mesures de diagrapie (radiation naturelle gamma, diamètre, potentiel spontané, résistivité)
- h) — Descente du tubage en  $4''$ , de la crépine de cimentation et de la crépine de production.
- i) — Mise en place du gravier filtre par circulation inverse.
- j) — Fermeture du cône de suspension
- k) — Lavage à l'hexamétaphosphate de sodium.
- l) — Développement à l'air lift
- m) — Essais de pompage
- n) — Analyse chimique des échantillons d'eau prélevés.

La figure II. 6.1 donne la coupe d'un forage exécuté avec ce procédé.

### II. 6.2 Cimentation de l'espace annulaire

La cimentation consiste à remplir l'espace annulaire (trou-tubage) par un mélange à base de ciment. Elle permet d'une part d'empêcher la pollution des nappes aquifères exploitées par les eaux de surface ou par les eaux saumâtres d'origine intermédiaire; et d'autre part elle permet d'ancrer solidement la colonne de captage et d'éviter le contact avec les eaux corrosives.

Pour le dosage du mélange il existe des abaques qui permettent de déterminer les proportions d'eau et de ciment.

Le volume du ciment et de la boue qui permet de mettre en place ce dernier doit être calculé au préalable avec précision.

Le volume du trou foré est donné par l'équation:

$$V = \frac{\pi (0,254 d)^2 \times 10 H}{4} = \frac{\pi \times 0,254^2 \times 10 d^2 H}{4}$$

$$\implies V = 0,5067 d^2 H = \frac{d^2 H}{1,974} \approx \frac{d^2 H}{2}$$

avec  $\begin{cases} V \text{ en l} \\ H \text{ en m} \\ d \text{ en pouces} \end{cases}$

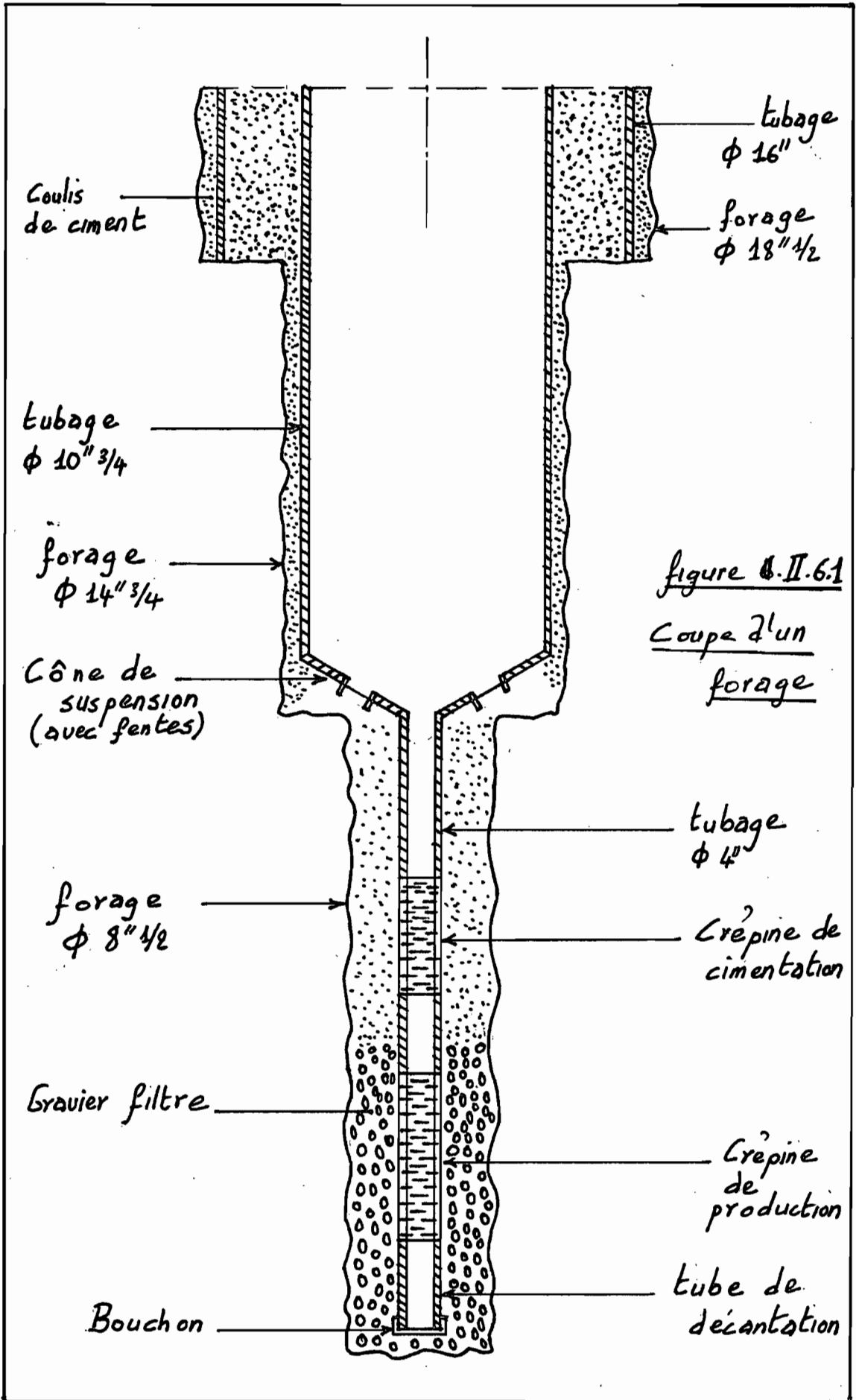


figure II.6.1

Coupe d'un forage

Ainsi connaissant le diamètre extérieur du tube et celui du trou on peut calculer le volume de ciment nécessaire pour combler l'espace annulaire. Le volume de boue nécessaire pour mettre en place le ciment est égal à celui de la colonne. L'opération de cimentation doit être achevée avant le délai de pompabilité du mélange. Pour le ciment normal (C.P.A 325) ce délai est de deux heures.

### II.6.3 Mise en place du gravier filtre par circulation inverse

Les vertus du gravier filtre dans l'exécution d'un forage d'eau ont été clairement exposées au paragraphe 5.2.2.1. et il ne reste plus qu'à clarifier les conditions de sa mise en place. Le procédé consiste à envoyer le gravier dans une boue légère ou dans de l'eau au moyen d'une pompe à boue par circulation inverse et sous pression.

Le mélange se dépose autour de la crépine. L'eau ou la boue se décante et passe à travers la crépine de production en laissant le dépôt de gravier derrière celle-ci. La pression du mano-

mètre est augmenté progressivement pour contre-carrer les difficultés de passage de la boue à travers la crépine.

#### II.6.4 Le développement

Cette opération permet d'améliorer la productivité de l'ouvrage en enlevant les éléments fins de la formation. Le développement vise donc l'augmentation de la perméabilité du terrain se trouvant tout autour de la crépine.

Il y a différentes méthodes de développement dont les principales sont les suivantes :

- Le surpompage
- Le pompage alterné
- Le pistonnage
- Le développement à l'air
- Le développement par lavage au jet

Le développement à l'air lift est celui utilisé dans le cadre du projet belge des forages.

Il est généralement considéré comme la méthode la plus efficace. Il consiste en une série alternée de pompages à l'air lift et de soufflages brusques.

La figure II.6.6 montre le schéma de principe



d'un émulseur qui constitue le dispositif utilisé pour le développement à l'air lift.

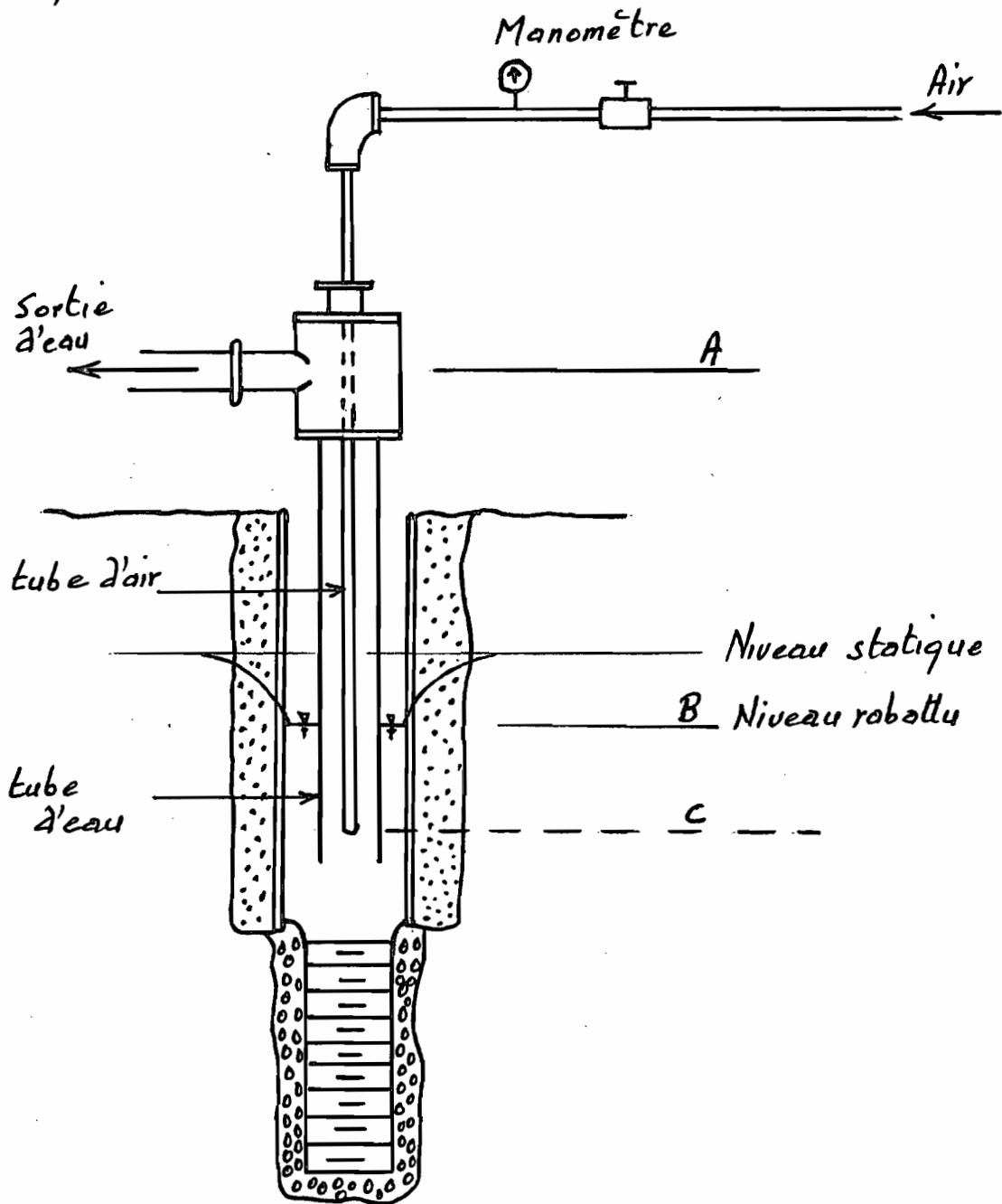


figure II.6.2 schéma de principe d'un émulseur

L'expérience a montré que le pompage à l'air lift est conditionné par la règle suivante :

$$BC = 0,6 AC \quad (\text{voir figure II.6.2})$$

Toutefois il existe des abaques qui permettent un dimensionnement plus économique des émulseurs.



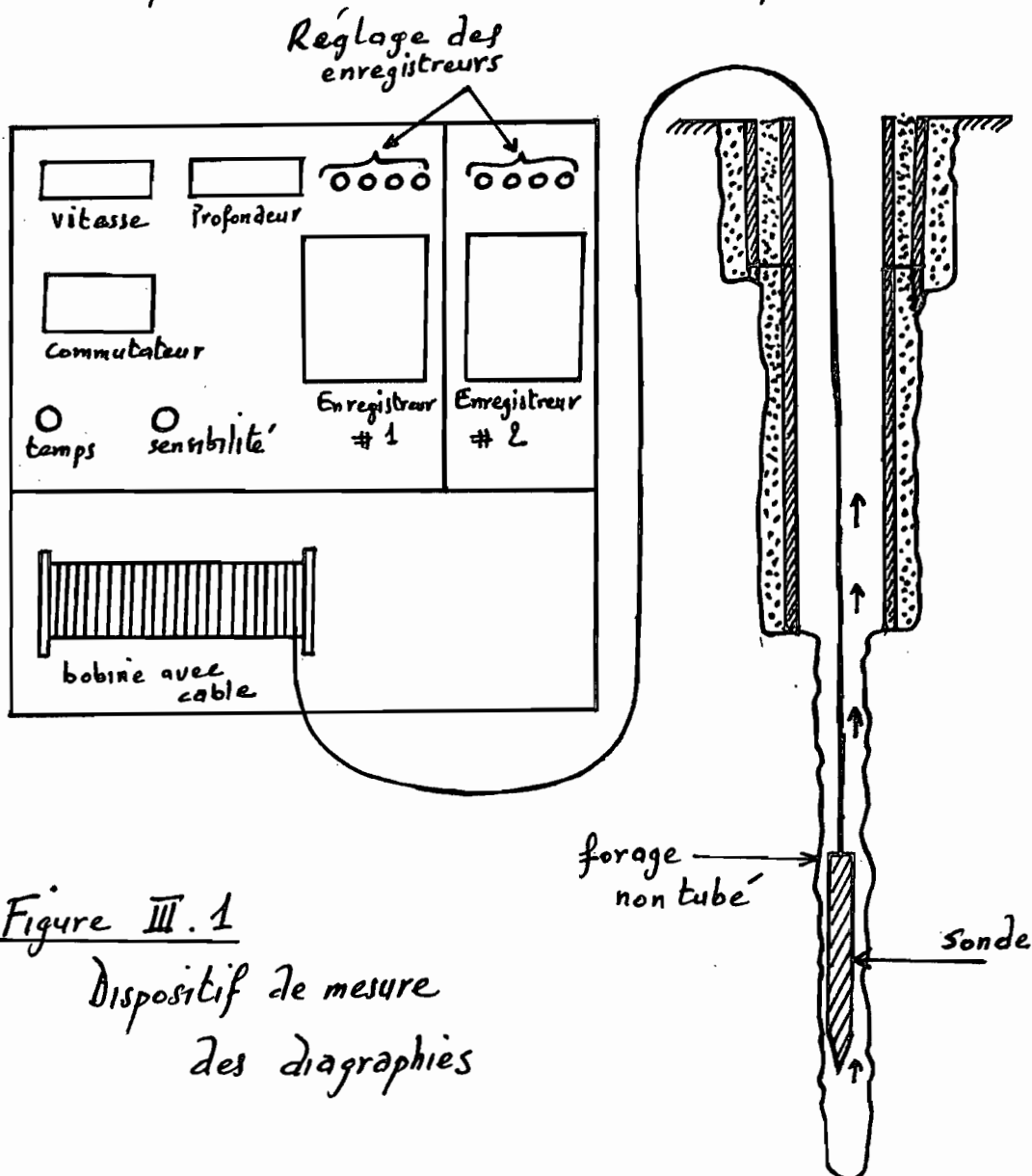
### Ch. III Analyse des mesures de diagraphies

Les mesures de diagraphies comprennent principalement le carottage électrique et le carottage radioactif. Elles permettent d'examiner un forage non encore tubé sur toute sa profondeur et d'avoir une idée sur les caractéristiques des terrains traversés. Avant d'effectuer de telles mesures, il y a lieu de préparer le trou de sondage et de s'assurer ainsi qu'il n'y a pas d'obstruction due à un gonflement éventuel de marnes, d'argiles ou à un éboulement.

La mesure des diagraphies se fait toujours en remontant

Les dispositifs permettant de mesurer les diagraphies ont des formes qui varient plus ou moins légèrement mais ils sont tous basés sur les mêmes principes physiques. Le dispositif utilisé dans le cadre du projet belge des forages est montré à la figure III.1 sous forme de schéma. Il permet de mesurer la résistivité, la polarisation spontanée ou la radiation naturelle gamma ( $\gamma$ ) sur la profondeur du

trou de sonde (non tubé). Il suffit simplement de changer de commutateur pour passer de la mesure d'un paramètre à celle d'un autre. Il est muni d'un système d'enregistrement double qui établit un graphique du paramètre en fonction de la profondeur.



### III. 1 Le carottage électrique:

Le carottage électrique comprend la mesure des

paramètres suivants :

- La résistivité
- Le potentiel (ou polarisation) spontané

### III. 1.1 Mesure de la résistivité

On se propose de déterminer la résistivité électrique des terrains traversés.

On sait que la résistivité pour une formation varie avec la nature, l'importance et la distribution du fluide contenu. Donc en analysant les mesures de résistivité, on peut se faire une idée de l'hydraulique des formations traversées lors de l'exécution du forage.

Notamment cette résistivité varie avec la composition chimique du fluide. En résumé nous dirons que la résistivité pour les terrains aquifères dépend essentiellement de la quantité et de la composition chimique de l'eau qu'ils renferment.

Ainsi la résistivité d'un sable sera plus importante que celle d'une argile dont l'eau de rétention est très chargée en sels dissouts.

#### III. 1.1.1 Principe de la mesure

On crée un champ électrique dans le trou de sonde en faisant passer un courant alternatif ou continu

d'intensité  $I$  connu entre deux électrodes  $A$  et  $B$ ; et on mesure la différence de potentiel créée par le champ électrique à l'aide de deux électrodes  $M$  et  $N$ .  $M$  étant descendue dans le forage et  $N$  étant fixée en surface (voir figure III.3)

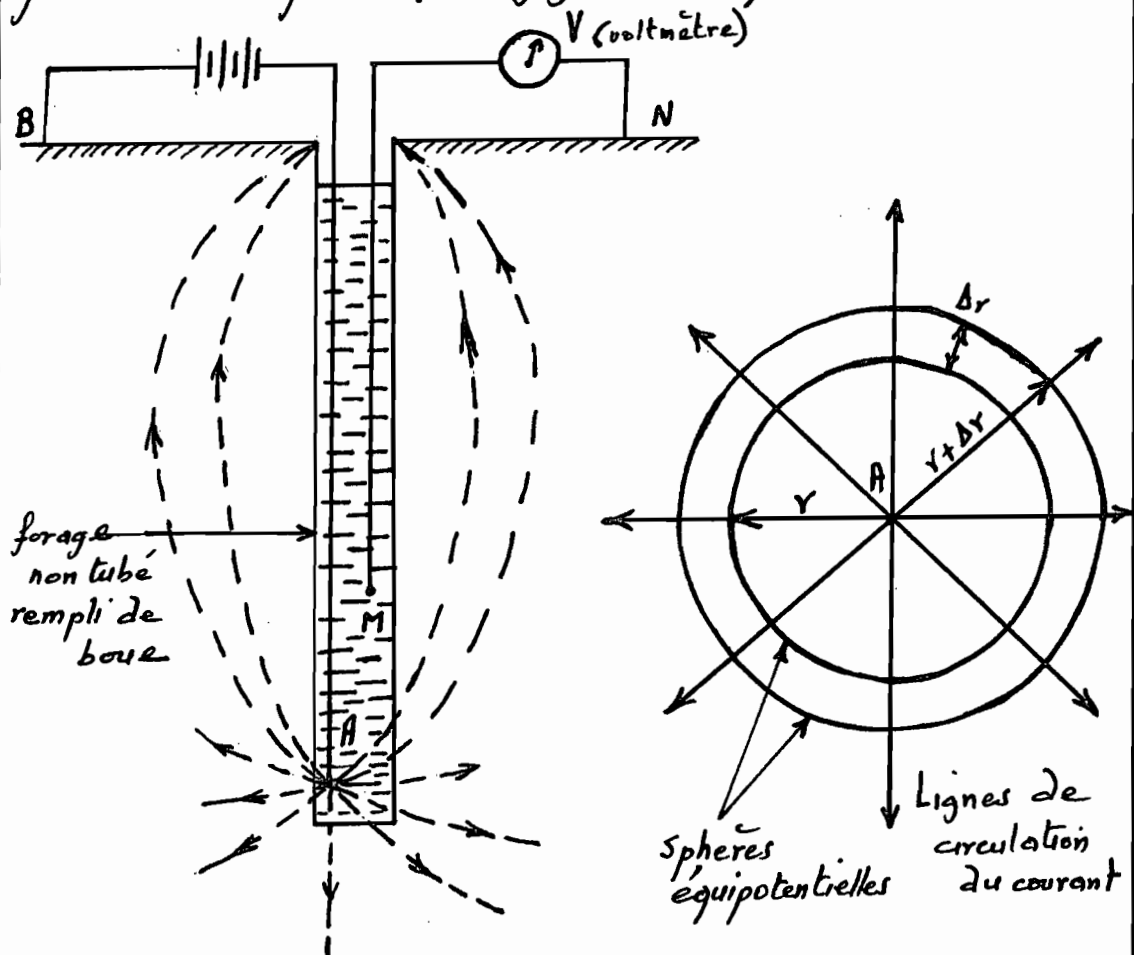


Figure III.2 Mesure de la résistivité

D'après la loi d'Ohm on a:  $\Delta V = I \cdot R$

$\Delta V$  : différence de potentiel

$R$  : résistance

$I$  : intensité

or le volume considéré a une section  $S = 4\pi r^2$   
 une longueur  $dr$  et une résistivité  $\rho$   
 Si l'on considère que le milieu est homogène et isotrope, les surfaces équipotentielles sont constituées par des sphères concentriques de centre le point A  
 Si  $dv$  est la différence de potentiel entre un point situé sur la surface de rayon  $r$  et un autre situé sur la surface de rayon  $r+dr$  on a

$$R = \frac{\rho dr}{S} = \frac{\rho dr}{4\pi r^2}$$

$$\text{donc } dv = \frac{I \rho dr}{4\pi r^2}$$

l'électrode A étant très éloignée de B, on peut considérer que son potentiel est presque nul; donc on a par intégration :  $V = \frac{I \rho}{4\pi r}$  donc

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I}$$

De même l'électrode N étant très éloignée de B est à potentiel presque nul.

Ceci conduit en pratique à mesurer le potentiel de l'électrode M donc  $r = AM$ ; et

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} = 4\pi (AM) \frac{V}{I}$$

A est la petite électrode d'ameneré du courant  
 M est la petite électrode de mesure du courant  
 $AM = r$  est appelé espacement du dispositif de mesure.

### III. 1. 2. Mesure du potentiel spontané' (PS)

Le potentiel spontané' est celui mesuré entre deux électrodes plantées dans un terrain. Il est dû à deux causes principales.

- les forces électromotrices dues à l'oxydation des masses métalliques du sol.
- les forces électrochimiques d'origine électrochimique

Il est donc très faible.

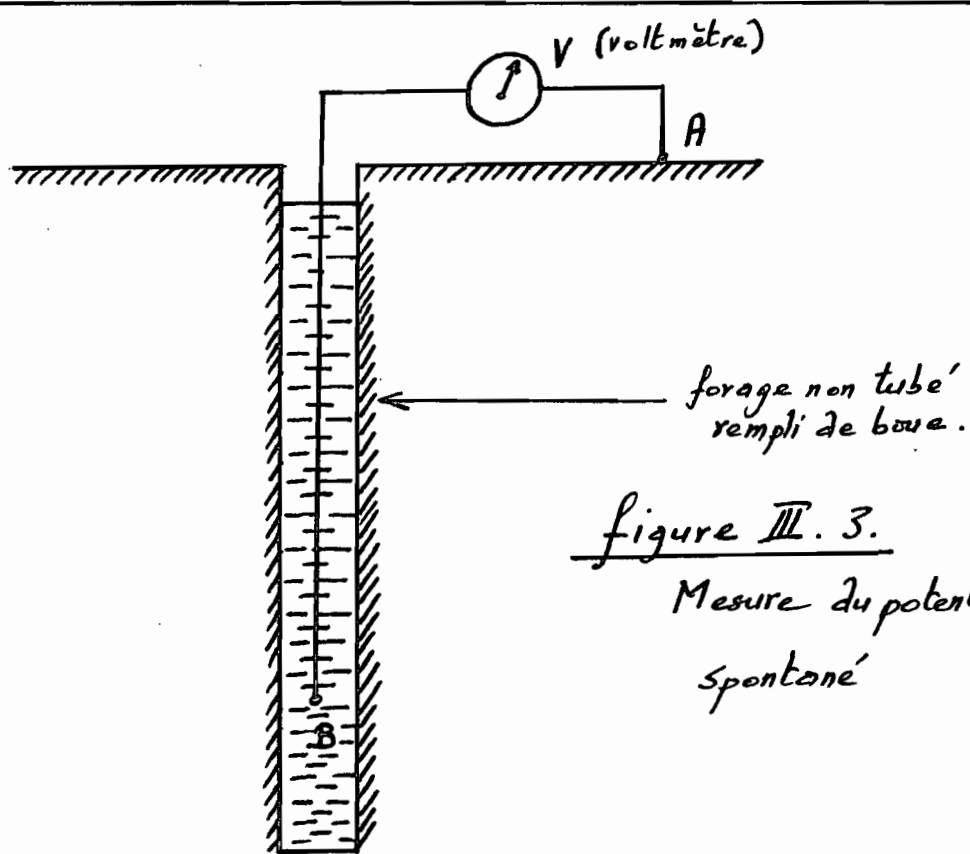
#### III 1. 2. 1 Principe de mesure du potentiel spontané'

Le principe de mesure est le suivant:

Une électrode mobile est descendue dans le trou de sonde alors qu'une autre est fixée en surface. Le potentiel de l'électrode de surface est constant. Les mesures donnent donc un potentiel relatif. A cause des valeurs faibles souvent enregistrées, le potentiel spontané' est exprimé en millivolts.

La figure III. 3 montre le principe de mesure de la polarisation spontanée.





Généralement le diagramme de potentiel spontané se présente sous forme de ligne plus ou moins rectiligne correspondant aux couches perméables avec à certains endroits des décrochements correspondant aux couches imperméables.

Le corollage électrique nous permet principalement de déterminer la lithologie et la position en profondeur des couches traversées par le sondage.

Le tableau III. 1 donne une idée sur les valeurs relatives de la résistivité et du potentiel spontané dépendamment des formations géologiques traversées.

Formation	Potentiel spontané	Résistivité
Marnes et Argiles	Nulle	Faible
Sable à eau douce	Modéré	Elevée
Sable à eau salée	Elevé	Faible
Grès cimentés	Faible	Elevée
Calcaires	Faible	Elevée

Tableau III.1 : Comparaison de la résistivité et du potentiel spontané en fonction de la nature des couches (Tiré de Prospection et exploitation des eaux souterraines E. Castany)

### III.2 Le carottage radioactif

Les roches renferment suivant leur nature des substances radioactives plus ou moins importantes qui émettent des rayons gamma.

Ce potentiel radioactif qui est intrinsèque à la roche représente la radioactivité gamma naturelle de cette dernière. Par opposition on peut aussi générer une radioactivité artificielle par bombardement de neutrons. On distingue alors :

- Les sondes à rayons gamma ou gamma-ray
- Les sondes à neutrons.

Les diagrammes sont obtenus par enregistrement suite à la descente de la sonde dans le trou de forage. La radioactivité d'une roche est fonction de sa teneur en matière argileuse. Plus cette teneur est importante, plus la radioactivité est élevée. Les sables et les calcaires possèdent donc une radioactivité plus faible.

Les mesures donnent des valeurs comparatives.

### III. 3 Analyse des mesures de diagraphies effectuées sur les forages de Shanghai et de Nbiogo

#### III. 3. 1 Description sommaire des forages

Le tableau III. 2 résume cette description à la page suivante

#### III. 3. 2 Radiation naturelle gamma ( $\gamma$ )

Pour le forage de Shanghai on remarque entre 0 et 98 m des radiations faibles confirmant l'existence de structures non argileuses. On présume donc qu'on aura dans cette zone du sable, du calcaire ou du grès (voir figure III. 3 a, b, c, d, etc). Après cette zone on remarque des radiations de plus en plus croissantes jusqu'à la profondeur 282 m; donc susceptibles de confirmer la présence de zones argileuses ou marneuses.

Lieu du Forage	Sanghaie	Ndiago
Région	Sine Saloum	Sine Saloum
Département	Fatick	Gossas
Arrondissement	Niakhar	Kahone
Longitude	16° 21' 50"	15° 53' 33"
Latitude	14° 25' 59"	14° 19' 01"
Altitude au d.n.m	0 m	30 m
Début de forage	7-12-84	11-01-85
Fin de forage	4-01-85	31-01-85
Type d'appareil utilisé	Failing 2500	Failing 2500
Profondeur totale	326 m	272 m

Tableau III. 2 description des forages  
(Captage du Maestrichtien)

\* au d. n. m = au dessus du niveau de la mer

Les plus basses radiations se situent dans les portions 282m - 297m et 311m - 315m. Ces deux zones devraient être donc les emplacements adéquats pour les crépines de production car elles représentent des zones non argileuses.

En ce qui concerne la forage de Ndiago, on

remarque des radiations plus ou moins importantes avec parfois des pics très accentués sur presque toute la profondeur du forage indiquant des structures plus ou moins riches en matières argileuses. Cependant on distingue trois zones où les radiations sont relativement faibles: de 220 à 233 m, de 240 à 244 m et de 251 à 259 m.

Ces trois zones devraient donc être les positions optimales des crépines de production. (voir figure III. 4 a), b), c), d), etc)

### III. 3.3 Polarisation spontanée

Pour le forage de Sanghaie on remarque une ligne moyenne de base autour de 15 mV avec des pics allant jusqu'à 28 mV. Cette ligne de base correspond à des structures imperméables.

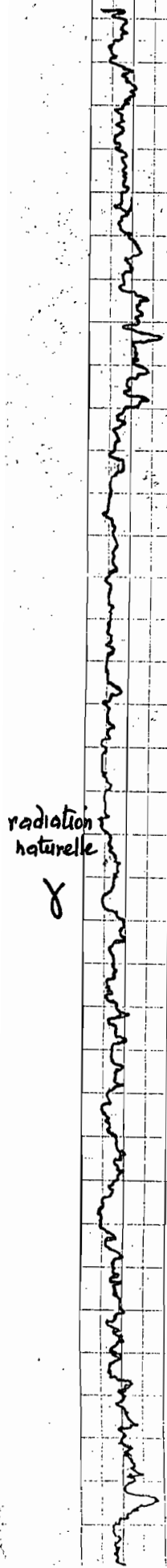
On voit que les positions optimales indiquées par la radiation gamma (282 m à 297 m et 311 à 315 m) correspondent à des pics de 28 mV et 24 mV respectivement, donc à des structures perméables.

Et on peut penser que ces formations correspondent à du sable car son potentiel spontané est modéré ou élevé contrairement aux autres roches. Cela confirme alors les hypothèses émises avec la radiation gamma. (voir figure III. 3. a, b etc)

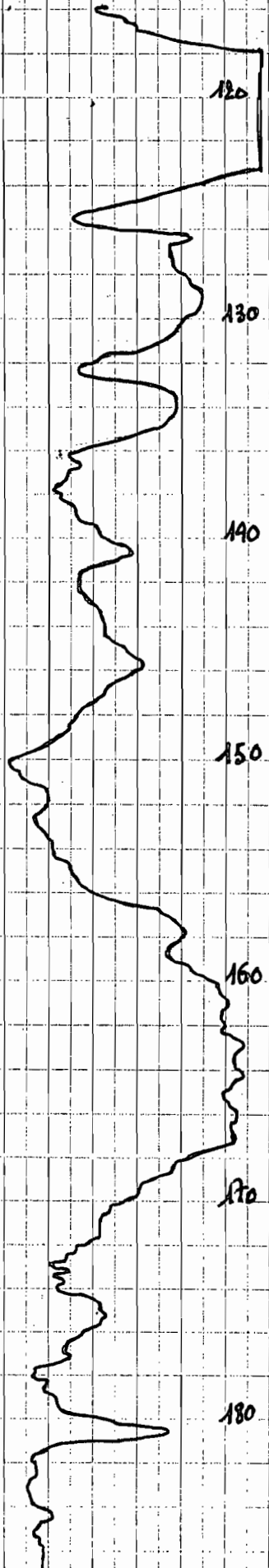
SANGHAI II 21/12/84  
 Gamma naturelle  
 Ech. Ri. 100 cps  
 Cte temps 4  
 Vitese de ramontee 4 m/min

Sanghaie 2  
 PS 21/12/84

figure III.3 a)



10  
 20  
 30  
 40  
 50  
 60  
 70



120  
 130  
 140  
 150  
 160  
 170  
 180

Potentiel spontane  
 PS

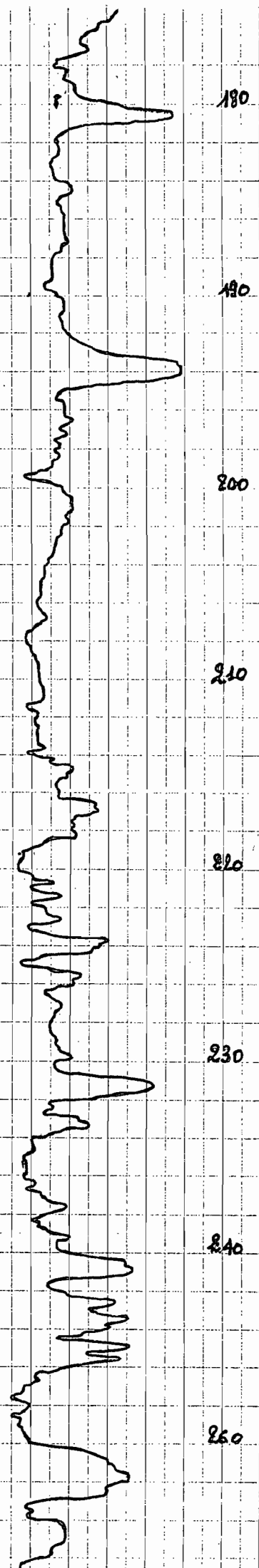
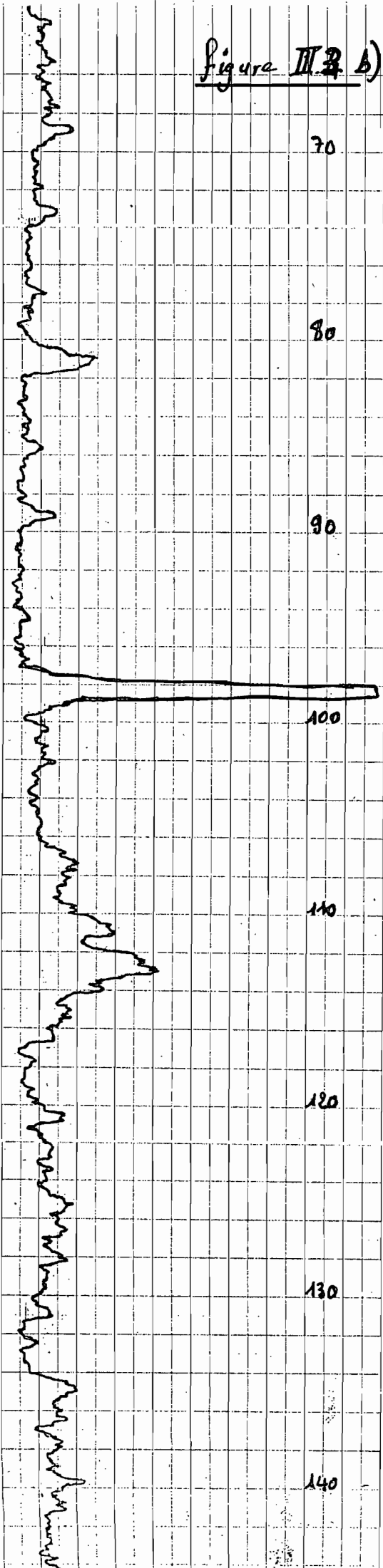
figure III.3. a)

figure III.3.a)

radiation  
naturelle  
 $\gamma$

(Shanghai 2)

Sample 2



(Potentiel  
spontané)  
PS

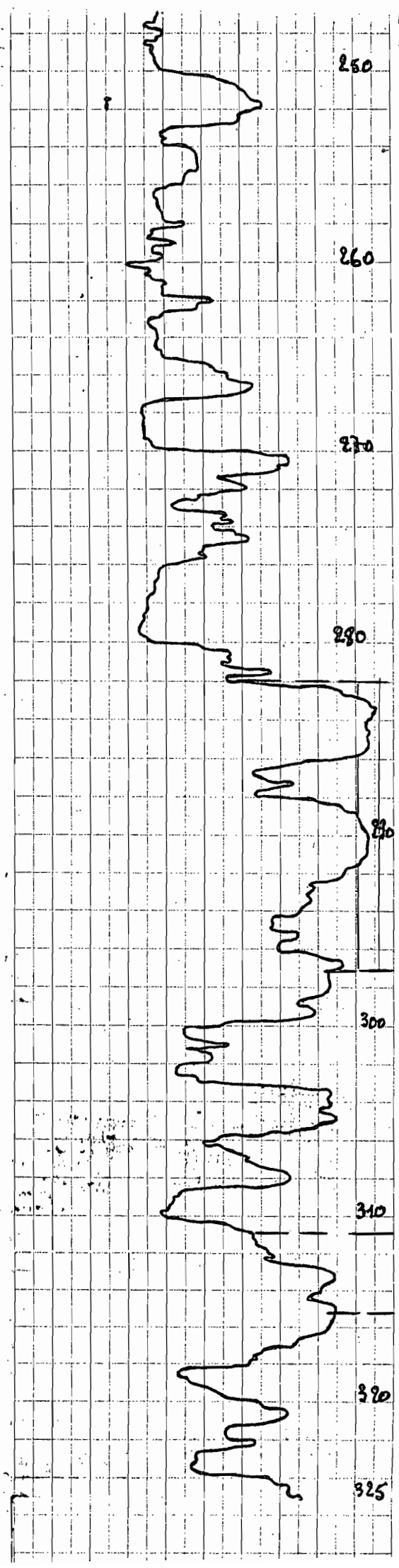
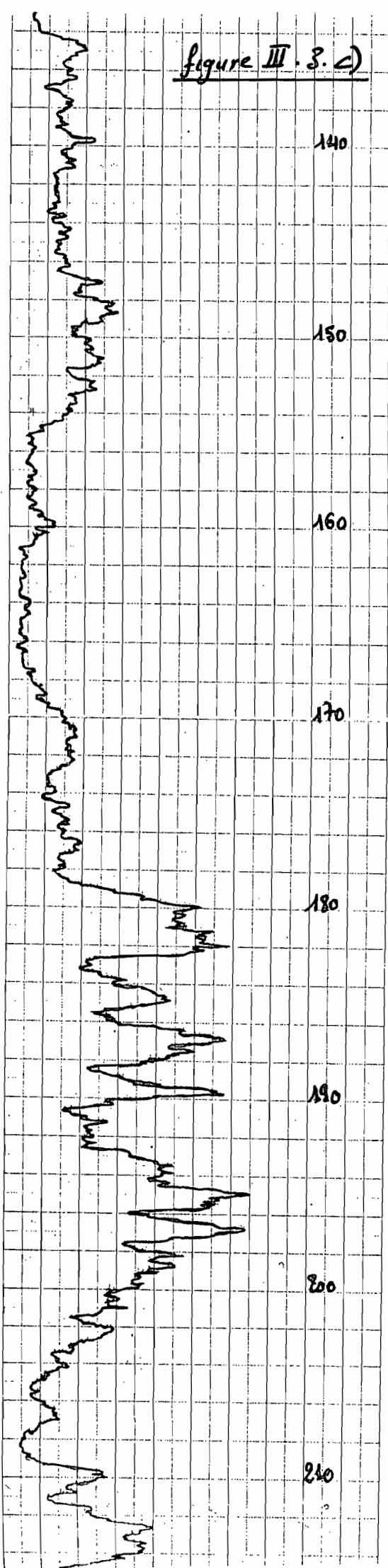
figure III.3.b)

figure III. 3. c)

(shanghai 2)

radiation  
naturelle  
 $\gamma$

Sample 2



Potentiel,  
spontane  
PS



radiation naturelle

γ

(Sanghai 2.)

Sample 2

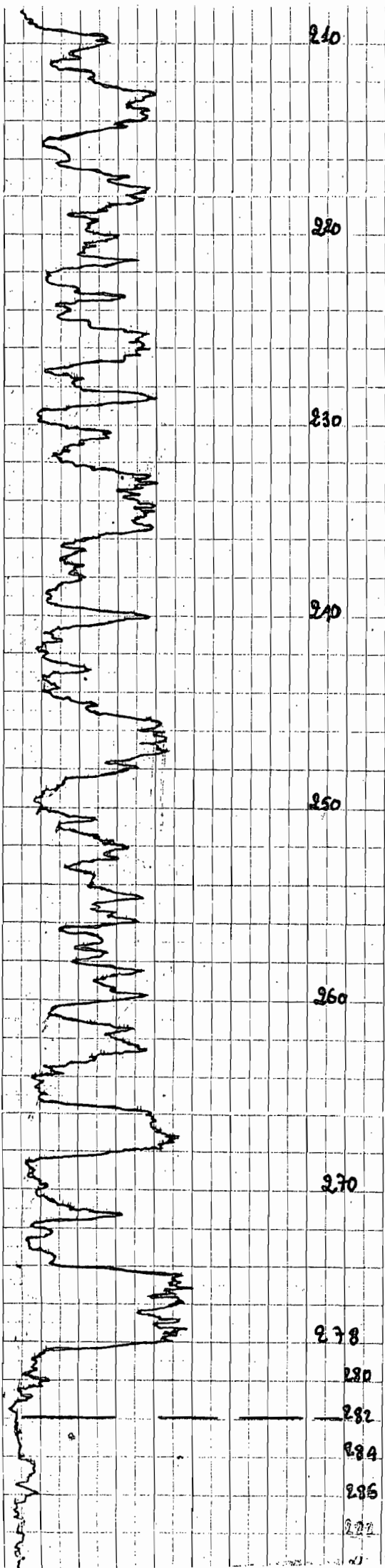
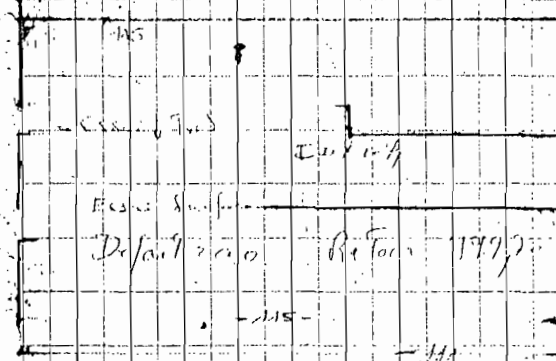
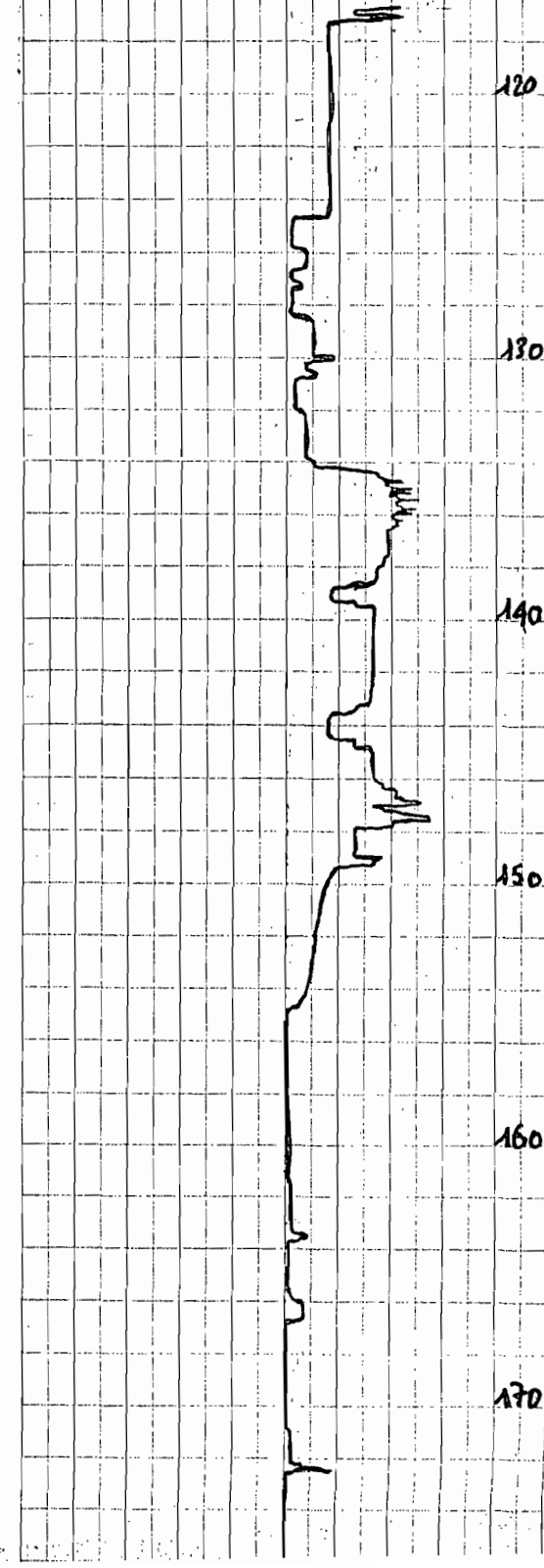


figure III. 3 a)



SANGHAIE  $\Phi$  21/12/84

60 100 140 180 220 260 300 340 380 420 460 (mm).



diametre  $\phi$

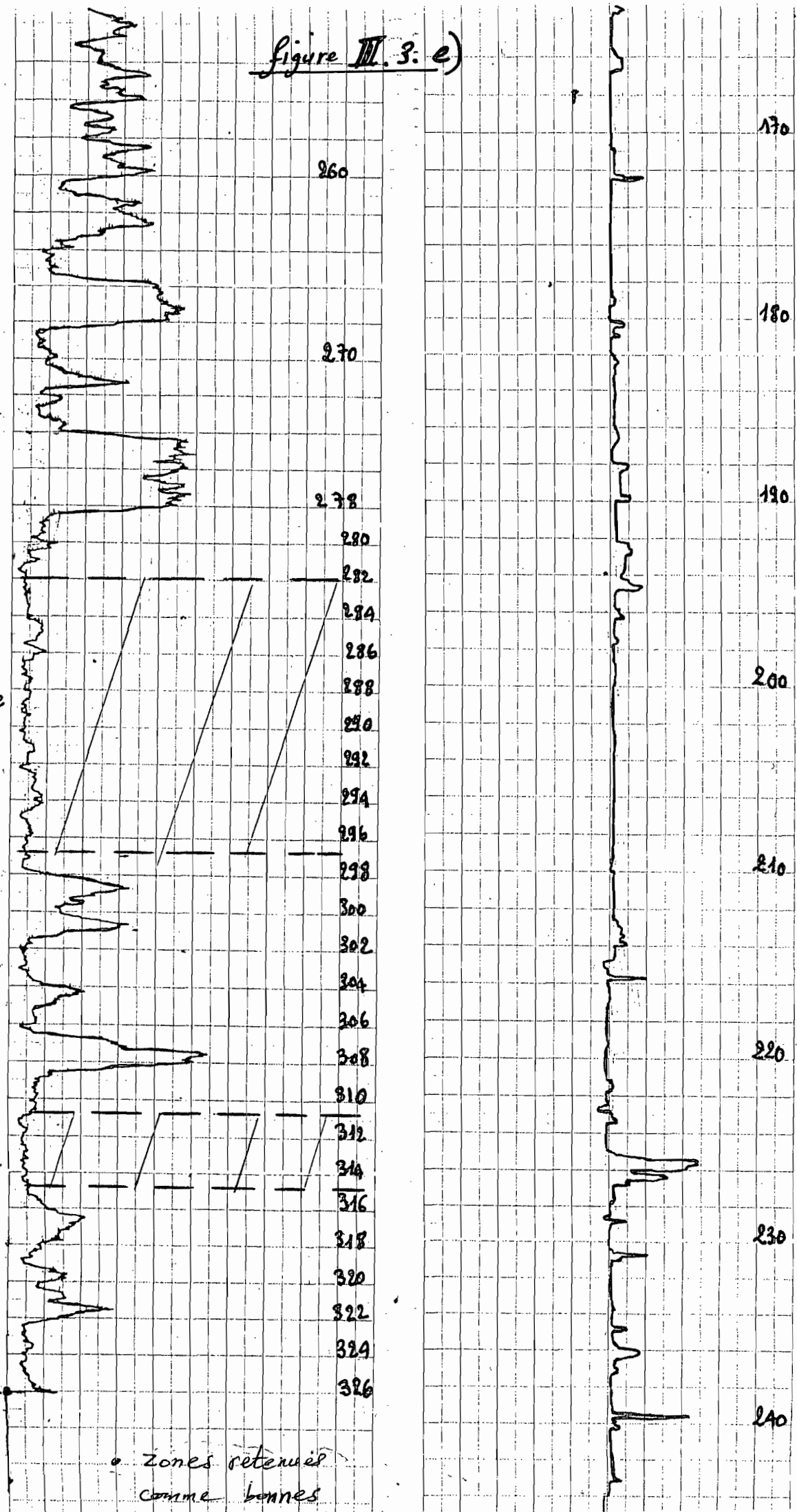
figure III. 3. e)

radiation naturelle

$\gamma$

(Sanghaie 2)

Sanghaie 2



• zones r\u00e9serv\u00e9es  
comme bonnes

diametre  
 $\phi$

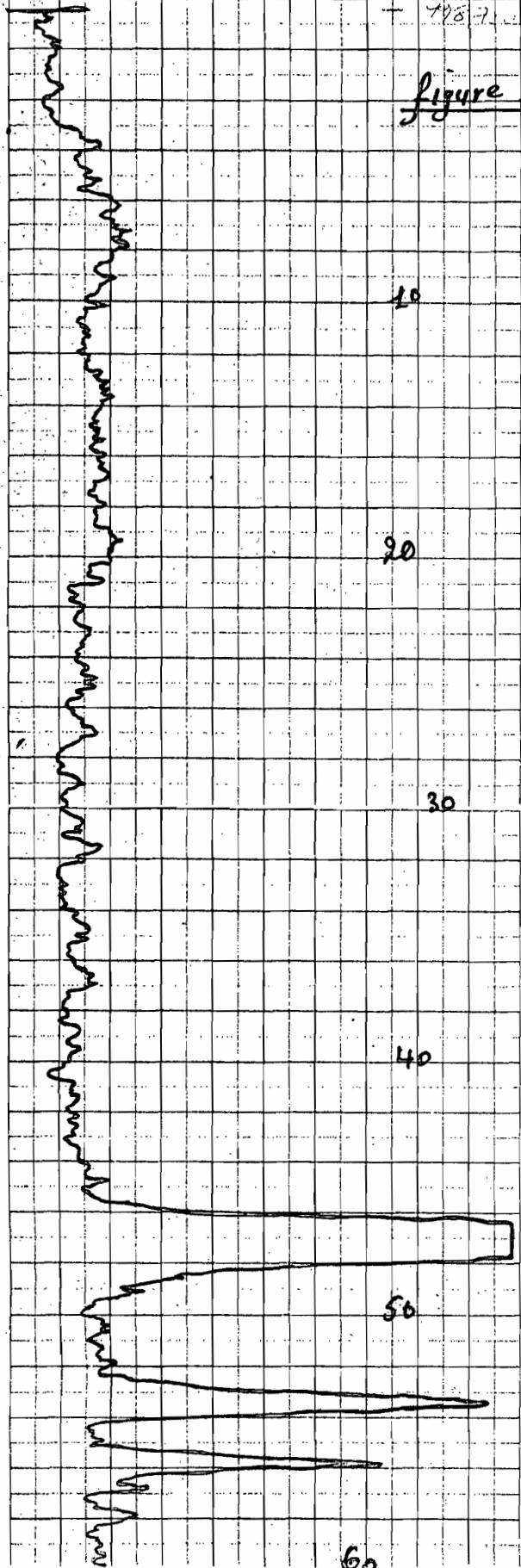
# N Diago

échelle hor: 100 cps/s  
 échelle vert: 1:800  
 vitesse de remontée: 4m/min  
 cté Comp: 4

798.72

## figure III.4.0

radiation  
 gamma  
 naturelle  
 ( $\gamma$ )



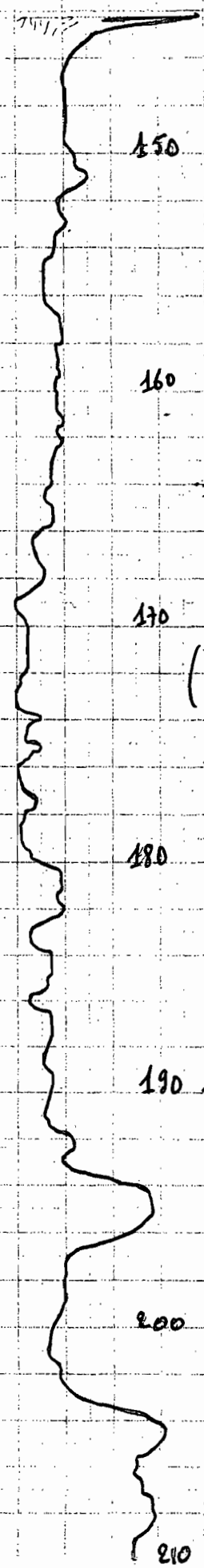
Echelle verticale 1/200

Echelle horizontale 10mV x 0,5

998.9 - a a l l l limite



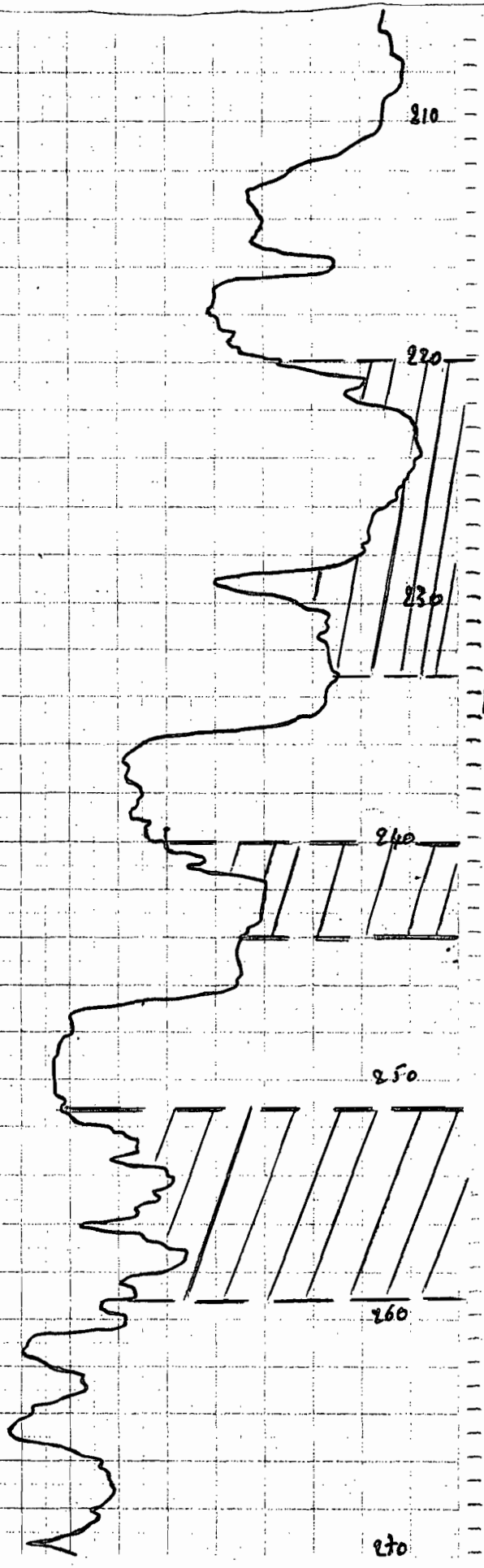
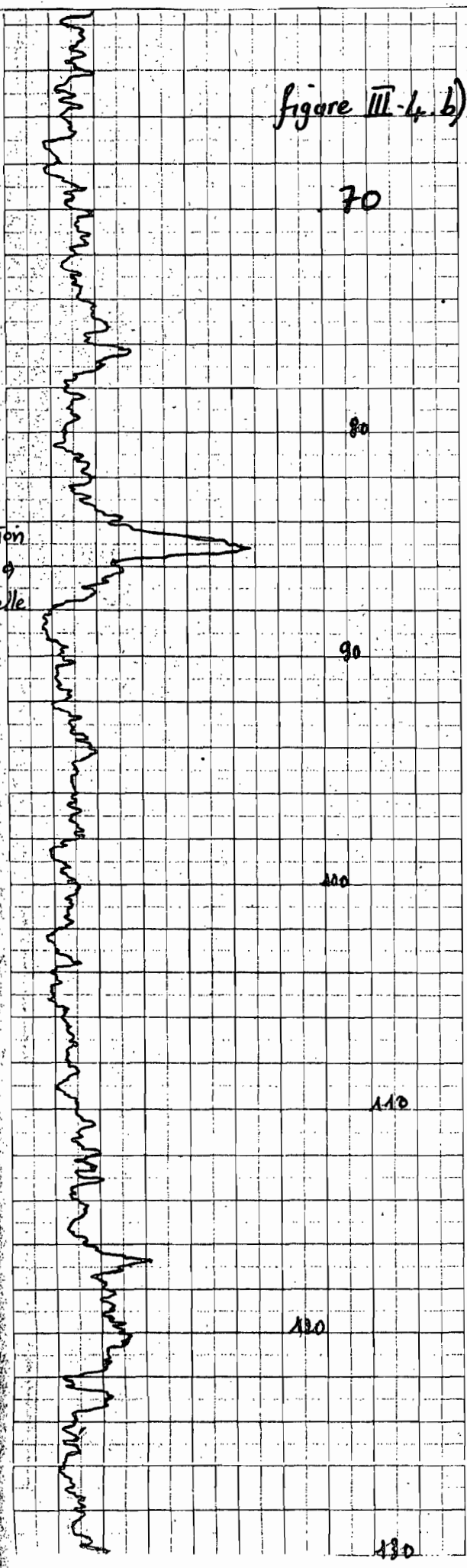
791.73



Potentiel  
 spontané  
 (PS)

figure III-4. b)

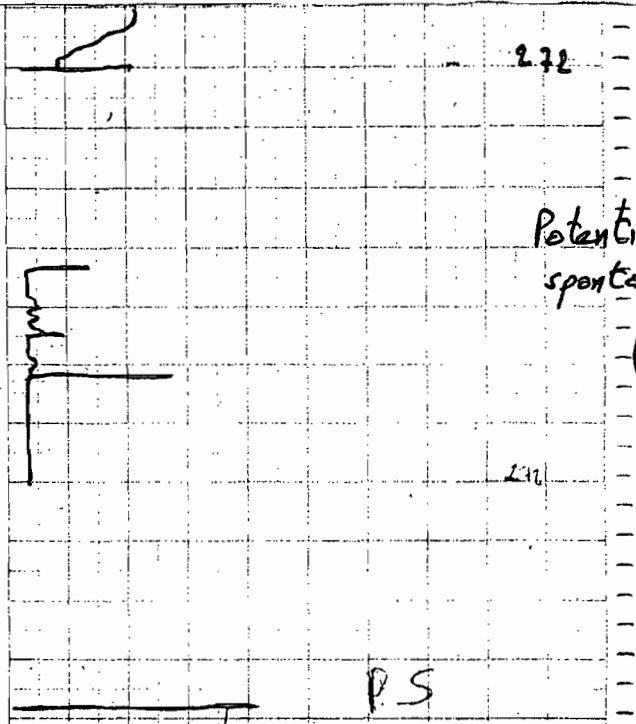
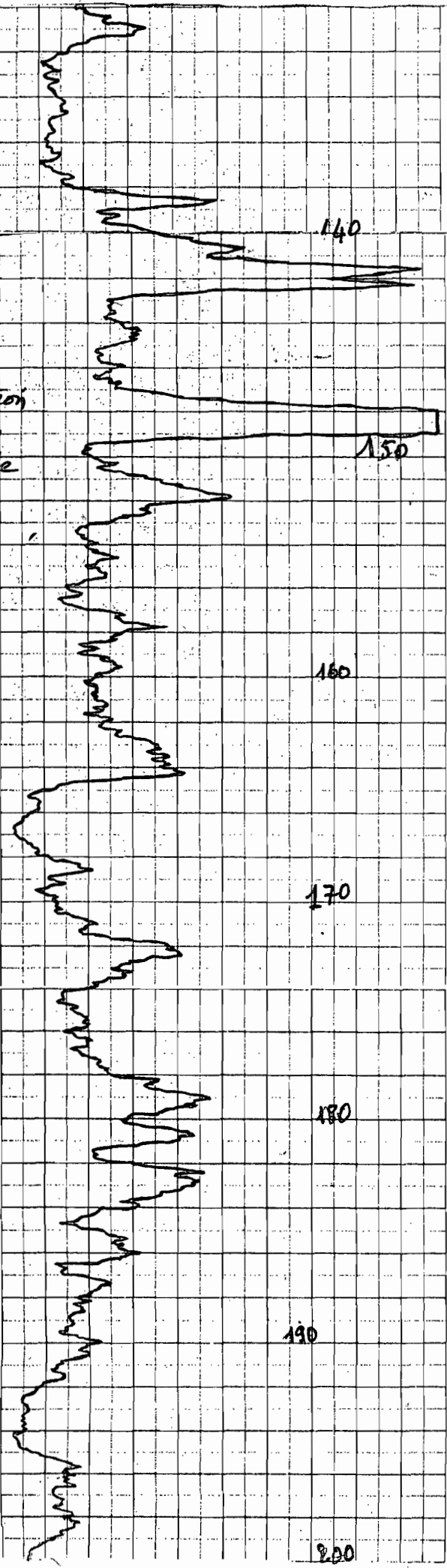
radiation  
gamma  
naturelle  
( $\gamma$ )



Potentiel  
spontane  
(Ps)

53

radiation  
gamma  
naturelle  
( $\gamma$ )



2.72

Potentiel  
spontane  
(ps)

2.72

P.S

figure III.4 c)

radiation  
gamma  
naturelle  
( $\gamma$ )

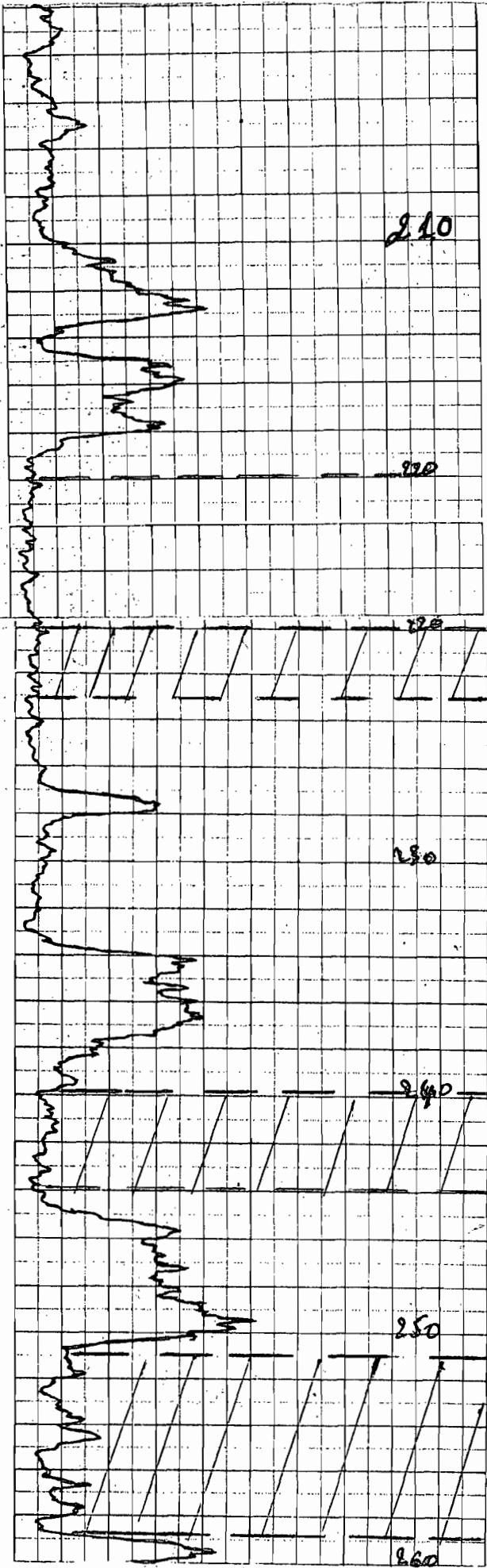


figure III.4 d)

radiation  
gamma  
naturelle  
( $\gamma$ )

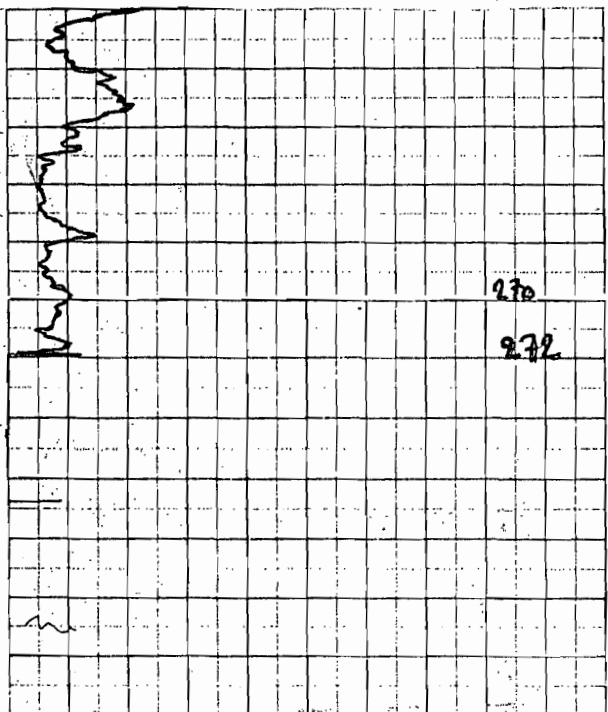


figure III.4.e)

En ce qui concerne le forage de Ndiago on constate une valeur assez importante et presque constante du potentiel spontané tournant autour de 32,5 mv et une alternance de pics et de chutes.

On note ensuite une alternance de pics et de chutes qui décroissent vers des valeurs plus basses. Si l'on examine les zones supposées optimales identifiées par la sonde gamma on voit que :

- Entre 220 et 233m on a un pic de 45mv
- Entre 240 et 244m on a un pic de 30mv
- Entre 251 et 259m on a un pic de 22mv

Cela confirme donc l'existence de structures perméables dans ces zones. (voir figure III.4.b)

### III. 3. 4 Diamétrage

Le diamétrage consiste en une mesure du diamètre effectif du sondage pour voir les déviations par rapport au diamètre qu'on s'était fixé au départ. En examinant les mesures effectuées sur le forage de Sanghaie entre 120 et 240m (voir figure III.3 d) et e) on voit que le diamètre effectif se situe autour de 260mm avec des éboullements allant parfois jusqu'à 340mm. Cependant on n'observe pas d'obturation car cette partie a été



foré en  $8\frac{1}{2}$  (216 mm) et on a pas de section  
où le diamètre est inférieur à cette dernière valeur.



## CH. IV Analyse des caractéristiques du complexe forage-nappe par les essais de pompage.

Les essais de pompage sont réalisés par application des lois du régime permanent ou transitoire. Dans le cas fréquent d'une nappe captive, les méthodes utilisées pour l'interprétation de ces essais sont:

- En régime permanent, la méthode de Thiém
- En régime transitoire, la méthode de Theis ou de Jacob.

Mais de façon générale les essais sont réalisés en régime permanent; et dans ce cas on préconise une durée d'au moins 72 heures pour que cette dernière hypothèse soit réalisée.

### IV.1 But des essais de pompage.

Les essais de pompage permettent:

— de construire:

• La courbe rabattement-débit

• La courbe de remontée

— d'avoir des indications plus ou moins précises sur

La nappe captée notamment sur:

• sa perméabilité

• son coefficient d'emménagement.

Mais les essais réalisés dans ces conditions la impliquent l'existence de piezomètres dans les environs immédiats du puits de pompage.

Souvent on réalise des essais sans piezomètres, comme c'est le cas dans le cadre du projet belge des forages : on parle alors d'essais de puits.

Dans ce cas l'analyse permet de déterminer la courbe débit-rabattement appelée courbe caractéristique du forage et de déterminer la valeur du débit critique.

Dans ce qui suit les résultats que nous allons analyser sont issus des essais de puits, effectués en nappe captive, (Maestrichtien) des forages de Sanghaie et de Ndiago.

#### IV. 2 Execution des essais de puits

Les essais de puits sont effectués par palier de débit. On a dans le cadre du projet belge les six paliers suivants qui sont observés :

$$Q/4, Q/2, 3Q/4, Q, 3Q/2, 2Q$$

$Q$  étant le débit d'exploitation

Pour chaque palier on prend les niveaux dynamiques et le temps correspondant pour la descente et la remontée.

### IV.3 Interpretation des essais de puits

En nappe captive le régime du débit est déterminé par l'importance du rabattement. Nous examinerons donc les deux cas suivants :

- Les essais avec faibles rabattements
- Les essais avec rabattements importants

#### IV.3.1 Phénomène du rabattement : causes.

Le rabattement est la baisse du niveau engendré par le pompage : c'est la différence entre le niveau statique et le niveau dynamique. Le rabattement est le résultat de différentes pertes de charges. Ces pertes de charges se situent à trois niveaux :

- dans la couche aquifère
- à la traversée de la crépine
- dans la colonne de captage (Crépines et tubages)

L'eau en circulant dans la couche aquifère génère des pertes de charges qui sont fonction des caractéristiques hydrogéologiques du terrain. Ces pertes de charges sont les plus importantes et ne peuvent en général pas être modifiées.

Le passage de l'eau à travers la crépine génère le second type de pertes de charges. Ces pertes

de charges peuvent être améliorées par le développement dans les roches meubles et par acidification dans les calcaires fissurés.

Le troisième type de pertes de charges qui est tout simplement dû au frottement dans la colonne de captage peut être considérablement limité par un bon dimensionnement du tubage et de la crépine.

#### IV.3.2 Les essais avec faibles rabattements

L'équation de depression en nappe captive d'après Dupuits est de la forme suivante :

$$Q = 2\pi k D \frac{(H-h)}{\ln(R/r)} \quad (\text{voir figure IV.1})$$

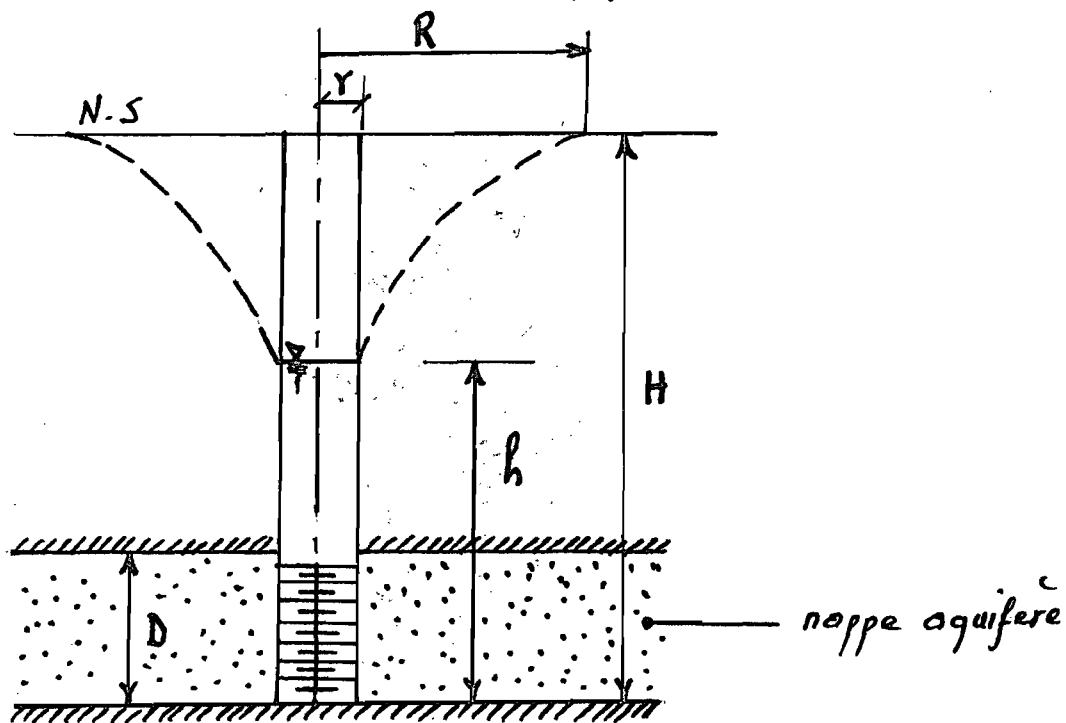


figure IV.1 analyse de puits (faibles rabattements)

N.S. → niveau statique

avec  $(H-h) = \Delta$  ( $\Delta \rightarrow$  rabattement)

$Q$  : débit de pompage

$k$  : coefficient de perméabilité

$r$  : rayon du forage

$R$  : rayon d'influence du forage

$D$  : puissance de la couche aquifère.

donc on a

$$Q = 2\pi kD \frac{\Delta}{\ln(R/r)}$$

or  $\frac{2\pi kD}{\ln(R/r)} = \text{constante} = C$  donc

$$Q = C \Delta$$

Ce qui montre que pour les faibles rabattements, la courbe débit-rabattement est une droite.

### IV.3.3 Les essais avec rabattements importants

L'équation de la courbe de depression en nappe captive est d'après Jacob :

$$\Delta = H-h = \frac{Q}{2\pi kD} \ln \frac{R}{r} + B Q^n \quad (\text{voir figure IV.2})$$

où  $B$  et  $n$  sont des constantes ( $n \approx 2$ )

en posant  $\frac{\ln(R/r)}{2\pi kD} = \text{constante} = C$

On a donc :

$$\Delta = C\varphi + B\varphi^n = C\varphi + B\varphi^2$$

ou

- $C\varphi$  représente les pertes de charges dans la couche aquifère
  - $B\varphi^2$  représente les pertes de charges à la traversée de la crépine et dans la colonne de captage.
- Ceci montre que la courbe débit rabattement dans ce cas est une parabole.

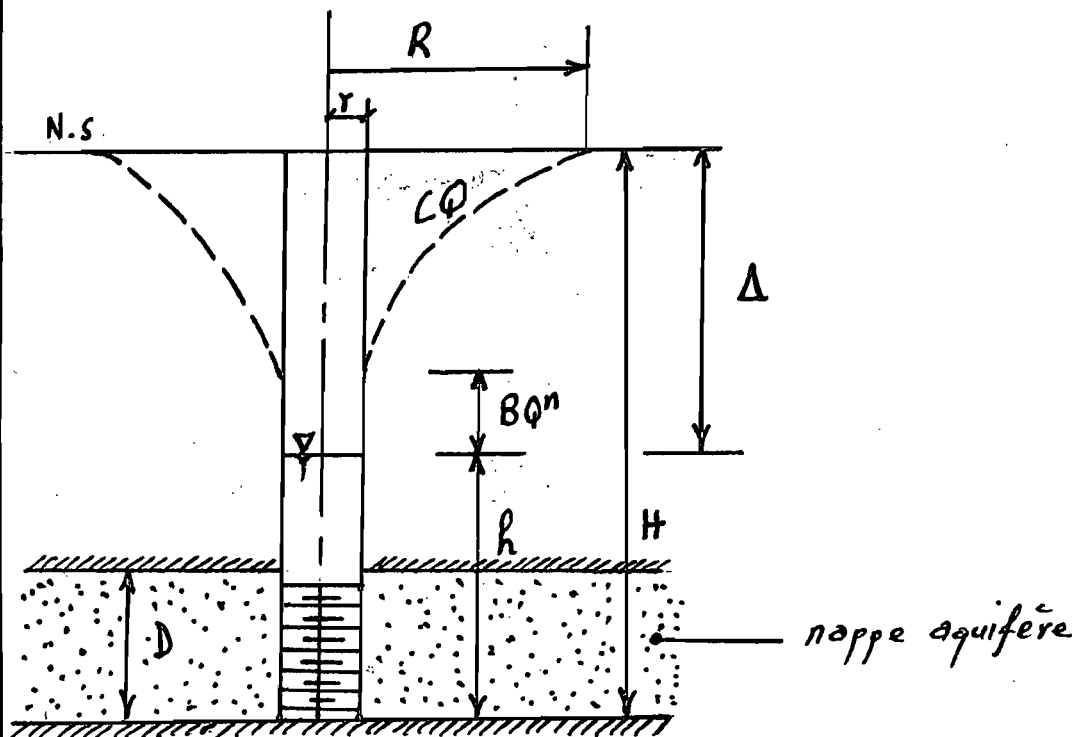


figure IV. 2 Analyse de Jacob (Rabattements importants)

N. S. → niveau statique

## IV. 4 Interprétation des essais de puits des forages de Sanghaie et de NDiago

### IV 4.1 Tableau de mesures

Forage de NDiago		Forage de Sanghaie	
$Q$ ( $m^3/h$ )	$\Delta$ (m)	$Q$ ( $m^3/h$ )	$\Delta$ (m)
12,5	1,26	25,6	6,66
32,9	5,18	32,2	8,74
47,0	7,42	41,7	12,05
58,5	9,58	51,5	14,98
75,3	12,99	63,9	20,54
88	15,15	113,1	39,46

Tableau IV. 1 Débits - rabattements

### IV. 4.2 Courbes débit-rabattement

On constate pour les deux forages considérés qu'on a des droites; donc on est dans le cas des puits à faibles rabattements. (voir figures IV. 3 et IV. 4)

Les caractéristiques des forages sont régies donc par l'équation  $Q = c\Delta$



Figure n° II.3

Forage de Njiago

Courbe caractéristique

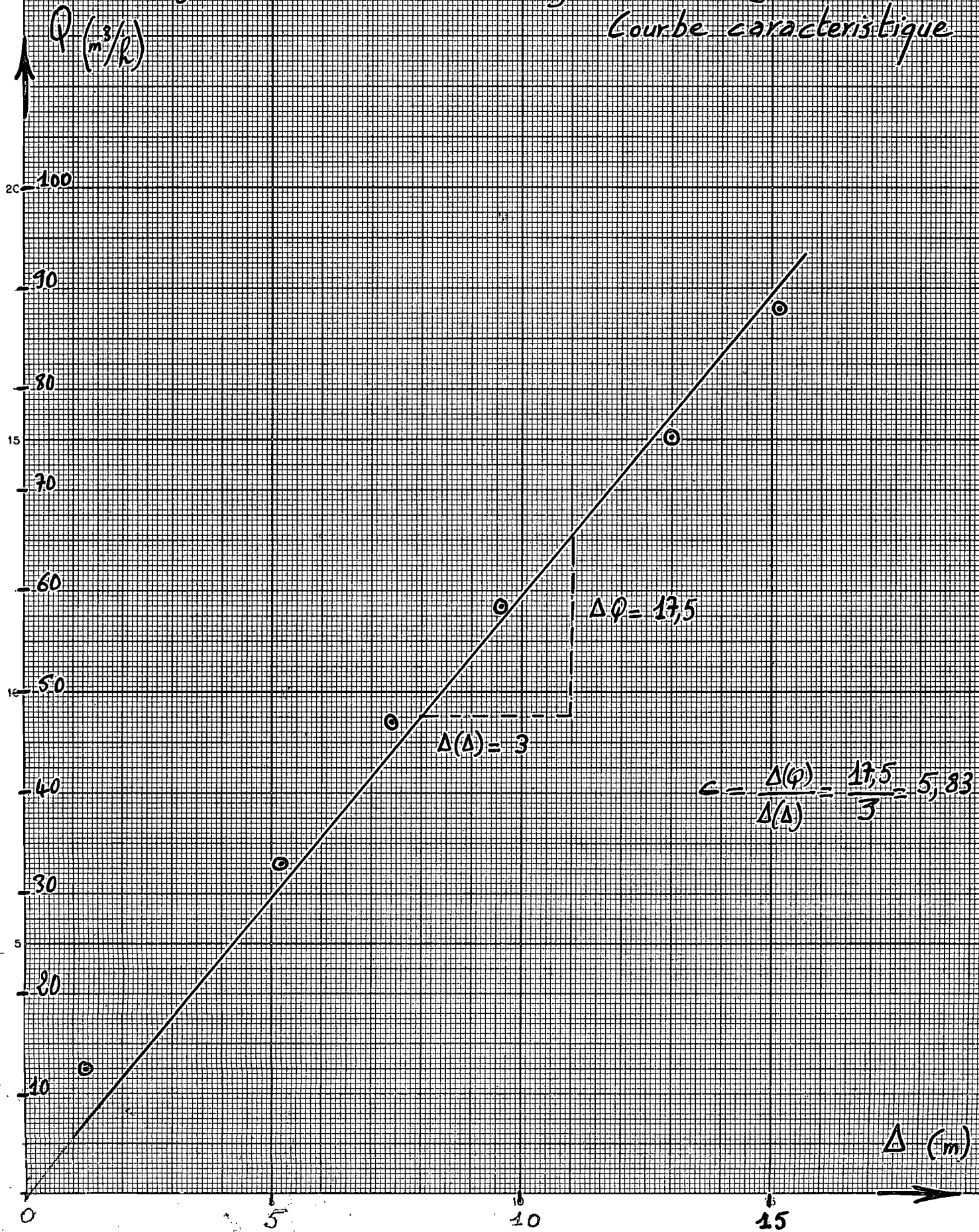
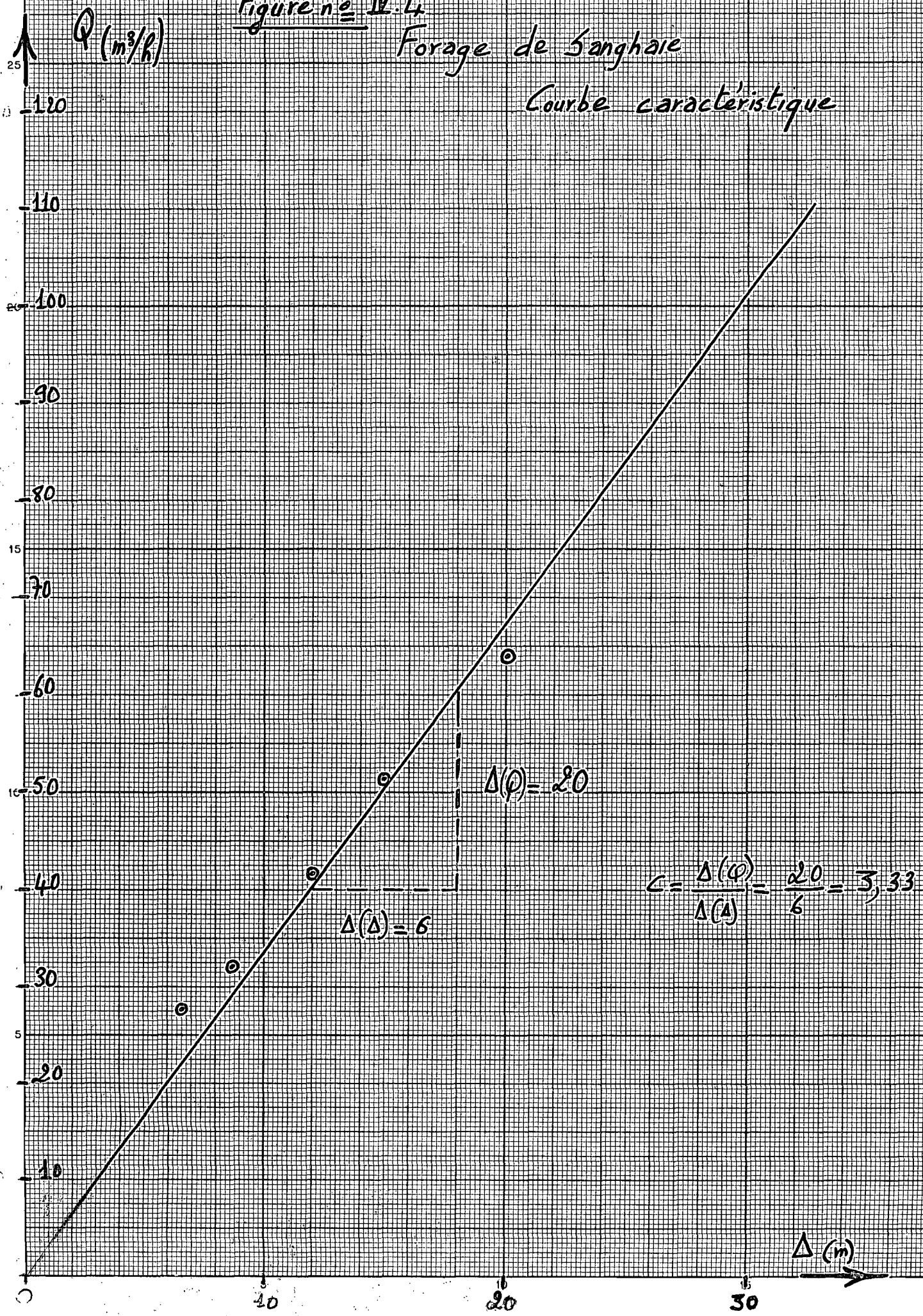


Figure n° IV.4

Forage de Sanghale

Courbe caractéristique



$$- \text{ Pour NDiago } c = \frac{\Delta\varphi}{\Delta(\Delta)} = \frac{17,5}{3} = 5,83$$

$$- \text{ Pour Sanghaie } c = \frac{\Delta(\varphi)}{\Delta(\Delta)} = \frac{20}{6} = 3,33$$

Ce sont donc des forages à faibles rabattements.  
On en déduit donc que les débits d'exploitation sont nettement plus petits que les débits critiques.

Ce qui favorise donc des conditions d'exploitation rationnelles.

#### IV.4.3 Courbes débit spécifique rabattement

On constate qu'on a des droites un peu inclinées par rapport à l'horizontale alors qu'on devrait avoir théoriquement des horizontales d'ordonnée la valeur de  $c$ . Mais à toute fin pratique on peut assimiler ces droites à des horizontales

(voir figure IV.5)



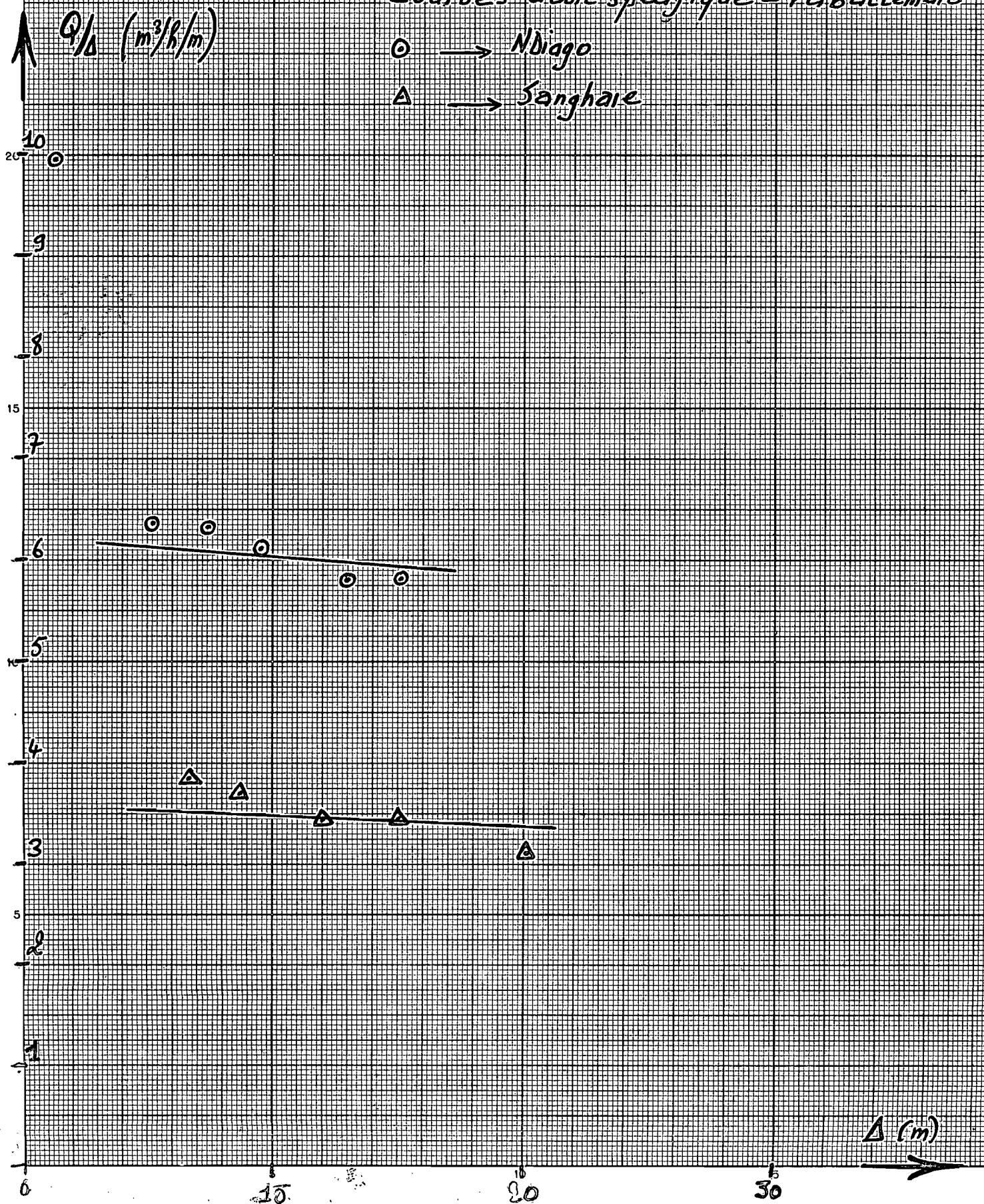
IV. 4.4 Tableau de résultats

Forage de Ndiago		Forage de Sanghaie	
$Q/\Delta$ (m <sup>3</sup> /h.m)	$\Delta$ (m)	$Q/\Delta$ (m <sup>3</sup> /h.m)	$\Delta$ (m)
9,92	1,26	3,84	6,66
6,35	5,18	3,68	8,74
6,33	7,42	3,46	12,05
6,11	9,58	3,44	14,98
5,80	12,99	3,11	20,54
5,81	15,15	2,87	39,46

Tableau IV 2 : Débits spécifiques - rabattements

Figure n° II.5

Forages de NDiago et de Sanghare  
Courbes débit spécifique - rabattement



## Conclusions et recommandations

L'exécution d'un forage d'eau est un investissement assez dispendieux. Par conséquent toutes les dispositions doivent être prises pour prolonger au maximum la durée de vie de tels ouvrages. Cela engendre un entretien constant et performant des installations électromécaniques annexes mais aussi et surtout un suivi de la capacité spécifique de l'ouvrage. Ce suivi permet de mettre en place une banque de données statistiques notamment par des mesures de débits et des échantillonnages périodiques. L'existence de ces statistiques constitue un atout majeur nécessaire à l'exploitation et à la bonne gestion de toute infrastructure.

D'autre part un intérêt particulier doit être porté à la détermination de la caractéristique du forage, notamment à la détermination du débit critique. Car dans les conditions d'une sécheresse progressive l'exploitation du potentiel hydrique souterrain doit se faire de manière rationnelle et les débits d'exploitation doivent être ainsi, dans les forages, inférieurs aux débits critiques.

Une sensibilisation des populations surtout urbaines est nécessaire pour qu'une utilisation visant à minimiser les pertes soit à l'avant-garde d'une campagne d'économie d'eau.

Enfin dans le cadre de l'assainissement des capitales régionales qui est déjà amorcé, il doit être prévu un volet "recharge artificielle des nappes souterraines". Car l'avancée de la langue salée est de plus en plus progressive et les effluents des stations d'épuration peuvent être à cet effet utilisés. Les stations d'épuration par lagunage constituent un procédé de traitement économique dans les conditions climatiques tropicales et un de leurs objectifs principaux devrait être ainsi d'assurer une continuité du cycle hydrologique.

L'alimentation par forage constitue, et constituera pour longtemps encore, le moyen le plus économique dans le contexte du Sahel en général et du Sénégal en particulier. Ainsi les études doivent être multipliées pour trouver les moyens permettant la pérennité de son utilisation.

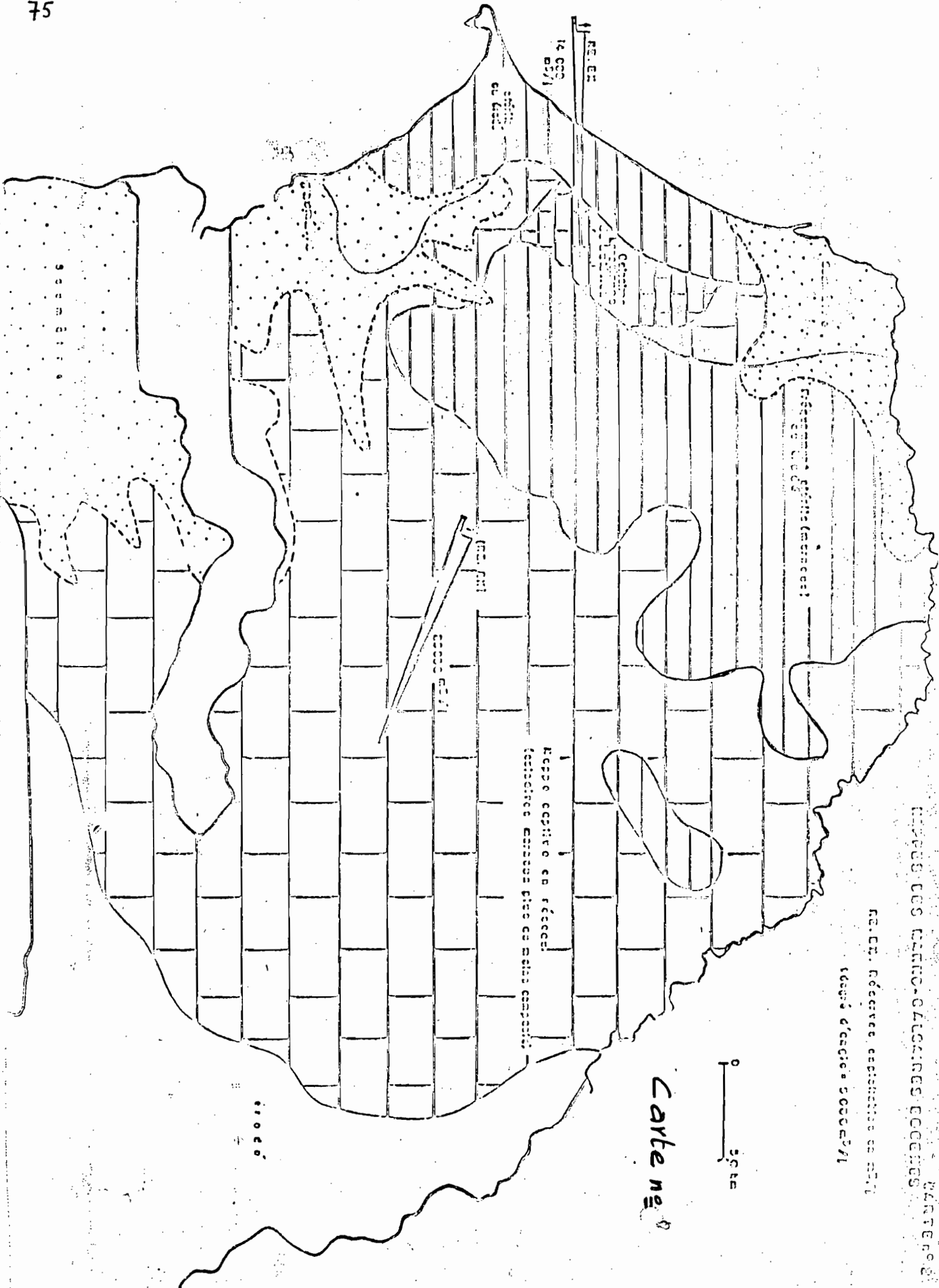


*- Références -*



a. *appendices*





Carte n° 0

0 50 km

RE. EN Réserve exceptionnelle de NAT.  
Légal d'écrite = 500000/1

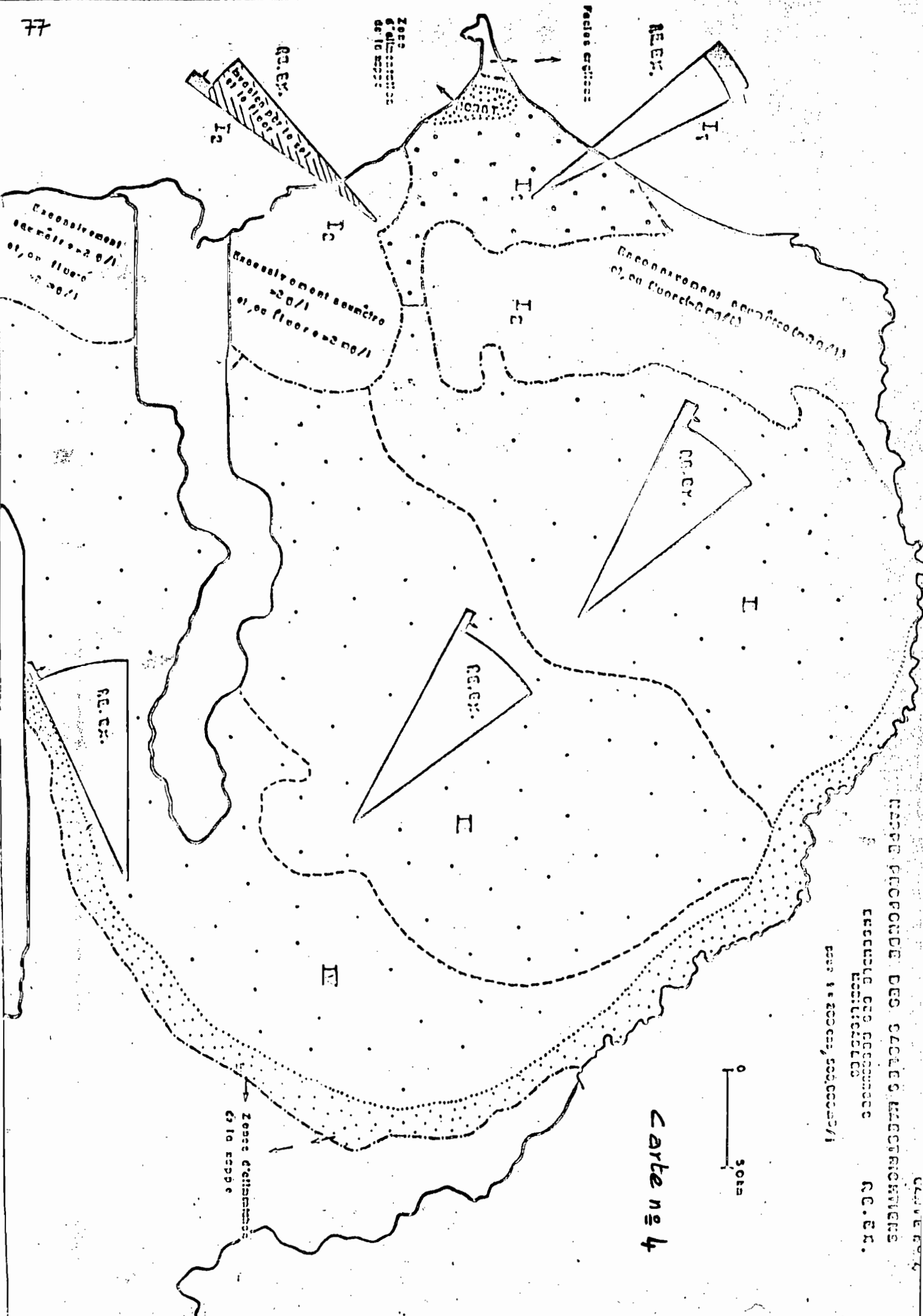
Espace écrit en Réserve  
(Frontière marquée d'une ceinture composée)

5000000/1

(N. N. N.)

Frontière d'écrite (marquée)





LEVEE N° 4  
 RAPPEL PROFONDE DES SOLES ELECTRIQUES  
 EXECUTE PAR PERMANENCE  
 RECHERCHES  
 DATE 1-2002, 500,000,000/1  
 N.C.E.R.

Carte n° 4

Limite de Région	● LOUGA
Chef lieu de Région	● Dagana
Centre de Zone	

RESEAU DE BASE ROUTIER (fin 1979)	
Route revêtue =	à 3 voies et plus
	à 2 voies (7 m)
	à 2 voies (6 m)
	à 1 voie
Route en cours de bitumage	
Route non revêtue	

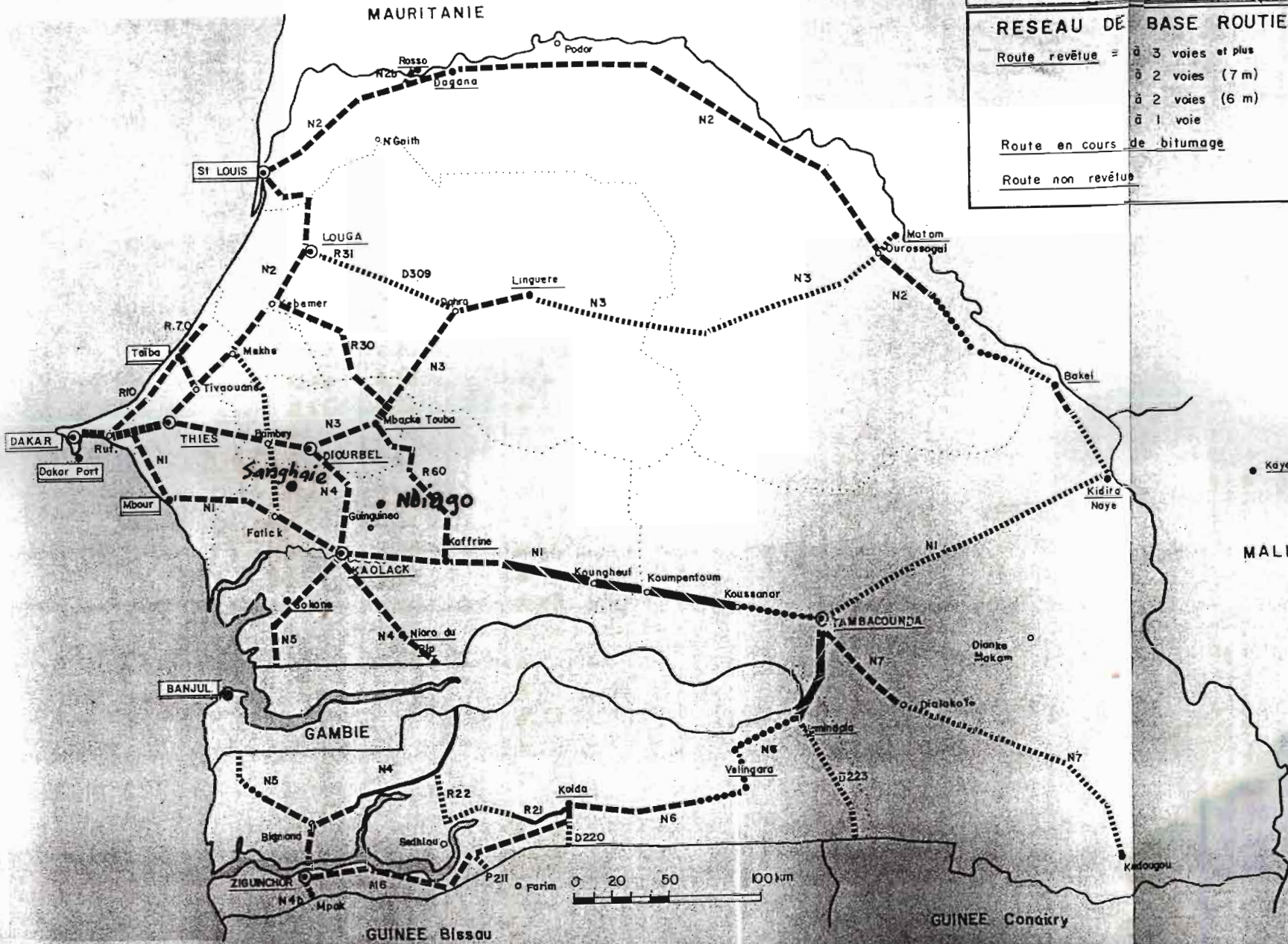


Tableau Essai de pompage du puits de SNAHNE Hauteur reprise / sol: +1,70 m Le 02 et 03 janvier 1985 pompe à 65 m SN5

durée de pompage ou de remontée

Tableau n° 1  $\bar{Q} = 27,6 \text{ m}^3/\text{R}$   $\lambda = 6,65 \text{ m}$

Tableau n° 2  $\bar{Q} = 39,2 \text{ m}^3/\text{R}$   $\lambda = 8,74 \text{ m}$

Tableau n° 3  $\bar{Q} = 41,7 \text{ m}^3/\text{R}$   $\lambda = 10,05 \text{ m}$

Tableau n° 4  $\bar{Q} = 51,5 \text{ m}^3/\text{R}$   $\lambda = 14,98 \text{ m}$

Tableau n° 5  $\bar{Q} = 63,9 \text{ m}^3/\text{R}$   $\lambda = 20,54 \text{ m}$

Tableau n° 6  $\bar{Q} = 113,1 \text{ m}^3/\text{R}$   $\lambda = 39,46 \text{ m}$

depuis	remontée	débit $\text{m}^3/\text{R}$	descende	remontée	débit $\text{m}^3/\text{R}$	descende	remontée	débit $\text{m}^3/\text{R}$	descende	remontée	débit $\text{m}^3/\text{R}$	descende	remontée	débit $\text{m}^3/\text{R}$	descende	remontée	débit $\text{m}^3/\text{R}$
0"	4,30		4,27	13,00		4,26	16,31		4,27	19,24		4,26	24,80		4,29	42,97	
30"	5,10	10,92	9,15	7,75	10,60	9,164	9,164	12,56	14,00	14,25	19,30	14,25	14,25	22,60	25,00	25,00	25,00
1'	9,85	5,38	10,80	5,74	13,05	6,70	6,70	15,60	7,45	7,45	18,92	8,75	8,75	29,65	29,65	29,65	29,65
1'30"	10,33	4,87	11,65	5,10	14,22	5,55	5,55	17,10	5,95	5,95	21,10	6,58	6,58	34,45	34,45	34,45	34,45
2'	10,56	4,71	12,06	4,85	14,80	5,13	5,13	18,20	5,40	5,40	22,85	5,77	5,77	38,40	38,40	38,40	38,40
2'30"	10,62	4,64	12,27	4,77	15,14	5,00	5,00	18,44	5,19	5,19	23,64	5,43	5,43	38,95	38,95	38,95	38,95
3'	10,63	4,58	12,40	4,70	15,44	5,11	5,11	18,68	5,11	5,11	24,45	5,43	5,43	39,95	39,95	39,95	39,95
3'30"	10,64	4,53	12,50	4,66	15,36	4,94	4,94	19,00	5,02	5,02	24,45	5,16	5,16	40,62	40,62	40,62	40,62
4'	10,67	4,57	12,57	4,62	15,96	4,84	4,84	19,00	4,95	4,95	24,67	5,09	5,09	41,10	41,10	41,10	41,10
4'30"	10,69	4,50	12,60	4,59	15,61	4,78	4,78	19,15	4,90	4,90	24,79	5,02	5,02	41,27	41,27	41,27	41,27
5'	10,72	4,48	12,65	4,56	15,65	4,73	4,73	19,28	4,90	4,90	24,84	5,02	5,02	41,46	41,46	41,46	41,46
5'30"	10,75	4,44	12,70	4,52	15,71	4,64	4,64	19,34	4,90	4,90	25,00	4,96	4,96	41,74	41,74	41,74	41,74
6'	10,78	4,42	12,73	4,49	15,76	4,62	4,62	19,34	4,82	4,82	25,05	4,82	4,82	41,84	41,84	41,84	41,84
7'	10,81	4,40	12,76	4,46	15,79	4,55	4,55	19,39	4,77	4,77	25,05	4,76	4,76	41,90	41,90	41,90	41,90
8'	10,82	4,38	12,78	4,44	15,85	4,53	4,53	19,45	4,77	4,77	25,07	4,69	4,69	41,98	41,98	41,98	41,98
9'	10,83	4,37	12,80	4,42	15,89	4,53	4,53	19,45	4,77	4,77	25,07	4,69	4,69	42,07	42,07	42,07	42,07
10'	10,83	4,37	12,80	4,42	15,89	4,53	4,53	19,45	4,77	4,77	25,07	4,69	4,69	42,07	42,07	42,07	42,07
15'	10,87	4,32	12,83	4,36	16,20	4,45	4,45	19,37	4,60	4,60	24,97	4,56	4,56	43,45	43,45	43,45	43,45
20'	10,88	4,29	12,86	4,31	16,17	4,42	4,42	19,34	4,52	4,52	24,97	4,48	4,48	43,58	43,58	43,58	43,58
25'	10,89	4,28	12,87	4,29	16,22	4,38	4,38	19,38	4,50	4,50	24,96	4,43	4,43	43,72	43,72	43,72	43,72
30'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,10	43,10	43,10	43,10
35'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
40'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
45'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
50'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
55'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
60'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
75'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
90'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
105'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25
120'	10,92	4,27	12,94	4,28	16,25	4,35	4,35	19,35	4,46	4,46	24,93	4,39	4,39	43,25	43,25	43,25	43,25

Tableau : Enca de pompage du forage de N. Diego  
Niveau d'eau (en m. au dessus du rayon)

Le 30 de 31 janvier 1988  
pompe à 700m sur

de	forage au	de
0	30,96	30,96
1	30,92	30,94
1,30"	30,94	30,96
2	30,96	30,96
2,30"	30,96	30,96
3	30,97	30,96
3,30"	30,97	30,96
4	30,97	30,96
4,30"	30,97	30,96
5	30,96	30,96
5,30"	30,96	30,96
6	30,96	30,96
6,30"	30,96	30,96
7	30,96	30,96
7,30"	30,96	30,96
8	30,96	30,96
8,30"	30,96	30,96
9	30,96	30,96
9,30"	30,96	30,96
10	30,96	30,96
10,30"	30,96	30,96
15	30,96	30,96
20	30,96	30,96
25	30,96	30,96
30	30,96	30,96
35	30,96	30,96
40	30,96	30,96
45	30,96	30,96
50	30,96	30,96
55	30,96	30,96
60	30,96	30,96
65	30,96	30,96
70	30,96	30,96
75	30,96	30,96
80	30,96	30,96
85	30,96	30,96
90	30,96	30,96
95	30,96	30,96
100	30,96	30,96

Table n° 1  $Q = 12,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Table n° 2  $Q = 37,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Table n° 3  $Q = 47,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Table n° 4  $Q = 58,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Table n° 5  $Q = 75,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Table n° 6  $Q = 88,0 \text{ m}^3/\text{s}$

directe

directe

directe

directe

directe

directe

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0

12,5

38,0

47,0

58,0

75,4

88,0



## b. Bibliographie

- 1°) - ALBERT MABILLOT: - Le forage d'eau  
Collection Crepines Johnson S.A 1980
- 2°) - JEAN PIMIANTA - Le captage des eaux  
souterraines Editions Eyrolles 1972
- 3°) G. CASTANY Prospection et exploitation  
des eaux souterraines - Dunod 1968
- 4°) SECRETARIAT D'ETAT AUX AFFAIRES ETRANGERES  
CHARGE DE LA COOPERATION; BCOM - IEMVT:  
Techniques rurales en Afrique, bulletin n° 7, Hydraulique  
que pastorale. 1<sup>er</sup> trimestre 1973
- 5°) G. CASTANY - Traité pratique des eaux  
souterraines - Dunod - 1967
- 6°) MAKHTAR FALL: - Rapport d'évaluation (Decen-  
nie internationale de l'eau potable et de l'assainissem-  
ent) Direction de l'Hydraulique Urbaine et de  
l'Assainissement; République du Sénégal - Février 1984  
(References Decembre 83)