



HAL
open science

Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du grand Abidjan (Côte d'Ivoire)

Jean Patrice Jourda

► **To cite this version:**

Jean Patrice Jourda. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du grand Abidjan (Côte d'Ivoire). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1987. Français. NNT: . tel-00785527

HAL Id: tel-00785527

<https://theses.hal.science/tel-00785527>

Submitted on 6 Feb 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



JOURDA (J.R.P.)

Ex. n° 1

N° d'ordre :

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
TECHNOLOGIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR 3° CYCLE

de Géologie Appliquée
(option Hydrogéologie)

par

Jean Roger Patrice JOURDA

16 SEP. 1987
UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
E 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL: (76) 87.46.43

CONTRIBUTION A L'ETUDE GEOLOGIQUE
ET HYDROGEOLOGIQUE
DE LA REGION DU GRAND ABIDJAN
(COTE D'IVOIRE)

Soutenue, le 10 Septembre 1987, devant la commission d'examens :

R. BARBIER	Professeur émérite à l'USTMG	Président
J. SARROT REYNAULD	Professeur à l'USTMG	Rapporteur
P. ELOUARD	Professeur Université de Lyon	Examineur
J. ROCHAT	Professeur Pharmacie - USTMG	Examineur
J. CAMIL	Maître de conférence Université d'Abidjan	Examineur

N° d'ordre :

16 SEP. 1987

THESE

présentée à

**L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
TECHNOLOGIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE**

pour obtenir le grade de

DOCTEUR 3° CYCLE

de Géologie Appliquée
(option Hydrogéologie)

par

Jean Roger Patrice JOURDA

**UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
E 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL: (76) 87.46.42**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE GEOLOGIQUE
ET HYDROGEOLOGIQUE
DE LA REGION DU GRAND ABIDJAN
(COTE D'IVOIRE)**

NUB 10086121

Soutenue, le 10 Septembre 1987, devant la commission d'examens :

R. BARBIER	Professeur émérite à l'USTMG	Président
J. SARROT REYNAULD	Professeur à l'USTMG	Rapporteur
P. ELOUARD	Professeur Université de Lyon	Examineur
J. ROCHAT	Professeur Pharmacie - USTMG	Examineur
J. CAMIL	Maitre de conférence Université d'Abidjan	Examineur

UNIVERSITY OF TORONTO
INSTITUTE OF ARCHIVES
DOCUMENTATION
110 SPADINA AVENUE
TORONTO, ONTARIO M5S 1A5

A la mémoire de mon père

A la mémoire de mes grand -mères

A ma mère

A mon épouse

A mon fils

A ma famille

A mes amis

AVANT-PROPOS

La réalisation de ce mémoire ne s'est pas faite sans difficultés dont la liste serait trop longue à énumérer, c'est dire que le présent travail n'a pu s'accomplir que grâce à l'aide matérielle et morale de nombreuses personnes auxquelles je voudrais exprimer toute ma gratitude.

Mes remerciements et regrets vont tout d'abord à tous ceux que je n'aurais pu nommer ici.

Mais je ne saurais assez manifester ma reconnaissance au Professeur J. Sarrot Reynauld qui a bien voulu m'accueillir dans son laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut Dolomieu. C'est grâce à ses efforts, critiques et conseils que j'ai pu mener à terme ce travail. Je lui suis aussi très reconnaissant de l'attention toute particulière dont j'ai été l'objet et surtout de la chaleur toute africaine que j'ai eue auprès de lui pendant mon séjour à Grenoble.

Je remercie également :

Monsieur le Professeur R. Barbier pour l'honneur qu'il me fait de présider ce jury.

Monsieur le Professeur P. Elouard qui a accepté de participer à ce jury.

Monsieur le Professeur J. Rochat d'avoir accepté de juger ce mémoire auquel il a apporté une contribution notable en m'accueillant dans son laboratoire et, malgré ses nombreuses occupations, il n'a pas ménagé son temps en me prodiguant des conseils dans l'interprétation des données d'analyses chimiques de nos eaux.

Monsieur le Professeur J. Camil de m'avoir accueilli au département des Sciences de la terre de l'université d'Abidjan et pour sa participation à ce jury.

Je remercie Monsieur le Professeur J.P. Tastet de l'université de Bordeaux I, pour toute la documentation sur

le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire qu'il a bien voulu me fournir, et pour son apport appréciable au cours de l'étude géologique de notre travail.

Mes remerciements vont également à Monsieur Siédou Touré pour son aide dans la détermination et l'interprétation de la typologie des zircons.

Je tiens à remercier Monsieur Biémi Jean pour son aide, ses conseils et sa constante disponibilité pendant la réalisation pratique de ce mémoire. Sans ses efforts et ses encouragements, ce travail n'aurait probablement pas abouti.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants et le personnel non enseignant du département des Sciences de la terre de l'université d'Abidjan avec une pensée pour Yacé Patrice en souvenir de notre amitié.

Ma reconnaissance va également à Monsieur Djouka Albert, Directeur de l'eau, pour son soutien moral et matériel ainsi qu'à Monsieur Sacko Mamadou, Directeur de la D.R.E.S. pour m'avoir permis d'utiliser les données hydrologiques.

Je remercie Monsieur Séry Gbalouan, Directeur de la production de la Sodeci, ainsi que Monsieur Tapé Luc, Chef du laboratoire d'analyses d'eaux de la Sodeci.

Mes remerciements vont notamment à Messieurs Eloh Kadjo, Kopoin Kopoin, Goué Bernard, Kouamé Angelo et Aké Akpélé.

Je remercie tous mes amis ainsi que les collègues du troisième cycle de l'Institut Dolomieu, en particulier Djeuda Tchapgna pour les échanges instructifs que nous avons eus.

Je remercie Mademoiselle Annick Faucon pour la dactylographie de ce mémoire.

Je veux enfin exprimer toute ma gratitude et ma profonde reconnaissance à ma famille avec une mention spéciale à mon oncle Niangara Antoine et à son épouse pour tout ce qu'ils ont fait pour moi tout au long de mes études.

Mes derniers mots sont des mots de tendresse pour

mon épouse Françoise et mon fils Stéphane que j'ai souvent quittés et parfois longuement pour réaliser ce travail.

A tous je dis merci.

"La vérité de demain se nourrit de
l'erreur d'hier, et les contradictions
à surmonter sont le terreau même de
notre croissance"

Antoine de Saint Exupéry

RESUME

Après avoir décrit le cadre géologique de la région d'étude située à cheval sur le bouclier ouest africain et le bassin sédimentaire côtier, sont tout d'abord, traitées les données hydroclimatologiques nécessaires à l'établissement du bilan hydrologique du bassin versant témoin du Gbangbo.

Les résultats des essais de pompages effectués, ainsi que la mesure directe de la perméabilité par essais d'infiltration sur le terrain ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (T, S et K) de la nappe du continental terminal et des aquifères fissurés du socle métamorphiques.

L'interprétation de l'évolution des niveaux piézométriques et des cartes piézométriques a permis de mettre en évidence les divers types d'écoulement et les zones d'alimentation de la nappe du continental terminal du bassin sédimentaire.

L'étude hydrochimique a montré que l'acidité de l'eau de la nappe du continental terminal est due à la présence d'ions hydrogène libérés lors d'échanges entre les eaux provenant du socle cristallin et les minéraux contenus dans les assises sédimentaires pauvres en cations ; le déséquilibre de la balance ionique est équilibré par ces ions hydrogène. Les analyses des teneurs en isotopes stables et instables (Tritium et oxygène 18) ont montré que les eaux exploitées par forage au delà de cinquante mètres de profondeur sont pour la majeure partie des eaux souterraines ne se renouvelant que très lentement.

Mots clés : Bouclier ouest africain - Continental terminal - Bilan hydrologique - Caractéristiques hydrodynamiques - Nappe - Niveaux piézométriques - Cartes piézométriques - Acidité - Ions hydrogène - Balance ionique - Isotopes.

INTRODUCTION

Les travaux de notre mémoire ont consisté, dans une première phase, à faire une synthèse de tous les travaux géologiques exécutés dans la région, tout en essayant d'apporter des éléments nouveaux dans la connaissance de la géologie de la région du grand Abidjan.

Ensuite, en nous aidant des études piézométriques, hydrochimiques et isotopiques, à chercher à déterminer les zones d'alimentation et les modes de recharge de la nappe du continental terminal, et de mettre en évidence l'alimentation de celle-ci par son contact avec le socle cristallophyllien au nord du bassin sédimentaire.

Depuis longtemps, les résultats d'analyses chimiques et physicochimiques ont montré que la nappe du continental terminal est très acide et que la balance ionique est déséquilibrée en faveur des anions.

L'un des buts essentiels de notre travail a consisté, grâce à l'étude hydrochimique, à déterminer la cause principale de cette acidité des eaux et l'origine du déséquilibre de la balance ionique.

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LA COTE D'IVOIRE

I₁ : Cadre physique

I₂ : Géologie

I₃ : Hydrogéologie

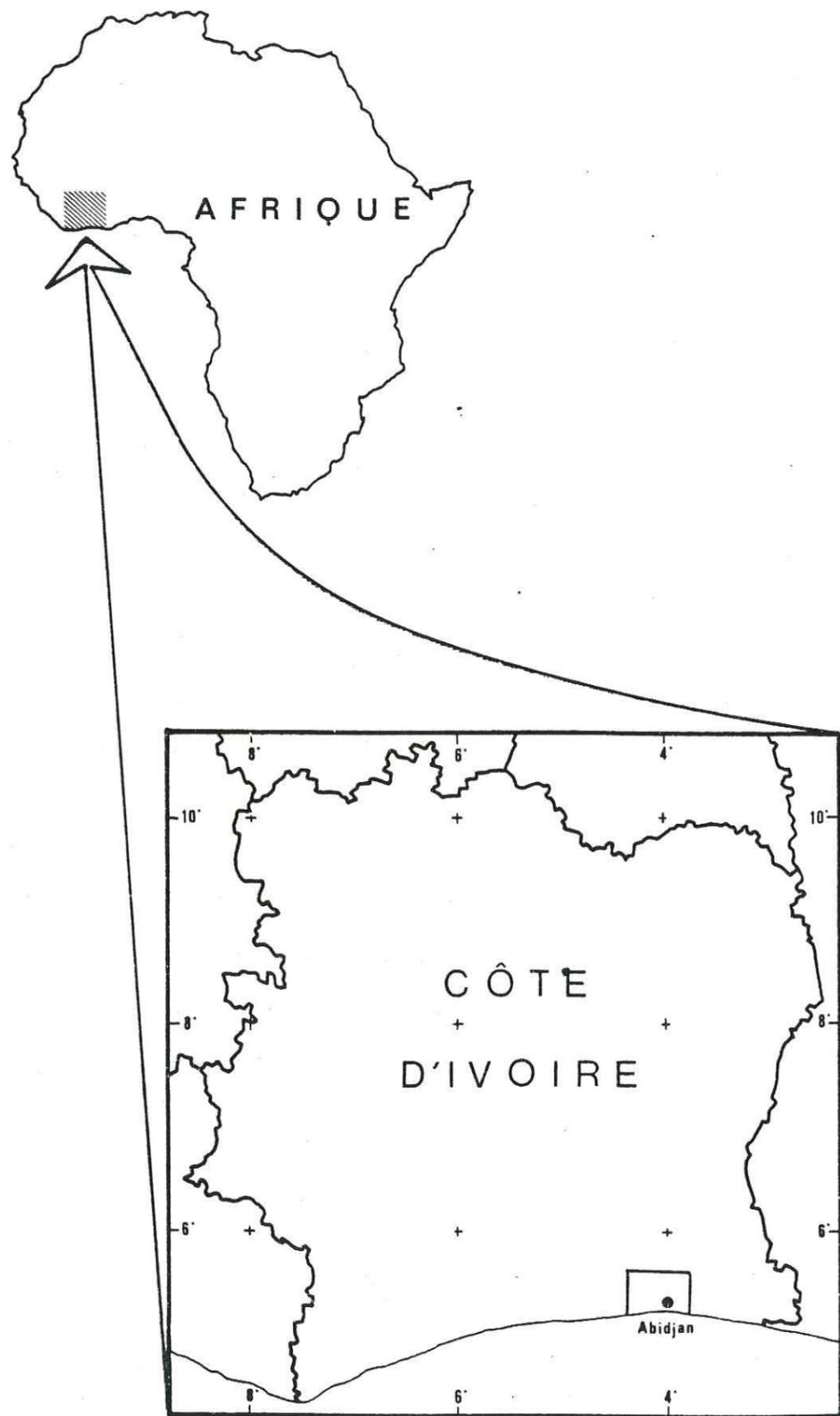


Fig I₁ : Situation géographique de la Côte d'Ivoire

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA COTE D'IVOIRE

I₁ Cadre physique

I₁₁ Situation géographique - relief

Située entre 4° 30 et 10° 30 de latitude nord et appartenant au vaste ensemble qu'est l'Afrique occidentale, la Côte d'Ivoire couvre 322 000 Km².

Elle est bordée au sud par le golfe de Guinée (océan atlantique), à l'ouest par le Libéria et la Guinée, au nord par le Mali et le Burkina Faso, à l'est par le Ghana.

La Côte d'Ivoire présente dans l'ensemble des reliefs peu contrastés et monotones. Les altitudes croissent insensiblement du Sud-Est vers le Nord-Est. On distingue cependant, dans cette uniformité apparente, trois grands types de reliefs eux-mêmes divisés en un certain nombre d'unités plus petites.

Il s'agit essentiellement de la zone Sud au relief de plaine, la zone Centre et Nord où dominent des plateaux étagés recouverts de cuirasses latéritiques, la zone Ouest et Nord-Ouest au relief plus contrasté évoquant une région montagneuse.

I₁₂ Le climat et la végétation

I_{12.1} Le climat

Se trouvant entièrement en zone intertropicale, la Côte d'Ivoire connaît des climats chauds qui font la transition entre les climats équatoriaux humides et les climats tropicaux secs.

Le pays est soumis alternativement à l'effet de deux principales masses d'air de nature différente :

- Une masse d'air subtropicale chaud, sec et souvent chargée de fines poussières (vent d'Harmattan) ;
- Une masse d'air humide venant de l'océan atlantique.

Le contact entre ces deux masses d'air est une surface oblique inclinée du Sud vers le Nord. Cette surface est appelée le Front intertropical (F.I.T.).

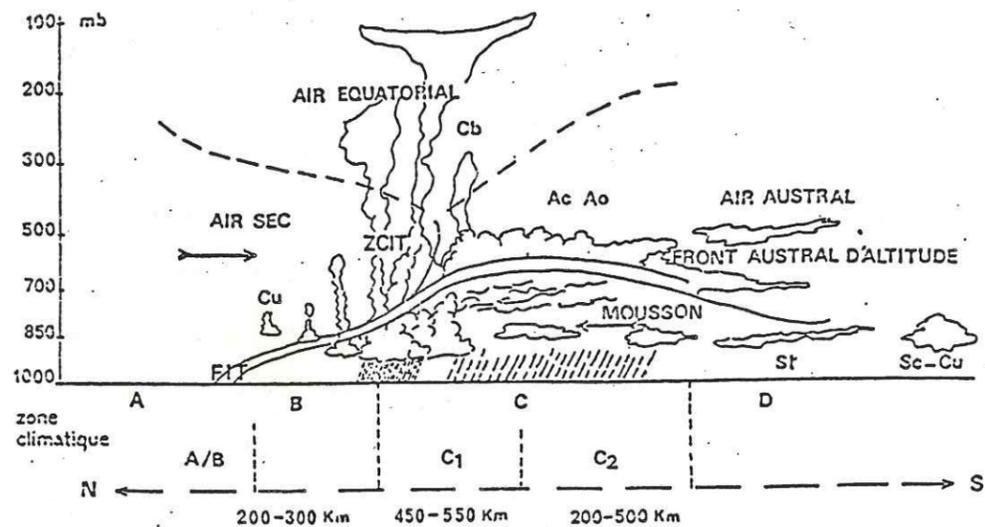


Fig. I₂ : Disposition des différentes zones dans le F.I.T.

C'est le déplacement saisonnier du F.I.T. qui détermine le climat en Afrique de l'ouest et en particulier en Côte d'Ivoire.

De novembre à février, seules les zones A et B recouvrent le territoire. De mars à novembre le mouvement du F.I.T. vers le Nord et son retour vers le Sud fait se succéder les zones B, C et D sur le territoire. Le schéma du mécanisme des

variations climatiques saisonnières est illustré par la Fig. I₃ ci dessous.

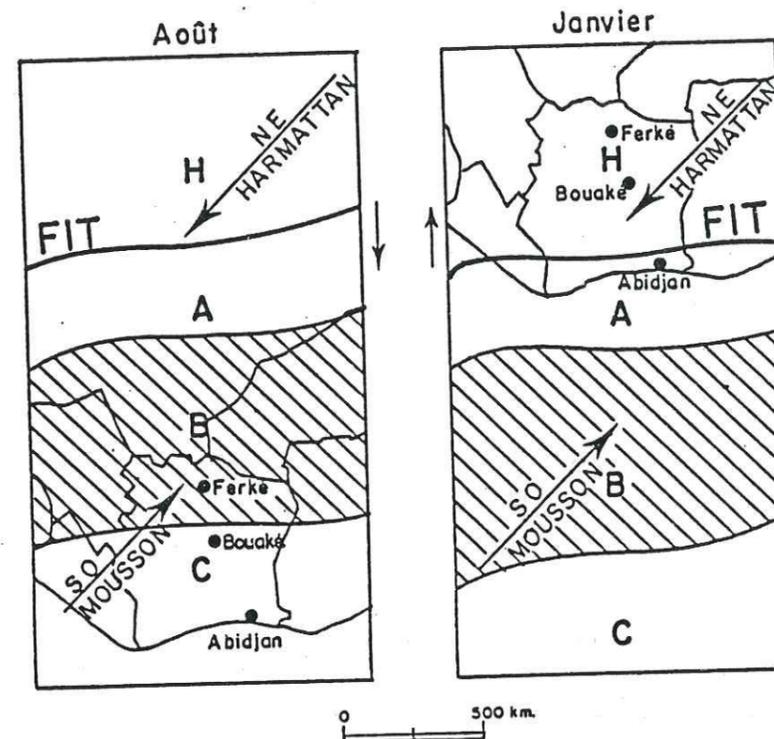


Fig. I₃ : Schéma du Mécanisme des variations climatiques saisonnières

Les températures moyennes annuelles sont très uniformes d'une région à l'autre ; les températures moyennes mensuelles varient peu d'une saison à l'autre. Par contre, l'importance des précipitations permet de souligner des différences saisonnières d'une part et régionales d'autre part.

I_{12.2} La végétation

Deux grands types de paysages végétaux se partagent le

territoire ivoirien :

- Un paysage forestier ;
- Un paysage de savane subdivisé en savane arborée et en savane herbeuse.

Le premier correspond à la moitié Sud du pays et appartient au domaine guinéen ; le second occupe la moitié Nord et se rattache au domaine soudanais.

I₁₃ Réseau hydrographique

Le système hydrographique comprend quatre fleuves principaux de direction générale Nord-Sud : de l'Ouest à l'Est, nous avons le Cavally, le Sassandra, le Bandama et la Comoé.

Les petits fleuves cotiers : le Néro, le San Pedro, Boubo, Go, la Me, Agnebi, etc..., le plus puissant étant la Bia.

- Le Cavally : fleuve frontière, prend sa source en Guinée vers 600 mètres d'altitude. Il bénéficie du régime montagnard. C'est à dire que la petite saison sèche est pratiquement supprimée. Les hautes eaux durent de mai à octobre et les variations intermensuelles sont importantes ;

- Le Sassandra : il prend aussi sa source en Guinée près de Beyla ;

- Le Bandama est le seul fleuve ayant son bassin versant situé entièrement en Côte d'Ivoire (97 500 Km²). Il est grossi par la Marahoué, ou Bandama rouge, et le N'Zi. Il est coupé de rapides au Sud de Tiassalé et son utilisation par la navigation s'en trouve réduite. Sur le Bandama sont installés deux barrages hydroélectriques : le barrage de Kossou et celui de Taabo.

- La Comoé : Elle prend sa source dans les plateaux gréseux du Burkina Faso vers Banfora. Elle franchit les escarpements gréseux par de magnifiques cascades, et s'assagit rapidement en Côte d'Ivoire. Elle se jette dans l'océan en perçant le cordon littoral à Grand-Bassam.

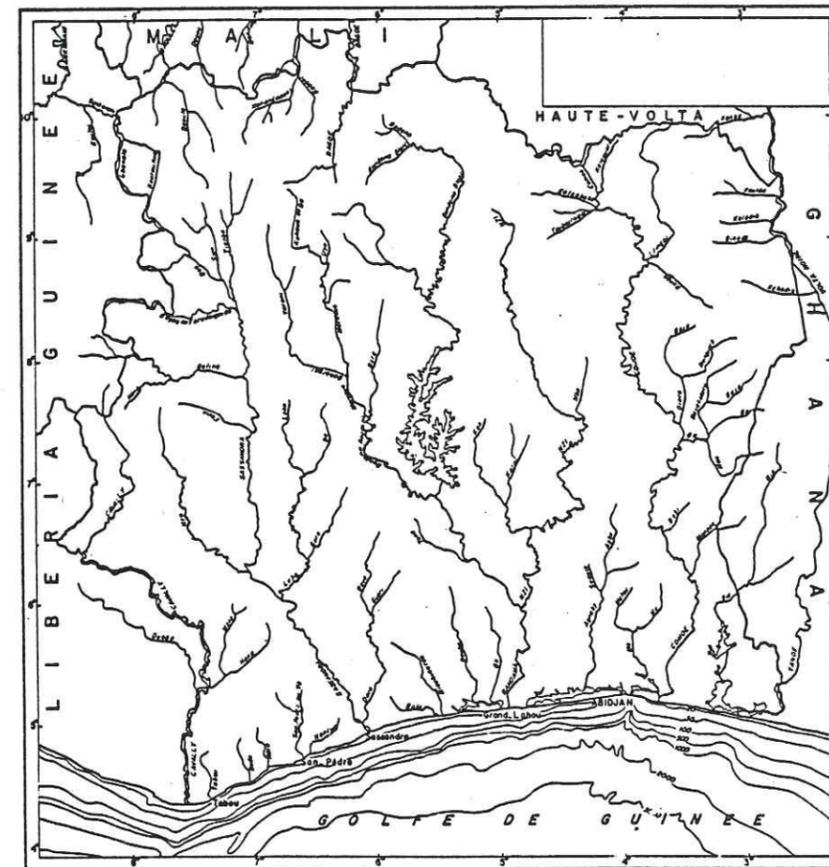


Fig. I₄ : Réseau hydrographique de la Côte d'Ivoire

Le relief du pays étant modeste aux dénivellations

atténuées, les fleuves n'ont pas de fortes pentes et leur vitesse d'écoulement est souvent faible. Mais ils sont quelquefois hachés de rapides, ou bien coupés de véritables chutes. La navigabilité étant donc médiocre.

Sur l'ensemble du territoire, la Côte d'Ivoire bénéficie d'apports en eau considérables. Toutefois, les régimes sont très différents selon les régions, et l'irrégularité saisonnière est grande. Même les régimes les mieux équilibrés nécessitent une régularisation, ainsi la retenue de Koussou a-t-elle été conçue d'abord dans le but de régulariser le débit du Bandama pour réaliser l'aménagement hydroélectrique par des barrages en aval.

I₂ Géologie

I₂₁ Introduction

L'histoire géologique de la Côte d'Ivoire se confond avec celle du craton Ouest-Africain et de sa couverture : Voir figure I₆

Le craton Ouest-Africain est l'un des trois grands cratons effectifs occupant le continent séparés par des zones mobiles.

Jusqu'à une date récente, son histoire se résumait en Côte d'Ivoire en deux grands mégacycles :

- Mégacycle Libérien : Il va de 3 000 - 2 300 Ma au sein duquel on note la manifestation de l'orogénèse libérienne datée entre 2 850 et 2 460 Ma ;

- Mégacycle Eburnéen : Il débute autour de 2 300 Ma et dont la fin est située vers 1 500 Ma. Ce mégacycle est aussi marqué par une orogénèse dite Eburnéenne (2 000 - 1 800 Ma) qui met en place une série de roches plutoniques.

Plus récemment P. Tempier a, dans une communication faite lors de la journée scientifique sur les formations birimiennes en Afrique de l'Ouest parue dans la publication occasionnelle du C.I.F.E.G. en 1986, subdivisé le mégacycle Eburnéen en deux cycles orogéniques distincts :

- Un cycle orogénique appelé Burkinien couvrant la période 2 300 - 2 100 Ma avec des formations géologiques correspondantes nommées Dabakalien. Cette unité géologique a été définie entre 1982 et 1985 par S. Lemoine, à partir d'études

ivoirienne du craton, sauf des venues doléritiques dont les dates de mise en place s'étalent du Protérozoïque inférieur au Carbonifère. B. Tagini (1971) note qu'à titre d'hypothèse on pouvait les rapporter respectivement aux phases orogéniques varisque moyenne, taconique calédonienne, pan-Africaine, "damarienne" (Dahomey), Kibarienne (1100 ± 200 Ma) et Tardi Eburnéenne sens large (1730 Ma).

La couverture de ce craton n'est plus représentée en Côte-d'Ivoire que par une mince bande de formations sédimentaires allant du crétacé au quaternaire. Le socle est séparé des formations sédimentaires par la discordance de base du Néogène, d'où une lacune sédimentaire de 1900 Ma.

I₂₂ Formations géologiques

La Côte d'Ivoire est à 95 % couverte de socle cristallin. La partie restante est occupée au sud par un bassin sédimentaire côtier.

I_{22.1} Le socle

I_{22.1.1} Les roches cristallines

Elles ont une répartition homogène sur tout le territoire ivoirien mais recouvertes au sud par les formations sédimentaires.

Les roches cristallines sont classées par rapport aux différentes orogénèses et suivant leur composition pétrographique. On distingue de ce fait :

- Les granitoïdes type baoulé synthectoniques, les plus

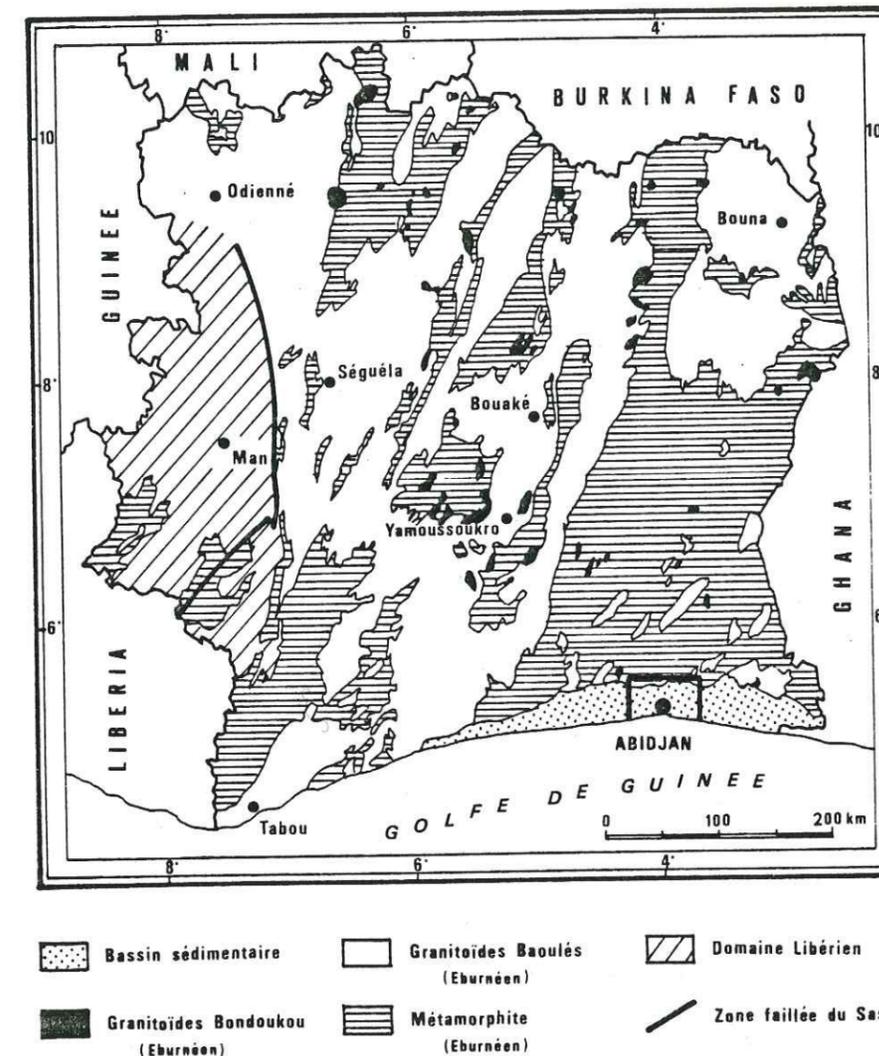


Fig. I₇ : Carte géologique simplifiée de la Côte d'Ivoire d'après la carte au 1/1 000 000 de B. Tagini, 1971

répendus et se caractérisant par :

- * leur gisement concordant avec les autres formations encaissantes ;

- * leur grande extension ;

- * leur structure orientée ;

- * leur composition hétérogène.

- Les granitoïdes type bondoukou, intrusifs circonscrits avec un certain nombre de caractères communs à savoir :

- * gisement discordant et circonscrit ;

- * faible extension (en général moins de 100 Km²) ;

- * homogénéité ;

- * Texture équante ;

- * structure grenue à plagioclases automorphes et souvent zonés ou microgrenue porphyrique dans les faciès de bordure et dans les plus petits massifs ;

- * extrême rareté de pegmatites et aplites, mais satellite filoniens.

^I_{22.1.2} Les métamorphites

Sous le terme de métamorphite sont regroupées deux unités structurales bien distinctes qui sont :

- Les formations volcano-sédimentaires ;

- Les formations de Flysch et molasses.

Les formations ont une répartition homogène sur l'ensemble du territoire mais avec une présence plus significative à l'est de la zone faillée du Sassandra.

^I_{22.1.2.1} Formation volcano-sédimentaire

Cette formation est composée de laves dont la composition chimique va des roches basiques aux roches acides, associées aux roches sédimentaires chimiques et pélitiques.

^I_{22.1.2.2} Formation de flyschs et molasses

Ce sont des formations sédimentaires clastiques dont la base est formée par des conglomérats, suivie par des formations plus fines flyschoides.

La série se termine par des éléments plus ou moins conglomératiques appelés paramolasses.

Ces deux formations forment des corps allongés orientés en gros N.E - S.W. et constituent respectivement l'étage structural inférieur et moyen définis par B. Tagini, 1971.

^I_{22.1.3} Le domaine libérien

Nous avons constitué un paragraphe à part à cause du caractère bien particulier des roches qui le composent.

Cette zone est située à l'ouest du grand accident du Sassandra dans la partie occidentale du pays.

Les principales roches qui composent ce domaine sont :

- Les gneiss rubanés et les gneiss charnockitiques ;
- Les quartzites à magnétite ;
- Les granulites roses ;
- Les charnockites ;
- les migmatites à biotites.

(Voir figure I₇)

I_{22.2} Le bassin sédimentaire côtier

Le sud de la Côte d'Ivoire est occupé par un bassin sédimentaire côtier d'une superficie de 8 000 Km².

Ce bassin dessine la forme d'un croissant peu incurvé dont les pointes sont tournées vers la mer.

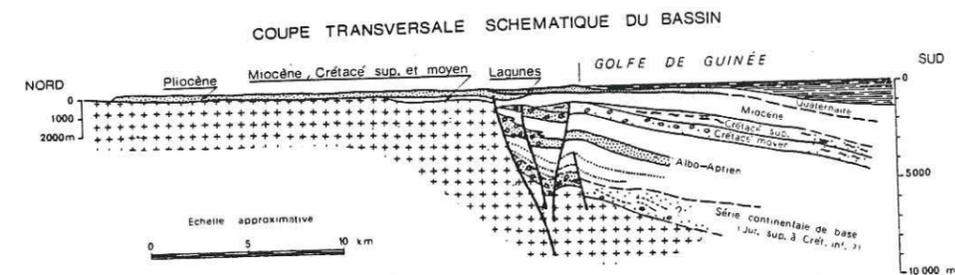
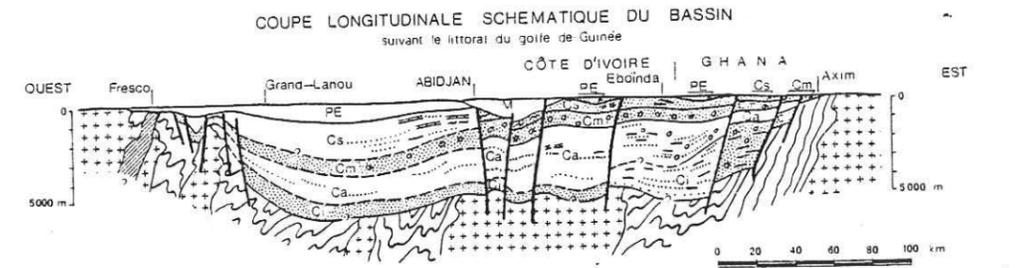
D'une longueur allant depuis la région de Fresco à l'ouest, jusqu'au Ghana à l'est. La largeur n'excédant pas quarante kilomètres.

Le bassin est divisé en deux parties inégales par un accident majeur orienté W. E. dont le rejet atteint 3 500 mètres vers Abidjan :

- Un compartiment nord où le socle est peu profond (1 70 mètres à Locodjro) ;
- Un compartiment sud subsident.

Les formations sédimentaires sont constituées :

- D'argiles et d'argiles sableuses ;
- De sables et de grès ;



- | | |
|---|---|
|  Schistes birrimiens |  Conglomérats |
|  Roches basiques |  Calcaires |
|  Gneiss et granit |  Calcaires à lamuchelle |
|  Argiles |  Alternance de sables et de grès |
|  Sables et grès | |

Fig. I₈ : Structure du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire (d'après de Spengler et Delteil, 1963)

- De conglomérats ;
- De sables glauconieux ;
- De marnes.

La structure du bassin est donnée par les deux coupes de la figure I₈.

I₂₃ Répartition temporelle des formations géologiques

La grande majorité des formations géologiques rencontrées date du Précambien. Les roches cristallines faisant partie du domaine libérien (Domaine Kenema - Man) datent de l'Archéen.

Les autres formations cristallines situées sur toute l'étendue du pays vont du Protérozoïque inférieur au Protérozoïque moyen. Les différentes mesures radiométriques sur Zircon (méthode U / Pb), sur les minéraux et roches totales (méthode Rb / Sr) ont donné des âges qui s'étalent de - 3 300 Ma (gneiss de Man, Camil, 1984) à 1 800 Ma.

Une illustration de cet étalement des dates est donnée par l'histogramme des âges pour la Côte d'Ivoire et le Burkina Faso sur la figure I₉ ci-dessous.

Les âges ont été obtenus sur des échantillons provenant du domaine Baoulé - Mossi. (Protérozoïque inférieur)

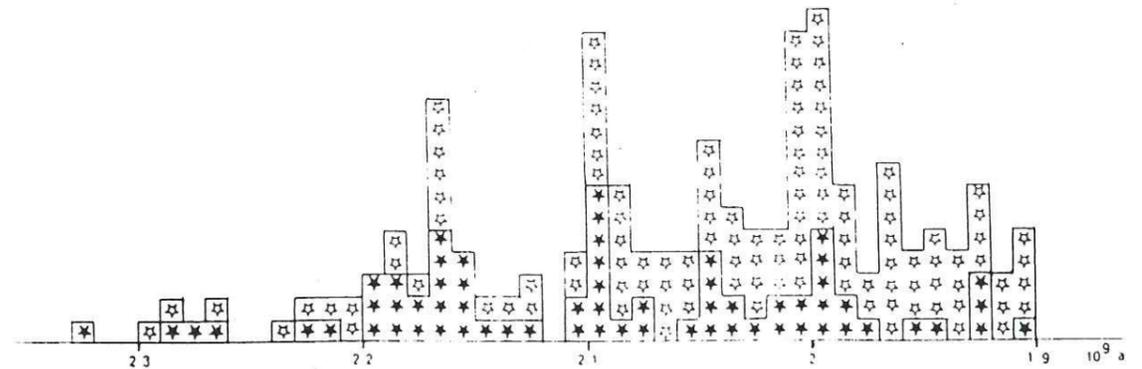


Fig I₉ Histogramme des âges pour la Côte d'Ivoire et le Burkina Faso.
 Etoiles pleines : âges sur zircons (U/Pb) et par isochrone Rb/Sr sur roches totales ;
 Etoiles vides : âges Rb/Sr sur minéraux. Tempier, 1986)

Le supergroupe volcano sédimentaire associé au supergroupe de comblement constitue l'unité tectono stratigraphique appelé birrimien et celui-ci date du protérozoïque inférieur.

Les formations sédimentaires transgressives sur le socle débutent au crétacé moyen à supérieur et vont jusqu'au quaternaire.

I₂₄ La Tectonique

I_{24.1} Tectonique plicative

Tagini (1971) montre qu'au niveau des formations birrimiennes, les plis sont droits plus ou moins serrés avec une schistosité verticale de fracture ou de flux, orientés N.E. - S.W. En général cette schistosité est confondue avec la stratification. La subverticalité quasi générale des plans axiaux prouve l'absence de nappes et rarement des plis couchés. Les plis épousent le socle et moulent la déformation du bâti épilibérien.

Les directions plicatives libériennes sont sensiblement

parallèles aux directions éburnéennes. Dans la région de Man Camil (1984) met en évidence des plis découlement isoclinaux de phase (n + 1) repris ultérieurement par les structures majeures (n + 2) orientés N.E. - S.W. à axe peu penté (15 à 30°). Il note également, dans cette même région, la présence de plis majeurs à axe fortement redressé (75°) ce qui laisse supposer une phase de déformation supplémentaire.

I_{24.2} Tectonique cassante

La Côte d'Ivoire présente trois principaux faisceaux d'accidents majeurs :

- Le premier est subméridien à méridien, représenté par l'accident du haut N'Zi, du Sassandra, de Gagnoa, de Brobo et le tout dernier, mis en évidence par Vidal et Guibert (1984), est l'accident de Wango Fitini. Ce dernier étant un couloir cisailant senestre ductile ;
- Le second orienté 30 - 40° Nord, concordant avec la direction plicative birrimienne, est représenté par l'accident du Mont Trou, par l'accident de Dimokro, etc...
- Le troisième, orienté 120 - 130° Nord est parallèle aux filons doléritiques du Sud-Ouest.

Il faut aussi noter l'existence de l'accident majeur de Danané - Man orienté E.W., qui est un cisaillement chaud ductile (Camil 1984)

L'importance relative des diverses directions principales pour l'ensemble du pays est illustrée par la figure I₁₀.

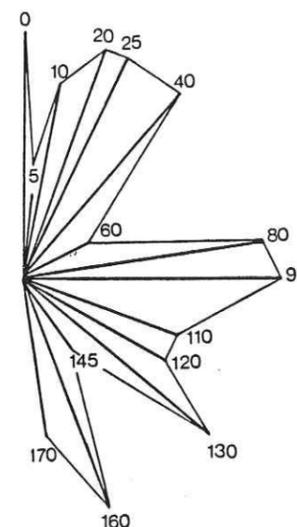


Fig. I₁₀ : Importance relative des diverses directions principales pour l'ensemble du pays

Les accidents dont l'âge n'est pas déterminé pour la plupart, sauf quelques uns d'entre eux. Camil (1984) fait remarquer que l'accident du Sassandra était déjà actif pendant la migmatisation liée au métamorphisme granulitique daté à 2850 Ma, et que par conséquent cet accident serait donc vieux d'au moins 2850 Ma. Les dernières manifestations de l'activité de cet accident ont été datées à 1650 Ma, correspondant aux derniers événements magmatiques du cycle éburnéen sens strict. Le même auteur pense que l'accident du Danané - Man est plus vieux que celui du Sassandra pour trois raisons :

- Il est partiellement rebroussé par celui du Sassandra ;
- Il a été la zone de flexure qui a permis la formation du

bassin sédimentaire où se sont déposées les quartzites antérieurement à 2850 Ma ;

- La charnockite intrusive qu'il déforme à chaud s'est mise en place à 2780 Ma.

Vidal et Guibert (1984) estiment que le couloir de cisaillement senestre ductile de Wango Fitini serait comparable, bien que situé à un niveau structural moins profond, au cisaillement senestre de Brobo d'âge éburnéen mis en évidence par S. Lemoine (1982).

I_{24.3} Tectonique du bassin sédimentaire

La partie émergée du bassin est traversée d'Ouest en Est par l'accident majeur des lagunes qui est une faille normale de distension extrêmement importante liée à l'ouverture de l'Atlantique. Cette faille dont le rejet atteint 3 500 mètres au niveau d'Abidjan présente un pendage Sud et recoupe obliquement les directions tectoniques du socle. Elle a joué en subsidence depuis le crétacé et peut être le jurassique supérieur (Tastet, 1979).

Le bassin ante-tertiaire qui s'étend en mer jusqu'à environ l'isobathe 5 000 mètres est traversé par le prolongement de la fracture romanche en partie parallèle à l'accident du littoral.

Sur le glacis continental, une série de failles détermine un accident important dénommé "accident majeur du Glacis" (ARENS et AL, 1970, in Tastet, 1979).

On note au droit d'Abidjan, la présence d'un important

canyon sous marin (Trous-sans-fond) perpendiculaire aux grandes fractures dont l'origine est en partie tectonique (Martin, 1973 a et 1973 d, in Tastet, 1979) pourrait dénoter la présence d'accidents transverses aux fractures principales. Un aperçu de la tectonique du bassin est donné par la figure ci-dessous.

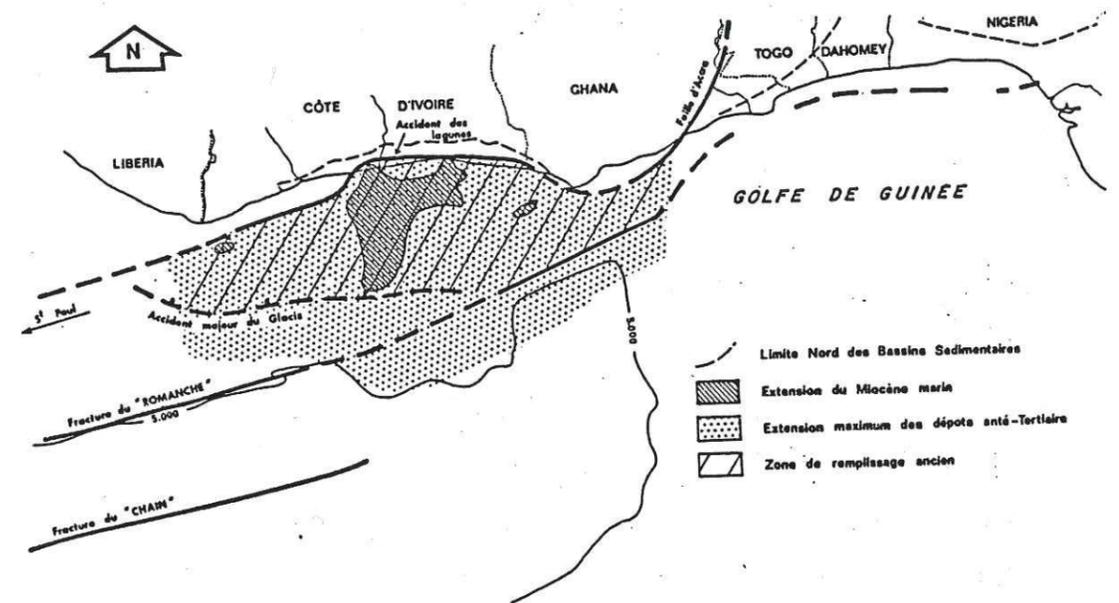


Fig. I₁₁ : Tectonique du bassin sédimentaire (d'après ARENS et AL, 1970)

I₃ Hydrogéologie

I₃₁ Historique des recherches

Les premiers écrits parlant de l'hydrogéologie en Côte d'Ivoire sont de Hubert H. consignés dans ses rapports sur les

eaux souterraines en Afrique occidentale Française édités en 1915 et 1934.

De 1950 à 1960, il y eut de nombreuses études ponctuelles faites dans le cadre de l'inventaire des points d'eau, de l'implantation de puits et forages pour l'approvisionnement des différentes régions en eau potable.

L'ouvrage de Jean Archambault "Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale", publié en 1960, fait la synthèse des études hydrogéologiques en Afrique de l'Ouest.

Il a fallu attendre 1962 pour voir une publication de synthèse sur les études hydrogéologiques en Côte d'Ivoire faite par Guerin Villeaubreil.

Dans la première décennie de l'indépendance (1960 - 1970), des études élaborées ont été exécutées par les organismes comme le C.I.E.H., le Burgeap, le B.R.G.M. et l'O.R.S.T.O.M.

Le tournant important dans la recherche hydrogéologique en Côte d'Ivoire est la démonstration -entreprise en 1965 dans la "boucle du cacao"- de l'existence de ressources en eau intéressantes dans les roches anciennes saines sous la couverture d'altération peu perméable.

A partir de 1970, le constat d'un accroissement rapide des populations urbaines et des disparités croissantes entre les conditions de vie des villageois et celle des citadins, décide le gouvernement ivoirien à prévoir à cet effet un programme national d'hydraulique villageoise qui se fixe l'objectif de réaliser 10 000 points d'eau de 1975 à 1985 sur tout le territoire.

Pour mener à bien ce projet, les pouvoirs publics créent en 1973 le service autonome de l'hydraulique (S.A.H.) qui deviendra en 1977, la direction centrale de l'hydraulique (D.C.H.). En outre, eu égard à l'ampleur du projet, il fut décidé la création d'une société nationale de forages : la Forexi.

Le premier projet fut le projet Coton. Par la suite il y a eu de nombreux autres projets dont le projet V.F.E.D. Le dernier projet pour 1987 est le projet B.O.A.D.

I₃₂ Les principaux aquifères

Les ressources en eau souterraine de la Côte d'Ivoire sont contenues dans deux types d'aquifères :

- Les aquifères relativement homogènes à perméabilité intergranulaire et de grande extension ;
- Les aquifères discontinus à perméabilité d'origine fissurale.

Les premiers sont localisés dans le bassin sédimentaire au sud de la Côte d'Ivoire et les seconds sont répartis sur l'ensemble du territoire en conformité avec la configuration géologique du pays.

I_{32.1} Aquifères continus

Il y a trois niveaux aquifères dans le bassin sédimentaire :

- Les sables quaternaires ;
- Le continental terminal (Mio-pliocène) ;

- Le crétacé supérieur.

I_{32.1.1} Les sables quaternaires

Les nappes qu'ils renferment sont très vulnérables à la pollution car leurs surfaces libres sont à faible profondeur sous le sol.

La géométrie du réservoir varie de 4 à 20 mètres tous niveaux confondus. La perméabilité allant de 1.10^{-3} à 4.10^{-5} m/s.

I_{32.1.2} Le continental terminal

C'est l'aquifère principal du bassin côtier utilisé pour l'alimentation en eau de la ville d'Abidjan.

La géométrie des formations est inclinée vers la mer avec une puissance maximum de 160 mètres au niveau d'Abidjan.

La perméabilité calculée est de 10^{-6} à 10^{-3} m/s, mais elle se réduit localement à 10^{-5} ou 10^{-6} m/s par suite de la présence des lentilles d'argiles dans les sédiments.

L'eau est peu minéralisée avec des PH très acides, ce qui nécessite une désacidification à la chaux pour la consommation urbaine.

I_{32.1.3} Le crétacé supérieur

C'est une nappe située à 200 mètres de profondeur dans les bancs calcaires du maestrichtien. Le réservoir est un biseau qui s'insère au nord de la faille de bordure du bassin sédimentaire côtier, entre le socle et les sables du continental terminal dont il n'est pas vraiment séparé.

Les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère sont encore mal connues à cause de l'insuffisance des forages qui

le captent.

Sur le plan géochimique, l'eau est bicarbonatée calcique et légèrement magnésienne.

I_{32.2} Aquifères discontinus

Vue la nature géologique (Roches granito-gneissiques et schisteuses) des terrains, deux types d'aquifères au comportement hydrogéologique différent ont été mis en évidence :

- Aquifère de la tranche altérée ;
- Aquifère de la tranche fissurée ou fracturée de la roche saine.

I_{32.2.1} Aquifère de la tranche altérée

Si nous nous situons sur les terrains granito-gneissiques, c'est en général au niveau des couches les plus sableuses, voire graveleuses sises à proximité du contact de la couche d'altération et de la roche saine qu'on a les venues d'eau les plus importantes ; contact qu'il convient donc d'atteindre lors de l'exécution des ouvrages de captages (puits et forages).

En 1977, une série d'environ cent puits, forés dans la couche d'altération au nord du pays, ont fourni des débits spécifiques moyens de $0,26 \text{ m}^3/\text{h/m}$ (socle non atteint) et de $0,36 \text{ m}^3/\text{h/m}$ (socle atteint). Les débits d'exploitation de ces puits varient de 6 à $12 \text{ m}^3/\text{jour}$.

Au cours de la campagne de la "boucle du cacao", les essais d'exploitation ont montré que les ouvrages captant la tranche altérée des formations birrimiennes schisteuses, à

perméabilité faible, se colmataient rapidement par apport de particules argileuses. Par conséquent, ces venues d'eau n'ont pas été exploitées contrairement à ce qui se passe dans les arènes granito-gneissiques. Par contre, cette tranche altérée présente généralement une assez forte porosité utile et constitue en revanche une importante réserve hydraulique exploitable par l'intermédiaire de réseau des fissures drainantes communiquant avec elle.

I_{32.2.2} Aquifère de la tranche fissurée ou fracturée

Que nous soyons sur socle granito-gneissique ou sur socle birrimien, la profondeur de répartition des fractures est presque partout la même. Celle-ci est répartie autour des trente premiers mètres se trouvant en dessous de la tranche altérée comme nous le montre la figure I₁₂ ci-dessous où l'on voit que 75 % des venues d'eau y sont apparues.

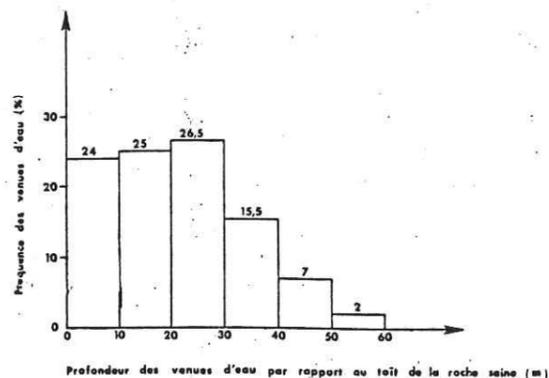


Fig. I₁₂ : Répartition des venues d'eau dans la roche saine (d'après J.C. Fahy et al, 1980-81)

Les aquifères de cette tranche sont d'autant plus productifs que le socle est fissuré et que l'épaisseur des altérites qui le surmontent est plus importante. Ces réseaux de fissures jouent le rôle de drain pour les réserves d'eau stockées dans la zone altérée. Mais au niveau des formations birrimiennes, la fréquence des venues d'eau diminue régulièrement lorsque cette épaisseur augmente pour atteindre 50 mètres.

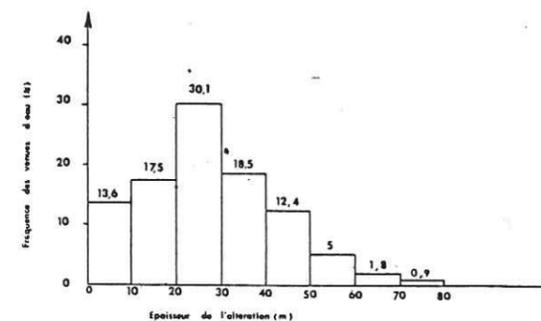


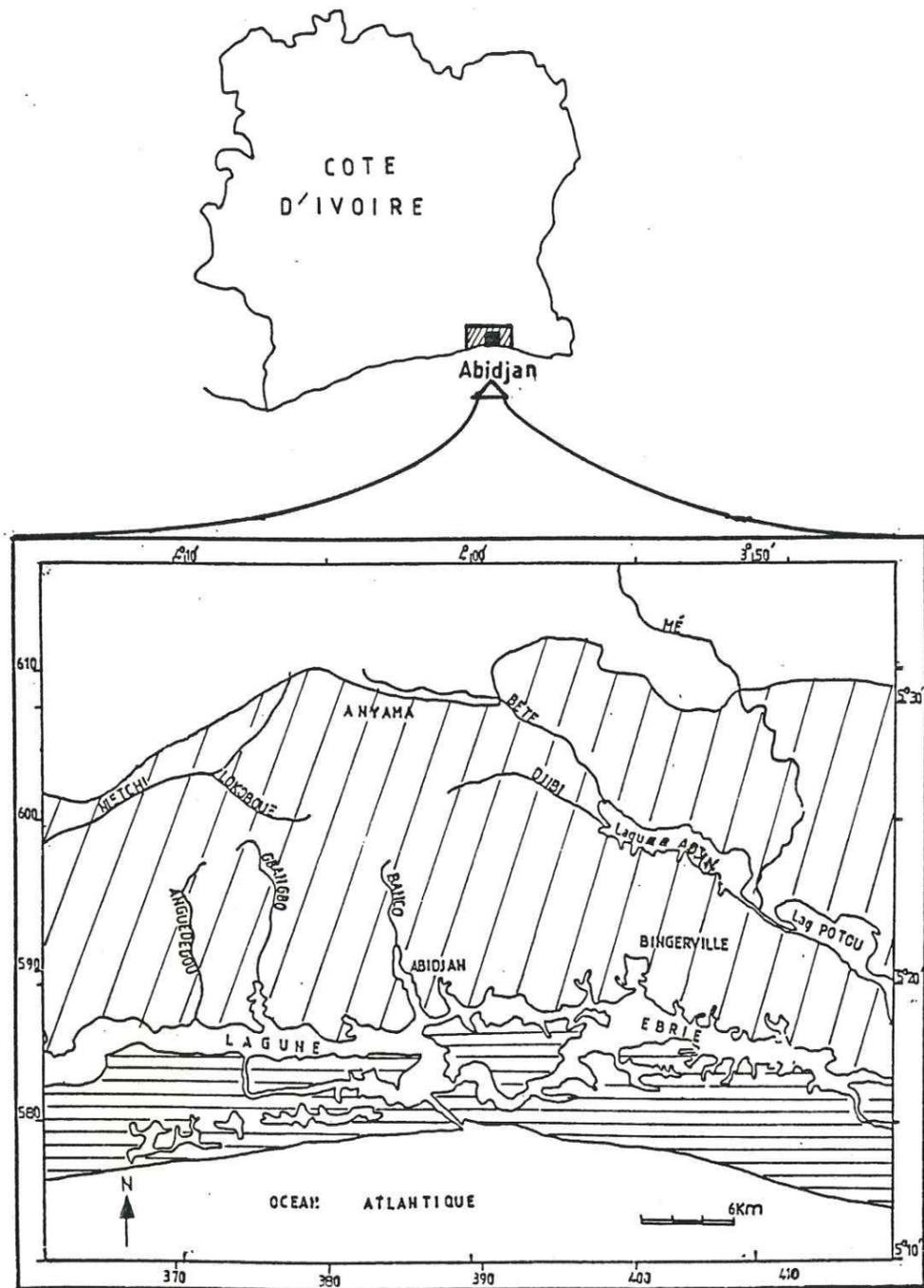
Fig I₁₃ : Fréquence des venues d'eau dans la roche altérée et dans la roche saine en relation avec l'épaisseur d'altération (d'après J.C. Fahy et al, 1980-81)

Au niveau du socle granito-gneissique, les débits obtenus varient de 2 à 5 m³/h. Ceux obtenus dans le birrimien sont plus élevés, comme le montre les débits enregistrés lors de la campagne de la "boucle du cacao", en ce sens que le débit moyen garanti atteint 4m³/h sur l'ensemble des forages réalisés et au total 25 % des débits garantis, sont supérieurs à 5 m³/h.

L'eau est souvent en charge dans les fissures du socle.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GÉOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

18 AOÛT 2003



-  Bas plateaux
-  Hauts plateaux
-  Socle

Fig II₁ : Situation géographique du secteur d'étude

CHAPITRE II

ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

II₁ Généralités

II₁₁ Situation

Le secteur d'étude est représenté par la région d'Abidjan et ses environs. Il est compris entre les latitudes 5° 10' et 5° 35' Nord et les longitudes 3° 45' et 4° 15' Ouest, soit une superficie d'environ 3 000 Km².

II₁₂ Géomorphologie

La région est constituée de deux parties distinctes avec au Nord une bande de socle schisteux formant un paysage de collines. La partie sédimentaire au Sud est formée par les plateaux du continental terminal désignés sous le vocable de "hauts plateaux" généralement plans, et dont l'altitude est voisine de 100 mètres, entaillés par des vallées profondes à fond plat et à versants raides. Un réseau très ramifié de thalwegs incise la surface des plateaux dont la majorité d'entre eux ne sont pas drainés ou le sont temporairement.

Par opposition aux hauts plateaux nous avons plus au sud, l'unité morphologique des bas plateaux quaternaires dont l'altitude varie entre 8 et 12 mètres.

Le long de la côte nous avons les cordons sableux quaternaires toujours séparés par une dénivellation très nette.

de quelques mètres des bas plateaux. Ils sont disposés en bandes parallèles, orientés Est-Ouest atteignant 2 à 6 mètres et parfois plus.

II₁₃ Climatologie

Le climat est du type équatorial où on distingue généralement deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches dont la première va d'août à septembre et la seconde de décembre à mars.

II₁₄ Hydrographie

Le réseau hydrographique est représenté par cinq principales rivières à savoir le Banco, le Gbangbo, le Djibi, le Lokoboué, la Bété dont le sens d'écoulement est en général Nord-Sud.

Le réseau hydrographique est aussi marqué par une multitude de petits ruisseaux intermittents.

(Voir figure page suivante)

II₂ Introduction à l'étude hydroclimatologique

Toute étude hydrogéologique a pour dessein de dresser un bilan hydrogéologique dans lequel l'établissement du bilan hydrologique tient une place prépondérante. C'est à juste titre que sera abordée dans ce chapitre, l'étude des différents facteurs intervenant dans l'équation de ce bilan.

Les facteurs sont les précipitations, les températures, l'évapotranspiration, le ruissellement et nous terminerons par

l'essai du bilan hydrologique.

Dans le cadre de nos travaux, notre zone d'investigation étant une région avec plusieurs petits bassins versants, nous nous bornerons à l'étude d'un bassin versant témoin, en l'occurrence le bassin versant de la rivière Gbangbo qui nous semble représentatif de l'ensemble des autres bassins et sur lequel nous tenterons d'établir un bilan hydrologique.

A cet effet, il ne sera pas abordé la détermination de la hauteur de pluie tombée sur la zone d'étude, mais nous utiliserons la hauteur de pluie tombée à la station orstom Adiopodoumé située dans le bassin versant témoin.

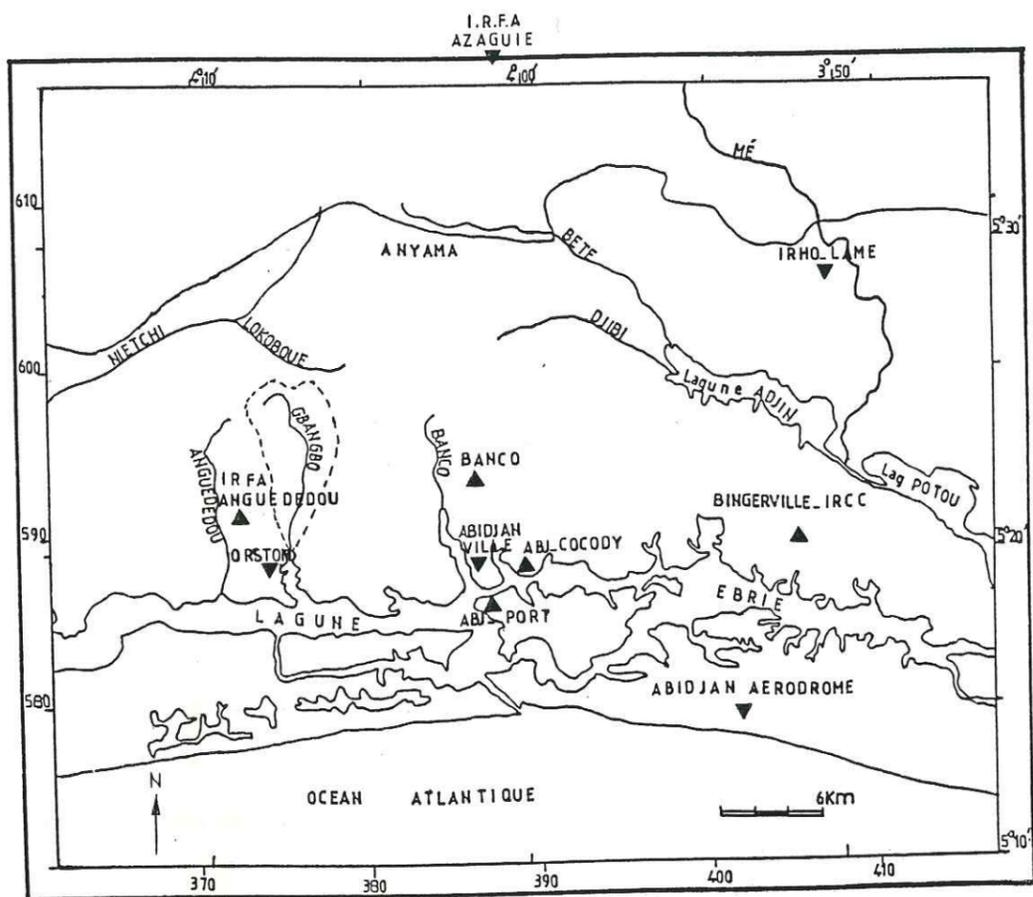
II₃ Situation géographique et fonctionnement des stations

La figure II₂ indique la répartition spatiale des stations sur l'ensemble de la zone d'étude. Nous remarquons une concentration plus importante des stations vers le sud autour d'Abidjan.

Le tableau II₁ indique la nomenclature, l'équipement et la période de fonctionnement des stations.

A part les stations de recherches agronomiques (I.R.C.C., I.R.F.A., Orstom, I.R.H.O.), toutes les stations sont gérées par l'A.N.A.M. dont l'ancienne appellation était A.S.E.C.N.A.

Par contre toutes les mesures sont archivées à l'A.N.A.M., organisme habilité à gérer toutes les données météorologiques concernant la Côte d'Ivoire. Les données fournies par les organismes de recherche sont contrôlées et éventuellement corrigées par les services de l'A.N.A.M.



-  Bassin versant témoin
-  Station climatologique
-  Cours d'eau

Fig. II₂ : Localisation spatiale des stations climatologiques.

Stations	Alti- tude en m	Coordonnées X Y	Equipement	Période de fonction- nement
Abidjan (Aérodrome)	7	3° 56' W 5° 15' N	P, T, I, H, E, V	1936-1985
Abidjan (Port)	3	4° 01' W 5° 18' N	P	1963-1980
Abidjan (Ville)	19,7	4° 01' W 5° 19' N	P	1932-1978
Abidjan (Cocody)	20	4° W 5° 19' N	P	1962-1985
Banco	50	4° 02' W 5° 23' N	P	1933-1983 avec des lacunes
IRCC (Binger- ville)		3° 53' W 5° 21' N	P, T, I, H, E	1956-1985
IRHO (LAME)	23	3° 51' W 5° 27' N	P, I, T, H, E	1923-1985
IRFA (Angue- dedou)		4° 09' W 5° 22' N	P, I, T, H, E	1959-1985
IRFA (Azaguie)	60	4° 01' W 5° 36' N	P, I, T, H, E	1960-1985
ORSTOM (Adiopo- doumé)	25	4° 06' W 5° 19' N	P, I, T, H, E, V	1948-1985

Tableau II₁ : Equipement et période de fonctionnement des stations

II₄ Etude des précipitations

II₄₁ Test d'homogénéité ou corrélation double masse

Ce test consiste à effectuer le calcul des pluies pendant un certain nombre d'années successives à toutes les stations de la région, puis à comparer les résultats par groupe de deux stations. Seules les stations fournissant

entre elles des corrélations linéaires sont prises en compte.

Ce contrôle ne s'applique que sur des stations soumises au même régime pluviométrique et nous renseigne sur l'appartenance des séries dont on dispose, à une même population mère. Le tableau II₂ ci-contre résume les valeurs des précipitations moyennes et les précipitations cumulées correspondantes.

Nous avons choisi le poste d'Orstom Adiopodoumé comme station de référence parce qu'il semble assez représentatif des pluviométries enregistrées sur la région d'étude, mais offre aussi la meilleure garantie au niveau de la qualité des observations enregistrées.

Nous avons représenté sur le graphique de la figure II₃ ci-contre, en ordonnées les pluies moyennes annuelles cumulées de la station de référence (Orstom Adiopodoumé) et en abscisses celles des autres stations citées dans le tableau II₂.

Nous notons dans l'ensemble une assez bonne corrélation entre la station prise comme référence et les autres. Ce qui voudrait dire que les stations sont soumises au même régime pluviométrique.

Par contre nous constatons l'existence de deux familles de droites :

- Une première famille de droites représentant les corrélations entre la station de référence et celles d'IRFA Anguededou, Abidjan Aéroport, IRCC Bingerville avec une pente relativement faible ;

- Une deuxième famille de droites représentant les

Orstom	Abidjan	IRHO	IRCC	IRFA	IRFA	Année						
Adiopo-	Aéroport	LAME	Binger-	Azaguié	Angue-							
doumé			ville		dedou							
P	P	P	P	P	P	P						
(mm)	cumul	(mm)	cumul	(mm)	cumul	(mm)						
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
1662	1662	1651	1651	2215	2215	2144	2144	1759	1759	1787	1787	1966
1621	3283	1882	3533	1531	3746	1917	4061	1543	3302	1742	3529	1967
1992	5275	2246	5779	2333	6079	2213	6274	2093	5395	2234	5763	1968
2174	7449	2397	8176	1461	7540	2041	8315	1457	6852	1819	7582	1969
1661	9110	1512	9688	1658	9198	1367	9682	1607	8459	1998	9580	1970
1635	10745	1636	11324	1232	10430	1492	11174	1421	9880	1762	11342	1971
1636	12381	1686	13010	1575	12005	2033	13207	1286	11166	1720	13062	1972
1660	14041	2122	15132	1511	13516	1659	14866	1673	12839	1668	14730	1973
2223	16264	1695	16827	1837	15353	2191	17057	1608	14447	2235	16965	1974
1648	17912	2221	19048	1570	16923	1829	18886	1752	16199	1847	18812	1975
2375	20287	2433	21481	2089	19012	2957	21843	1616	17815	2485	21297	1976
1236	21523	1294	22775	1175	20187	1588	23431	1120	18935	1478	22775	1977
1681	23204	2183	24958	1222	21409	1706	25137	1413	20348	2121	24896	1978
2145	25349	2163	27121	1958	23367	1857	26994	1675	22023	2217	27113	1979
1137	26486	1501	28622	1371	24738	1616	28610	1278	23301	1415	28528	1980
1807	28293	2242	30864	1546	26284	2089	30699	1208	24509	1931	30459	1981
2244	30537	2328	33192	1968	28252	2759	33458	2000	26509	2523	32982	1982
1484	32021	1388	34580	1074	29326	1580	35038	1124	27633	1152	34134	1983
1627	33648	1670	36250	1276	30602	1494	36532	1512	29145	1514	35648	1984
1303	34951	1355	37605	1574	32176	1622	38154	1631	30776	1413	37061	1985

Tableau II₂ : Précipitations moyennes annuelles et précipitations moyennes annuelles cumulées

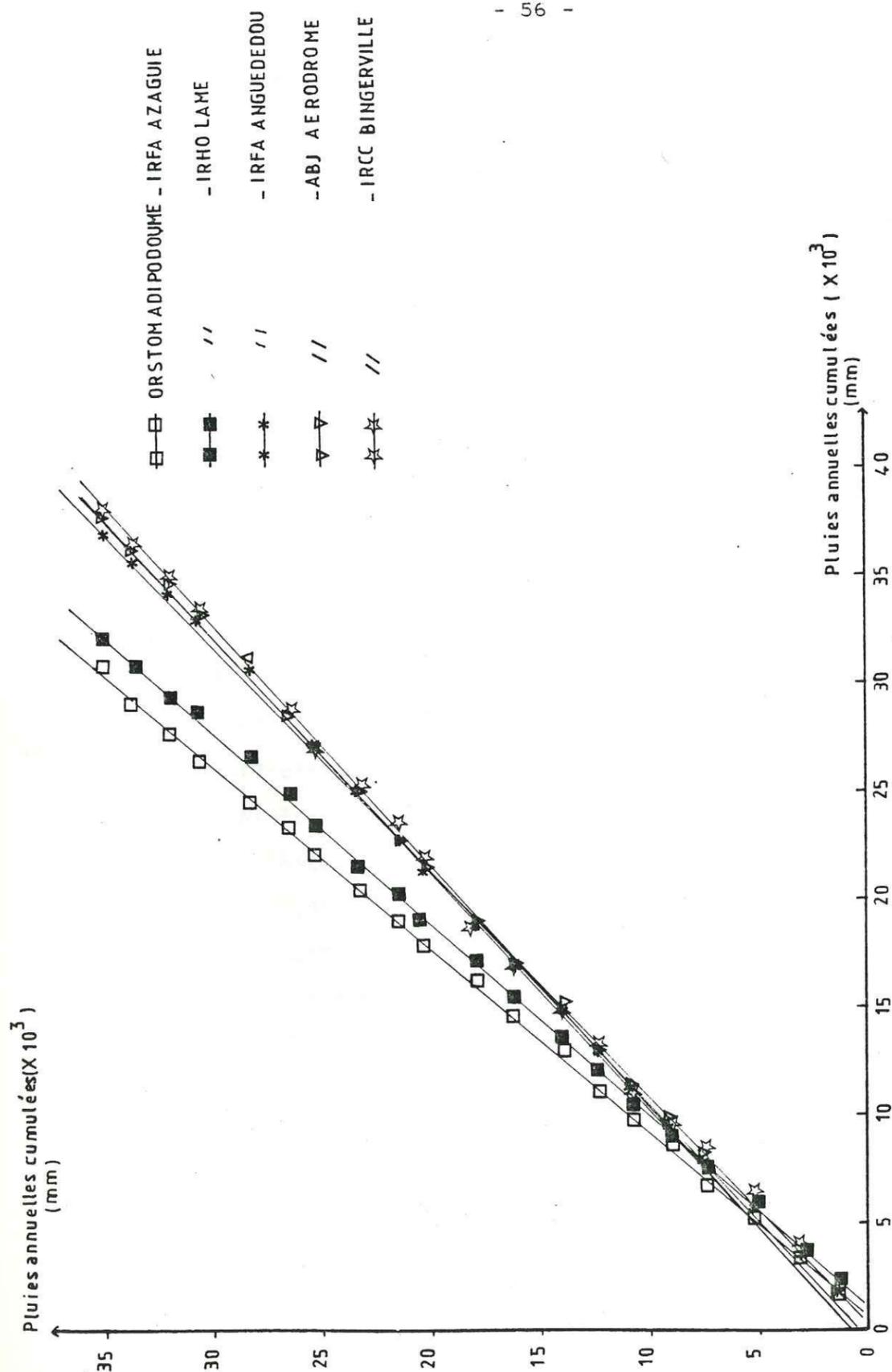


Fig II₃ : Droites de corrélation double masse des pluies annuelles cumulées

correlations entre la station de référence et celles des stations d'IRFA Azaguié, IRHO LAME de pente plus forte.

La raison de l'existence de ces deux familles de droites est que les stations (Orstom Adiopodoumé, IRFA Anguededou, IRCC Bingerville) situées au sud, presque à la même latitude, ont des pluies moyennes cumulées qui croissent dans les mêmes proportions. Ce qui n'est pas le cas des stations d'IRFA Azaguié, d'IRMO LAME qui elles étant plus au Nord, ont des pluies moyennes annuelles cumulées plus faibles.

Par conséquent, le poste de référence (Orstom Adiopodoumé) ayant des pluies moyennes annuelles cumulées plus fortes corrélé avec les deux dernières stations va donner des droites de corrélation avec une pente plus forte.

II₄₂ Régression linéaire

Nous avons appliqué la méthode des moindres carrés pour l'établissement de l'équation de la droite de régression linéaire.

Comme précédemment, nous avons pris la station d'Orstom Adiopodoumé comme station de référence.

Les correlations ont été calculées de poste à poste suivant des régressions dont la formule est de la forme $y = ax + b$.

Par ailleurs, nous avons aussi déterminé des coefficients de corrélation qui nous renseignent sur le degré de fiabilité de ces correlations.

Le tableau II₃ ci-dessous donne les résultats de ces correlations.

Périodes Considérées	Stations corrélées	Coefficient de correlation	Equation de la droite de regression
1966-1985	ORSTOM-Abidjan Cocody	0,91	$Y = 0,97x + 45$
1963-1985	ORSTOM-Banco	0,76	$Y = 0,70x + 366$
1966-1985	ORSTOM-IRFA Anguededou	0,85	$Y = 0,79x + 275$
1966-1985	ORSTOM-Abidjan Aérodrome	0,75	$Y = 0,68x + 470$
1966-1985	ORSTOM-IRCC Bingerville	0,75	$Y = 0,63x + 546$
1966-1985	ORSTOM-IRHO LAME	0,62	$Y = 0,60x + 750$
1966-1985	ORSTOM-IRFA Azaguié	0,48	$Y = 0,63x + 778$

Tableau II₃ : Résultats des corrélations

Nous observons, grâce à l'analyse des coefficients de corrélation, que nous avons une assez bonne corrélation entre la station de référence (Orstom Adiopodoumé) et les stations situées à la même latitude qu'elle.

Par contre, la corrélation est mauvaise, voire même très mauvaise entre la station de référence et celles des deux autres stations situées plus au Nord. Ce constat vient confirmer ce que nous avons déjà remarqué au cours du précédent paragraphe concernant le test d'homogénéité. Les figures II₄, ₇ ci-contre représentent les droites des différentes corrélations.

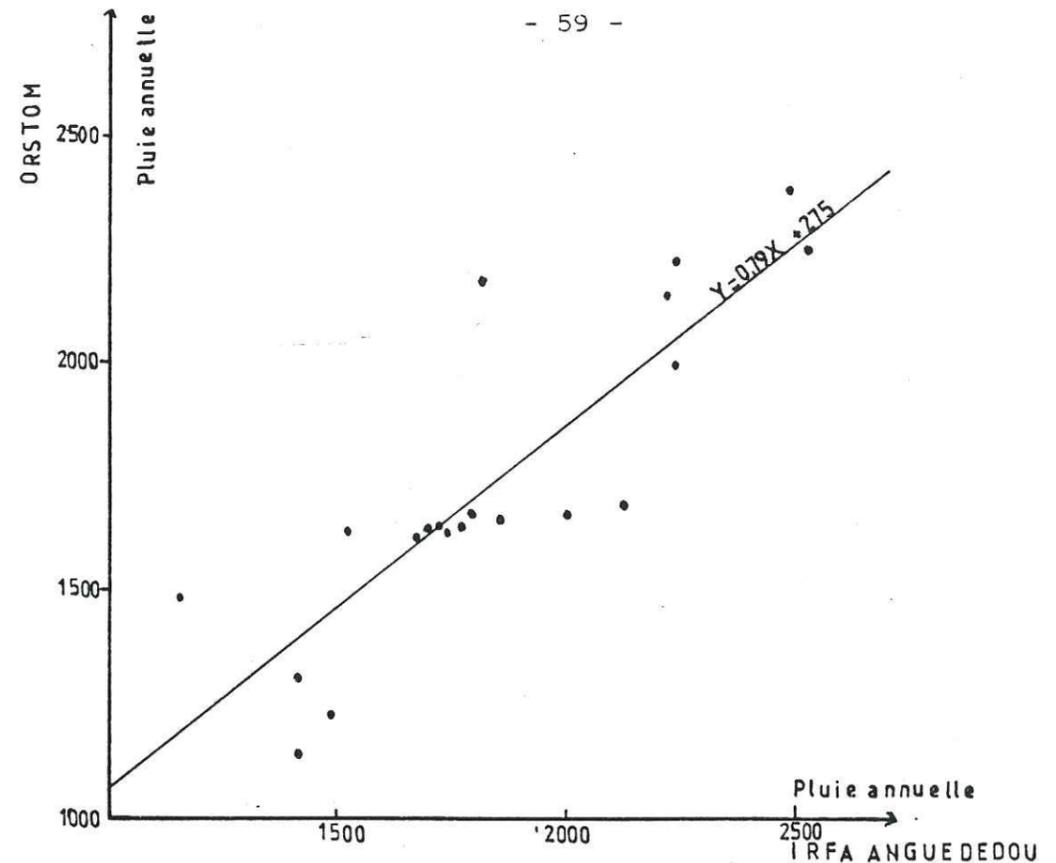


Fig II₄ : Droite de corrélation linéaire des pluies entre les stations Orstom Adiopodoumé et IRFA Anguededou

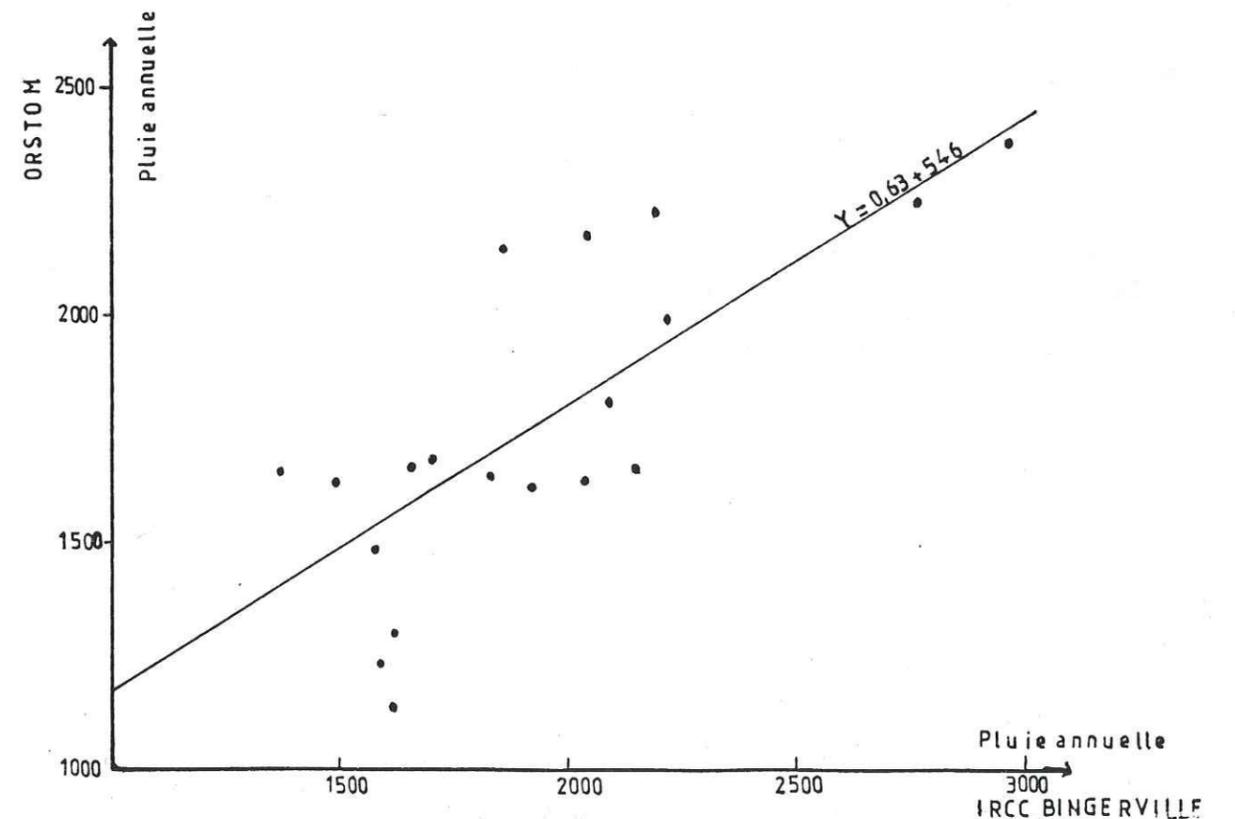


Figure II₅ : Droite de corrélation linéaire des pluies entre les stations Orstom Adiopodoumé et IRCC Bingerville

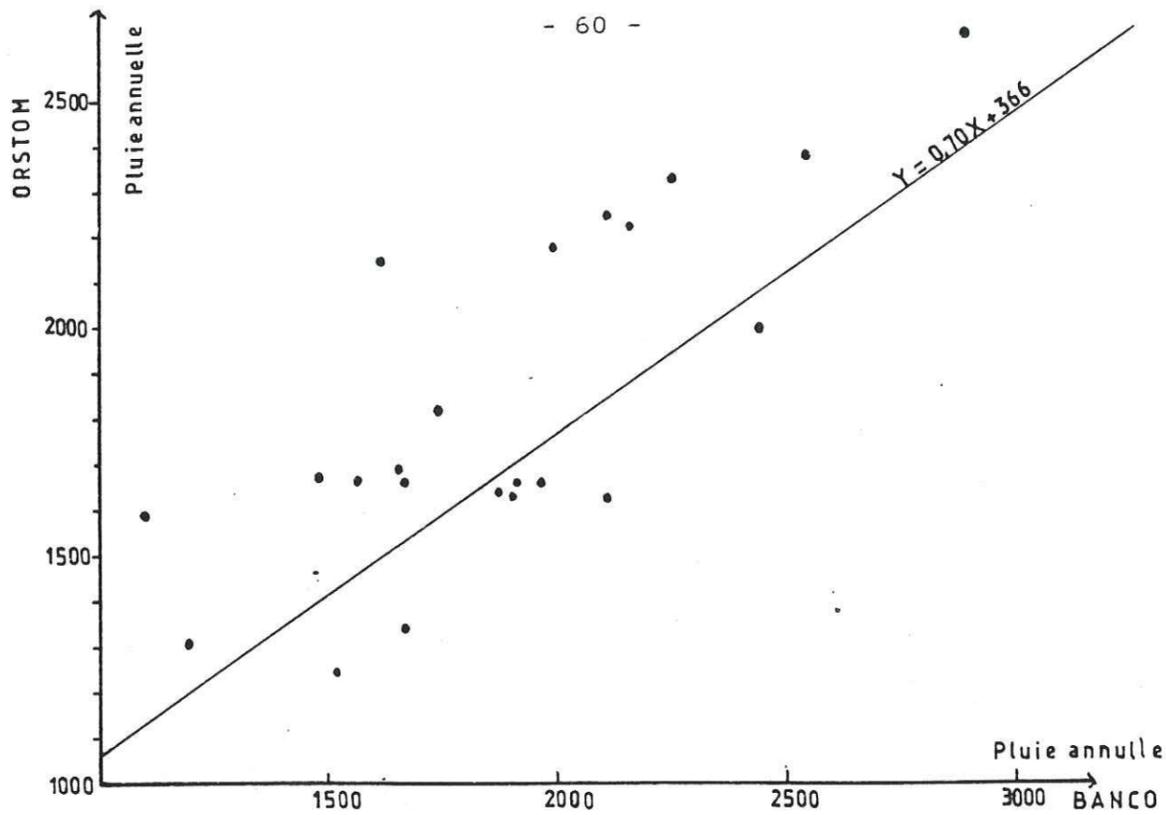


Fig II₆ : Droite de corrélation linéaire entre les stations Orstom Adiopodoumé et Banco

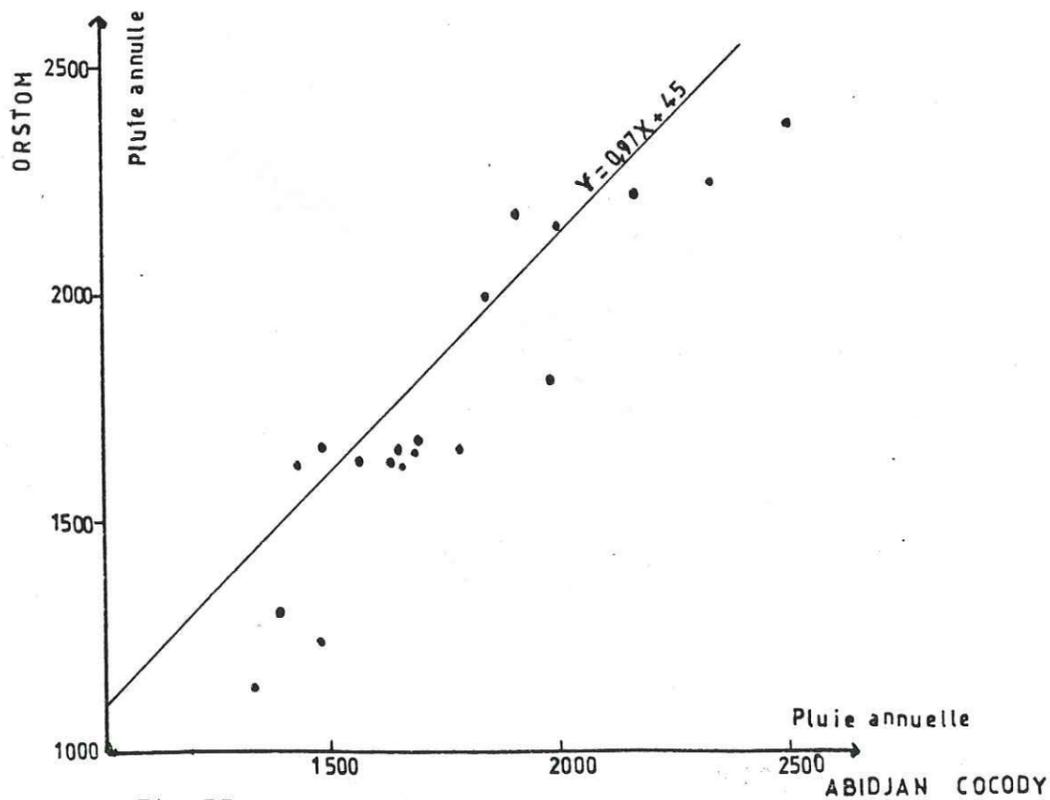


Fig II₇ : Droite de corrélation linéaire entre les stations Orstom Adiopodoumé et Abidjan Cocody

II₄₃ Pluies mensuelles

II_{43.1} Pluies mensuelles pour une année moyenne aux différentes stations

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de l'année 1985 et de l'année moyenne 1966-1985 sont reportées sur le tableau II₄ ci-dessous.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Périodes
Abidjan	12	36	89	100	266	473	111	22	43	53	136	14	1985
Aéroport	12	58	112	148	310	577	201	39	74	132	148	71	1966-1985
Abidjan	31	107	261	63	188	365	106	35	8	65	161	0	1985
Cocody	18	71	90	136	283	561	180	36	80	129	109	50	1966-1985
IRCC	46	229	169	51	267	409	82	54	33	60	172	50	1985
Binger-ville	17	78	113	130	304	567	204	63	93	151	115	69	1966-1985
IRFA	56	79	89	104	330	292	153	107	26	73	86	18	1985
Angue-dedou	25	79	96	143	273	557	186	66	92	162	119	56	1966-1985
IRFA	83	46	147	177	216	285	72	107	92	190	138	78	1985
Azaguié	13	67	113	164	219	333	144	43	93	148	138	73	1966-1985
IRHO	146	70	67	99	213	301	193	59	67	74	280	6	1985
LAME	23	75	115	122	240	408	166	59	95	125	127	53	1966-1985
Orstom	69	83	69	80	230	374	125	71	29	15	121	37	1985
Adiopo-podoumé	20	64	86	126	269	569	182	49	71	137	112	63	1966-1985

Tableau II₄ : Pluies moyennes mensuelles aux différentes stations

Les variations de la pluviométrie mensuelle sont illustrées,

18 AOUT 2009
 Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON D. S. SCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr

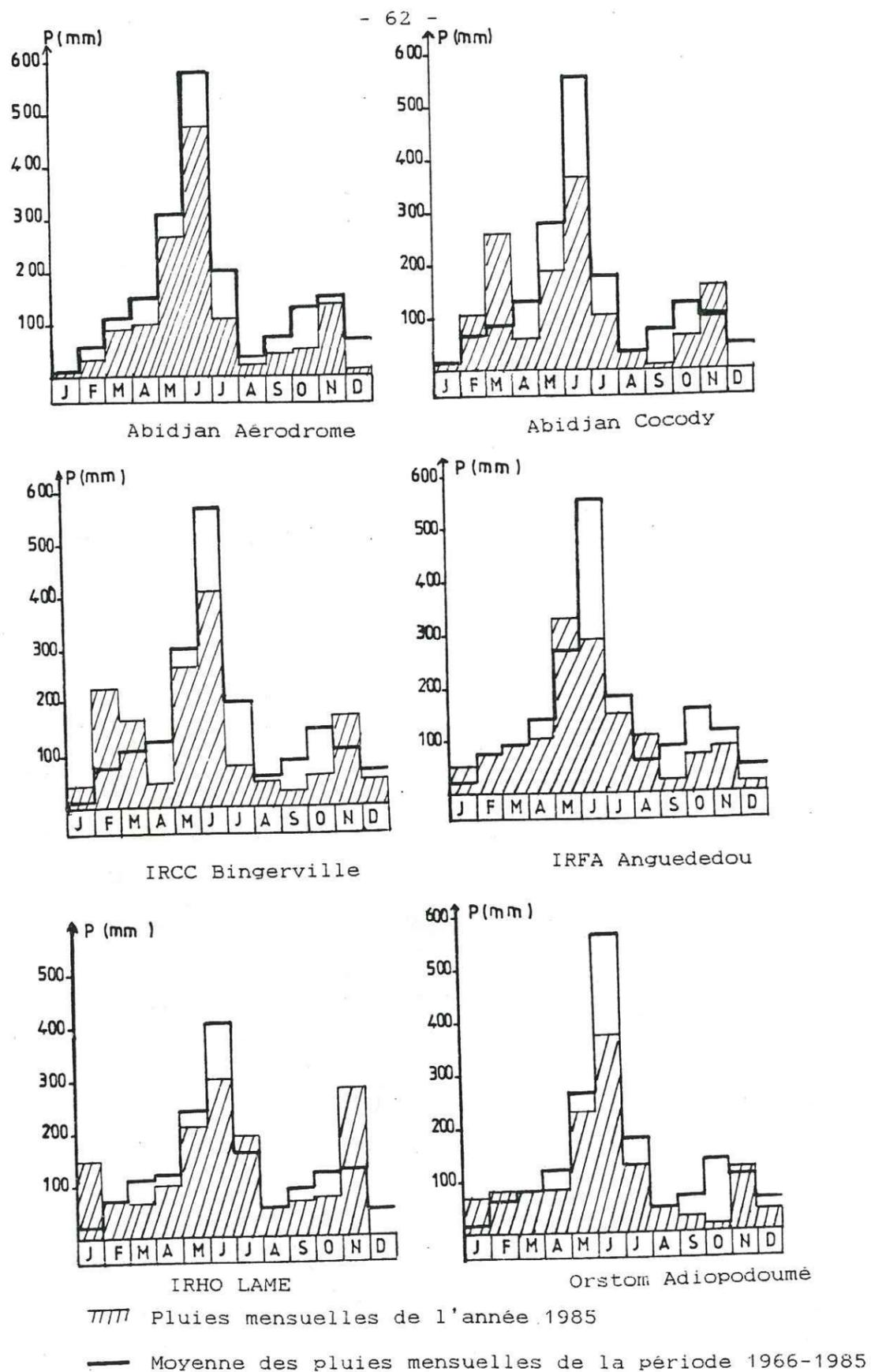


Fig. II₈ : Histogrammes des hauteurs des précipitations mensuelles

par les histogrammes des hauteurs de précipitations mensuelles des principales stations, sur la figure II₈ ci-contre.

A la lumière des histogrammes, nous observons qu'il y a deux saisons de pluie d'inégale intensité. La plus importante couvrant les mois de mai, juin et juillet. La plus petite se situe en octobre et novembre. Entre les deux saisons de pluie, nous avons une petite saison sèche en août et septembre. La grande saison sèche, elle, va de décembre jusqu'au mois d'avril.

Il faut quand même noter le climat particulier dont bénéficie la région d'Abidjan grâce à la présence de la mer qui fait qu'on enregistre des averses pendant la saison sèche.

II_{43.2} Etude des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Orstom Adiopodoumé

L'étude se fera avec les mesures de pluie mensuelle enregistrées depuis l'année de création de cette station. Celle-ci a été choisie spécialement pour des raisons déjà évoquées plus haut.

II_{43.2.1} Coefficient pluviométrique mensuel relatif

Si la hauteur des précipitations annuelles P était uniformément répartie au cours de l'année, la moyenne journalière serait égale à $P/365$ et pour un mois de n jours à $Pn/365$. Cette valeur représente une précipitation annuelle fictive qui ne correspond que rarement à la hauteur de précipitation réelle. Le coefficient pluviométrique mensuel

relatif est le quotient de la hauteur de précipitation mensuelle mesurée par la précipitation mensuelle fictive. Les valeurs trouvées sont portées dans le tableau II₅ du paragraphe suivant.

Nous avons tracé par la suite, sur un diagramme comportant en abscisses les mois et en ordonnées les coefficients pluviométriques mensuels relatifs, la variation des coefficients pluviométriques mensuels au cours de l'année pour mettre en évidence la répartition des pluies indépendamment de leur valeur absolue.

Si le coefficient est plus petit que 1, le mois auquel il se rapporte est considéré comme un mois sec. Dans le cas contraire, le mois en question est humide

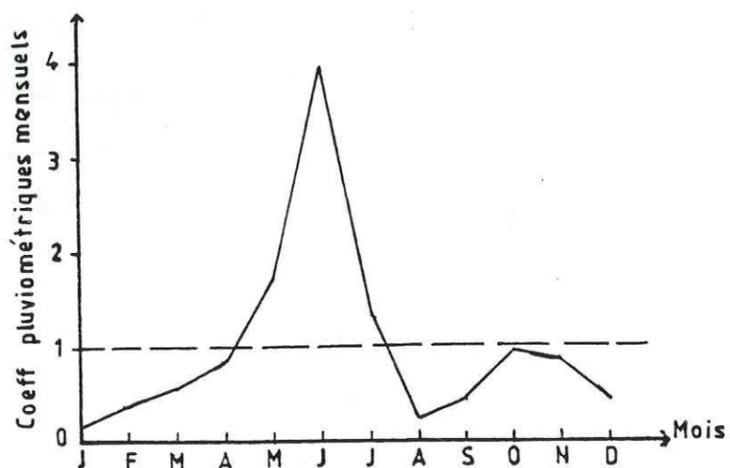


Fig. II₉ : Variation des coefficients pluviométriques mensuels relatifs à la station Orstom Adiopodoumé
Période 1966-1985

A l'analyse de la figure II₉, on observe qu'il n'y a qu'une période humide allant du mois de mai au mois de juillet en rapport avec la grande saison de pluie. Tous les autres mois sont secs vu leur coefficient pluviométrique en dessous de 1.

II_{42.2.2} Valeurs caractéristiques mensuelles

Nous avons déterminé au niveau de chaque mois, les valeurs caractéristiques mensuelles que nous avons consignées dans le tableau II₅.

Valeurs caractéristiques mensuelles	Mois												Total
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Précipitations (Moy mensuelles (mm))	30	63	100	139	302	653	233	41	76	166	142	77	2022
Ecart - type (mm)	35	51	52	68	121	266	207	48	75	119	64	57	
Coef. de variation	1,16	0,8	0,52	0,49	0,4	0,4	0,88	1,17	0,98	0,71	0,45	0,74	
Précipitation max. (mm)	112	223	224	327	525	1378	904	260	392	586	376	310	
Précipitation min. (mm)	0	3	6	23	97	238	1	6	2	4	42	11	
Coef pluviométrique mensuel relatif	0,17	0,4	0,58	0,83	1,75	3,92	1,35	0,23	0,45	0,96	0,85	0,44	12

Tableau II₅ : Valeurs caractéristiques mensuelles à la station d'Orstom d'Adiopodoumé (Période : 1948-1985)

Exceptés les mois de mai, juin et novembre qui ont des coefficients de variation relativement faibles, tous les autres mois ont des coefficients de variation élevés ; ce qui dénote une assez grande dispersion des précipitations mensuelles autour des moyennes mensuelles.

Les pluies mensuelles ne sont pas constantes au cours des années comme le montre les écarts observés au niveau des valeurs maximales et minimales. Ce phénomène est beaucoup plus marqué au niveau des mois les plus pluvieux. Nous avons un écart de 1 140 mm pour le mois de juin.

II_{43.2.3} Hauteurs des précipitations mensuelles d'après leur fréquence

Nous avons tracé sur la figure II₁₀ ci-contre, les hauteurs des précipitations mensuelles d'après leur fréquence.

Les valeurs des précipitations mensuelles données par les courbes cotées 10, 25, 50..., 90 % ont respectivement 10, 25, 50..., 90 chances sur 100 d'être atteintes ou dépassées.

D'après le graphique, nous savons que pour la station d'Orstom, Adiopodoumé, une hauteur de pluie de 500 mm a 50 % de chance d'être atteinte ou dépassée au cours du mois de juin.

II₄₄ Pluies annuelles

II_{44.1} Calcul des valeurs caractéristiques

A partir des séries de valeurs des précipitations annuelles aux stations considérées, nous avons évalué les valeurs statistiques caractéristiques de chaque station. Nous

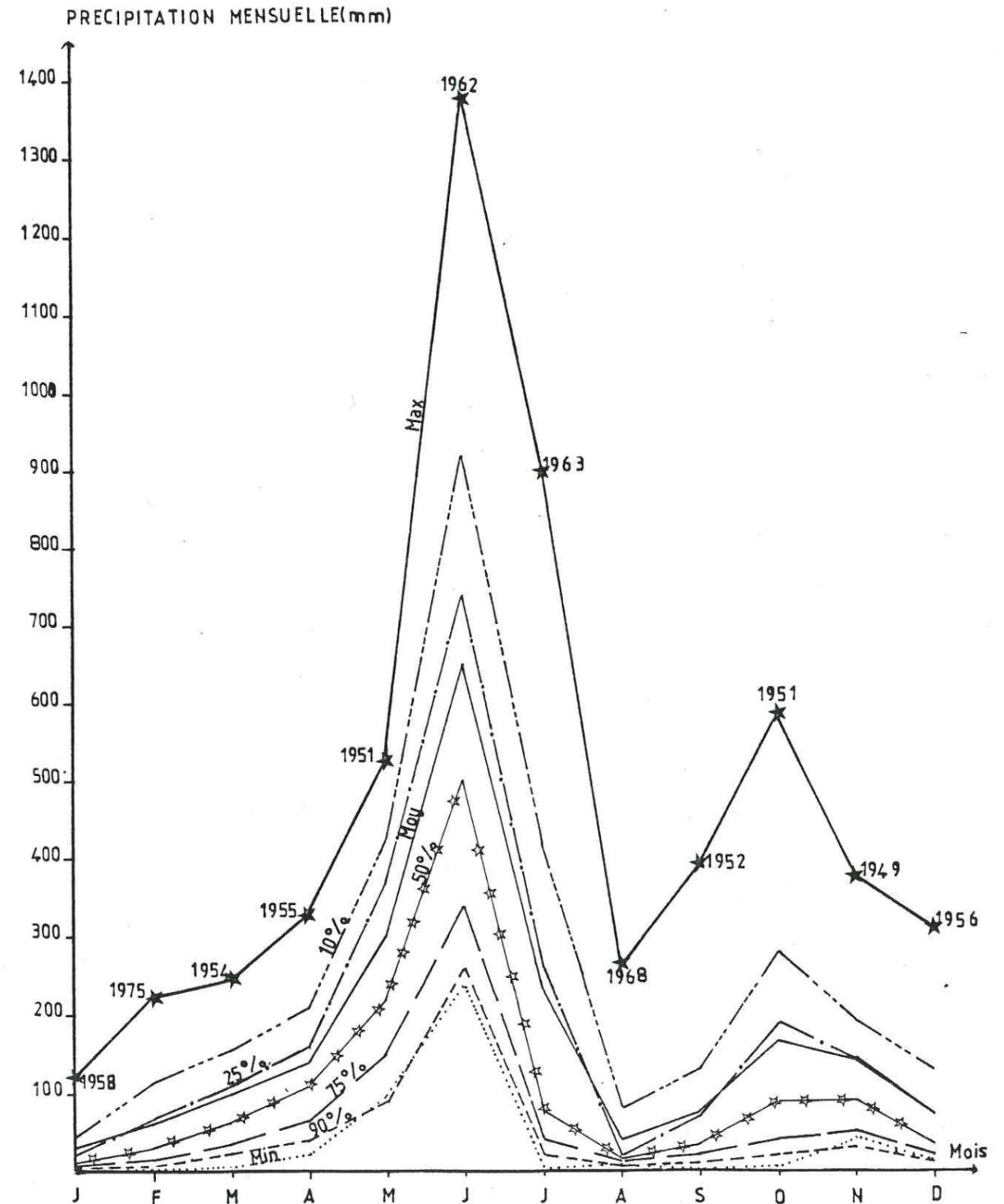


Fig II₁₀ : Graphique des hauteurs de précipitations mensuelles d'après leur fréquence à la station Orstom Adiopodoumé (Période : 1948 - 1985).

donnons en rappel les formules des différentes valeurs caractéristiques :

Moyenne arithmétique : $\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$

Ecart-type : $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Xi-X)^2}{n-1}}$

Coefficient de variation : $V = \frac{\sigma}{\bar{X}}$

avec : $\sum Xi$ = Somme des "n" valeurs des précipitations annuelles

n = nombre d'années d'observation

Les résultats des calculs figurent dans le tableau II₆

ci-dessous.

Stations	Moyenne (mm)	Médiane (mm)	Ecart-type (mm)	Coef. de variation	Périodes
Abidjan Aéroport	2025	1900	412	0,20	1937-1985
Abidjan Cocody	1744	1525	333	0,19	1963-1985
Abidjan Ville	1999	1800	418	0,21	1932-1977
Banco	2019	1920	447	0,22	1958-1983
IRCC Bingerville	2113	2020	489	0,23	1956-1985
IRFA Aguededou	1945	1860	410	0,21	1959-1985
IRFA Azaguié	1604	1460	319	0,20	1960-1985
IRHO Lame	1840	1675	452	0,22	1948-1985
Orstom Adiopodoumé	2019	1900	454	0,22	1948-1985

Tableau II₆ : Valeurs statistiques caractéristiques des précipitations annuelles

Vues les faibles valeurs des coefficients de variation, nous pouvons dire qu'il y a une assez faible dispersion des observations autour de la valeur centrale.

II_{4.2} Ajustement des précipitations annuelles à la loi normale de Gauss

La zone d'étude étant influencée par le régime océanique, nous avons choisi la loi de Gauss parce qu'elle nous semble réaliser le mieux l'ajustement.

Il est établi que si les observations étaient réparties exactement suivant la loi de Gauss, nous devrions avoir :

50 % d'observations comprises entre $m - \frac{2\sigma}{3}$ et $m + \frac{2\sigma}{3}$

68 % d'observations comprises entre $m - \sigma$ et $m + \sigma$

95 % d'observations comprises entre $m - 2\sigma$ et $m + 2\sigma$

99 % d'observations comprises entre $m - 3\sigma$ et $m + 3\sigma$

avec m représentant la moyenne.

Les pourcentages expérimentaux sont résumés dans le tableau II₇ ci-dessous. Pour les périodes considérées, l'écart-type et les valeurs de la moyenne pour chaque station, se reporter au tableau II₆ du paragraphe précédent.

L'écart entre les fréquences observées et celles que donnerait la loi de Gauss est assez faible dans la majorité des cas et nous pouvons avancer que les modules pluviométriques annuels dans la zone d'étude s'ordonnent à peu près suivant la loi de Gauss.

Stations	Pourcentage d'observation comprises entre $m - \frac{2\sqrt{\mu}}{3}$ et $m + \frac{2\sqrt{\mu}}{3}$			
	$m - \sqrt{\mu} < \% < m + \sqrt{\mu}$	$m - 2\sqrt{\mu} < \% < m + 2\sqrt{\mu}$	$m - 3\sqrt{\mu} < \% < m + 3\sqrt{\mu}$	
Abidjan Aéroport	39 %	71 %	98 %	100 %
Abidjan Cocody	39 %	70 %	96 %	100 %
Abidjan Ville	57 %	74 %	94 %	98 %
Banco	46 %	73 %	96 %	100 %
IRCC Bingerville	43 %	50 %	100 %	100 %
IRFA Anguededou	48 %	59 %	96 %	100 %
IRFA Azaguié	58 %	73 %	96 %	100 %
IRHO LAME	44 %	66 %	98 %	100 %
Orstom Adiopodoumé	37 %	76 %	95 %	100 %

Tableau II₇ : Pourcentages expérimentaux obtenus en ajustant les précipitations annuelles à la loi de Gauss pour chaque station

Pour confirmer les résultats trouvés ci-dessus, nous avons procédé par le test graphique de normalité dit de la droite de Henry.

Nous portons sur un graphique, en abscisses, les probabilités totales données par la fonction de répartition $F(x)$ à une

échelle fonctionnelle dite échelle de probabilité gaussienne et en ordonnées une échelle arithmétique pour les valeurs de précipitations annuelles. La droite d'ajustement de Henry est obtenue grâce au report de trois points qui sont :

- Le module pluviométrique annuel moyen correspond à la fréquence au dépassement $F = 0,5$;

- Deux points extrêmes de fréquence $F = 0,10$ et $F = 0,90$ pris arbitrairement dont on calcule les ordonnées au moyen de l'équation de la droite de Henry d'ajustement dont la formule est la suivante : $P = \bar{P} \pm \sqrt{\mu}$ avec μ = variable réduite de Gauss donnée par la table de Gauss en fonction des valeurs de fréquence au dépassement.

Les résultats pour l'équation de la droite de Henry pour les différentes stations sont consignés dans le tableau II₈.

Grâce aux équations obtenues, nous avons tracé la droite d'ajustement de Henry pour chaque station.

On note sur les figures II₁₁ - 19, l'alignement des points, ou qu'ils sont symétriques par rapport à la droite de Henry. Les résultats confirment les conclusions auxquelles nous avons abouti plus haut.

II_{44.3} Période de retour des pluies

Nous avons évalué par la méthode graphique, la période de retour des valeurs de précipitations pour trois stations dont le nombre d'années d'observation dépasse trente ans.

Les résultats se trouvent dans le tableau II₉.

Stations	Périodes considérées	Equation de la droite d'ajustement de Henry
Abidjan Aéroport	1937-1985	$P = 2025 \pm 412 \mu$
Abidjan Cocody	1963-1985	$P = 1744 \pm 333 \mu$
Abidjan Ville	1932-1977	$P = 1999 \pm 418 \mu$
Banco	1958-1983	$P = 2019 \pm 447 \mu$
IRCC Bingerville	1956-1985	$P = 2113 \pm 489 \mu$
IRFA Anguededou	1959-1985	$P = 1945 \pm 410 \mu$
IRFA Azaguié	1960-1985	$P = 1604 \pm 319 \mu$
IRHO LAME	1929-1985	$P = 1840 \pm 452 \mu$
Orstom Adiopodoumé	1948-1985	$P = 2019 \pm 454 \mu$

Tableau II₈ : Equations de la droite d'ajustement de Henry

Temps de retour:	Années sèches					Années humides					Périodes
	5	10	20	50	100	5	10	20	50	100	
Stations:	5	10	20	50	100	5	10	20	50	100	
Abidjan Aéroport:	1700	1510	1360	1290	900	2340	2520	2660	2740	2940	1937-1985
IRHO LAME:	1460	1260	1100	1010	840	2220	2420	2580	2660	2900	1929-1985
Orstom Adiopodoumé:	1640	1440	1260	1180	960	2400	2600	2760	2840	3080	1948-1985

Tableau II₉ : Temps de retour des valeurs caractéristiques des précipitations en mmm

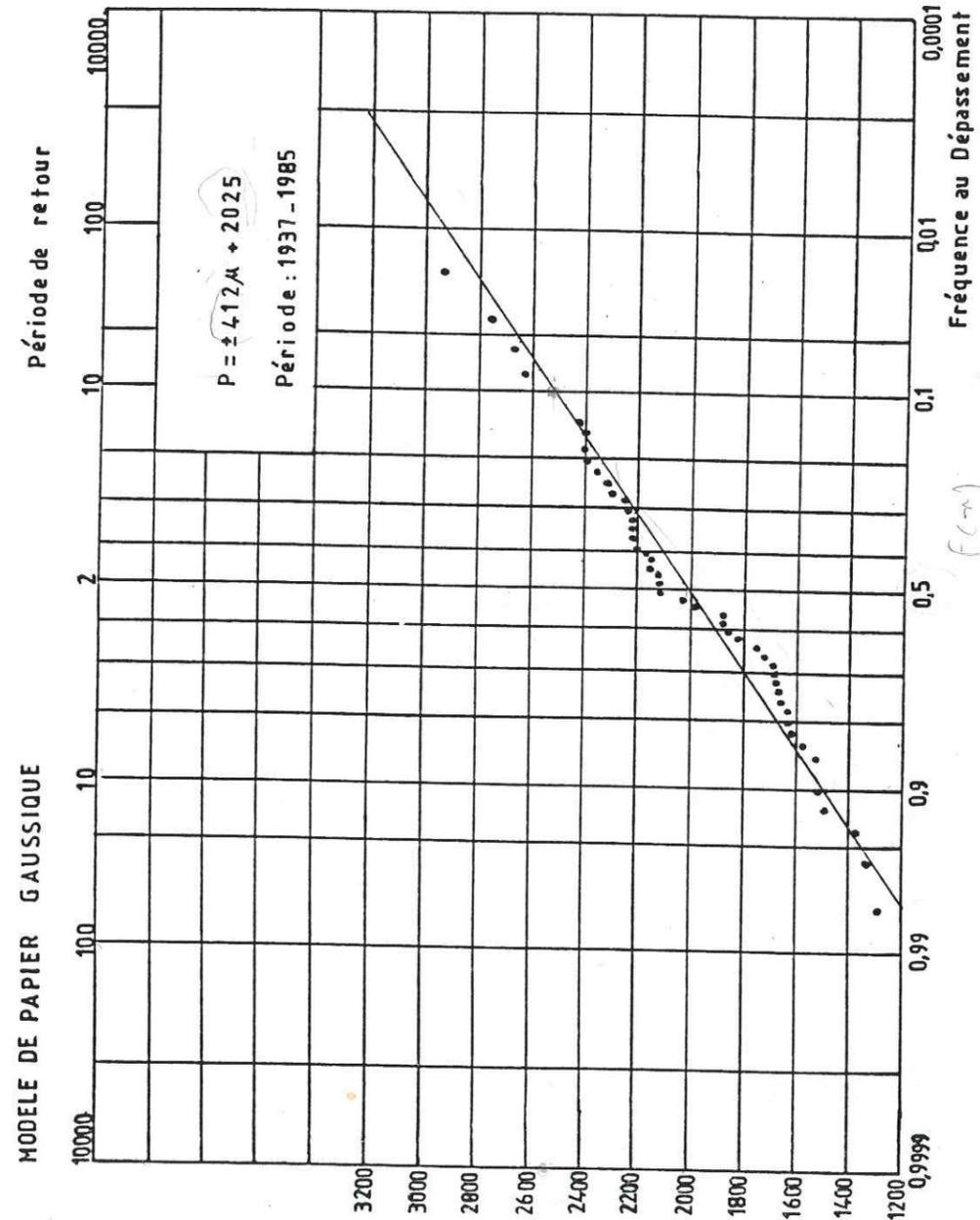


Fig II₁₁ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Abidjan Aéroport

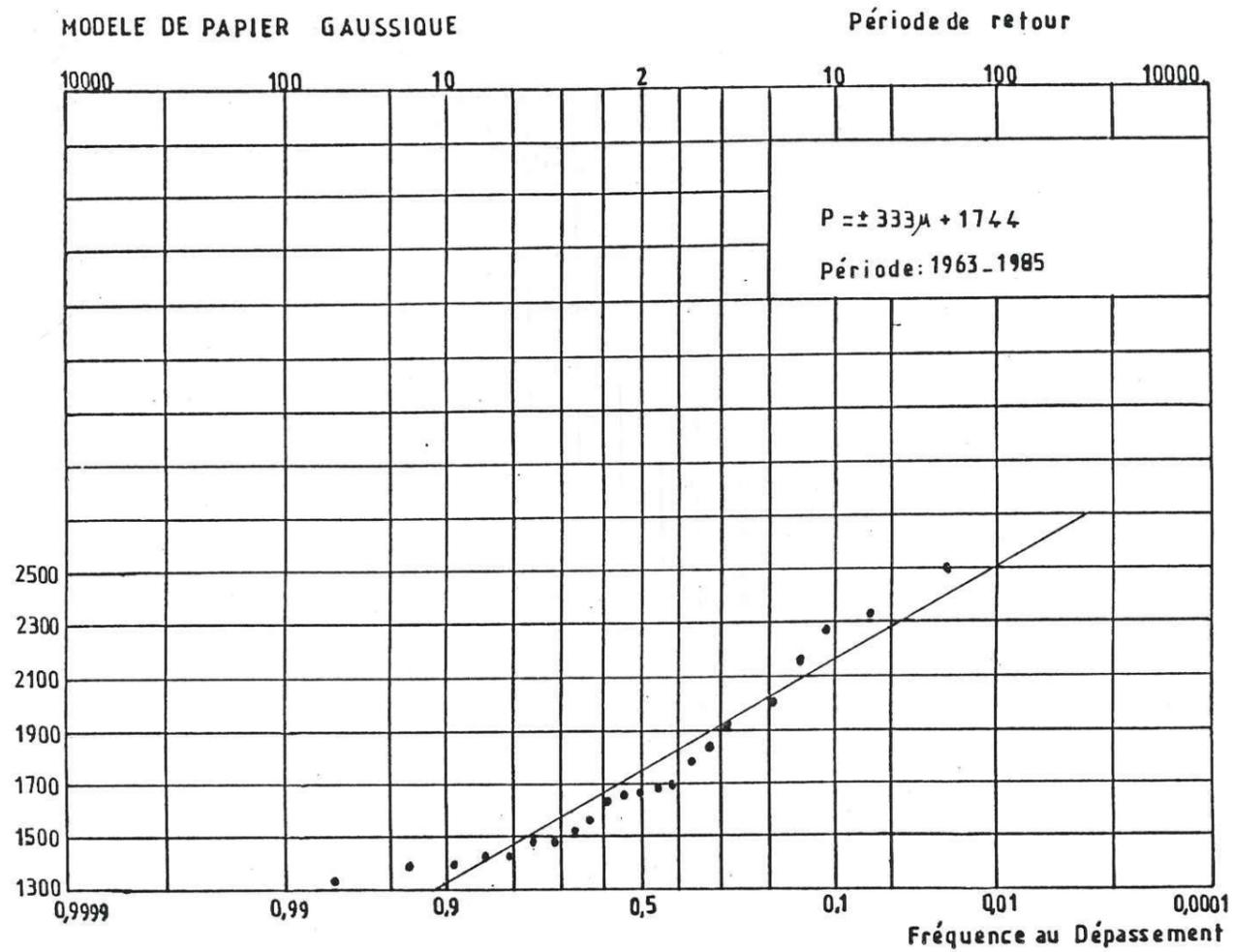


Fig II₁₂ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Abidjan Cocody

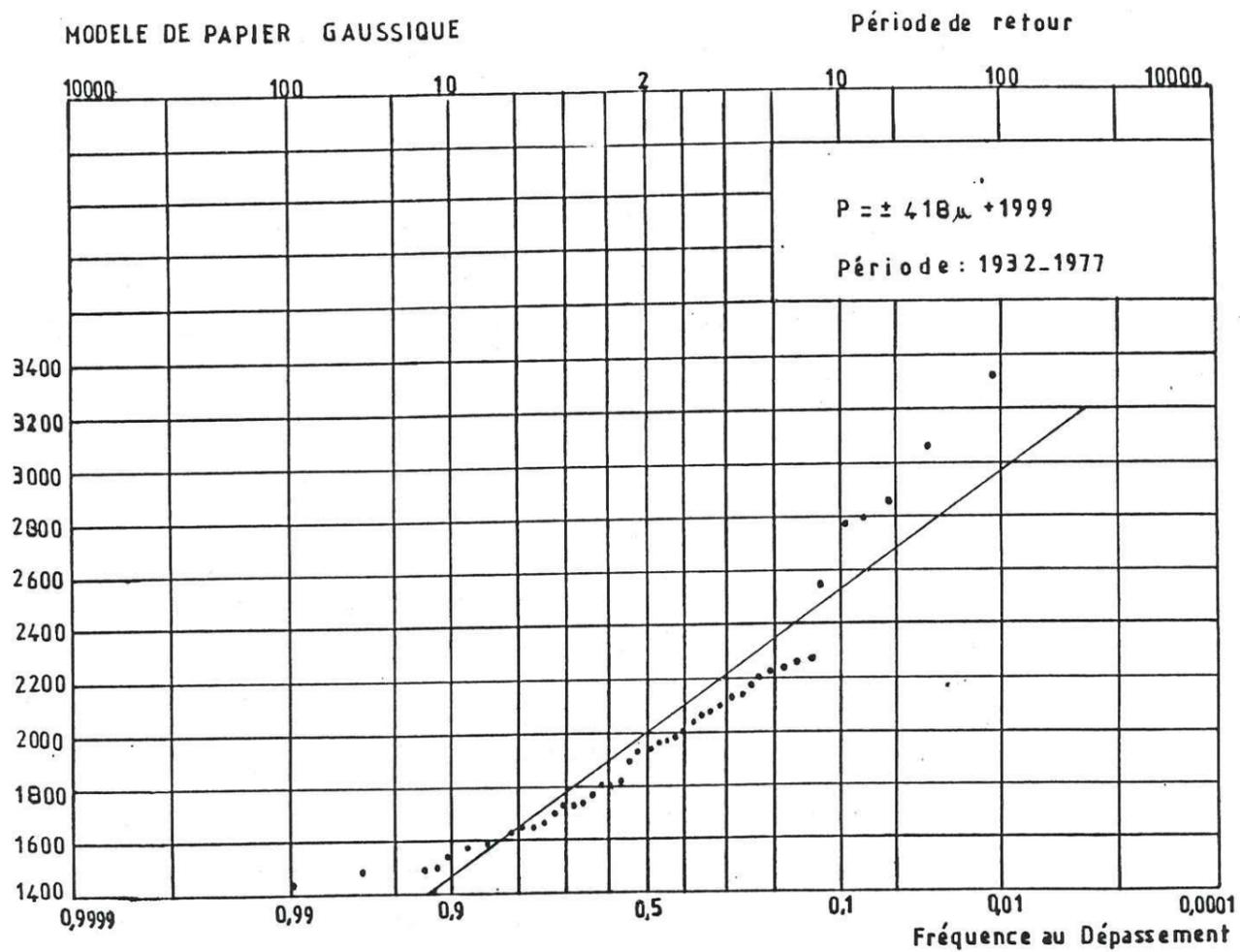


Fig II₁₃ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Abidjan Ville

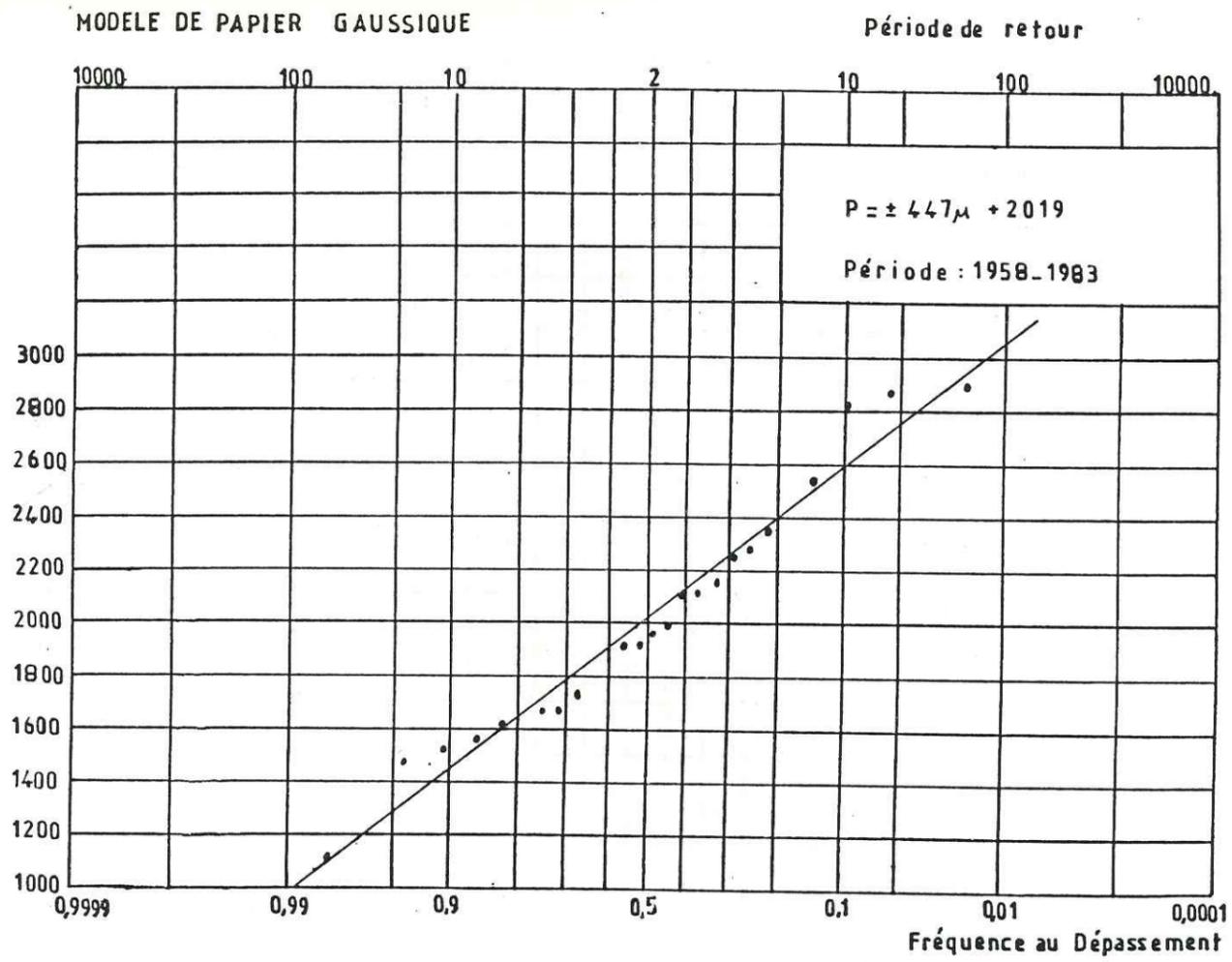


Fig II₁₄ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Banco

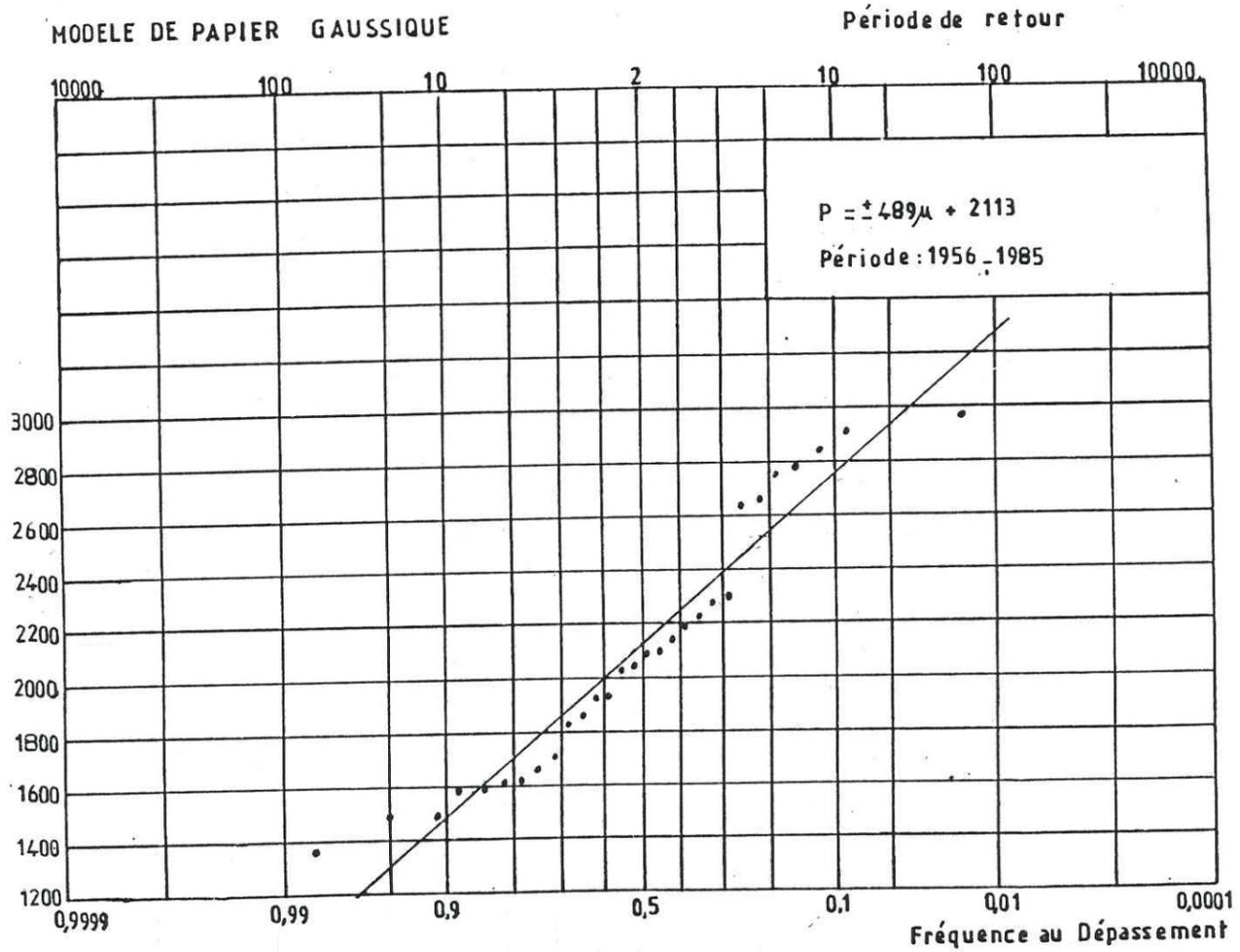


Fig II₁₅ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station IRCC Bingerville

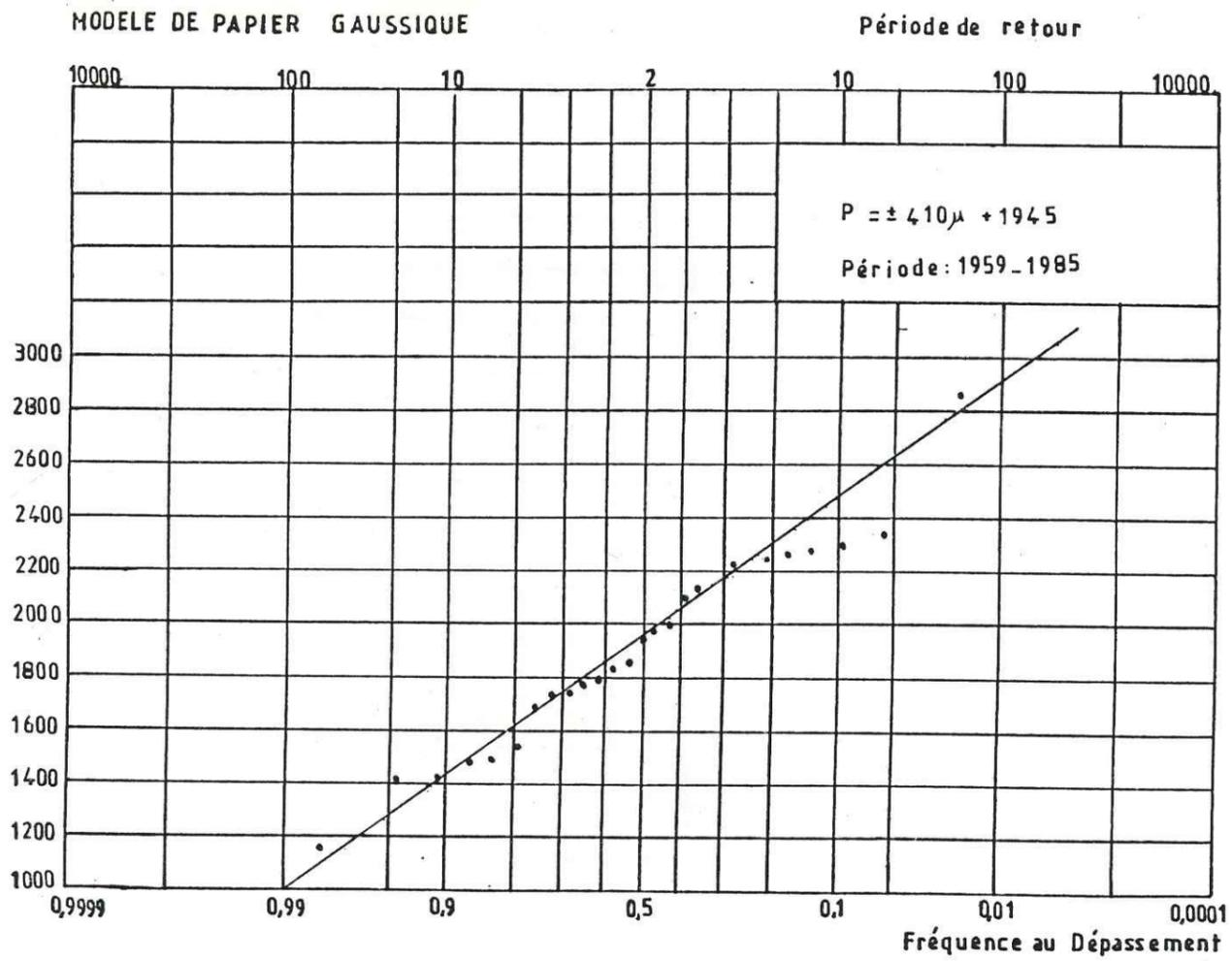


Fig II₁₆ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station
IRFA Anguededou

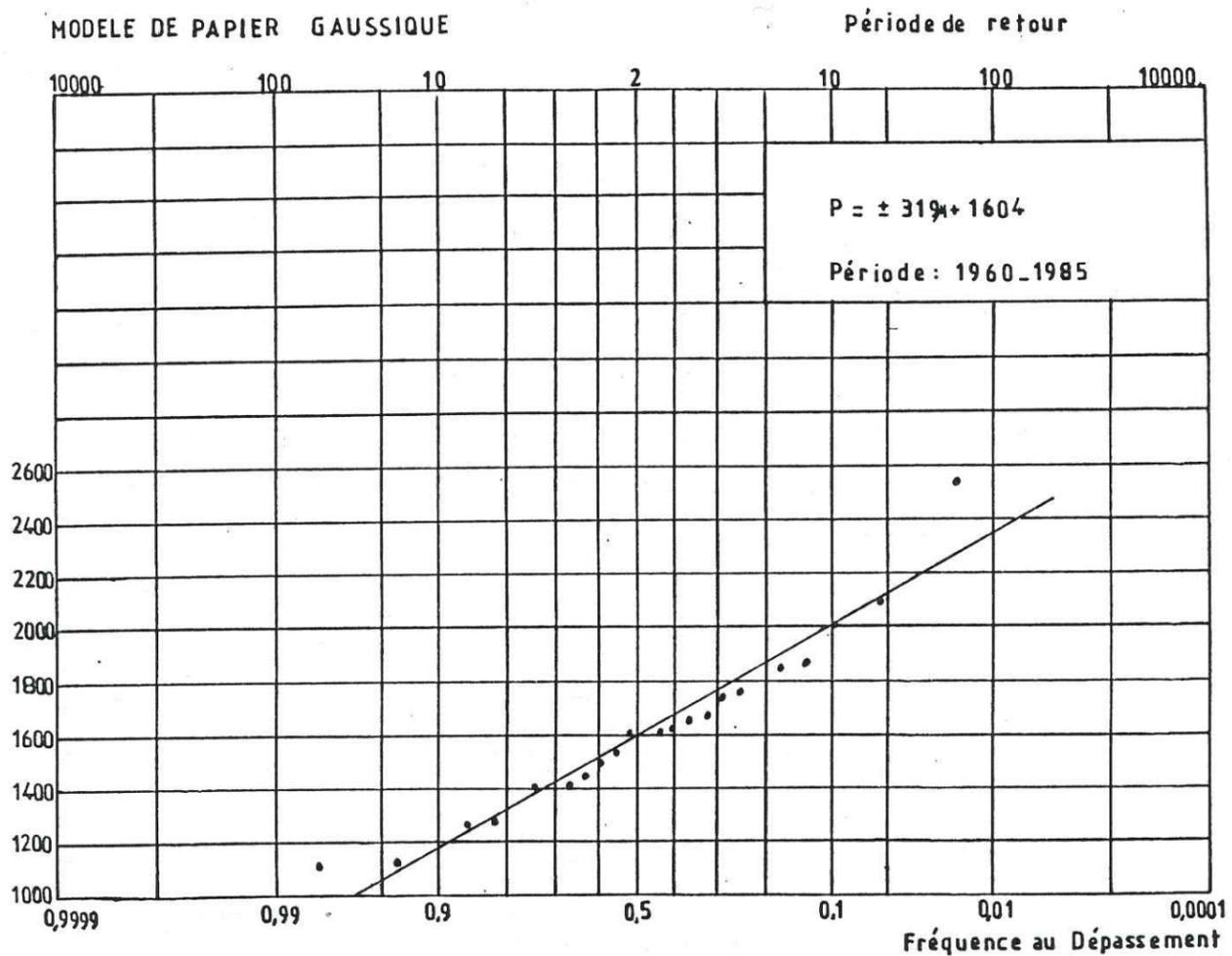


Fig II₁₇ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station
IRFA Azaguié

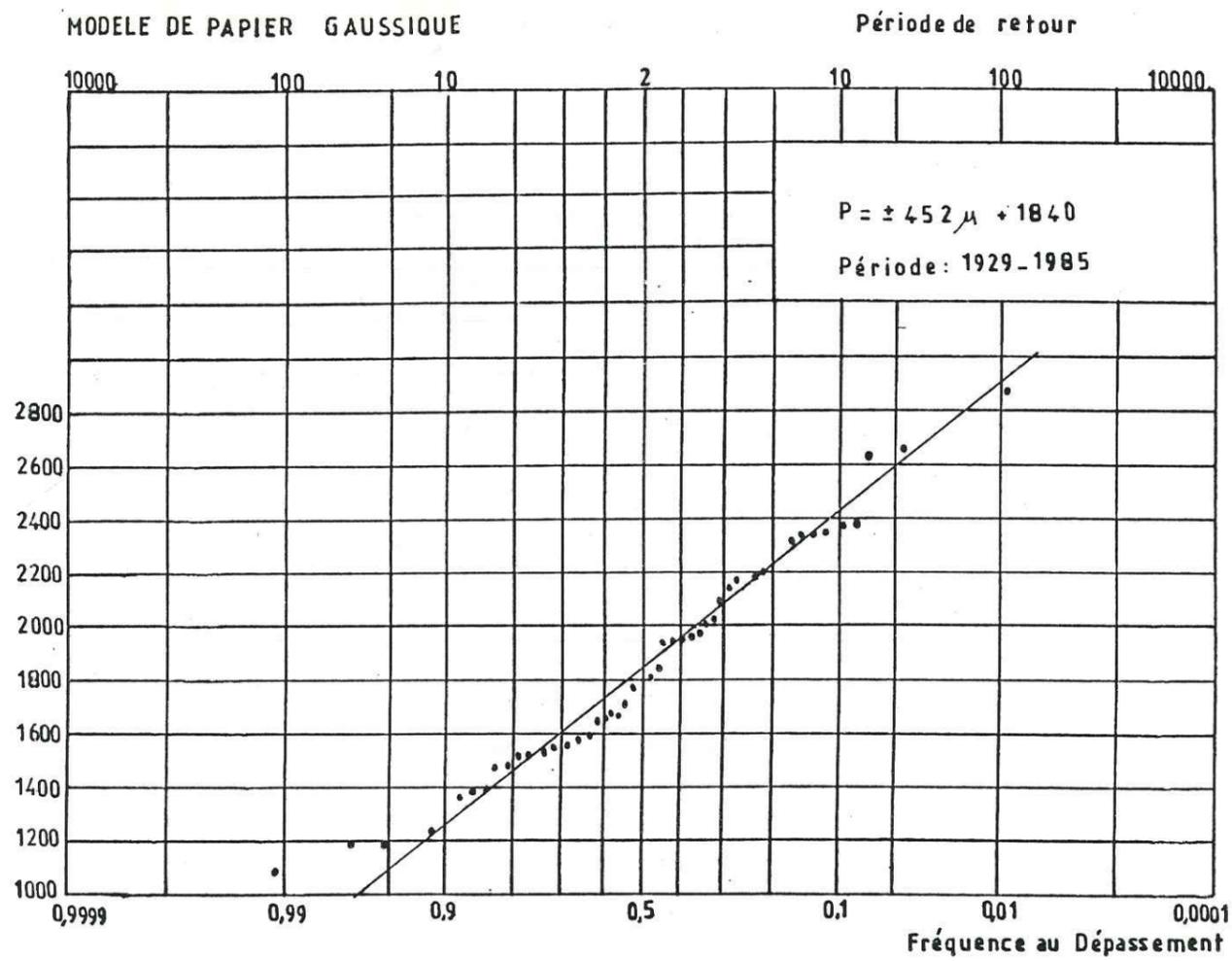


Fig II₁₈ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station
IRHO Lamé

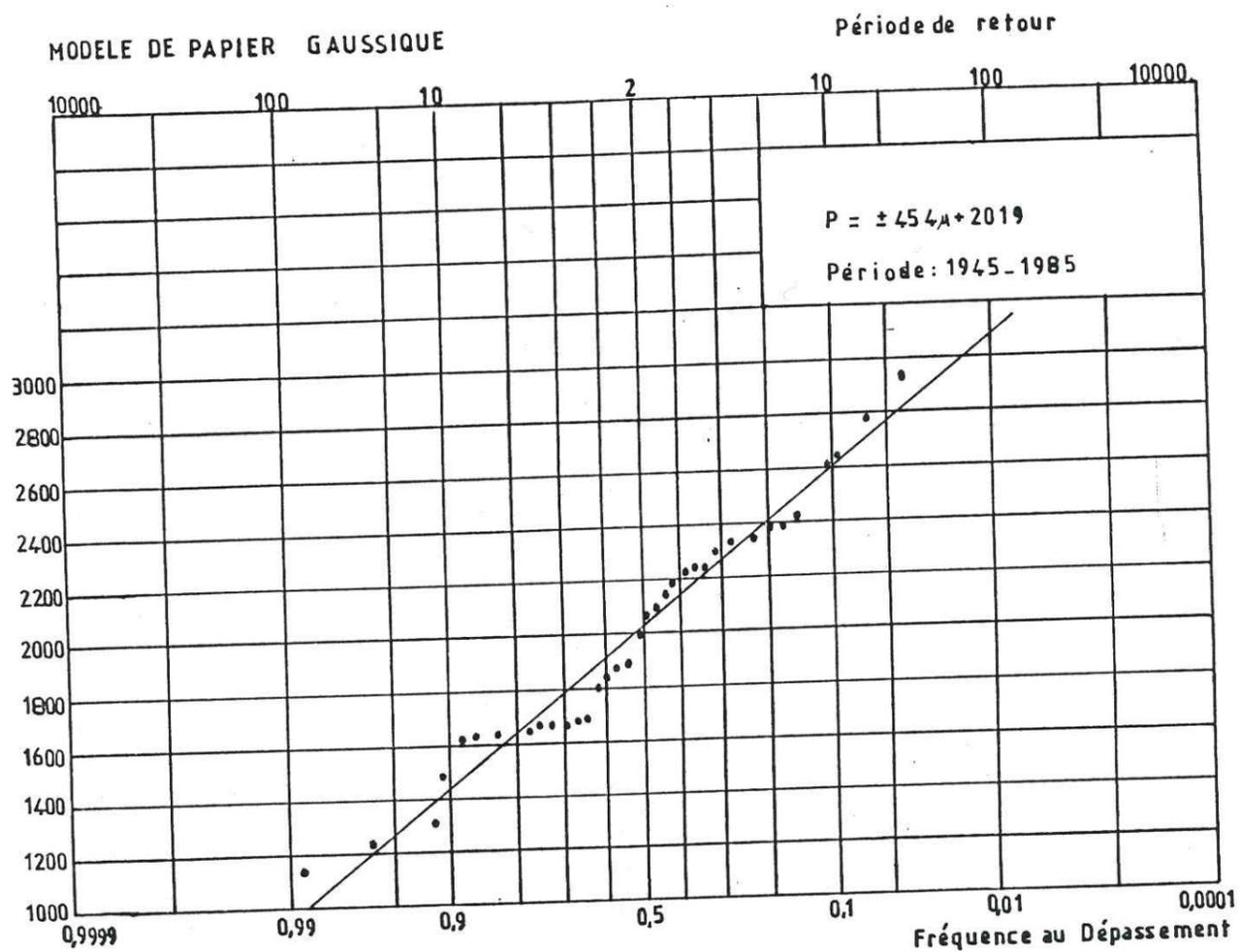


Fig II₁₉ : Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station
Orstom Adiopodoumé

Le temps de retour de la valeur pluviométrique annuelle de l'année 1985 est de :

- 20 ans pour une pluie annuelle de 1 355 mm à la station d'Abidjan Aéroport ;

- 18 ans pour une pluie annuelle de 1 303 mm à la station Orstom Adiopodoumé ;

- 4 ans pour une pluie annuelle de 1 574 mm à la station d'IRHO LAME.

II_{44.4} Variation des pluies annuelles

Nous représentons sur le tableau II₁₀, les précipitations moyennes annuelles de 1966 à 1985, la moyenne pluviométrique des trois dernières années et l'écart entre les deux.

Stations	Module annuel (mm)	Précipitations moy. annuelles de 1983-1985	Ecart (mm)
Abidjan Aéroport	1880	1471	409
Abidjan Cocody	1745	1402	343
IRFA Anguededou	1853	1360	493
IRFA Azaguié	1539	1422	117
IRCC Bingerville	1903	1565	380
IRHO LAME	1609	1308	301
Orstom Adiopodoumé	1748	1471	277

Tableau II₁₀ : Précipitations moyennes annuelles

Nous observons que la pluviométrie moyenne annuelle des

trois dernières (1983-1985) est déficitaire par rapport à la moyenne annuelle sur vingt ans. Pour visualiser ce constat nous avons reporté sur un graphique les pluies annuelles des stations d'IRHO LAME et d'Orstom Adiopodoumé. Pour chaque station nous avons tracé sa moyenne mobile correspondant au nombre d'années depuis la date de création.

A l'analyse de ce graphe, il ressort une succession de périodes sèches et de périodes humides. Les pluies annuelles des trois dernières années marquent une période sèche. Le passage de la période humide, à partir de 1982, à la période sèche apparaît nettement sur le graphe de la figure II 20

II₅ Etude des températures

Le second facteur important intervenant dans le bilan hydrologique est de toute évidence la température, en ce sens qu'elle a une incidence sur les phénomènes d'évapotranspiration et par conséquent sur le déficit d'écoulement. D'où l'importance de la détermination de ce paramètre.

La moyenne des températures a été faite sur une période de vingt ans (1966-1985). Seules les stations offrant des mesures complètes seront prises en compte.

Toutes les valeurs sont portées dans le tableau II₁₁

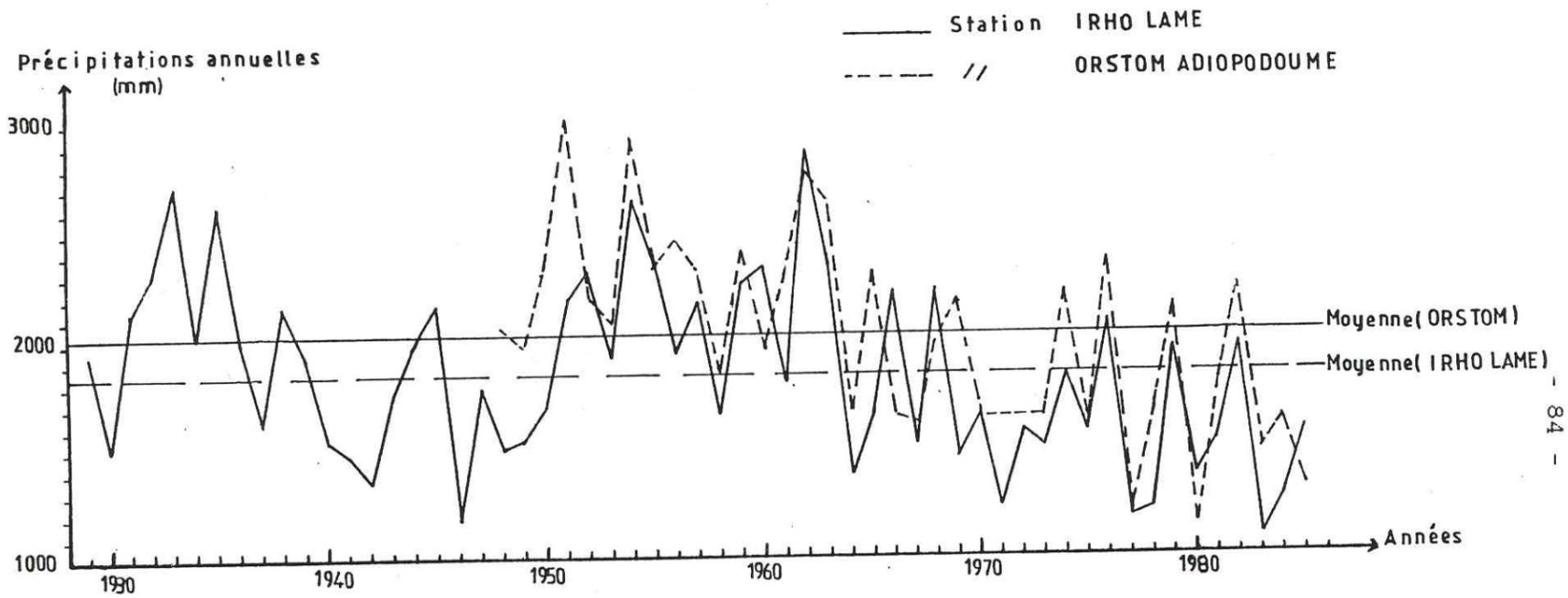


Fig II₂₀ : Variation des pluies annuelles

Paramètres	Mois												Moyenne Annuelle
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
IRFA Anguededou	T° max	33	33,8	33,9	33,4	32,8	31	29,6	29,2	29,9	30,9	31,5	31,6
	T° min	18,2	19,6	19,9	19,9	19,8	19,8	19	18,5	19,4	19,9	18,4	18,4
	T° moy	25,6	26,7	26,9	26,7	26,3	25,4	24,3	23,9	24,7	25,7	25	25
IRFA Azaguié	T° max	31,1	32,4	32,3	32,1	29,5	29	28	27,4	28,5	29,8	30,8	30,2
	T° min	20,8	22	22,2	22,3	22,3	21,9	21,1	21,1	21,5	21,7	21,5	21,1
	T° moy	25,5	27,2	27,3	27,2	25,9	25,5	24,6	24,3	25	25,8	26,2	25,7
IRHO LAME	T° max	31,2	32,3	32,2	32,1	30,9	28,9	27,8	27,3	28,3	29,7	30,5	30,3
	T° min	20,9	22,3	23,4	22,7	22,5	22,2	21,4	21,4	21,8	22	21,7	21
	T° moy	26,1	27,3	27,5	27,4	26,7	25,5	24,6	24,4	25,1	25,9	26,1	25,7
Orstom Adiopodoumé	T° max	30,9	31,6	31,7	31,6	30,3	28,5	27,4	27	27,8	29,3	30,2	30,2
	T° min	22,7	23,9	24	23,8	23,5	22,9	22,3	22,1	22,5	23	23	22,6
	T° moy	26,8	27,7	27,9	27,7	27	25,8	24,9	24,6	25,2	26,2	26,6	25,1

Tableau II₁₁ : Températures moyennes mensuelles en degré celsius

(Période 1966-1985)

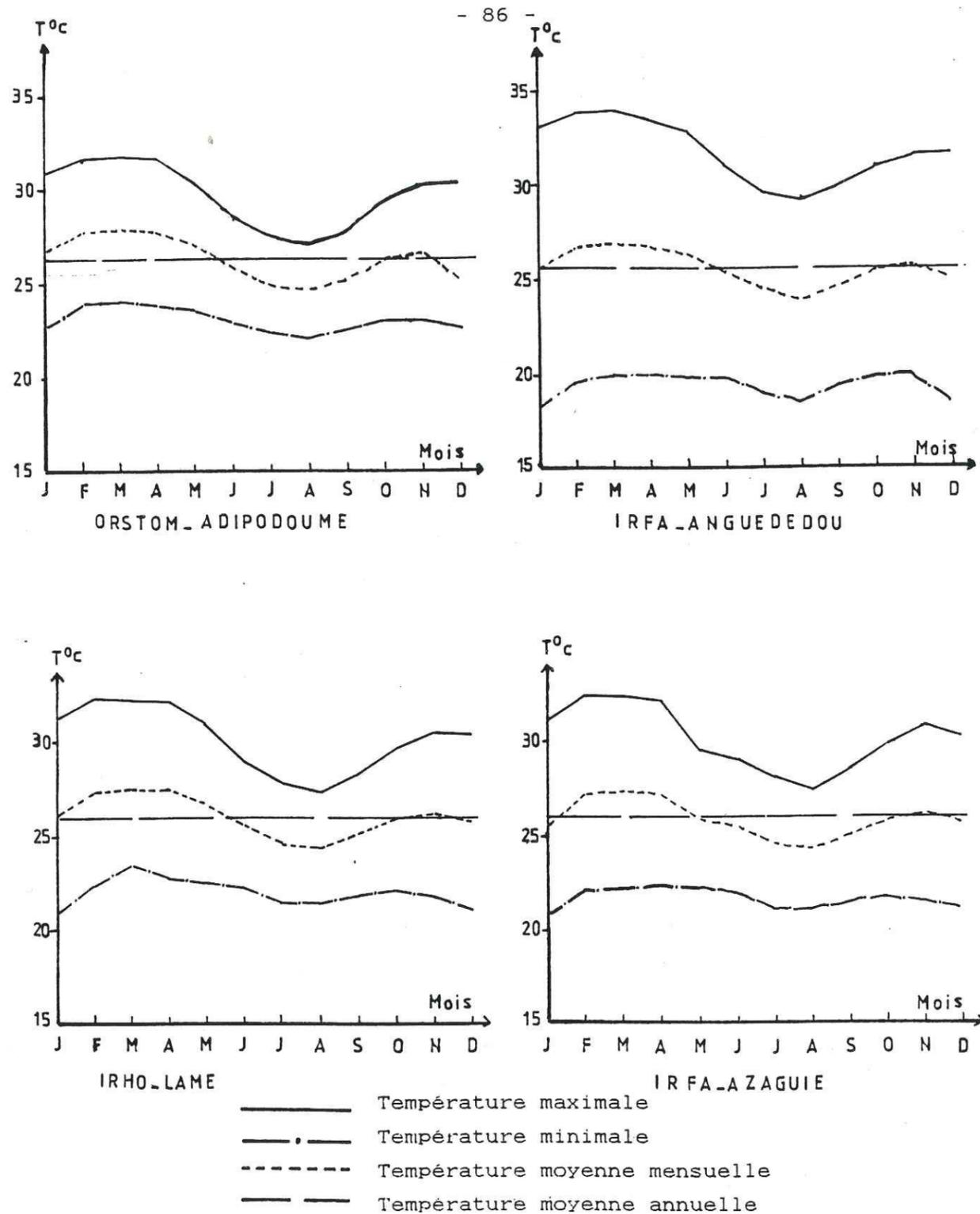


Fig. II₂₁ : Variation des températures moyennes mensuelles aux différentes stations au cours de la période 1966-1985

Sur la figure II₂₁ ont été tracés les graphes montrant les variations mensuelles des températures. Il ressort de l'analyse de ces graphes que les températures diffèrent et varient très peu d'un point à un autre. La principale raison pourrait être la présence de la mer qui aurait pour effet de tamponner les variations de température.

Pour toutes les stations, la température moyenne annuelle est voisine de 26°C en général, les températures supérieures à la moyenne s'observent en novembre et de janvier à mai excepté la température du mois de janvier de la station d'IRFA Azaguié où celle-ci est inférieure à la moyenne annuelle.

En dehors des mois ci-dessus mentionnés, tous les autres mois ont des températures mensuelles inférieures à la moyenne annuelle.

Les variations diurnes sont faibles : de 6 à 14°C entre les températures maximales et minimales.

II₆ Insolation

Les durées d'insolation sont mesurées à l'Orstom Adiopodoumé, IRFA Anguededou, IRCC Bingerville, Abidjan Aéroport et à l'IRFA Azaguié avec un héliographe Campbell et exprimées en heures et dixièmes d'heure. La durée d'insolation étant à peu près constante sur la zone d'étude, nous avons choisi deux stations représentatives pour lesquelles nous donnons les valeurs de l'insolation moyenne journalière et mensuelle. Les résultats sont portés dans le tableau II₁₂ ci-dessous.

Stations	Insolation	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Orstom Adiopodoumé	Totale mensuelle	212	201	218	213	192	110	112	80	98	173	209	212
	H/mois												
	Totale journal. H/jour	6,8	7,2	7,3	7,1	6,2	3,7	3,6	2,6	3,3	5,6	7	6,8
IRHO LAME	Totale mensuelle	191	181	194	197	174	110	106	73	90	150	184	178
	H/mois												
	Totale journal. H/jour	6,2	6,5	6,5	6,6	5,6	3,7	3,4	2,4	3	4,8	6,1	5,7

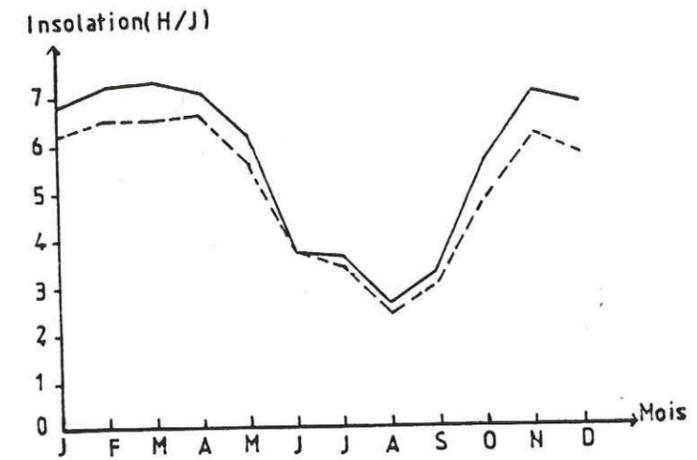
Tableau II₁₂ : Durée d'insolation totale mensuelle et moyenne journalière. Période 1966-1985

Nous avons représenté sur la figure II₂₂, la variation de l'insolation moyenne journalière au cours de chaque mois de l'année.

A la lumière de cette figure, nous constatons qu'il y a 6 à 7 heures d'insolation par jour au cours de l'année exceptés les mois de juin, juillet, août et septembre où cette moyenne baisse pour atteindre sa valeur la plus basse. Cette décroissance est due au fait qu'au cours de ces mois, nous avons une couverture nuageuse très importante.

On remarque par ailleurs que, les valeurs de l'insolation journalière, sont légèrement plus élevées à la station d'Orstom Adiopodoumé qu'à celle d'IRMO Lamé bien qu'il y ait une parfaite concordance entre les deux courbes. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que la station d'Orstom Adiopodoumé

est plus proche de la mer que celle d'IRHO Lamé.



— Orstom Adiopodoumé
----- IRHO LAME

Fig. II₂₂ : Variation de l'insolation journalière (1966-1985)

II₇ Humidité relative

L'humidité relative ou état hygrométrique est le rapport de la tension de vapeur réelle (observée) à la tension de vapeur saturante à la même température ; celle-ci étant exprimée en pourcentage.

Les seules mesures dont nous disposons viennent de la station d'IRHO LAME. Celles-ci couvrent la période de 1957 à 1985.

Les résultats sont résumés dans le tableau II₁₃

Humidité relative en %	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maximale	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
Minimale	52	54	57	58	62	69	67	68	67	66	64	57
Moyenne	78	80	80	81	84	86	86	86	85	85	85	84

Tableau II₁₃ : Humidité relative mensuelle à la station d'IRHO LAME (1957-1985)

Nous avons matérialisé la variation mensuelle de l'humidité relative sur la figure II₂₃ suivante :

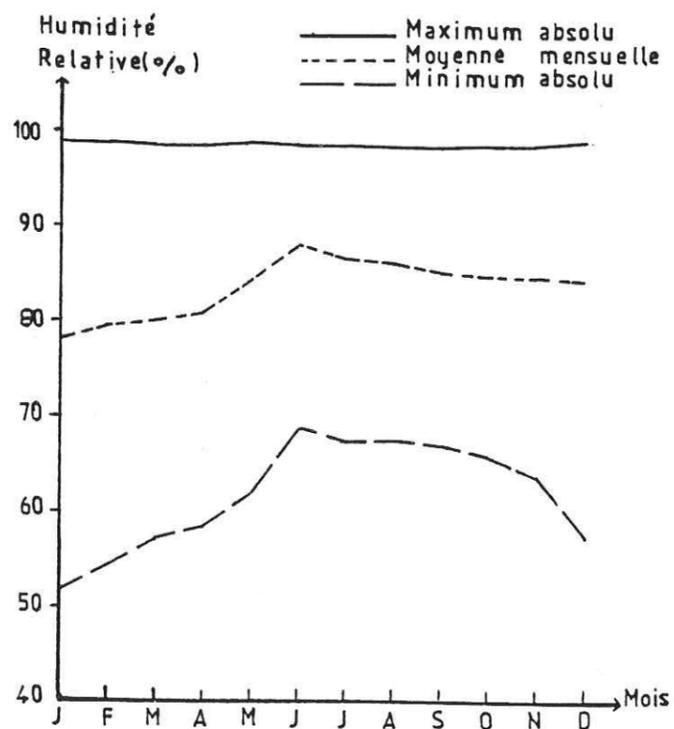


Fig. II₂₃ : Humidité relative à la station IRHO LAME (Période 1957-1985)

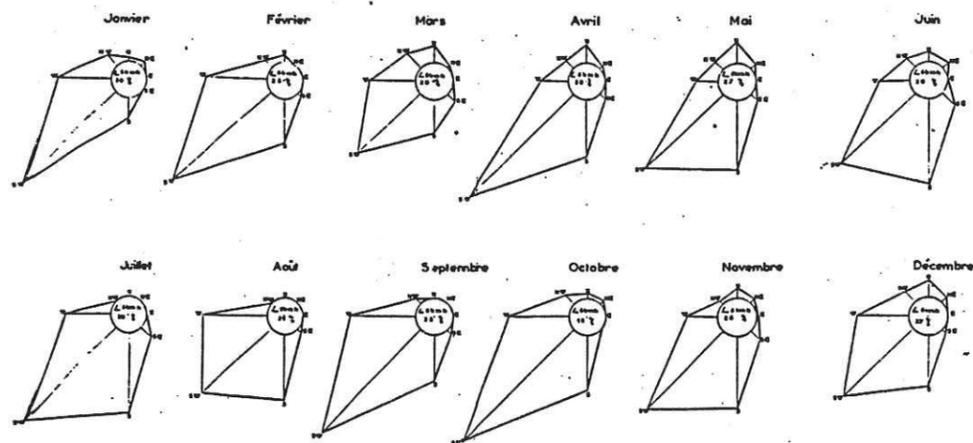
On note que l'humidité relative maximale reste constante tout au long de l'année ; par contre, l'humidité relative minimale ainsi que celle moyenne varient positivement pour atteindre une valeur maximale en juin, ensuite pour décroître légèrement jusqu'en décembre.

Il est par ailleurs intéressant de noter que, l'humidité relative minimale ne descend jamais en dessous de 50 % et ceci est vrai pour toute la zone, en ce sens que dans le calcul de l'ETP selon la formule de Turc, il intervient un terme correcteur fonction de l'humidité relative moyenne. Ce terme est négligeable dans le cas où cette valeur est supérieure à 50 %.

II₈ Vent

Le pourcentage des vents calmes, dont la vitesse est inférieure à 6 Km/h, est voisine de 25 % à Abidjan. Les vents dominants viennent du Sud-Ouest (Fréquence de 36 %, soit 50 % environ du temps en dehors des périodes calmes).

Les vents du Sud et d'Ouest sont de fréquence voisines (15 % environ).



ASECNA

Fig. II₂₄ : Vent au sol à la station Abidjan Aéroport

II₉ Etude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des facteurs qui régissent l'évaporation et la transpiration. Les facteurs importants influant sur l'évapotranspiration sont de deux sortes :

- Les facteurs physiques ;
- Les facteurs physiologiques.

Vue la grande similitude qui existe entre les différentes stations au niveau des facteurs climatologiques, nous étudierons l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle seulement à la station d'Orstom Adiopodoumé. Les résultats trouvés serviront par la suite dans le calcul du bilan hydrologique sur notre bassin versant témoin.

II₉₁ Calcul de l'évapotranspiration potentielle

Par définition, l'évapotranspiration potentielle est l'évaporation d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Cette valeur de l'ETP sera estimée par les formules de Turc, Serra, Thornthwaite et Penman. A ces valeurs calculées, nous ajouterons, celles mesurées par l'évaporomètre Piche. Les calculs seront faits sur une longue période.

II_{91.1} ETP selon la formule de Turc

Nous avons appliqué la formule de Turc de la forme :

$$ETP = [0,4 (R_g + 50) \frac{t}{t + 15}] (1 + \frac{50 - \mu}{70})$$

avec t = température moyenne mensuelle en degré celsius.

R_g = est la radiation solaire globale du mois considéré sur une surface horizontale en Cal/Cm²/jour/. Celle-ci est mesurée à la station Orstom Adiopodoumé et à la station IRHO LAME.

μ = humidité relative moyenne en %

* Si μ > 50 %, 1 + $\frac{50 - \mu}{70}$ est négligé ;

* Si μ < 50 %, on tient compte de ce terme.

Dans le cadre de notre étude, le terme 1 + $\frac{50 - \mu}{70}$ a été négligé puisque l'humidité relative minimale est supérieure à 50 % sur toute notre zone comme nous l'avons relevé dans le paragraphe concernant l'étude de l'humidité relative.

Le coefficient 0,4 est valable pour les mois de 30 et

31 jours ; pour le mois de février on a remplacé 0,4 par 0,37.

Nous avons calculé l'ETP sur une période de 20 ans pour la station d'Orstom Adiopodoumé (Période 1966-1985).

Les résultats des calculs sont résumés dans le

tableau II₁₄

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1966	107	113	132	130	119	95	93	74	79	118	128	124	1312
1967	125	127	134	127	124	88	86	65	80	113	128	123	1320
1968	105	114	128	124	123	91	91	83	106	123	111	114	1313
1969	106	114	134	136	123	86	88	79	81	95	118	105	1265
1970	97	104	136	132	113	99	71	72	79	130	123	114	1270
1971	96	119	134	133	139	97	95	80	100	132	119	81	1325
1972	102	120	127	131	115	94	72	72	87	112	103	96	1231
1973	104	111	125	132	125	86	97	82	96	121	134	102	1315
1974	102	102	115	151	130	98	84	102	99	124	121	106	1334
1975	115	109	131	126	117	101	92	71	99	123	128	113	1325
1976	113	119	142	133	112	76	85	77	91	89	121	108	1266
1977	113	111	121	134	126	92	80	74	88	109	122	100	1270
1978	103	112	130	121	110	89	84	90	97	107	128	98	1269
1979	114	121	135	131	112	89	82	80	98	110	115	105	1292
1980	102	115	132	133	105	89	78	78	89	108	124	106	1259
1981	110	112	132	139	116	100	77	81	100	124	117	94	1302
1982	114	114	135	129	112	67	82	64	94	108	117	104	1240
1983	108	114	119	134	117	82	87	74	85	119	107	106	1252
1984	102	115	128	124	117	98	95	102	110	116	129	97	1333
1985	106	109	118	137	122	98	96	87	99	129	120	100	1331
Moyenne	107	114	129	132	119	91	86	79	93	116	121	105	1292

Tableau II₁₄ : EPT Turc moyenne mensuelle à la station d'Orstom Adiopodoumé pour la période 1966-1985

L'ETP annuelle selon la formule de Turc pour l'année moyenne de 20 ans est de 1292 mm.

II_{91.2} ETP selon la formule de Serra

La formule de Serra donne :

$$ETP = 1,6 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a$$

ETP étant exprimée en cm,

avec $I = \sum_{i=1}^{12} i$ où $i = 0,09 (T)^{3/2}$

T = température moyenne mensuelle

$$a = 1,6 \frac{I}{100} + 0,5 = 2,83$$

Le tableau II₁₅ résume les résultats obtenus.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
T° (°C)	26,8	27,7	27,9	27,7	27	25,8	24,9	24,6	25,2	26,2	26,6	25,1	
i	12,5	13,1	13,3	13,1	12,6	11,8	11,2	11	11,4	12,1	12,4	11,3	145,8
ETPnc (mm)	89,6	98,4	100,4	98,4	91,5	80,5	72,8	70,3	75,3	84	87,7	74,4	1023
K	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02	
ETPc (mm)	91,4	91,5	103,4	100,4	97	82,9	77,2	73,8	76,1	86,5	86,8	75,9	1043

Tableau II₁₅ : ETP moyennes mensuelles selon la formule de Serra (Période 1966-1985)

L'ETP corrigée annuelle est de 1043 mm.

II_{91.3} ETP selon la formule de Thornthwaite

L'évapotranspiration potentielle est donnée par la relation suivante :

$$ETP = 1,6 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a$$

avec ETP exprimée en cm,

t : température moyenne mensuelle en degré celsius ;

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ avec } i = \left(\frac{T}{5}\right) 1,514 ;$$

$$a = 0,492 + 1,79 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 = 3,66.$$

Grâce à cette formule nous avons déterminé l'évapotranspiration potentielle mois par mois. Les différentes valeurs sont portées dans le tableau II₁₆ ci-dessous.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
T° (°C)	26,8	27,7	27,9	27,7	27	25,8	24,9	24,6	25,2	26,2	26,6	25,1	
i	12,7	13,4	13,5	13,4	12,8	12	11,4	11,2	11,6	12,3	12,6	11,5	148,4
ETPnc (mm)	139,2	157,1	161,3	157,1	143	121,1	106,4	101,7	111,1	128,1	135,4	109,5	1571
K	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02	
ETPc (mm)	142	146	166	160	152	125	113	107	112	132	134	112	1601

Tableau II₁₆ : ETP moyennes mensuelles selon Thornthwaite (Période 1966-1985)

K étant le facteur correctif en fonction de la latitude

L'ETP corrigée annuelle selon Thornthwaite est de 1601 mm.

On dispose également des valeurs d'évapotranspiration déterminées par la méthode de Penman sur une période allant de 1968 à 1979 et celles de l'évaporation déterminées sur évaporomètre Piche sur une période de 1966 à 1985.

Les résultats sont portés sur le tableau II₁₇ de la page suivante.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tot. Ann.	Périodes
Evapo-romètre														
Piche	69	72	83	73	60	45	54	63	55	64	59	56	743	1966-1985
Penman	114	122	142	137	107	90	90	86	98	123	121	107	1357	1968-1985

Tableau II₁₇ : Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles mesurées et calculées à la station d'Orstom Adiopodoumé

Le tableau II₁₈ ci-dessous résume les valeurs de l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle, déterminées par les différentes méthodes sur une année moyenne.

Méthodes	ETP (mm)
Piche	743
Penman	1357
L. Turc	1292
Serra	1043
Thornthwaite	1601

Tableau II₁₈ : Valeurs d'évapotranspirations potentielles annuelles mesurées et calculées

A l'analyse de ce tableau, on constate une grande dispersion des valeurs d'ETP déterminées par les différentes méthodes. La valeur faible donnée par l'évaporomètre Piche est due au fait que le processus d'évaporation est essentiellement lié au

déficit hydrométrique de l'air et ne tiendrait pas compte suffisamment de l'influence de l'insolation contrairement aux autres méthodes.

Seule l'ETP calculée par la méthode de L. Turc et par celle de Penman offre des valeurs presque similaires.

Par conséquent, pour la suite de notre étude, nous utiliserons la valeur de l'ETP qui sera égale à la moyenne arithmétique entre la valeur déterminée par la méthode de Turc et celle déterminée par la méthode Penman.

Nous avons $ETP_{\text{moy}} = 1325 \text{ mm}$.

II₉₂ Calcul de l'évapotranspiration réelle

L'évapotranspiration réelle (ETR) est le volume total d'eau évaporée et transpirée pendant une période donnée dans les conditions réelles de teneur en eau du sol.

Pour accéder à cette valeur de l'ETR, il y a plusieurs méthodes indirectes parmi lesquelles nous avons choisi les formules de L. Turc, de Couagne et le bilan hydrique de Thornthwaite. A côté de ces méthodes indirectes, nous avons les résultats de l'ETR déterminés par un lysimètre.

Les calculs de l'ETR se feront avec la valeur de pluie moyenne annuelle de la période 1966-1985 et celle de la période 1983-1985. La valeur de l'ETR calculée sur la période des trois dernières servira dans l'établissement du bilan hydrologique. La raison de ce découpage répond à notre souci d'homogénéiser les termes du bilan hydrologique, en ce sens que les valeurs du ruissellement de surface dont nous

disposons ont été mesurées au cours des trois dernières années (1983-1985).

Comme nous l'avons noté plus haut, les pluies annuelles de la période (1983-1985) s'inscrivent dans un cycle de sécheresse. Les températures annuelles étant constantes à peu près d'une année à l'autre, nous utiliserons la température moyenne annuelle calculée sur la période de vingt ans (1966-1985) pour la détermination de l'ETR annuelle des deux périodes.

II_{92.1} Formule de L. Turc

Cette formule permet d'évaluer l'ETR moyenne annuelle en fonction de la température moyenne annuelle et de la hauteur moyenne des précipitations annuelles :

$$ETR \text{ (mm/an)} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

avec P : pluviométrie moyenne annuelle en mm ;

T : température moyenne annuelle en degré celsius = 26,5° ;

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3.$$

Pour l'année moyenne 1966-1985 avec une hauteur de pluie de 1748 mm nous avons une valeur d'ETR qui est égale à 1293 mm soit 74 % des pluies.

Sur la période 1983-1985, pour une hauteur de pluie moyenne de 1471 mm, la valeur d'ETR calculée est égale à 1169 mm soit 79 % des pluies.

II_{92.2} Première formule de Couagne

Nous avons choisi la première formule de Couagne parce que les précipitations moyennes annuelles que nous avons sont comprises entre 1/8λ et 1/2λ, conditions requises pour son utilisation.

$$ETR_{(m/an)} = P - \lambda P^2$$
$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 T}$$

avec P : précipitation moyenne annuelle en mètre ;

T : température moyenne annuelle en degré celsius.

Période 1966-1985 :

$$P = 1748 \text{ mm} = 1,748 \text{ m}$$

$$ETR = 1,071 \text{ m} = 1071 \text{ mm. Soit } 61 \% \text{ des pluies}$$

Période 1983-1985 :

$$P = 1471 \text{ mm}$$

$$ETR = 0,991 \text{ m} = 991 \text{ mm. Soit } 67 \% \text{ des pluies annuelles}$$

II_{92.3} Calcul de l'ETR selon le bilan hydrique de Thornthwaite

Le bilan hydrique de Thornthwaite retrace le schéma des échanges et du transfert des eaux à l'intérieur d'une région.

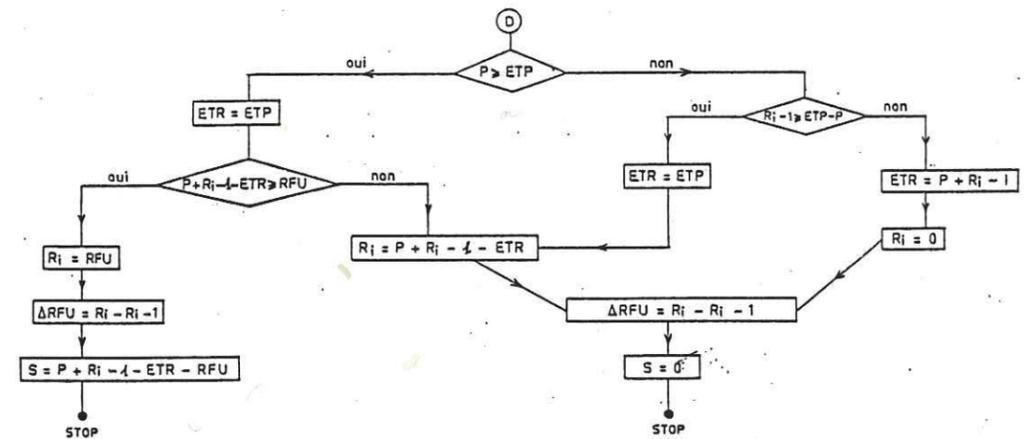
Thornthwaite admet que la quantité d'eau nécessaire pour que le sol soit saturé est équivalente à une lame d'eau de 100 mm. Mais ce chiffre varie en fonction des différents types de sol. Nous avons admis pour notre part 100 mm comme réserve facilement utilisable (R.F.U.), vu la nature de notre

sol qui est constitué de sables et d'argiles.

Le principe est basé sur deux cas :

1er cas : Si P > ETP, il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation ; le surplus représentera l'écoulement superficiel ou souterrain ;

2ème cas : Si P < ETP, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à ce que ETR = ETP. Le stock épuisé, l'évapotranspiration sera égale à la pluviométrie : ETR = P, on aura alors un déficit qui représente la quantité d'eau qu'il faudra ajouter dans ce cas à l'ETR pour atteindre l'ETP. La démarche de calcul est résumée dans l'organigramme de la figure II₂₅ ci-dessous.



- RFU : (R > RFU) réserve facilement utilisable par les végétaux et caractérisant un sol
- R_{i-1} : réserve effective du mois précédent
- R_i : réserve effective du mois en cours de calcul
- S : surplus disponible pour l'écoulement superficiel ou souterrain
- ETP-ETR : déficit du bilan
- ΔRFU : R_{i-1} - R_i : variation des réserves
- P-ETR : excédent du bilan

Fig. II₂₅ : Organigramme du bilan mensuel (méthode de Thornthwaite) J.P. Faillat, 1979

Nous avons amorcé à notre station, le calcul du bilan hydrique à partir du mois de mai où les précipitations sont supérieures à l'ETP. Nous avons considéré que les réserves d'eau du sol sont certainement nulles au cours du mois d'avril pour la simple raison que celui-ci marque la fin de la grande saison sèche. Les résultats trouvés sont résumés dans le tableau II₁₉ ci-dessous.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tot.	Périodes
ETP (mm)	145	154	185	171	162	142	117	117	119	142	143	137	1734	1983-1985
(mm)	142	146	166	160	152	125	113	107	112	132	134	112	1601	1966-1985
P (mm)	24	57	76	123	314	399	82	66	62	103	79	86	1471	1983-1985
(mm)	20	64	86	126	269	569	182	49	71	137	112	63	1748	1966-1985
Reserve d'eau utile	0	0	0	0	100	100	65	14	0	0	0	0		1983-1985
(mm)	0	0	0	0	100	100	100	42	1	6	0	0		1966-1985
ETR (mm)	24	57	76	123	162	142	117	117	76	103	79	86	1162	1983-1985
(mm)	20	64	86	126	162	125	113	107	112	132	118	63	1218	1966-1985
Ecoulement	1	0	0	0	26	141	71	35	18	9	5	3	309	1983-1985
(mm)	3	2	1	0	8	226	148	74	37	18	9	4	530	1966-1985
Excédent					52	257							309	1983-1985
(mm)					17	444	69						530	1966-1985
Déficit	121	97	109	48					43	39	64	51	572	1983-1985
(mm)	122	82	80	34							16	49	383	1966-1985

Tableau II₁₉ : Bilan moyen annuel de l'eau à la station Orstom Adiopodoumé

La valeur de l'ETR obtenue au cours de la période 1966-1985 est de 1218 mm, soit 70 % des pluies et celle correspondant à la moyenne des trois dernières années (1983-1985) est de 1162 mm, soit 79 % des pluies.

La valeur de 383 mm de déficit pour l'année moyenne (1966-1985) par rapport à celle de 572 mm de déficit pour les trois dernières années (1983-1985) dénote que le déficit s'est accentué et par la même occasion, qu'il a manqué un peu plus d'eau aux plantes pour leur croissance au cours de la période couvrant les trois dernières années.

Les seuls mois excédentaires sont les mois de mai, juin et juillet correspondant à la période de la grande saison de pluie.

Pour les autres mois de l'année, il faut pallier à l'insuffisance des pluies par l'apport d'eau supplémentaire aux plantes.

Les résultats viennent confirmer les phénomènes déjà observés plus haut qui voudraient que les trois dernières années (1983-1985) soient déficitaires par rapport à l'année moyenne en général et à la station d'Orstom Adiopodoumé en particulier, nous avons représenté graphiquement le bilan moyen annuel de l'eau de la période 1983-1985 sur la figure II₂₆

II_{92.4} ETR déterminée par lysimétrie

La station d'Orstom Adiopodoumé étant équipée de lysimètres, l'ETR a été mesurée de 1967 à 1976. Bien que les mesures comportent quelques lacunes, nous avons pu faire la moyenne mensuelle et annuelle.

Les résultats sont consignés dans le tableau II₂₀ suivant.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETR (mètre)	109	114	139	131	124	79	79	77	83	103	116	101	1255

Tableau II₂₀ : ETR mesurée par lysimétrie à la station Orstom Adiopodoumé de 1967 à 1976

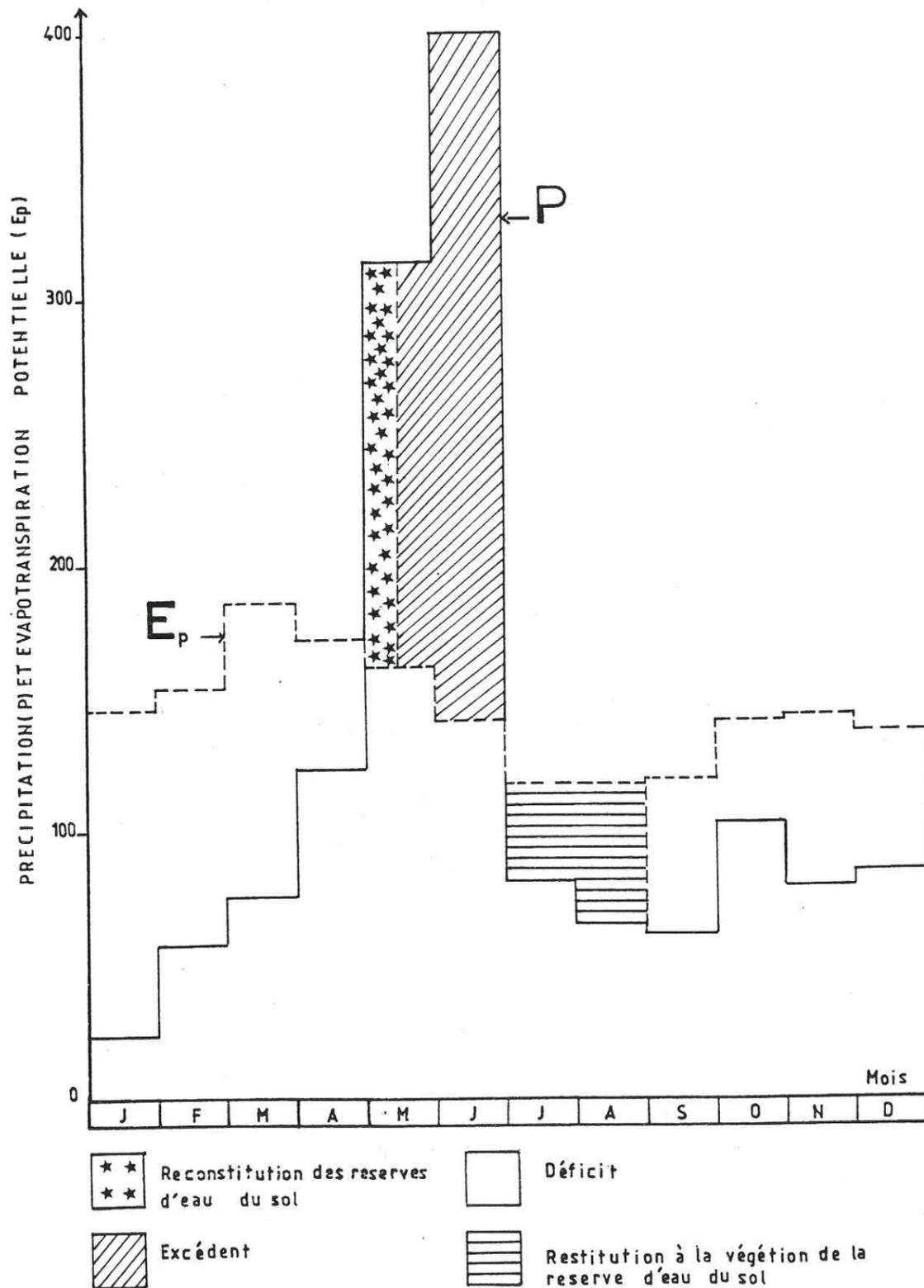


Fig II₂₆ : Bilan de l'eau d'après Thornthwaite à la station d'Orstom Adiopodoumé (1983 - 1985)

II₉₃ Discussion des résultats

Le tableau II₂₁ récapitule les valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes.

Paramètres	Méthodes	Année moyenne	Année moyenne 1983-1985
ETR (mm)	L. Turc	1293	1169
	Thornthwaite	1218	1162
	Lysimètre	1255	
	CoUtagne	1071	991
ETP (mm)	Piche	743	882
	Penman	1357	
	L. Turc	1292	1304
	Serra	1043	
	Thornthwaite	1601	1734

Tableau II₂₁ : Tableau récapitulatif de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes

La valeur de l'ETR déterminée par la méthode de CoUtagne est trop faible par rapport aux trois autres valeurs pour être prise en considération. Nous retiendrons comme valeur de l'ETR, pour la suite de notre étude, la moyenne arithmétique entre les valeurs obtenues par la formule de Turc, Thornthwaite et celle obtenue sur le lysimètre. Ceci nous donne une valeur d'ETR qui est égale à 1255 mm pour l'année moyenne et 1166 mm pour la moyenne des trois dernières années (1983-1985).

Au niveau des valeurs de l'ETP obtenues par les différentes méthodes, seules les méthodes de L. Turc et Penman semblent donner des valeurs proches et plus près de la réalité ;

en ce sens que ces deux méthodes prennent en compte plusieurs facteurs pouvant influencer les mesures de l'ETP. Parmi ces facteurs, nous avons entre autres la vitesse du vent, la tension de la vapeur, le rayonnement solaire global et la durée d'insolation.

II₁₀ Hydrologie de surface

II_{10.1} Généralités

Notre zone d'étude est couverte par quatre principaux bassins versants drainés par des rivières dont nous donnons la liste :

- La rivière Lokoboué avec un bassin versant de 30 Km² ;
- La rivière Banco avec un bassin versant de 25 Km² ;
- La rivière Djibi avec un bassin versant de 25 Km² ;
- La rivière Gbangbo avec un bassin versant de 55 Km².

Ces quatre rivières permanentes coulent dans le sens nord-sud sur des terrains continentaux tertiaires sablo-argileux.

Pour celles-ci, nous disposons de mesures complètes de débits journaliers sur trois ans (1983-1985). Les mesures antérieures à 1983 n'ont jamais été prises en considération en raison des lacunes trop importantes existant au niveau des débits moyens journaliers. Toute cette documentation nous a été gracieusement fournie par les services de la DRES. Les débits moyens et les débits spécifiques des trois années pour les quatre stations hydrométriques sont résumés dans le tableau II₂₂.

	J	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	:Module : annuel)
Q moyen (m ³ /s)	0,725	0,703	0,691	0,658	0,848	0,994	0,866	0,842	0,886	0,839	0,796	0,755	0,800	
Q	28,1	27,6	26,3	33,9	39,8	34,6	33,7	35,4	33,6	31,8	30,2	32		
spécifique: (l/s/Km ²)	29													
Q moyen (m ³ /s)	0,342	0,331	0,289	0,297	0,348	0,412	0,363	0,332	0,328	0,329	0,334	0,343	0,337	
Q	13,7	13,2	11,6	11,9	13,9	16,5	14,5	13,3	13,1	13,2	13,4	13,7	13,5	
spécifique: (l/s/Km ²)														
Q moyen (m ³ /s)	0,447	0,427	0,430	0,414	0,437	0,460	0,460	0,400	0,362	0,348	0,362	0,335	0,395	
Q	8,1	7,8	7,8	7,5	7,9	8,4	7,3	6,6	6,3	6,6	6,1	5,8	7,2	
spécifique: (l/s/Km ²)														
Q moyen (m ³ /s)	0,321	0,318	0,327	0,316	0,302	0,339	0,314	0,294	0,324	0,350	0,346	0,355	0,325	
Q	10,7	10,6	10,9	10,5	10,1	11,3	10,5	9,8	10,8	11,7	11,5	11,8	10,9	
spécifique: (l/s/Km ²)														

Tableau II₂₂ : Débits moyens et débits spécifiques pour la période 1983-1985

A la lumière du tableau II₂₂, nous constatons que la rivière Banco a un débit moyen annuel relativement plus élevé que les trois autres rivières qui ont presque le même débit moyen annuel.

La raison de cette différence est qu'il pleut un peu plus sur le bassin versant du Banco à cause de la forêt dense qui s'y trouve, donnant à ce bassin un microclimat particulier.

Pour la suite de nos travaux, nous nous limiterons à l'étude du bassin versant du Gbangbo qui nous servira de bassin versant témoin et à celle de bassin versant du Banco pour son caractère particulier (débit spécifique moyen annuel plus élevé).

II_{10.2} Régime hydrologique du Gbangbo et du Banco

II_{10.2.1} Bassin versant du Gbangbo et du Banco

Les bassins versants du Gbangbo et celui du Banco couvrent respectivement une superficie de 55 et de 25 Km². Morphologiquement, ils sont constitués de plateaux à faible pente et de vallées à pente forte à fond plat. Ces dernières constituant un réseau très ramifié de talwegs dont plusieurs ne sont pas drainés ou le sont temporairement.

Pour donner une idée de la pente et du relief de ces deux bassins, nous avons tracé les profils en long du Gbangbo et du Banco à partir du fond topographique au 1/50 000 de la carte d'Abidjan et de ses environs. On peut constater sur les profils de la figure II₂₇ ci-contre, qu'il existe deux parties dont la première a une pente relativement forte et la seconde une pente douce et régulière.

La valeur moyenne des pentes varie entre 5 et 12 % pour le Banco et est de 4 % pour le Gbangbo (Loroux B. 1978). L'altitude varie entre 5 et 100 mètres.

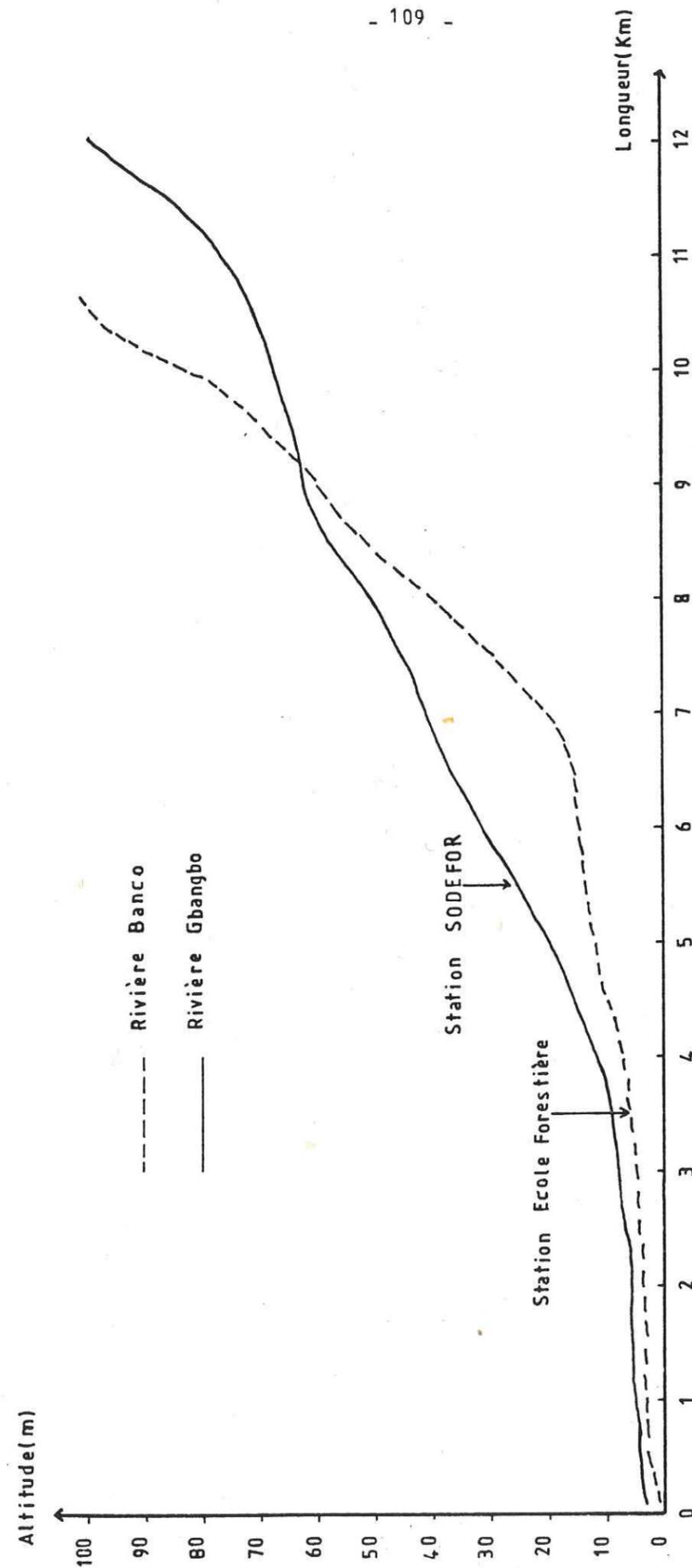


Fig II₂₇ : Profils en long des rivières Gbangbo et Banco

II_{10.2.2} Tarage du Gbangbo et du Banco

II_{10.2.2.1} Stations hydrométriques. Equipement

Le nombre des stations de jaugeage est de deux sur le Banco comme sur le Gbangbo. Parmi ces stations, seules deux sont suivies actuellement ; une sur le cours moyen du Banco et la seconde sur le cours moyen du Gbangbo. Les stations en aval seraient soumises aux fluctuations du plan d'eau de la lagune.

La station du Banco comporte un limnigraphe et deux échelles limnimétriques :

- La première échelle est située à 50 mètres en aval du pont et constituée d'un élément d'échelle cassé à 0,47 mètre ;
- La deuxième est à 10 mètres en amont du pont comprenant un élément d'échelle.

La station du Gbangbo comprend deux éléments d'échelles, un limnigraphe OTTX et une passerelle de jaugeage.

II_{10.2.2.2} Etalonnage des stations

Depuis 1959 pour le Banco et 1962 pour le Gbangbo, plus de 50 jaugeages ont été effectués sur chacune de ces stations. Tous les jaugeages n'ont pas permis d'établir une courbe de tarage idéale et définitive pour caractériser le régime des deux rivières. Ces difficultés liées à l'établissement d'un barème hauteur-débits, seraient dues entre autres à deux causes que nous estimons pour notre part essentielles :

- Le lit du cours d'eau étant très sableux et la section de jaugeage non aménagée ; ce fond mouvant entraînerait des erreurs dans la mesure des profondeurs verticales et entre deux jaugeages espacés dans le temps on note des modifications dans la topographie du lit de la rivière. Par conséquent pour un même débit, nous avons plusieurs hauteurs d'eau différentes ;
- Des aménagements sommaires effectués en amont du cours d'eau peuvent avoir des incidences sur les débits mesurés.

Pour pallier à ces difficultés, la DRES a recours à l'informatique pour le traitement des données ; elle dispose à cet effet d'une salle informatique.

L'ordinateur, en fonction des données de jaugeage et de différents autres paramètres, se charge d'établir un barème qui rende mieux la relation existant entre la hauteur et le débit pour la station considérée.

C'est en utilisant ce barème que nous avons pu dresser la courbe de tarage du Gbangbo et celle du Banco qui sont données sur les figures II₂₈.

L'allure parabolique des courbes de tarage, bien que moins accentuée au niveau du Banco, traduit le fait qu'il n'existe pas une relation linéaire entre le débit et la hauteur d'eau.

La durée de validité du barème n'est pas indéfinie compte tenu des remarques évoquées plus haut et il sera actualisé chaque fois que cela s'avèrera nécessaire.

II_{10.2.3} Débits mesurés sur le Banco (Station école forestière) et sur le gbangbo (Station SODEFOR) pour l'année 1985

Les débits journaliers ont été évalués à partir de la courbe de tarage par ordinateur à la suite du dépouillement des hauteurs d'eau sur les limnigraphes. Nous avons ensuite déterminé les débits spécifiques mensuels et les modules annuels.

Les résultats sont indiqués dans le tableau II₂₃ ci-dessous.

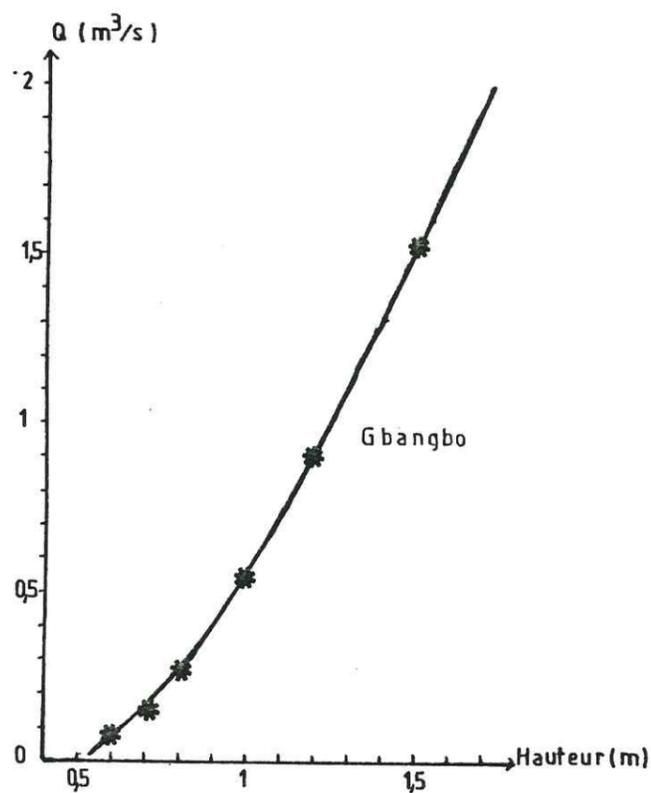
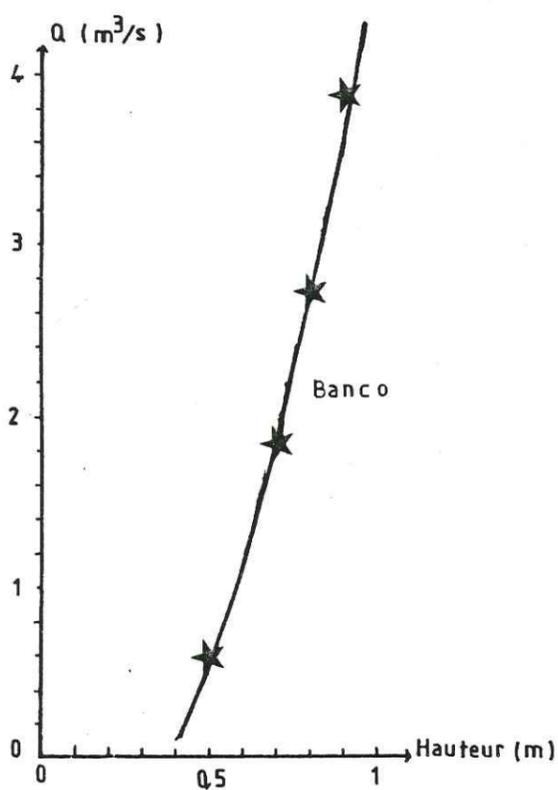


Fig II₂₈ : Courbes de tarage

(Rivières: Paramètres:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module annuel
(Banco : Débit moyen	0,632	0,669	0,687	0,558	0,942	1,11	0,911	0,929	1,04	0,998	0,948	0,857	0,857
(Banco : Débit spécifique	25,3	26,8	27,5	22,3	37,7	44,4	36,4	37,2	41,6	39,9	37,9	34,3	34,3
(Gbangbo : Débit moyen	0,311	0,302	0,3	0,265	0,299	0,342	0,313	0,27	0,247	0,254	0,254	0,238	0,233
(Gbangbo : Débit spécifique	5,7	5,5	5,5	4,8	5,4	6,2	5,7	4,9	4,5	4,6	4,6	4,3	5,1

Tableau II₂₃ : Débits moyens et débits spécifiques pour l'année 1985

Nous avons reporté sur les figures II₂₉₋₃₀, les débits moyens journaliers de l'année 1985 ainsi que la hauteur des débits moyens journaliers classés des deux rivières.

Le premier constat qui s'impose, à l'analyse du tableau II₂₃ ci-dessus, est que les débits moyens mensuels varient très peu au cours de l'année. Par contre l'examen des débits journaliers montre une variation importante qui serait liée aux précipitations.

En outre, l'examen des relevés limnigraphiques montre que les crues sont de faibles durée (en dehors du mois de juin). Quelques heures après une précipitation orageuse le niveau du plan d'eau retrouve presque toujours la même cote.

Lors d'une étude faite en 1980, le dépouillement des mesures a permis de distinguer différentes composantes dans la formation du débit de chaque rivière :

- Un débit permanent, ou débit de base, provenant du drainage de la nappe aquifère. Ce débit est très peu variable ;
- Un débit de ruissellement immédiat qui correspond aux pointes de crues et qui cesse quelques heures après les pluies.
- Un débit de tarissement qui suit les précipitations importantes. Le débit ayant une origine complexe :

- * Le drainage de la nappe aquifère rechargée par les pluies ;
- * Un ruissellement retardé dans le couvert végétal ;
- * Le ressuyage des petites nappes perchées locales recoupées par les talwegs.

II_{10.2.3.1} Débits caractéristiques

Des courbes des débits moyens journaliers classés, nous avons tiré les débits caractéristiques suivants :

- DCM : débit dépassé 10 jours par an (débit caractéristique maximum) ;
- DC₁ : débit dépassé 1 mois par an ;
- DC₃ : débit dépassé 3 mois par ans ;

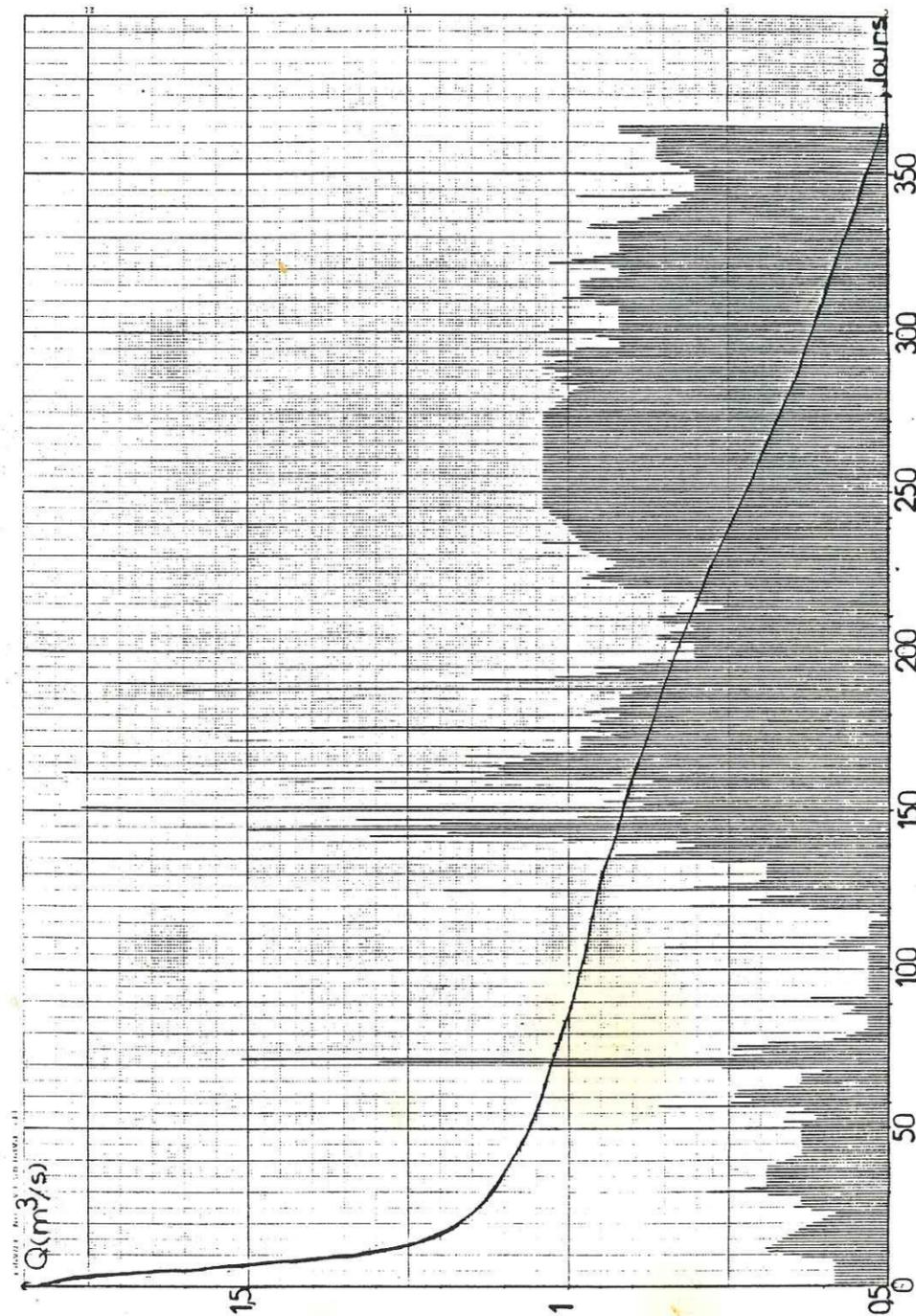


Fig II₂₉ : débits moyens journaliers, courbe des débits classés au cours de l'année 1985 (Rivière Banco)

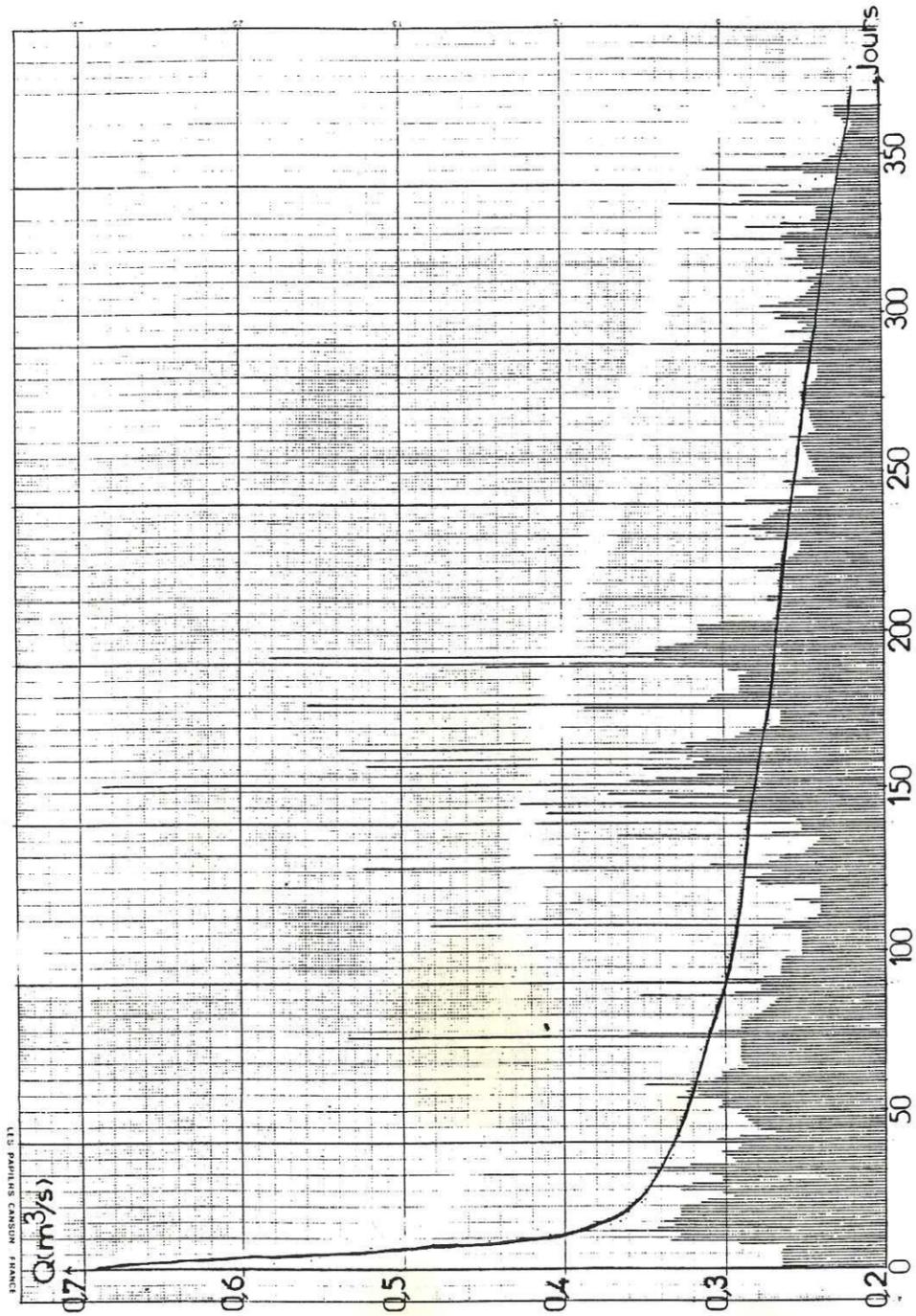


Fig II₃₀ : Débits moyens journaliers, courbe des débits classés au cours de l'année 1985 (Rivière Gbangbo)

- DC₆ : débit dépassé 6 mois par an ;
- DC₉ : débit dépassé 9 mois par an ;
- DCE : débit dépassé 365 jours par an (débit caractéristique d'étiage).

Les résultats sont consignés dans le tableau II₂₄ suivant :

(Rivière: DCM	DC ₁	DC ₃	DC ₆	DC ₉	DCE	Modules:	Unités)
Banco	1,32	1,12	0,995	0,865	0,680	0,857	m ³ /s
	52,8	44,8	39,8	34,6	27,9	21	1/s/Km ²
Gbangbo:	0,406	0,342	0,300	0,262	0,250	0,222	m ³ /s
	7,4	6,2	5,5	4,8	4,5	4	1/s/Km ²

Tableau II₂₄ : Débits caractéristiques : Année 1985

II_{102.3.2} Fréquence moyenne des débits journaliers

Sur la figure II₃₁, nous avons représenté la courbe des fréquences (en jour par an) des débits de la rivière Gbangbo et celle de Banco. Le Gbangbo ayant un régime de débits journaliers très irréguliers, la courbe ne présente qu'un seul maximum correspondant à des débits assez faibles contrairement à celle du Banco où nous avons deux maximum.

II₁₁ Estimation du bilan hydrologique du bassin versant du Gbangbo

Comme précédemment évoqué en introduction de ce chapitre, nous ferons l'essai du bilan hydrologique sur le bassin versant du Gbangbo pris pour servir de bassin versant témoin.

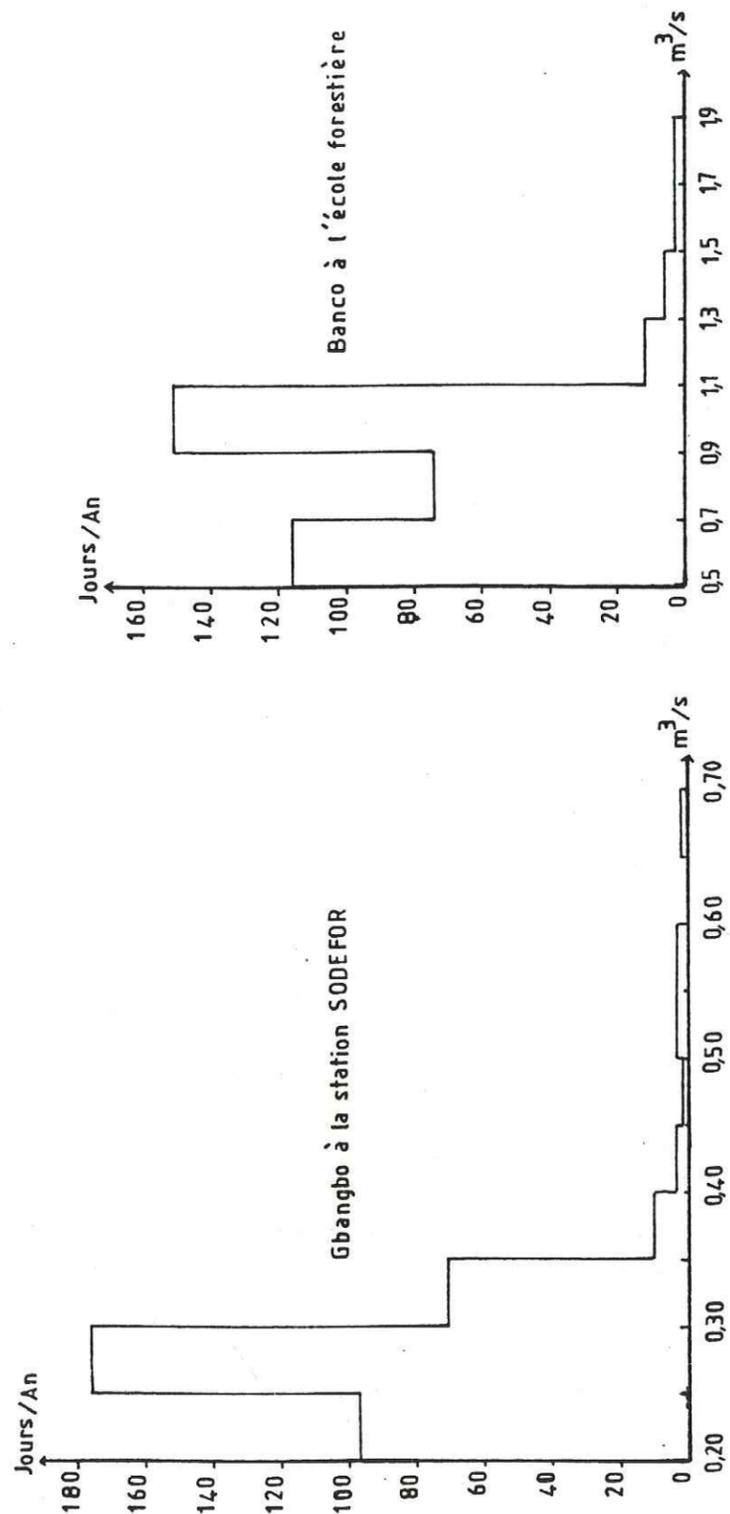


Fig II₃₁ : Fréquence moyenne des débits journaliers (Année 1985)

L'équation classique du bilan étant :

$$P = E + R + I + W$$

où P est la pluviométrie moyenne annuelle en mm ;

E est l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm ;

R est le ruissellement moyen annuel en mm ;

W est la variation des réserves échappant à la station de jaugeage.

Nous ne pouvons pas prendre l'infiltration (I) parce que la période sur laquelle se fait le bilan est très courte.

II₁₁₁ Pluviométrie moyenne annuelle

Nous avons choisi la valeur des précipitations moyennes annuelles des trois dernières années (1983-1985) de la station Orstom Adiopodoumé à cause de sa situation géographique par rapport au bassin versant témoin. Cette valeur de précipitation moyenne annuelle est de 1471 mm.

II₁₁₂ Evapotranspiration réelle moyenne annuelle

La valeur de l'ETR retenue pour l'année moyenne 1983-1985 est celle de la moyenne arithmétique de l'ETR donnée par les méthodes de Turc et de Thornthwaite.

Nous trouvons une valeur de l'évapotranspiration réelle qui est égale à 1166 mm ce qui représente 79 % des précipitations.

II₁₁₃ Ruissellement

Le ruissellement peut être estimé par les deux méthodes suivantes :

1) Formule de Tixeront - Berkaloff

Cette formule tient compte des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle moyennes annuelles.

La formule s'écrit :

$$R = \frac{P^3}{3E^2}$$

P et ETP sont exprimées en mètre :

$$P = 0,1471 \text{ m}$$

$$E = 0,1325 \text{ m}$$

La valeur de l'écoulement superficiel obtenue par cette formule est de 604 mm.

2) Mesure directe de l'écoulement superficiel

La lame d'eau ruisselée sera estimée sur la base des écoulements recueillis à la station SODEFOR durant les trois dernières années (1983-1985). Les calculs nous donnent une lame d'eau écoulee de 228 mm soit 15% des précipitations.

Le pourcentage de ruissellement est en parfait accord avec les résultats trouvés par Molimer M. (1968) qui trouve une valeur de 15% comme coefficient d'écoulement en moyenne en Côte d'Ivoire.

La formule de Tixeront - Berkaloff donne une valeur de ruissellement supérieure à (R + I) qui est égale à 305 mm, donc, n'est pas valable pour être appliquée au bassin versant du Gbangbo. En fait, cette formule n'est applicable qu'aux régions arides, ce qui n'est pas le cas de la zone de notre étude. En conclusion, c'est la valeur du ruissellement estimée par jaugeage qui sera retenue dans l'équation du bilan.

II₁₁₄ Infiltration

La période sur laquelle se fait le bilan est un peu courte pour parler d'infiltration. C'est la variation des réserves échappant à la station de jaugeage que nous allons déterminer.

En remplaçant chacun des termes du bilan hydrologique par sa valeur numérique, on obtient une lame d'eau infiltrée et échappant à la station de jaugeage de 77 mm soit 6 % des précipitations.

$$P = E + R + W$$

$$P = 1471 \text{ mm} \quad E_r = 1166 \text{ mm} \quad R = 228 \text{ mm}$$

$$W = P - E - R = 77 \text{ mm}$$

II₁₂ Conclusion

En guise de conclusion sur notre chapitre, nous pouvons dire que notre zone d'étude présente une homogénéité au niveau des différents paramètres hydroclimatologiques. C'est à juste titre que les mesures à la station d'Orstom Adiopodoumé peuvent pallier à l'insuffisance des mesures dans les autres stations au regard de la bonne corrélation existant entre elle et toutes les autres.

Les précipitations mensuelles présentent deux maximum d'inégale intensité correspondant respectivement à la grande saison des pluies (mai, juin, juillet) et à la petite saison des pluies (octobre et novembre). Nous donnons à titre indicatif la hauteur de pluie annuelle, obtenue en faisant la moyenne arithmétique des pluies moyennes annuelles de toutes les autres stations, qui est de 1754 mm pour une année moyenne de 1966-1985.

Les températures mensuelles varient peu au cours de l'année et nous avons pour toutes les stations une température moyenne autour de 26°C, la valeur de l'ETP obtenue est de 1325 mm et celle de l'ETR est de 1255 mm pour l'année moyenne 1966-1985.

Le taux de ruissellement déterminé sur le bassin versant du Gbangbo donne une lame d'eau ruisselée de 228 mm pour la période de 1983 à 1985.

Nous avons obtenu en faisant le bilan sur trois ans une variation des réserves égale à 77 mm, soit 6 % des précipitations.

CHAPITRE III

GEOLOGIE

- III₁ Introduction
- III₂ Stratigraphie
- III₃ Etude typologique du zircon
- III₄ Caractéristiques hydrogéologiques des différents ensembles géologiques de la région d'étude
- III₅ Topographie du toit du socle
- III₆ Conclusion

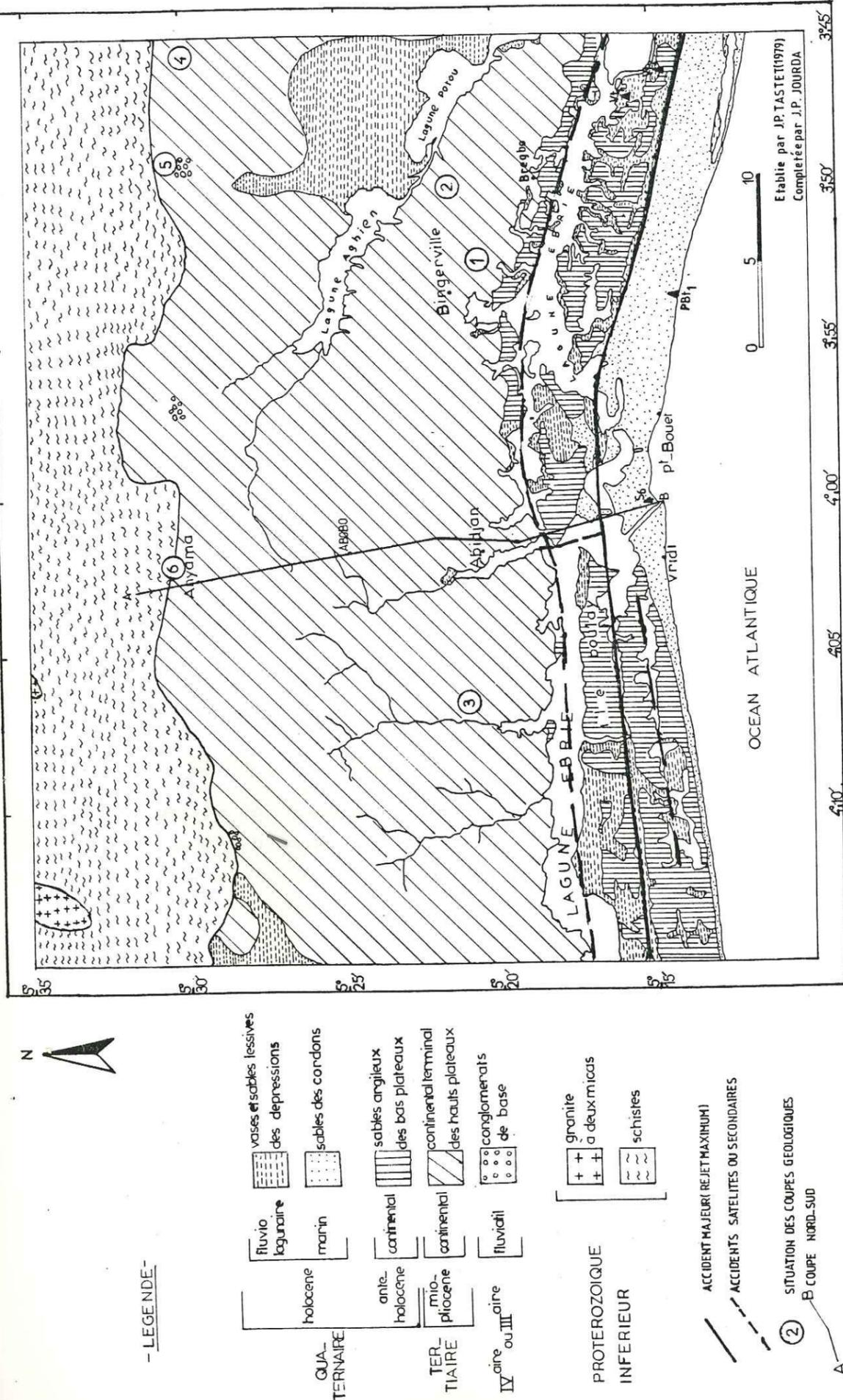


Figure III₁ : Carte géologique du secteur d'étude

CHAPITRE III GÉOLOGIE

III₁ Introduction

La géologie de la région d'étude sera abordée dans un premier temps par l'étude stratigraphique des formations géologiques reconnues en surface ou par les forages.

Ensuite nous tenterons de faire un essai de reconstitution paléogéographique en cherchant à déterminer les sources d'alimentation possibles des formations schisteuses et du niveau superficiel du continental terminal par l'application de l'étude typologique des zircons.

En dernière partie, nous dresserons la topographie du toit du socle en nous aidant des mesures géophysiques et des forages ayant atteint le socle. Mais auparavant nous aurons pris soin de définir les caractéristiques aquifères des différentes formations géologiques spécifiques de notre secteur d'étude.

III₂ Stratigraphie

La géologie de la région comme le montre la carte de la figure III₁ est constituée de deux parties bien distinctes.

Nous avons au nord de notre carte géologique une bande formée de roches cristallophylliennes et cristallines. Cette bande constitue le socle.

Nous avons au sud des formations sédimentaires reposant en discordante sur le socle.

III₂₁ Le socle

Au sein de cette unité structurale nous distinguerons les roches cristallophylliennes des roches cristallines.

III_{21.1} Les roches cristallophylliennes

Les roches cristallophylliennes sont formées essentiellement de schistes altérés constituant un élément de super-

supergroupe de comblement équivalant à l'étage structural moyen du birrimien (Tagin 1971). Les schistes ont été métamorphisés dans les faciès schistes verts de faibles pressions.

Au cours de ces travaux, nous avons dressé une coupe représentative de ces formations schisteuses, figure III₂.

Cette coupe est située à la nouvelle gare de train d'Anyama à quelques mètres de la nouvelle route d'Adzopé.

Nous avons de haut en bas une succession de couches suivante :

- a : niveau de sable argileux ocre latéritique (terre de Barre) ;
- b : niveau de graviers ;
- c : socle métamorphique schisteux.

Dans la partie supérieure de cet affleurement, nous avons un niveau sablo-argileux latéritique ocre appelé aussi la Terre de Barre. Le vocable de la Terre de Barre a été utilisé pour désigner un horizon de sable de matrice argileuse de couleur ocre. Cette définition a été donnée par Aubert de la Rue (1930) et complétée par Paradis (1980) au Togo et au Bénin. Il y a un parfait accord entre les descriptions qu'ils ont fait de ce niveau et les descriptions de ce niveau sablo-argileux ocre de Côte d'Ivoire justifiant l'appellation de la Terre de Barre que l'on donne à ce niveau sablo argileux ocre en Côte d'Ivoire. La Terre de Barre existe presque partout à l'affleurement sur tous les plateaux comme nous le verrons dans les prochains paragraphes.

Sous cette couche, on note la présence d'une couche graveleuse dont la taille des éléments est de dimension réduite.

Nous décrirons plus en détail ces niveaux sédimentaires lorsque nous aborderons l'étude des formations sédimentaires.

Les formations sédimentaires reposent en discordance sur les schistes du socle.

Les schistes se présentent sous forme de bancs durs et minces en alternance avec des bancs relativement plus tendres d'épaisseur de l'ordre du mètre.

Le pendage des couches est de 60 à 70° vers le N.E.

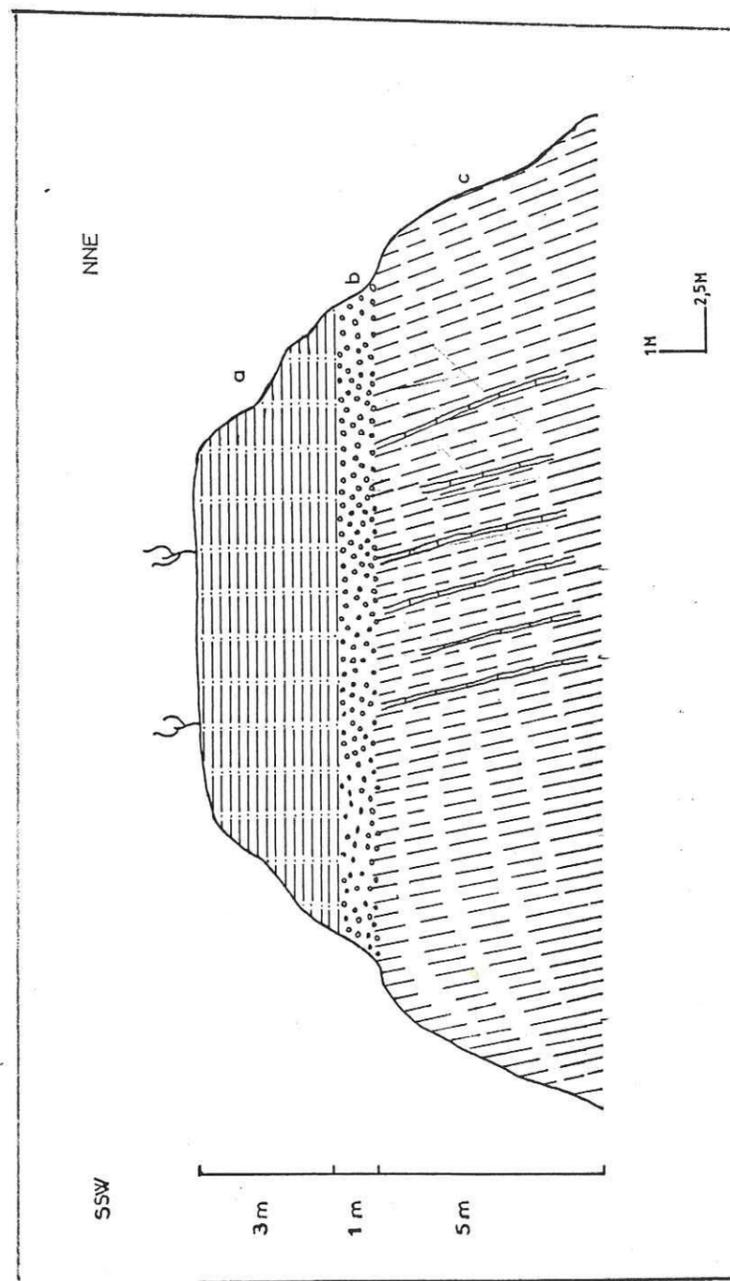


Figure III₂ : Coupe 6 Nouvelle gare de train d'Anyama

avec une direction générale N 50. La schistosité mesurée est confondue avec la stratification et par conséquent de même direction que les couches.

Les faciès rencontrés se différencient par leur granulométrie et leur couleur qui va du rouge bordeaux au violet en passant par le vert. Au centre de cette coupe, au niveau des schistes, nous avons noté la présence d'un faciès de granulométrie plus fine de couleur verte à jaune citron dont l'aspect altéré ressemble à celui d'un morceau de bois décomposé sous l'effet de l'humidité.

La couleur jaune citron est due à la présence importante de soufre, et à l'intérieur de cette formation, nous avons de sortes de filaments noirs composés uniquement de pyrites altérées qui font ressembler cette formation à des ignimbrites.

* Fracturations relevées SUR l'affleurement

Les roches cristallines et métamorphiques n'offrent de possibilités aquifères que lorsqu'elles sont altérées ou fissurées. Le phénomène de leur altération est étroitement lié à celui de la fracturation. Bien que notre zone d'étude n'offre pas beaucoup de possibilités de mesures de fractures sur le terrain, les seules mesures de fractures ont été relevées sur l'affleurement de la nouvelle route d'Anyama.

Le procédé consiste à relever les fissures, qui en fait ne sont pas de grandes fractures mais un système de diaclases, le long d'une ficelle tendue.

Les résultats de nos mesures sont résumés dans le diagramme en rosace et dans l'histogramme de distribution des directions de fractures. Figures III₃ & 4.

Il ressort de l'analyse de ces diagrammes que les principales directions des fissures sont comprises dans un éventail de N 120 à N 160 avec un maximum entre N 140 - N 150.

En dehors de ces directions principales nous avons des directions de fractures subméridiennes et des directions de fractures comprises dans un intervalle très large qui va de N 30 à N 100.

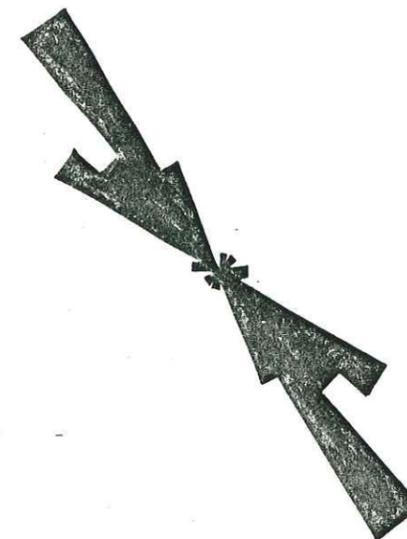


Figure III₃ : Diagramme en rosace des directions de fractures de la carrière de la nouvelle gare de train d'Anyama

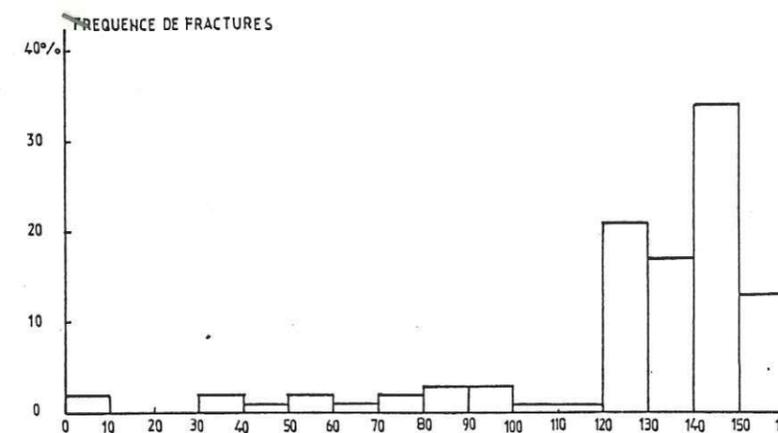


Figure III₄ : Histogramme de distribution des fréquences de fractures de la carrière de la nouvelle gare de train d'Anyama

III_{21.2} Les roches cristallines

La seule roche cristalline est représentée par un affleurement de granite situé dans la région nord-ouest sur notre carte géologique entre les village de M'Bonoa et de M'Pody.

A l'affleurement, le granite se présente sous forme de dômes dont certains peuvent atteindre la hauteur maximum de vingt mètres par rapport à l'encaissant schisteux. L'altération en climat tropical humide suivant les plans de fractures aboutit à la formation de boules de granite jouxtant la route.

La détermination du contour est rendue difficile à cause, d'une part de la couche d'altérite et d'autre part de la couverture végétale très dense dans la région. Le granite est d'une extension réduite faisant à peine quatre kilomètres de long et un kilomètre de large. Nous avons estimé l'extension du granite en fonction des anciennes cartes géologiques. Nous avons prélevé des échantillons sur lesquels nous avons fait des lames minces en vue d'une étude pétrographique. A l'oeil nu, le granite est leucocrate, grenu, à texture orientée.

Au microscope, les minéraux essentiels rencontrés sont :

- le quartz xenomorphe à extinction roulante ;
- les feldspaths potassiques sont du microcline maclé et de l'orthose légèrement perthitique ;
- les plagioclases (An 9 - 10) sont des oligoclases acides sérinitisés dans lesquels on note la présence de rare myrmékite. Les orthoclases et les plagioclases sont xénomorphes ;
- la biotite se transforme en chlorite ;
- la muscovite en plages de grande taille par rapport aux cristaux de biotite est déformée et souvent associée à celle-ci ;

Les minéraux associés sont :

- la chlorite provenant de l'altération de la biotite ;
- on note la présence d'épidote sous la forme de zoisite et de pistachite ;
- l'apatite est trapue mais rare ;
- la calcite ;
- la séricite est présente en paillettes très développées dans les plagioclases ;

- il existe de rares minéraux opaques (poussières) issus de l'altération de la biotite.

Nous avons représenté une lame mince de ce granite au microscope au fort grossissement, figure III₅.



Figure III₅ : Granite à deux micas de M'Pody (Fort grossissement)

- Q : Quartz à extinction roulante
- O : Orthose
- Mi : Microcline
- P : Plagioclase (An 9 - 10) oligoclase
- B : Biotite
- Mu : Muscovite

L'extinction roulante du quartz, ainsi que la déformation de la muscovite indiquent que ce granite a subi une déformation tectonique.

La composition minéralogique, la texture et les conditions de gisement de notre granite font qu'il rentre dans le

groupe des granites métasomatiques de craton définis par M. Arnoud (1961) dont le type de référence est le granite type Ferké (du nom de la localité située au nord près de la frontière burkinabé où a été décrit pour la première fois ce type de granite) avec la composition minéralogique suivante :

La structure est presque toujours granoblastique, le quartz est pratiquement toujours à extinction roulante. Le feldspath potassique est toujours du microcline quadrillé souvent poecilitique et toujours perthitique. Le plagioclase est généralement de l'oligoclase et la myrmékite est banale. Mais associé à ce type moyen, on rencontre des amas circonscrits homogènes à biotite et muscovite que M. Arnoud (1961) considère comme des formes évoluées et tardives de granites à biotite. C'est à cette forme évoluée et tardive que semble appartenir notre granite à biotite et muscovite de M'Pody.

Les granites de type Ferké se sont formés aux dépens des éléments du supergroupe de comblement (étage structural moyen de l'édifice éburnéen). Ce sont des granitoïdes post-tectoniques aux mouvements orogéniques baoulés ou éburnéen II.

Les granites du type Ferké sont particulièrement développés dans une bande oblique prenant en écharpe la Côte d'Ivoire de la frontière burkinabé au N.E. de Ferké, à San-Pedro au bord de la mer et dans une seconde bande N.E.-S.W. passant par Abengourou et Abgenville. Le granite à deux micas de M'Pody définis dans nos travaux font partie de cette seconde bande.

Le mode de gisement de ces granites est en général stratoïde, concordant et parallèle à la schistosité des méta-sédiments encaissants. La composition chimique est assez variable : alcalin orthosique, monzomitique, akiritique, calco-alcaline, dioritique parfois. Mais la tendance générale est alcaline et on qualifie les granites type Ferké de granites subalcalins à deux micas (Tagini 1971).

III₂₂ Le bassin sédimentaire

Dans ce paragraphe nous ferons la synthèse des travaux

anciens et de ceux plus récents réalisés sur tout le bassin sédimentaire (Figure III₆) en plus de notre secteur d'étude.

III_{22.1} Secondaire

III_{22.1.1} Crétacé inférieur

L'histoire géologique du bassin sédimentaire (Spengler et Delteil, 1964) débute vraisemblablement au crétacé inférieur et peut être au jurassique supérieur par le dépôt d'une épaisse formation de sables, grès, conglomérats et d'argiles versicolores d'origine continentale (472 mètres à Abidjan près de Grand Lahou et 2000 mètres au Ghana). Cette formation a été attribuée au continental intercalaire.

Le crétacé inférieur marin ne débute qu'à l'Albo-Aptien, il repose en discordance sur la série continentale intercalaire. Son épaisseur peut atteindre 2600 mètres. Le crétacé inférieur marin est composé d'argiles feuilletées à intercalations de grès et de marnes, et présente à son sommet des faciès conglomératiques à éléments de socle.

On a découvert, à la digue d'Abreby (route de Jacquville), au nord de l'accident majeur, une formation constituée de calcaires coquillers d'origine littorale attribuée à l'Albien (Tastet et J.P., 1979).

III_{22.1.2} Crétacé supérieur

Le crétacé supérieur d'âge cenomanien est nettement régressif et constitué de conglomérats, de grès et de sables d'origine fluviatile passant à des calcaires gréseux parfois dolomitiques dans le centre du bassin. Son épaisseur est de 600 mètres à 700 mètres. Il a été rencontré sur le socle au nord de la grande faille bordière dans la région de N'Zida à l'est d'Abidjan.

Le crétacé supérieur d'âge maestrichtien est discordant et transgressif sur la série cenomanienne. Il a été rencontré au nord de l'accident majeur en forages à N'Zida et à Locodjro (région d'Abidjan) sous un faciès très sableux. Les sables

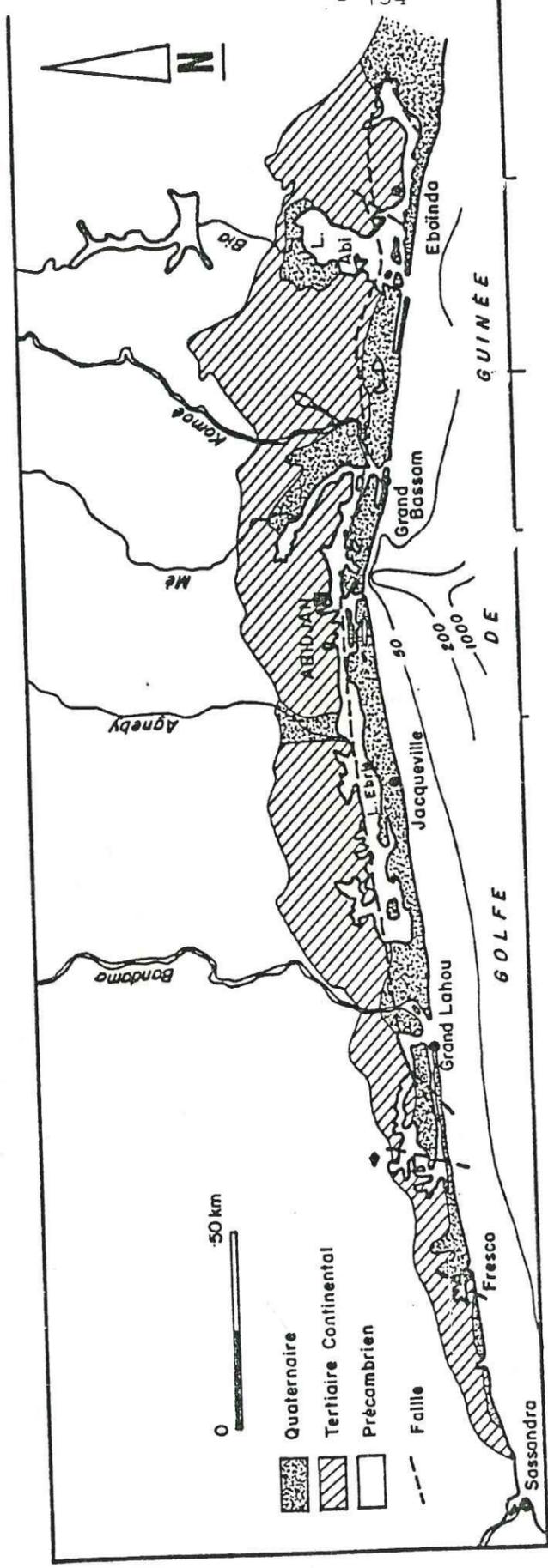


Figure III₆ : Le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire

bitumineux d'Eboïnda à l'est du bassin appartient à cet étage.

Le maestrichtien est essentiellement argileux à l'ouest ; il devient plus grossier au centre et de type calcaire zoogène à l'est. Figure III₇.

III_{22.2} Tertiaire

III_{22.2.1} Paléocène

Le paléocène est marin dans la moitié ouest du bassin sédimentaire où il est essentiellement argileux et glauconieux et peut atteindre 500 mètres d'épaisseur. Il est visible à l'affleurement dans les falaises de Fresco à l'ouest.

A l'est du bassin sédimentaire, on connaît quelques rares témoins (Figure III₇) parmi lesquels nous avons la série d'Eboïcco formée de marnes noires à pyrites, de calcaires fossilifères et de marnes bariolées.

Plus récemment (Bacchiana, 1981) a été découvert, par forage à Akakro (centre du bassin sédimentaire) entre 80 et 81 mètres de profondeur, du paléocène marin formé d'argiles noires.

III_{22.2.2} Miocène marin

Le miocène marin n'existe que dans une petite zone de 35 km de large autour d'Abidjan.

Le miocène marin a été rencontré au sud de l'accident majeur :

- à Port Bouet dans le forage Port Bouet ₁ (PBT₁) où il est constitué d'argile plastique grise verdâtre. Son toit est à 123 m de profondeur et son mur à 706 m de profondeur, soit près de 600 m d'épaisseur ;

- à Vridi dans les forages S₅ et S₆ (usines Blohrn) où il est formé de marnes silteuses micacées gris vert. La couche marnosilteuse a été atteinte aux environs de 50 m de profondeur mais toute la couche n'a pas été traversée. Elle a été datée du miocène supérieur (Tastet, 1979).

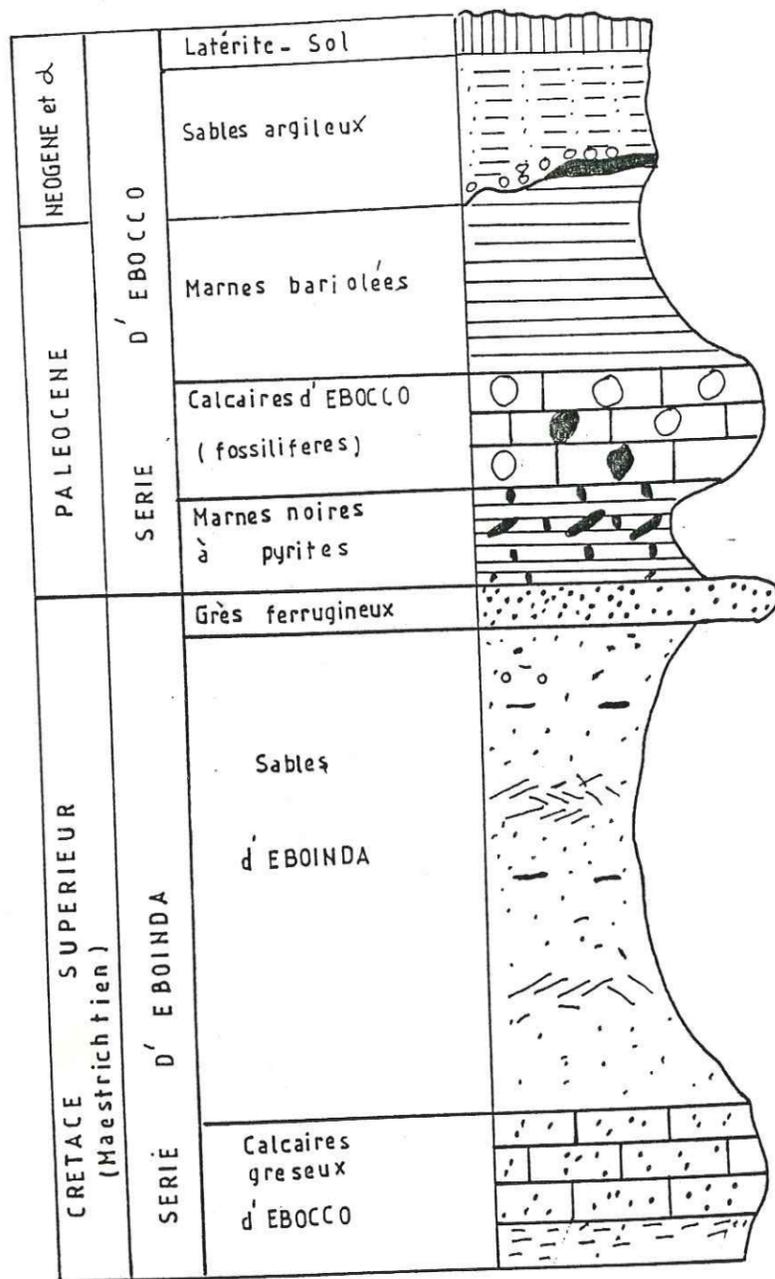


Figure III₇ : Log schématique des séries d'Eboinda et d'Ebocco d'après De Klatz et Fabre

Le miocène marin a été également trouvé au nord de l'accident majeur :

- dans le forage Vitré₁ (Vt₁) où il est formé par des marnes sableuses passant parfois à des argiles noires. Ce niveau a été traversé de part en part entre les profondeurs de 26 à 126 m, soit près de 100 m d'épaisseur ;

- dans le forage Vitré₂ (Vt₂), le miocène marin est formé par des grès calcaires plus ou moins sableux passant en profondeur à des argiles plastiques grises peu ou pas sableuses. Il a été atteint en forage entre 97 m et 669 m de profondeur, faisant 600 m d'épaisseur.

Toujours au nord de l'accident majeur, le miocène marin a été reconnu sur une épaisseur de 8 m, dans des puits villageois, dans la région de Bingerville et de Bregbo, où il est formé d'argiles noires devenant progressivement plus sableuses en allant vers le nord. Lors de nos travaux, nous avons reconnu une argile noire dans une carrière de la région de Bingerville.

Nous donnons la description de la coupe réalisée sur une colline de Bingerville située sur le chemin menant à la Leproserie.

Le niveau supérieur sabloargileux latéritique présente un aspect tigré dû à la dissolution du fer par la circulation de l'eau.

Nous avons sous ce niveau, un banc massif d'épaisseur métrique de grès à ciment ferrugineux en dessous duquel se trouve une couche d'argile bariolée.

Les argiles bariolées se prolongent en profondeur par une couche d'argile noire au niveau de laquelle on observe une venue d'eau. Ce qui amène Bacchiana (1981) à faire des argiles noires un faciès réduit des argiles bariolées sus-jacentes.

Nous avons prélevé un échantillon de ces argiles noires pour y faire une étude micropaléontologique avec le professeur Yvan De Klatz, mais les argiles noires se sont révélées azoïques.

Par contre, une étude micropaléontologique et palynologique, faites sur des argiles noires (argiles de Bingerville

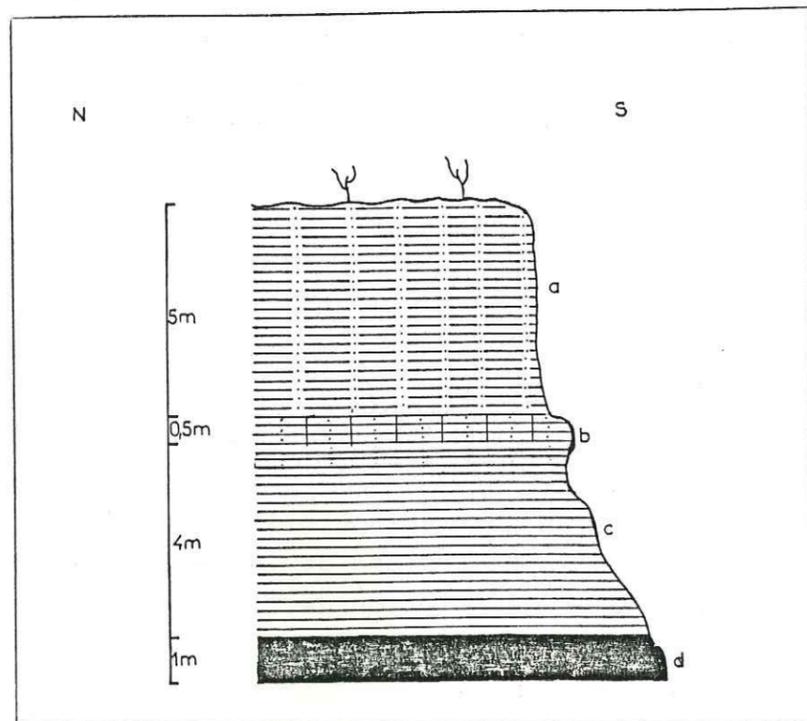


Figure III₈ : Coupe 1 route de Leproserie
(Bingerville)

Nous avons de haut en bas, la succession stratigraphique suivante :

- a : niveau de sable argileux rouge latéritique (Terre de Barre) ;
- b : niveau de grès ferrugineux ;
- c : argile bariolée ;
- d : argile noire.

et de Bregbo) trouvées dans la même région et situées presque à la même profondeur que nos argiles noires, a permis de dater ces argiles noires comme étant du miocène inférieur marin. Par extrapolation, nous pouvons considérer nos argiles noires comme appartenant au miocène inférieur marin.

Le fait que ces argiles noires soient prises comme un faciès réduit des argiles bariolées sus-jacentes, nous amène à penser que les argiles bariolées pourraient être aussi du miocène marin.

Le miocène marin a une épaisseur variable allant de 8 à 600 mètres et dont la nature lithologique est presque constante constituée d'argiles et de marnes. Son âge va du miocène inférieur au miocène supérieur.

III_{22.2.3} Miopliocène ou continental terminal

Le terme de continental terminal a été proposé pour la première fois par C. Kilian en 1931 à la suite de ses travaux au Sahara nord occidental. Ce terme est actuellement appliqué à des couches argilo sableuses bariolées d'apparence continentale, de grande extension surmontant en discordance des assises marines dont l'âge s'échelonne, selon les lieux, du crétacé supérieur au miocène.

III_{22.2.3.1} Le toit continental terminal

Nous avons décrit les coupes les plus représentatives établies sur les affleurements du continental terminal. La situation des coupes est portée sur la carte géologique, figure III₁.

III_{22.2.3.1.1} Coupe 3 Ranch Km 17 Route de Dabou

Cette coupe a été réalisée dans une carrière située près du Ranch Km 17 sur la route de Dabou.

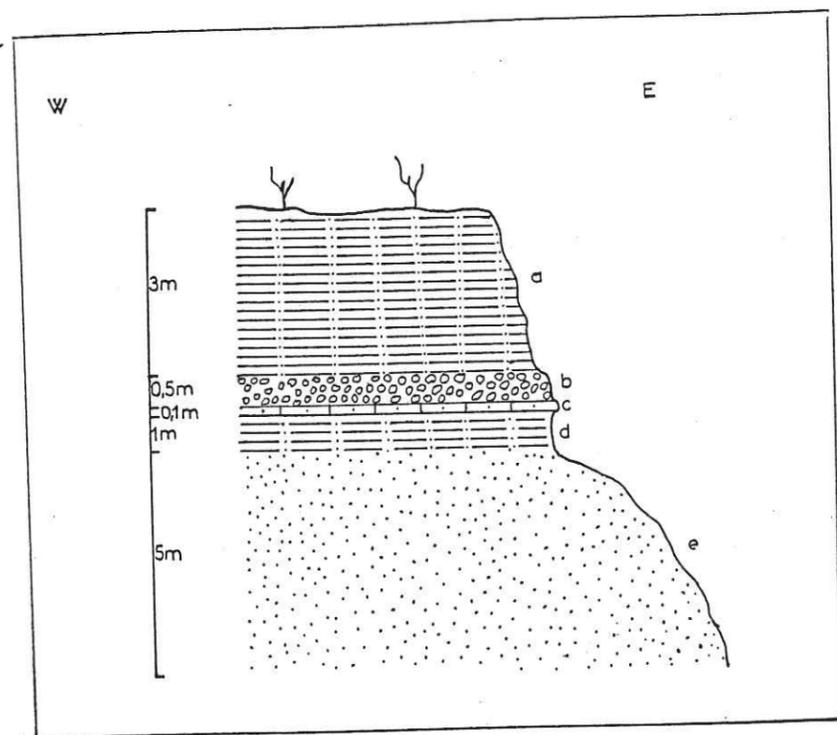


Figure III₉ : Coupe 3 Ranch Km 17 Route de Dadou

La succession lithologique est de haut en bas la suivante :

- a : niveau sablo-argileux ocre ;
- b : niveau de concrétions ferrugineuses hétérogènes (gravats) ;
- c : niveau de grès ferrugineux ;
- d : niveau sablo-argileux en voie d'oxydation ;
- e : sables moyens blancs avec des grains de sable violet à noir.

Sur cette coupe, juste en dessous du niveau sablo-argileux latéritiques ocre (Terre de Barre), nous avons des concrétions ferrugineuses hétérogènes sans classement, ni tri, formant une couche de gravats. Ces matériaux ont été décrits comme étant d'origine pédologique.

Tessier (1960) remarque à Fresco que ces faciès (gravats) se situent au sommet du miopliocène et pouvaient constituer la base du quaternaire, et que ces matériaux sont

recouverts parfois de plusieurs mètres de sable argileux comme cela semble être le cas sur cette coupe.

Par ailleurs, la présence d'activités humaines (quartz taillés) dans certains horizons du niveau sablo-argileux latéritique conduit Bacchiana (1981) à attribuer toute la Terre de Barre au quaternaire. Mais le fait que nous ayons trouvé sous les grès ferrugineux des sables argileux rougeâtres, ressemblant assez à la Terre de Barre et dont la couleur rougeâtre est probablement due aux phénomènes d'oxydation, passés progressivement en profondeur à des sables moyens blancs ; nous fait croire que toute la Terre de Barre n'est pas du quaternaire mais que celle-ci appartient bien au continental terminal d'âge miopliocène. Par conséquent, nous faisons de la partie superficielle sablo-argileuse reposant sur les couches de gravats un niveau remanié de la Terre de Barre et son âge serait quaternaire.

III_{22.2.3.1.2} Coupe 2 Station Intelci d'Akakro

La coupe est située derrière l'antenne satellite intelci d'Akakro

Nous avons toujours la présence du niveau sablo-argileux latéritique dont l'épaisseur est relativement importante et atteint 8 mètres.

Sous ce niveau sablo-argileux nous avons des grès ferrugineux constitués à certains endroits de morceaux de grès ferrugineux plus ou moins grossiers, très anguleux s'associant à des structures cylindriques que l'on pourrait attribuer soit à des racines, soit à des terriers.

Sur cette coupe, la couche sablo-argileuse ne repose plus sur de l'argile bariolée par l'intermédiaire du niveau de grès ferrugineux comme c'est le cas sur la coupe 1 de la figure III₈ de Bingerville, mais sur du sable grossier. On serait tenté de dire qu'il y a eu une variation de faciès en allant vers l'est par passage latéral des argiles aux sables grossiers au niveau desquels, on observe des figures de stratification entrecroisée.

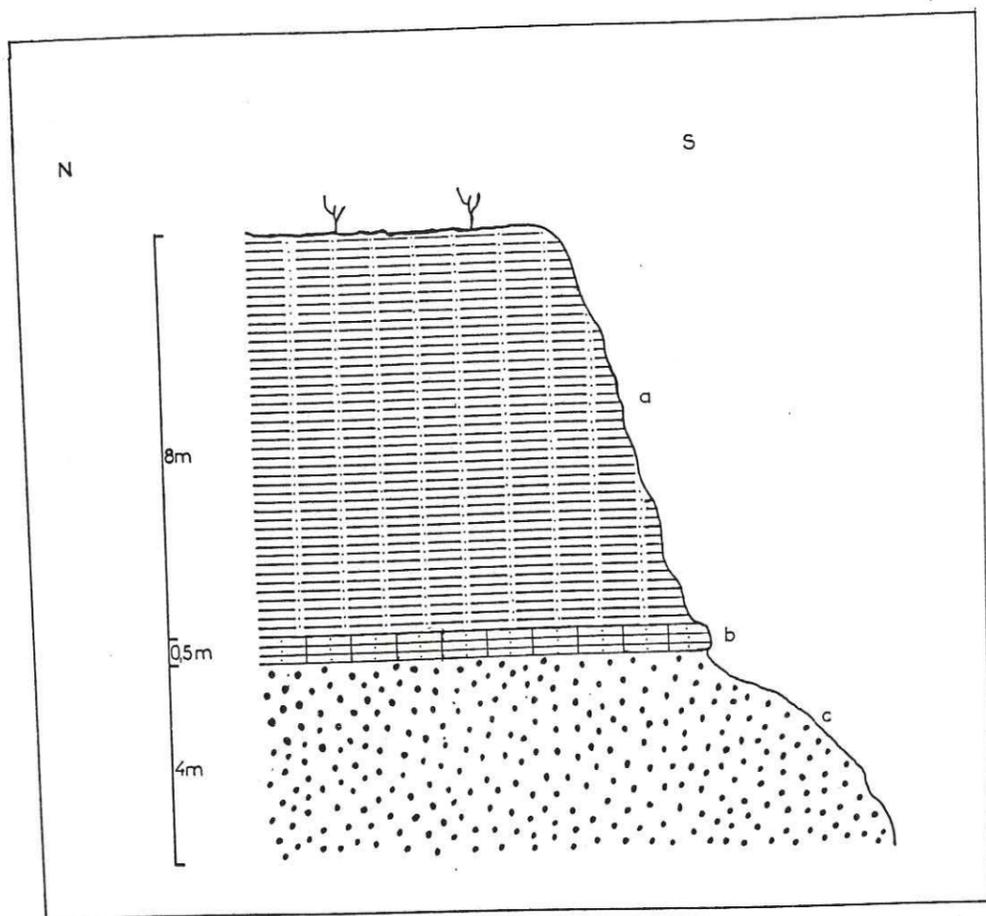


Figure III₁₀ : Coupe 2 Station Intelci d'Akakro

Nous avons de haut en bas :

- a : niveau de sables argileux rouges latéritiques (Terre de barre) ;
- b : niveau de grès ferrugineux avec des plaques de cuirasses ferrugineuses à la base ;
- c : sables grossiers blancs et roses avec des galets de quartz.

III_{22.2.3.1.3} Coupe ④ Village de Gand Alepé

Cette coupe (figure III₁₁) est située à l'entrée du village de Grand Alepé.

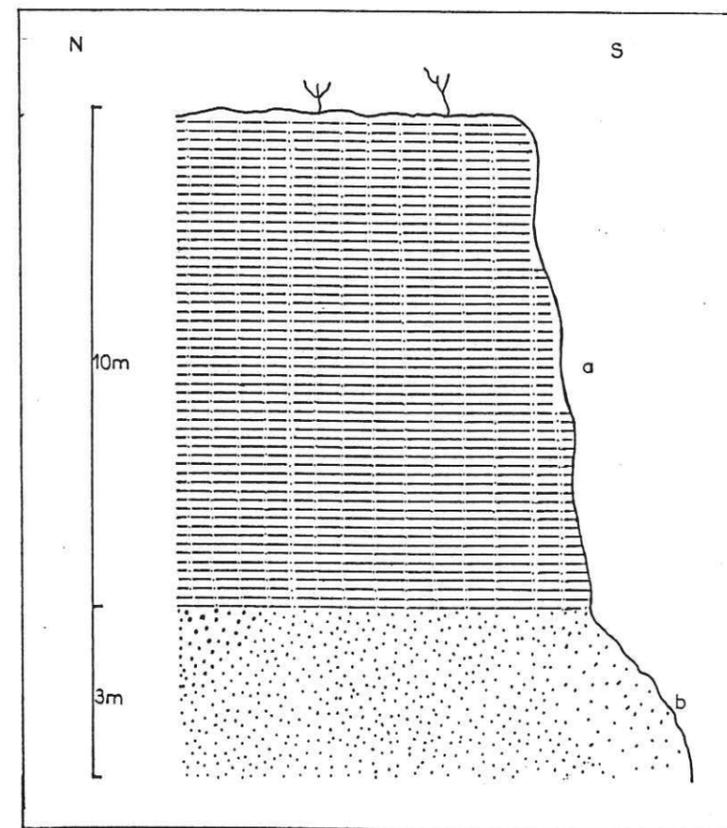


Figure III₁₁ : Coupe 4 Village de Grand Alepé

On y distingue de haut en bas :

- a : niveau sablo-argileux ocre (Terre de Barre) ;
- b : niveau de sables moyens à grossiers avec des passées de sable argileux ocre.

On distingue sur cette coupe, l'épaisseur relativement importante de la Terre de Barre qui atteint presque 10 mètres. Cette Terre de Barre est sur cet affleurement homogène et ne

présente pas de niveau remanié, mais elle est découpée par des systèmes de fractures, en général verticaux, qui sont en fait des diaclases. Ce niveau superficiel sablo-argileux ocre (Terre de Barre) repose directement sur la couche de sables en l'absence de niveau de grès ferrugineux comme c'était le cas sur les coupes décrites précédemment.

Les sables de granulométrie variable dont la couleur va du blanc au violet présentent des passées de sables argileux ocres, dont la couleur ocre est due probablement à des phénomènes d'oxydation, comme il nous a été donné d'observer sur la coupe 3 de la figure III₉. Les passées de sables argileux ocres seraient les témoins de la formation de la Terre de Barre au détriment des sables sous-jacents.

Compte tenu d'une part, du passage progressif de la Terre de Barre aux sables inférieurs, et d'autre part de la présence des passées de sable argileux ocres au sein de ces mêmes sables inférieurs ; nous fait penser que le niveau sablo-argileux (Terre de Barre) serait une partie intégrante du continental terminal d'âge miopliocène.

III_{22.2.3.1.4} Description de certains faciès rencontrés

- Les argiles bariolées : Ce faciès est constitué de lits millimétriques à décimétriques d'argile blanche (kaolin) alternant avec des fins niveaux de silt ou de sable fin riche en muscovite. Selon le degré d'oxydation et d'hydratation du fer que contiennent ces sables et silts, la formation se colore en jaune ou rouge, d'où un aspect bariolé très typique des argiles de Bingerville ;

- Les grès ferrugineux : Les grès ont un ciment ferrugineux essentiellement goethitique. Plus ou moins consolidés, selon l'état de cristallisation des hydroxydes de fer (Casanova, 1970). Ils sont uniquement constitués de quartz et de goethite et renferment parfois des galets d'argiles.

III_{22.2.3.2} Le mur du continental terminal (miopliocène)

A l'affleurement, le mur du continental terminal est visible sur le socle au nord du bassin sédimentaire. Ce mur est illustré par la coupe 5 de la figure III₁₂ située sur la nouvelle route d'Alépé, près du pont sur la rivière La Mé.

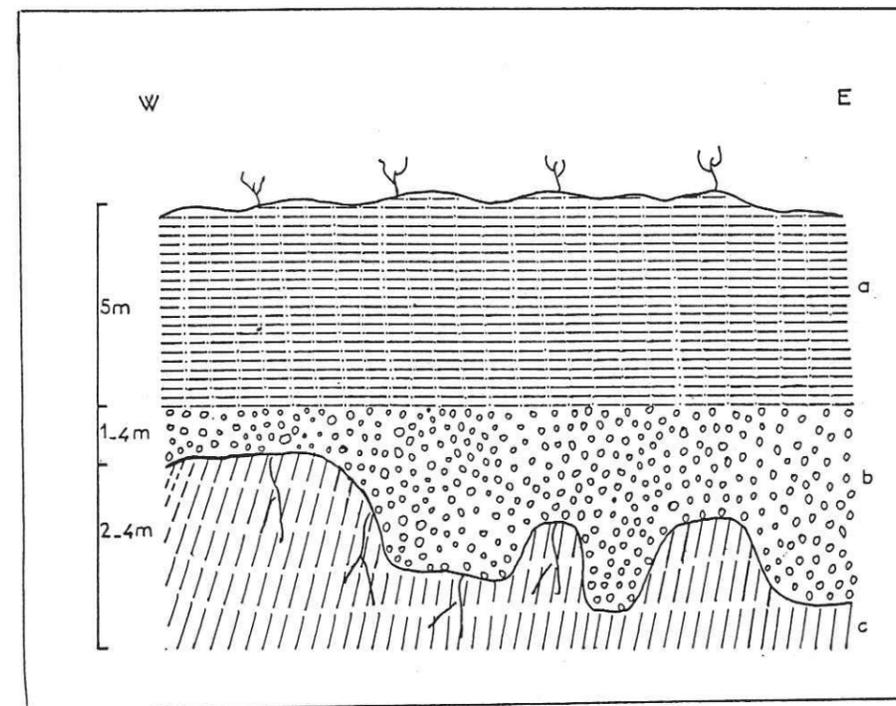


Figure III₁₂ : Coupe 5 Nouvelle route d'Alépé (Près du pont de La Mé)

Nous avons de haut en bas la succession lithologique suivante :

- a : sable argileux ocre latéritique (Terre de Barre) ;
- b : niveau de "conglomérats de base" ;
- c : socle altéré schisteux.

Sur le front de taille, on observe que la surface de

discordance entre le socle métamorphique et les formations sédimentaires n'est pas plane mais ravinée. Juste au-dessous de cette surface ravinée, nous avons un remplissage de graviers hétérogènes avec une tendance peu marquée au granoclassement et une stratification entrecroisée typiquement fluviatile. Les galets sont peu arrondis indiquant un transport assez faible.

Le socle altéré schisteux présente des petites fractures pouvant éventuellement servir à l'infiltration de l'eau située dans les niveaux grossiers supérieurs.

Dans certains cas, ces lits graveleux semblent correspondre, à des axes de drainage d'anciens lits de rivières, ayant favorisé la mise en place de terrasses. Ces niveaux graveleux semblent se localiser au voisinage de grands cours d'eau actuels (Bété, Mé, Comoé). Bacchiana (1981) relève plusieurs niveaux de terrasses correspondant à plusieurs cycles regressifs et transgressifs. Ces terrasses d'altitudes différentes sont attribuées au quaternaire, ce qui remet apparemment en cause, l'appartenance de ces niveaux graveleux au miopliocène. Mais, il faudrait remarquer que les niveaux de galets n'étant pas tous situés à la même altitude, ne sont donc pas tous contemporains les uns des autres.

Nous pensons que ces niveaux graveleux ne sont pas tous d'âge quaternaire comme le laisse supposer Bacchiana (1981), mais ils seraient le témoin du début d'une sédimentation. Selon que ces niveaux graveleux sont à la base du continental terminal, ils seraient d'âge miopliocène et en d'autres points, ils constitueraient la base du quaternaire et seraient donc d'âge quaternaire ne représentant en fait qu'un horizon remanié. Il y aurait de ce fait un diachronisme de ces niveaux graveleux par rapport aux étages géologiques.

Au sud du bassin sédimentaire, le mur du continental terminal n'est visible que dans quelques rares coupes. Le continental terminal repose soit directement sur le socle (Sassandra, Mokta), soit sur les formations sédimentaires paléocènes (Fresco, Tiagba, Eboinda, N'Zida). Sa base est toujours moins graveleuse qu'au nord.

III_{22.2.3.3} Succession stratigraphique dans le continental terminal

A l'issue de la synthèse de l'étude de plusieurs coupes de forages Tastet (1979) a défini dans le continental terminal la succession stratigraphique suivante :

* niveau 4 : sables argileux ou argiles sableuses ocres homogènes. C'est le niveau superficiel des coupes à l'affleurement que nous avons décrites précédemment. La composition pétrographique est constante avec 60 % à 70 % de sables et 40 à 30 % d'argiles. L'épaisseur varie de 0 à 70 mètres ;

* niveau 3 : sables souvent grossiers à intercalations argileuses bariolées. Cette formation peut contenir un niveau sableux plus ou moins grossier et continu sur 10 à 15 mètres. Son épaisseur varie de 0 à 90 mètres.

* niveau 2 : sables argileux et argiles noires fétides parfois gréseuses. Le niveau semble se localiser vers Abidjan et à l'est du bassin sédimentaire vers la lagune Aby. Son épaisseur va de 0 à 10 mètres ;

* niveau 1 : sables argileux plus ou moins grossiers à intercalations argileuses bariolées. L'épaisseur varie entre 0 et 20 mètres.

Le plus souvent, les forages d'exploitation d'eau s'arrêtent au niveau 3.

Le minéral argileux dominant est la kaolinite avec cependant des traces d'illites et de minéraux gonflants montmorillonitiques.

Nous avons étudié la granulométrie des échantillons du forage IV Sodeci Riviera Centre. Le forage traverse le niveau 4 de 0 à 22 mètres et pénètre dans le niveau 3 de 22 à 120 m.

De l'analyse granulométrique, nous avons établi une coupe séquentielle, figure III₁₃.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr

18 AOUT 2003

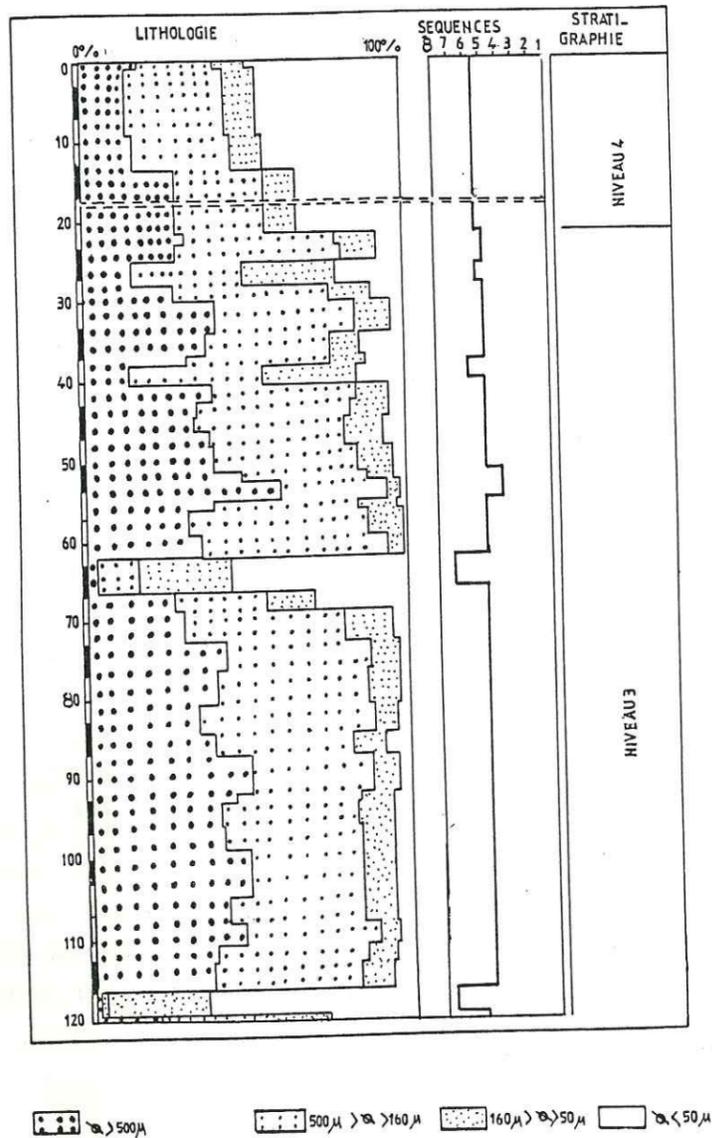


Figure III₁₃ : Coupe lithologique et analyse séquentielle du forage IV Sodeci Riviera Centre (Continental terminal)

Séquences: 1 : galets, 2 : granules, 3 : sables très grossiers, 4 : sables grossiers, 5 : sables moyens, 6 : sables fins, 7 : silts, 8 : argiles.

Le niveau 3 au vu de l'analyse séquentielle est un niveau homogène de sables moyens peu ou pas argileux, comportant une intercalation grossière située entre 66 et 52 mètres et surtout des intercalations fines et silteuses devenant de plus en plus fréquentes lorsqu'on monte vers la surface.

Le niveau 4 est homogène et épais de 22 m. Il est constitué d'un sable moyen avec une proportion d'argile sensiblement égale à celle des sables.

III_{22.3} Quaternaire

Les formations quaternaires constituent morphologiquement les bas plateaux. L'ensemble du quaternaire est limité au sud de l'accident des lagunes et n'a pas d'extension vers le nord à l'exception des vases et des sables lessivés des dépressions fluvio-lagunaires. La cote du quaternaire n'atteint pas celle du continental terminal qui lui, forme l'unité morphologique des hauts plateaux.

On distingue au sein du quaternaire 4 formations principales. Par souci de commodité, ces formations ont été affectées de numéro, et seront désignées sous le terme de formation 1, 2, 3 et 3a. Compte tenu du fait que, la formation marno-silteuse, attribuée à tort dans les précédents travaux à la formation de base du quaternaire et correspondait à la formation 1, n'était pas en fait d'âge quaternaire mais miocène marin supérieur ; nous avons par conséquent apporté un léger correctif en réaffectant de nouveaux numéros aux différentes formations quaternaires. D'où la nouvelle numérotation stratigraphique suivante. Nous avons de haut en bas :

- Formation 1 correspondant à l'ancienne formation 2 ;
- Formation 2 correspondant à l'ancienne formation 3 ;
- Formation 3 correspondant à l'ancienne formation 4 ;
- Formation 3a correspondant à l'ancienne formation 4a.

III_{22.31} Formation 1 lagunaire

Elle représente un niveau hétérogène d'argiles noires à grises, plus ou moins sableuses, parfois fétides, renfermant souvent des passées de tourbes. Elle constitue un niveau lagunaire comparable aux formations lagunaires actuelles. C'est le plus ancien terme daté du quaternaire ivoirien et son âge est égal ou supérieur à 42000 ans BP (avant le présent).

La formation 1 est sous forme lenticulaire et ne semble pas exister partout dans le bassin. Son épaisseur varie de 7,5 à 20 mètres.

III_{22.32} Formation 2

La formation 2 est formée par des sables peu argileux et constitue à l'affleurement, l'unité géomorphologique des bas plateaux. Ce niveau est azoïque et présente les caractéristiques sédimentologiques d'un dépôt continental dont l'âge est reporté à des dépôts anté-holocènes. Son épaisseur va de 15 à plus de 39 mètres.

III_{22.33} Formation 3

Cette formation repose sur la formation 2 et forme à l'affleurement, l'unité géomorphologique des cordons sableux.

La formation 3 est constituée de sables purs dont l'épaisseur variable peut dépasser 45 mètres.

On distingue deux générations de cordons morphologiquement différentes : l'une "ancienne" constituée de sables blancs, l'autre plus récente formée de sables roux. La mise en place de ces dépôts est postérieure à celle de la formation 2. On lui attribue un âge holocène (Tastet, 1979).

III_{22.34} Formation 3a

La formation 3a est constituée par des dépôts d'origine lagunaire ou fluviale, de lithologie très variable allant des sables graveleux aux vases et argiles.

Elle constitue le remplissage des dépressions fluviolagunaires et des lagunes actuelles. La formation 3a peut aussi se présenter en intercalation dans la formation 3 dont elle représente une variation latérale du faciès. Les sables et argiles de la bordure nord des lagunes Adjin et Poton datés de 8630 ± 70 ans BP, par un échantillon de bois trouvé à 24 mètres de profondeur et 4300 ± 60 ans par une graine trouvée à 12 m de profondeur appartiennent probablement à la formation 3a (Bacchiana, 1981).

III_{22.4} Coupe nord-sud du secteur d'étude

Nous avons corrélié des forages traversant les formations miopliocènes et quaternaires suivant un profil nord-sud situé sur la carte géologique, figure III₁.

Cette corrélation, nous a permis d'établir une coupe nord-sud, figure III₁₄. Sur cette coupe on remarque la géométrie variable des formations miopliocènes dont l'épaisseur augmente du nord au sud. Ces formations miopliocènes sont constituées dans l'ensemble de sables plus ou moins grossiers avec des intercalations de lentilles d'argiles et d'argiles sableuses. Ces formations miopliocènes continentales passent au sud de l'accident majeur à des formations marno-silteuses marines d'âge miocène supérieur sur lesquelles reposent les formations quaternaires.

Les formations miopliocènes sont formées à l'ouest d'Abidjan de sable moyen ; elles deviennent plus ou moins argileuses dans la région de Bingerville, pour devenir plus grossières à l'ouest du bassin sédimentaire vers Akakro.

Le niveau superficiel sablo-argileux (Terre de Barre) considéré comme niveau superficiel du continental terminal a une épaisseur qui varie d'ouest en est, devenant plus importante lorsqu'on va vers la région de Grand Alépé.

La Terre de Barre varie aussi du nord au sud. Elle a une épaisseur peu importante au nord du bassin sédimentaire pour devenir plus épaisse au centre et lorsqu'on passe aux

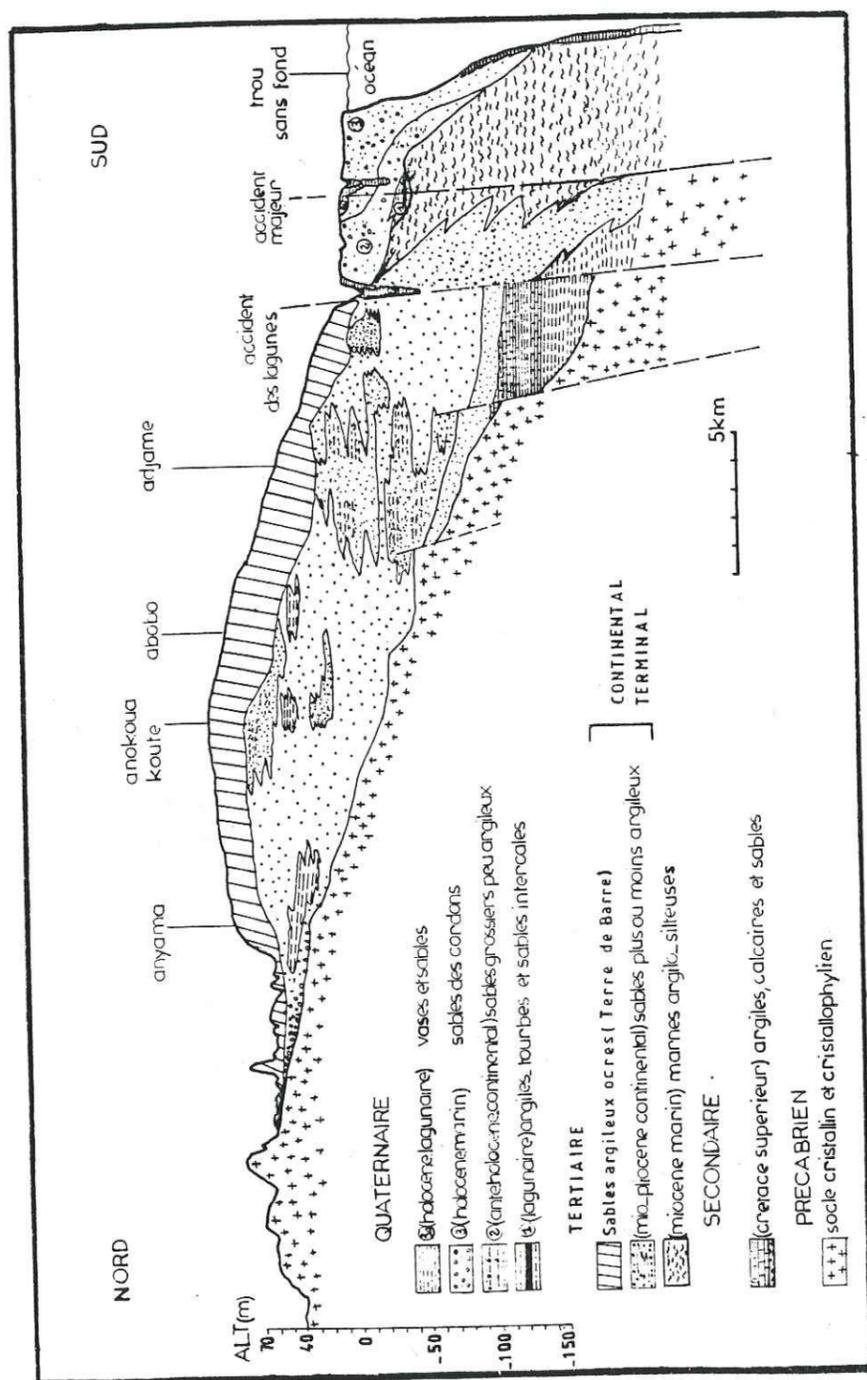


Figure III₁₄ : Coupe Nord-Sud du secteur d'étude

abords de la faille des lagunes, l'épaisseur diminue. Cette variation d'épaisseur est illustrée sur la figure III₁₄.

III_{2.2.5} Paléogéographie du bassin sédimentaire

Le bassin sédimentaire côtier est un bassin de type ouvert. La sédimentation y résulte entièrement du jeu variable de la subsidence et de la tectonique d'une part, et des apports en provenance du continent d'autre part. Ces apports étant déterminés la plupart du temps par la morphologie des bordures du bassin dont l'histoire débute probablement au jurassique supérieur ou au crétacé inférieur, à l'issue de la séparation entre le continent africain et le continent américain, par le dépôt de sédiments continentaux assez grossiers (conglomérats et grès) avec des intercalations d'argiles noires lacustres.

La première transgression de la mer Albo-aptienne dépose une sédimentation marine caractérisée par sa richesse en organismes, en blocs et galets provenant de démantèlement du socle.

Cette sédimentation marine persistera pendant 120 Ma environ, de l'Albo-aptien jusqu'au miocène supérieur, avec des épisodes bien marqués de transgressions et de régressions dont la plus importante se situe à la fin du maestrichtien où tout le bassin sédimentaire est exondé.

Entre les périodes de sédimentation marine, s'intercalent des phases continentales liées au recul de la mer. L'arrêt de la sédimentation à l'oligocène et une reprise de l'érosion entraînent la création d'un paléo-relief sur lequel s'installeront les sédiments miopliocènes continentaux selon deux étapes principales : Avant le miopliocène, règne un climat tropical humide associé à une végétation dense qui favorise une altération de type latéritique sur les roches du socle et amène avec le début de néogène la mise en place du niveau 1 ; une incursion lagunaire au nord de l'accident majeur donnera le niveau 2.

Au début du néogène, l'aridification relative du climat (éolisation), concomitante d'une régression, permet l'épandage

en nappe de matériaux détritiques arrachés aux altérites du socle, conduisant au dépôt de sables argileux du niveau 3. Enfin au maximum d'aridification et de contraste saisonnier, les dépôts deviennent plus homogènes, l'éolisation est plus forte, c'est le niveau 4.

Après l'épisode continental du tertiaire, le quaternaire redevient marin avec deux transgressions suivies de deux regressions.

La première incursion marine quaternaire remonte à plus de 42000 ans BP et le niveau de la mer atteint la côte - 20 m en dessous de son niveau actuel. Cette transgression se termine par la mise en place des dépôts lagunaires de la formation 1.

Pendant la phase régressive suivante (antérieure à 18000 ans BP), un climat de type soudanien a permis, en l'absence d'un couvert végétal dense, l'épendage en nappe de matériaux sablo-argileux empruntés aux formations miopliocènes du continental terminal constituant la formation 2 et correspondant à l'unité morpho-sédimentaire des bas plateaux.

La dernière transgression (Nouakchottienne ou flandrienne) marine est très brutale et provoque l'envoyage considérable du continent, régularisant la ligne du rivage et lui donnant une configuration semblable à l'actuelle.

L'important système de rias ainsi formé va être fermé par la dérive du littoral ouest-est, isolant ainsi des lacs et des lagunes soumis à l'envasement provoquant le dépôt de la formation 3.

Enfin les sables blancs des cordons littoraux issus du lessivage des bas plateaux accentué par la proximité de la nappe phréatique, sont le résultat de la dernière régression actuelle. Les formations deltaïques émergent, isolant plusieurs systèmes lagunaires.

Le schéma paléogéographique du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire est donné par la figure III₁₅.

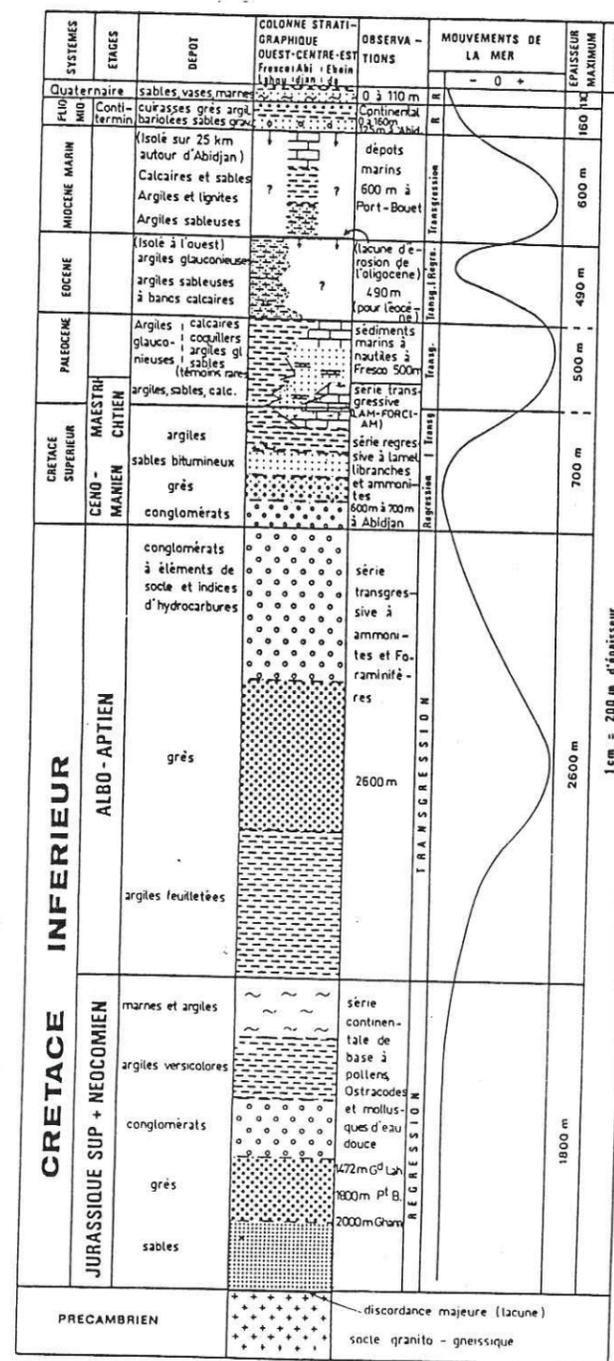


Figure III₁₅ : Schéma paléogéographique du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire (d'après Aghui et Biémi 1983)

III₃ Etude typologique du Zircon

III₃₁ Généralités

III_{31.1} Bref historique des travaux antérieurs

La détermination de l'origine des roches sédimentaires peu ou pas métamorphisées pose un certain nombre de problèmes que les seules méthodes sédimentologiques ne peuvent résoudre.

Partant de ces considérations, de nombreux auteurs ont utilisé les minéraux accessoires pour tenter un tant soit peu de démêler les problèmes posés. C'est à cette catégorie de minéraux accessoires qu'appartient le zircon dont les premiers travaux concernant la typologie ont débuté avec H. Turach (1884), mais il fallut attendre la seconde moitié du XXème siècle pour connaître un développement notable grâce à la mise au point de méthodes statistiques dimensionnelles dites R.M.A. (Réduced Major Axis, A. Poldervaar et Al, 1957). Bien que largement utilisées, les conclusions tirées de ces méthodes furent l'objet de critiques essentiellement axées sur le choix des critères de base utilisés.

De nombreuses classifications morphologiques furent proposées par différents auteurs (F.R. Karner et J.O. Helgesen, 1970). Ces classifications anciennes, malgré leur valeur scientifique, s'adressaient à un nombre très restreint de types de roches et ne tenaient pas compte de nombreux caractères du zircon, pour conduire à une interprétation féconde des données fournies par le mineral.

Plus récemment, cette méthode a été l'objet d'une étude détaillée (Pupin, 1976) dans ses travaux sur la signification des caractères morphologiques du zircon des roches en pétrologie. A juste titre Pupin pense que les données propres aux caractéristiques morphologiques (sensu lato) du zircon sont susceptibles d'apporter des indications nombreuses et spécifiques dans la recherche des roches mères des sédiments ou dans la corrélation de niveaux azoïques.

Plus proche de nous, un des aspects des travaux de S. Touré (1981) est consacré à l'application de cette méthode

pour la caractérisation de matériaux tertiaires sédimentaires ou volcano-détritiques de l'Arc de Castellane (Alpes Maritimes).

III_{31.2} Base fondamentale de la méthode proposée
(J.P. Pupin et G. Turco, 1972)

III_{31.2.1} Système cristallographique et indexation

Le zircon (ZrSiO₄) cristallise dans le système quadratique ; il peut avoir une forme allongée ou trapue, symétrique ou dissymétrique par rapport à l'axe C. Il présente les éléments des symétrie de l'holoedrie du système quadratique :

$$A_4, \frac{2 A_2}{2 M}, \frac{2 A_2'}{2 M'}, C.$$

L'indexation des formes cristallines est basée sur un réseau quadratique centré (orientation structurale).

Figure III₁₆.

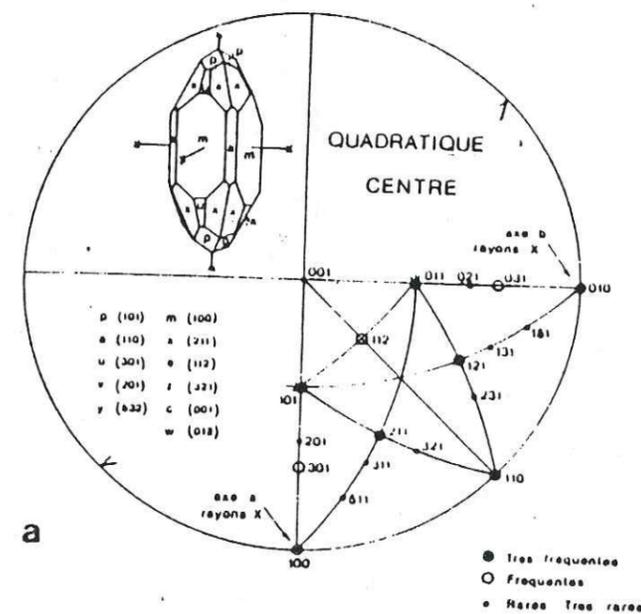
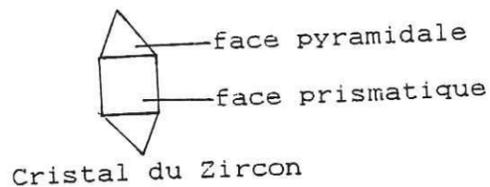


Fig III₁₆: Projection cristallographique des principales faces des cristaux de zircon naturels avec leurs fréquences relatives. Réseau quadratique centré (orientation structurale) (J. P. PUPIN 1976)

III_{31.2.2} Classification typologique du zircon accessoire

La méthode typologique est basée sur le développement relatif des faces prismatiques et pyramidales dont les combinaisons définissent un type déterminé.



III_{31.2.2.1} Types principaux

Les types fondamentaux (16 types) présentent 0, 1 ou 2 prismes et l'une des trois pyramides {101}, {211} ou {301} ou la combinaison {101} + {211}, sur la figure III₁₇ sont regroupés les 64 types et sous types de la classification (J.P. Pupin et G. Turco, 1972).

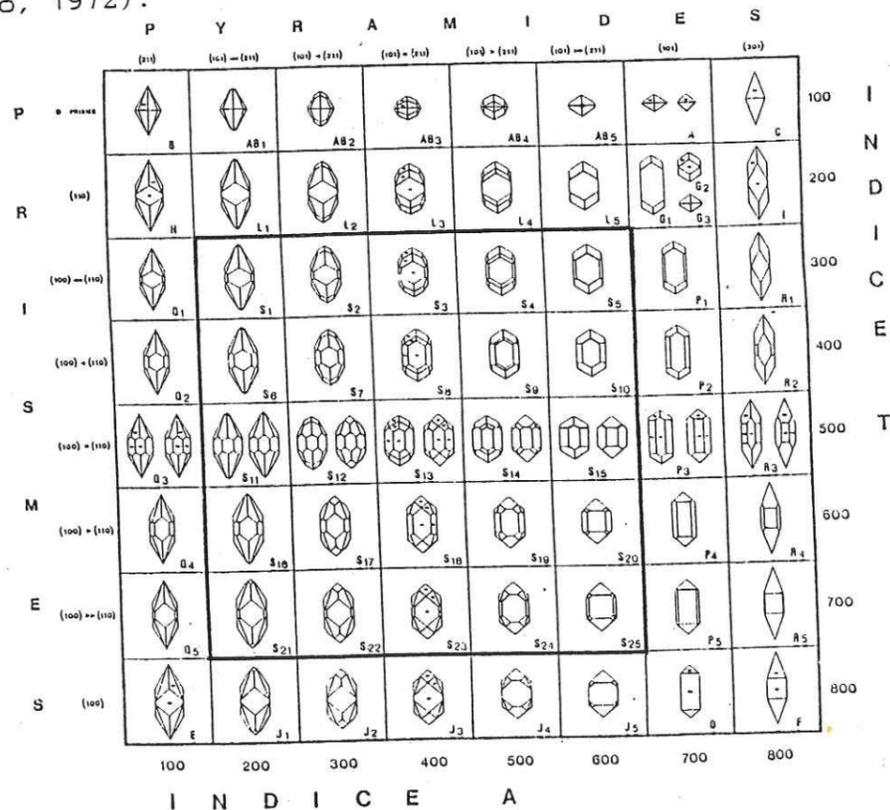


Figure III₁₇ : Types et sous-types fondamentaux de la classification (J.P. Pupin et G. Turco, 1972 a,b)

III_{31.2.2.2} Types secondaires

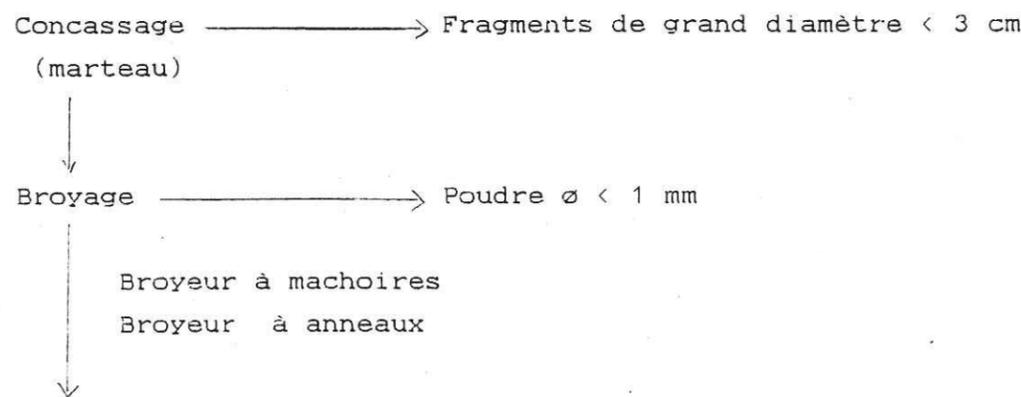
En général subordonnés par rapport aux types principaux, les types secondaires se déduisent par l'adjonction d'une ou de plusieurs pyramides supplémentaires {301}, {122} et {321} et {511}, la position des types secondaires est figurée dans le tableau de la figure III₁₈.

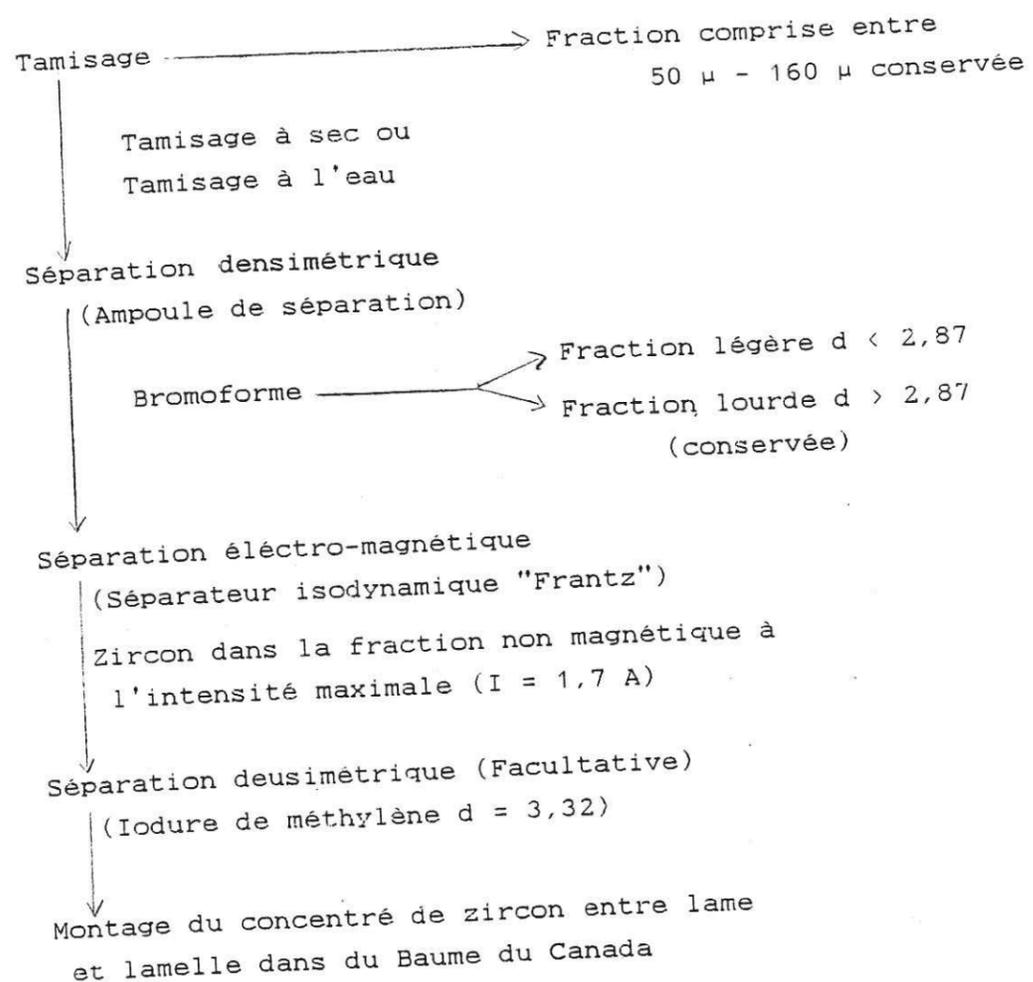
		I N D I C E A							
		100	200	300	400	500	600	700	800
I	100	B	AB ₁	AB ₂	AB ₃	AB ₄	AB ₅	A AC ₁₋₃	C
N	200	H	L ₁ LZ ₁ O ₁	L ₂ LZ ₂ O ₂	L ₃ LZ ₃ O ₃	L ₄ LZ ₄ O ₄	L ₅ LZ ₅ O ₅	G ₁₋₃ GZ M ₁₋₃	I
D	300	Q ₁	S ₁ U ₁ V ₁ SZ ₁	S ₂ U ₂ V ₂ SZ ₂	S ₃ U ₃ V ₃ SZ ₃	S ₄ U ₄ V ₄ SZ ₄	S ₅ U ₅ V ₅ SZ ₅	P ₁ PZ ₁ T ₁₋₃	R ₁
I	400	Q ₂	S ₆ U ₆ V ₆ SZ ₆	S ₇ U ₇ V ₇ SZ ₇	S ₈ U ₈ V ₈ SZ ₈	S ₉ U ₉ V ₉ SZ ₉	S ₁₀ U ₁₀ V ₁₀ SZ ₁₀	P ₂ PZ ₂ T ₄₋₆	R ₂
D	500	Q ₃	S ₁₁ U ₁₁ V ₁₁ SZ ₁₁	S ₁₂ U ₁₂ V ₁₂ SZ ₁₂	S ₁₃ U ₁₃ V ₁₃ SZ ₁₃	S ₁₄ U ₁₄ V ₁₄ SZ ₁₄	S ₁₅ U ₁₅ V ₁₅ SZ ₁₅	P ₃ PZ ₃ T ₇₋₉	R ₃
T	600	Q ₄	S ₁₆ U ₁₆ V ₁₆ SZ ₁₆	S ₁₇ U ₁₇ V ₁₇ SZ ₁₇	S ₁₈ U ₁₈ V ₁₈ SZ ₁₈	S ₁₉ U ₁₉ V ₁₉ SZ ₁₉	S ₂₀ U ₂₀ V ₂₀ SZ ₂₀	P ₄ PZ ₄ T ₁₀₋₁₂	R ₄
	700	Q ₅	S ₂₁ U ₂₁ V ₂₁ SZ ₂₁	S ₂₂ U ₂₂ V ₂₂ SZ ₂₂	S ₂₃ U ₂₃ V ₂₃ SZ ₂₃	S ₂₄ U ₂₄ V ₂₄ SZ ₂₄	S ₂₅ U ₂₅ V ₂₅ SZ ₂₅	P ₅ PZ ₅ T ₁₃₋₁₅	R ₅
	800	E	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	D DZ K ₁₋₃	F

Figure III₁₈ : Position des types secondaires dans le diagramme (IA, IT). D'après J.P. Pupin, 1976.

III_{31.2.3} Etude d'une population de zircons

III_{31.2.3.1} Préparation de concentrés de zircons





Remarque : les sédiments, comme ce fût notre cas, peuvent être tamisés sans broyage préalable. Pour éviter toute contamination qui impliquerait des erreurs d'interprétation, il faut prendre les précautions nécessaires tout au long des manipulations.

Pour l'étude d'une population de zircon, on peut généralement se passer de la séparation densimétrique à l'iodure de méthylène. Par contre, lorsque la quantité de minéraux lourds ($d > 3,32$) autres que le zircon est très élevée, on peut utiliser l'iodure de méthylène.

III_{31.2.3.2} Etude de la population au microscope

On prend au hasard cent cristaux compris entièrement dans le champ du microscope, au grossissement 250, pour une ou plusieurs traversées longitudinales de la lame.

Les cristaux sont déterminés typologiquement lorsque cela est possible et leurs autres caractères notés, ainsi que leurs coordonnées dans la lame. Lorsque cent cristaux, numérotés de 1 à 100 sont étudiés, leur distribution typologique est fournie sous forme de tableau (IA, IT) mentionnant les fréquences de chaque types ou sous-types, ainsi que le taux d'indéterminés.

L'indice "A" correspond au développement des faces pyramidales et l'indice "T" au développement relatif des prismes ou à l'absence de ceux-ci.

III_{31.2.3.3} Autres caractères des zircons (J.P. Pupin, 1976)

Bien que précise, la méthode typologique doit être complétée par un examen très approfondi des caractères morphologiques des zircons de la population étudiée.

III_{31.2.3.3.1} Qualité des formes cristallines

D'après la netteté des formes des cristaux, ils seront considérés comme :

- Automorphes : cristal à faces planes et arrêtes aiguës ;
- Subautomorphes : cristal à arêtes légèrement émoussées ;
- Arrondis : les faces des pyramides sont nettement arrondies les faces des prismes restent planes ;
- Subovoïdes : Toutes les faces sont très arrondies bien que le cristal soit encore orientable cristallographiquement ;
- Ovoïde : forme ovale, aucune face du cristal n'est reconnaissable.

Remarque : En général, les cristaux très remaniés acquièrent des formes (sub)ovoides dues à l'usure par le transport.

III_{31.2.3.3.2} La couleur

La couleur des zircons est très variable. Les zircons primaires des roches récentes sont généralement incolores, mais aussi roses ou rouges. Il semble cependant impossible de relier la couleur à l'âge des cristaux.

III_{31.2.3.3.3} Groupements cristallins

On en rencontre dans les populations de roches endogènes mais plus fréquemment dans les roches volcaniques, les milieux migmatitiques et anatectiques. Les cristaux peuvent s'accoler par les faces pyramidales, prismatiques.

III_{31.2.3.3.4} Croissance des cristaux

- gradins de croissance : fréquents dans certaines laves et les pegmatites ;
- lacunes de croissance : surtout dans les roches volcaniques ;
- surcroissance : dans les granitoides alumineux ;
- excroissance : considérée comme une croissance épitaxiale de xénotine.

III_{31.2.3.3.5} Corrosion

La corrosion magmatique peut conduire à des formes arrondies ou ovoides.

III_{31.2.3.3.6} Noyaux

Généralement de petite taille, ce sont des résidus de l'anatexie ou résultant de l'assimilation de l'encaissant au pourtour des massifs intrusifs.

III_{31.2.3.3.7} Zonage

C'est un phénomène variable selon les populations étudiées traduisant un caractère rythmique de la cristallisation du zircon. Très fréquent surtout dans les cristaux tardifs et les surcroissances dans les granites anciens, c'est un caractère important dans les études typologiques, car il enregistre les variations relatives successives des formes, donc celle des conditions physico-chimiques du milieu pendant la croissance.

III_{31.2.3.3.8} Inclusions

Elles sont fréquentes et variées, correspondant généralement à des inclusions solides, vitreuses ou cristallines. Les inclusions fluides sont rares.

III₃₂ Application de la méthode typologique du zircon accessoire

III_{32.1} Introduction

Le zircon est un minéral accessoire commun des roches endogènes. On le rencontre dans les roches sédimentaires détritiques dont le matériel provient de la désagrégation des roches précitées.

Nous allons dans ce paragraphe étudier :

- Dans un premier temps, la distribution typologique et la morphologie des zircons dans les formations schisteuses des carrières d'Anyama et d'Ahoué ;

- Le deuxième volet de ce paragraphe sera consacré à l'utilisation de la méthode typologique dans les sables argileux de la Terre de Barre, dans le grès et ciment de conglomérats de base du continental terminal.

Le but de la présente étude est d'appliquer cette méthode à l'étude des formations "anciennes du socle" et des formations plus récentes du continental terminal en vue d'une

approche paléogéographique.

III_{32.2} Application à l'étude des formations schisteuses

III_{32.2.1} Echantillon C.A.H.

Cet échantillon provient de la carrière d'Ahoué située sur la nouvelle route d'Alépé.

C'est une formation schisteuse altérée, de couleur violette, avec des passées blanchâtres lui donnant un aspect bariolé.

Les minéraux discernables macroscopiquement sont des paillettes de micas.

III_{32.2.1.1} Caractéristiques des zircons de la population

- La forme des zircons est généralement automorphe ou subtomorphe, rarement ovoïde. Dans la majeure partie des cas, il présente des cupules (Voir planche 1 (1,3,6,8,9) en fin de paragraphe). La présence de cupules indique un transport plus ou moins important et l'éloignement possibles des sources d'alimentation. Cependant l'existence d'un certain nombre de cristaux peu ou pas cupulés prouve des sources assez proches.

- La couleur est variable.

- Le zonage est fréquent, Planche 1 (2,4).

- Les inclusions sont présentes mais peu abondantes dans la plupart des cas, sauf dans les zircons typiquement volcaniques où on note la présence d'aiguilles acciculaires d'apatites et des inclusions mal cristallisées.

III_{32.2.1.2} Fréquences des types de zircon

Au niveau des fréquences des types déterminés, nous remarquons la prédominance du type S par rapport aux autres types. On note néanmoins l'existence du type P et J. Le sous type U étant rare.

Le pourcentage des différents types corrigé sur la base des types déterminés est donné ci-dessous.

S ₂ = 4,7 %	S ₁₃ = 17,2 %	P ₁ = 3,1 %
S ₃ = 4,7 %	S ₁₄ = 1,6 %	J ₂ = 1,6 %
S ₄ = 4,7 %	S ₁₇ = 6,3 %	J ₄ = 1,6 %
S ₇ = 12,5 %	S ₁₈ = 7,8 %	U ₂₃ = 1,6 %
S ₈ = 12,5 %	S ₂₂ = 3,1 %	
S ₉ = 1,6 %	S ₂₃ = 7,8 %	
S ₁₀ = 1,6 %	S ₂₄ = 3,1 %	
S ₁₂ = 4,7 %	S ₂₅ = 1,6 %	indéterminés : 36 %

III_{32.2.1.3} Interprétation des résultats

Nous avons représenté sur le diagramme IA,IT du Turco, 1972 b, la distribution typologique en fonction des fréquences obtenues. On note un bimodalité dans la distribution des zircons, montrant ainsi deux noyaux au niveau du diagramme IA,IT du Turco, 1972 b. Voir diagramme a de la figure III₁₉.

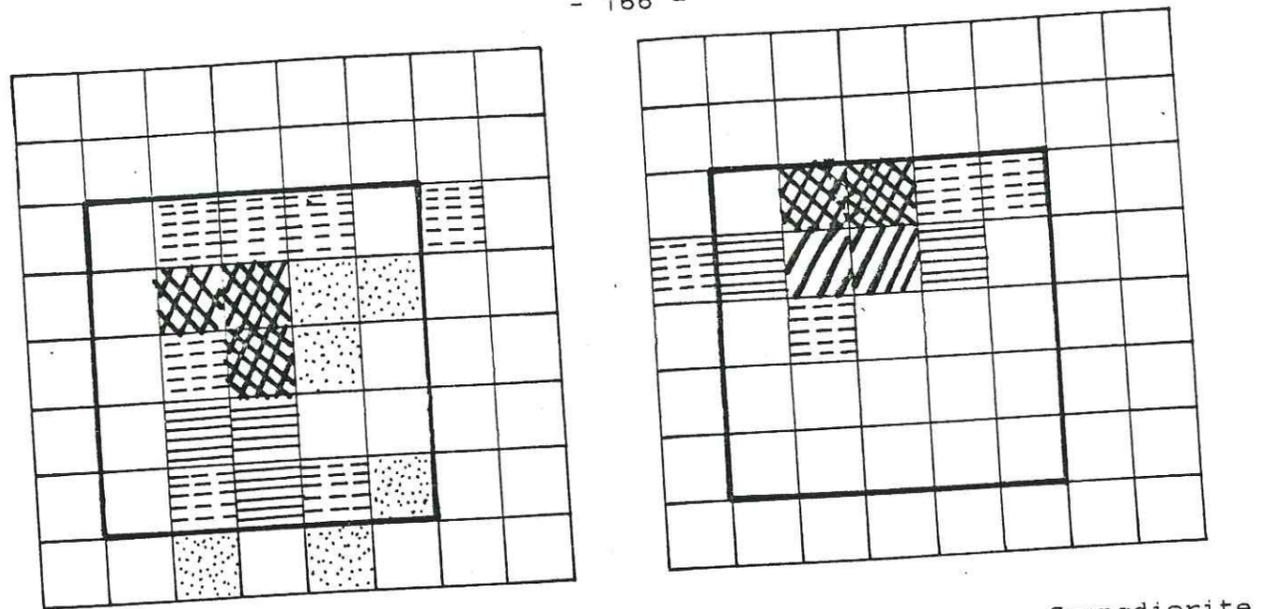
Le premier noyau est représenté autour des types S₇, S₈, S₁₃. Les caractéristiques des zircons permettent d'émettre l'hypothèse d'une source "granitique" ou granodioritique. Comme le montrent les diagrammes b et c illustrant la distribution typologique des zircons dans un granodiorite de la région de Bondoukrou au nord est de la Côte d'Ivoire et dans un granite monzonitique de Séguéla au centre du pays.

Le deuxième noyau est matérialisé par les types S₁₇, S₁₈, S₂₃ au bas du diagramme typologique. Tout à fait en bas du diagramme, les types J₂ et J₄ autour de ce second noyau confirment un apport d'éléments volcaniques. Nous donnons à titre d'exemple sur la figure III₂₀ la répartition des roches volcaniques dans le diagramme (IA,IT).

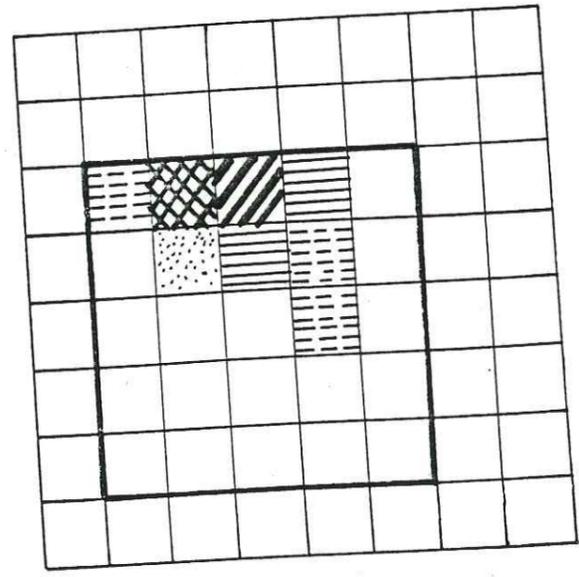
D'après le diagramme IA,IT de la répartition des roches volcaniques les zircons du second noyau semblent provenir probablement d'une roche volcanique alcaline ou calco-alcaline.

III_{32.2.2} Echantillon C₂-P₂

Cet échantillon a été prélevé à la nouvelle gare d'Anyama située au nord d'Abidjan. C'est une formation schisteuse.



a CAH b Granodiorite (Bondoukou)



c Granite à 2 Micas (Ferké)

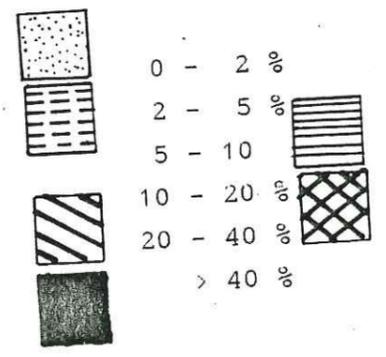
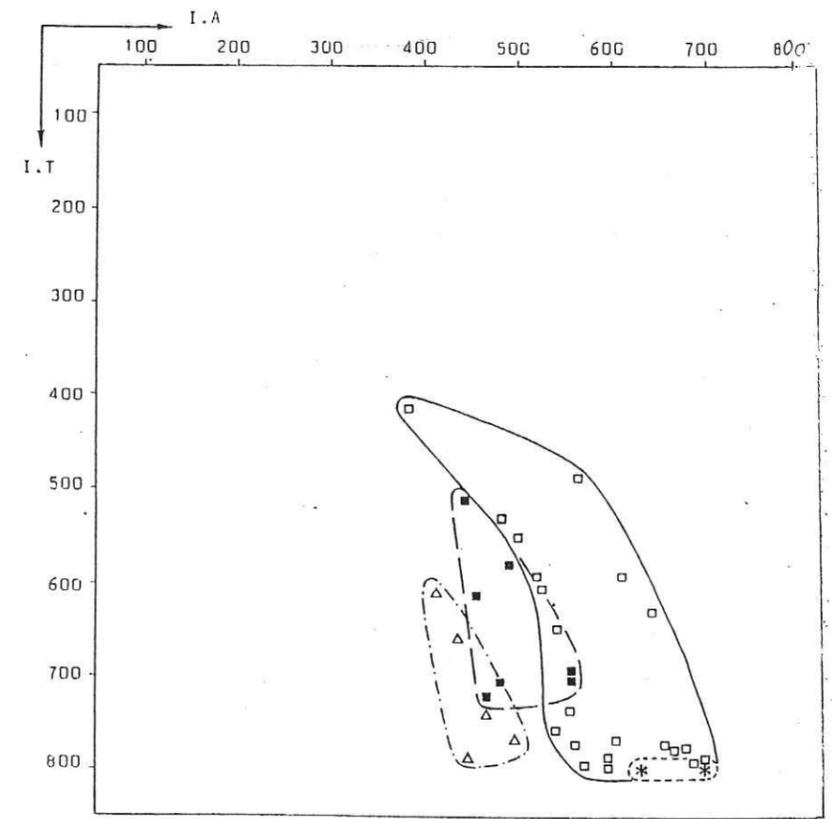


Figure III₁₉ : Distribution typologique des populations de zircons des schistes d'Ahoué (CAH) sur le diagramme a



□ Rhyolites alcalines-hyperalkalines I-II.2-4.1.1-4.
 ■ Rhyolites monzonitiques I-II.4.2.2-4.
 △ Trachytes alcalins et calco-alcalins I.5.1-2.3-4.
 * Trachytes à feldspathoïdes ("phonolites") I.5.1-2.3.

Figure III₂₀ : Répartition des roches volcaniques dans le diagramme (IA,IT) selon la terminologie de A. la Croix in Pupin, 1976

III_{32.2.2.1} Caractéristiques des zircons de la population

La forme des cristaux de zircon est généralement automorphe, subautomorphe, rarement ovoïde. Quelle que soit la forme, la plupart des zircons sont cupulés, planche 1 (1,3, 6,8,9), dénotant un transport important.

La moitié des zircons sont zonés. Planche 1 (2,4).

Les inclusions sont variables. En faible quantité dans les zircons du haut du diagramme, mais assez nombreux dans les zircons volcaniques du bas du diagramme.

III_{32.2.2.2} Fréquence des types de zircon

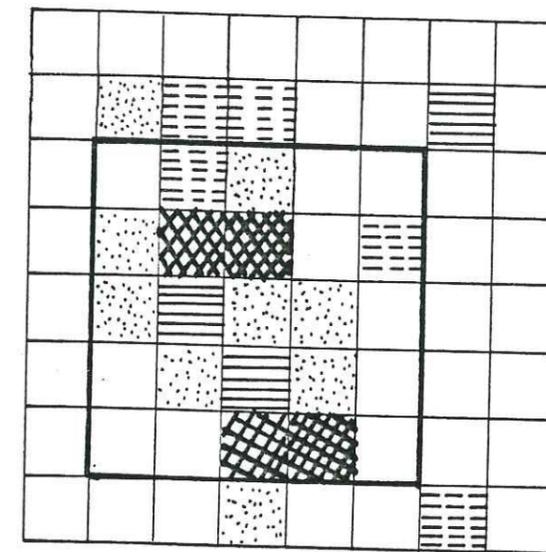
On note le caractère subordonné des types G, L, J et D par rapport au type S. Nous donnons le pourcentage des différents types rencontrés ainsi que le pourcentage des types indéterminés.

S ₂ = 3,4 %	L ₂ = 3,4 %	D = 3,4 %	J ₃ = 1,7 %
S ₃ = 1,7 %	L ₃ = 5 %		
S ₆ = 1,7 %	L ₁ = 1,7 %		
S ₇ = 13,4 %	G = 5 %		
S ₈ = 13,4 %			
S ₁₀ = 3,4 %			
S ₁₁ = 1,7 %			
S ₁₂ = 5 %			
S ₁₃ = 1,7 %			
S ₁₄ = 1,7 %			
S ₁₇ = 1,7 %			
S ₁₈ = 6,7 %			
S ₁₉ = 1,7 %			
S ₂₃ = 11,7 %			
S ₂₄ = 10 %			

Types indéterminés : 40 %

III_{32.2.2.3} Interprétation des résultats

Le pourcentage des types déterminés est représenté dans le diagramme IA IT de la figure III₂₁.



C₂P₂



Figure III₂₁ : Distribution typologique de populations de zircon des schistes de la carrière 2 de la nouvelle gare de trains d'Anyama

La bimodalité dans la distribution typologique des zircons de l'échantillon C₂P₂ est plus évidente avec une discontinuité centrale.

Au premier noyau constitué des types S₇, S₈ caractéristiques des formations granitiques et granodioritiques (diagramme b et c, Figure III₁₉), il faudrait ajouter les types G, situés en haut du diagramme, existant seulement dans les "granites évolués" très différenciés, ainsi que les types L appartenant à des granites d'anatexie ou à des mignatites.

Le second noyau est formé par les types S₁₈, S₂₃, S₂₄ auxquels il faudrait ajouter les types J₃ et surtout D qui

n'existent que dans les roches volcaniques de haute température.

III_{32.3} Application à l'étude des formations sédimentaires du continental terminal

Nous avons prélevé trois échantillons dans le continental terminal que nous avons défini dans le paragraphe concernant l'étude stratigraphique :

- échantillon Cl₄ provenant du niveau supérieur du continental terminal (Terre de Barre) ;
- échantillon Cl₂ correspondant à une barre gréseuse intercalée dans le niveau des "conglomérats de base" ;
- échantillon Cl₃ correspondant au ciment de ces conglomérats de base.

Ces trois échantillons proviennent de la carrière située sur la nouvelle route d'Alépé près du pont sur la Mè. Voir étude des coupes à l'affleurement dans le premier paragraphe.

III_{32.2.3.1} Caractéristiques des zircons

Dans l'ensemble des populations étudiées pour les trois échantillons, les zircons sont généralement automorphes à sub-automorphes, limpides et cupulés, planche 1 (1,3,6,8,9), dénotant une source d'alimentation plus ou moins éloignée.

Les inclusions sont très variées mais la plupart du temps avec la présence d'aiguilles acciculaire d'apatites.

On note la présence fréquente de zircons zonés, planche 1 (2,4).

III_{32.2.3.2} Fréquences des types de zircons

Nous avons presque toujours une prédominance des types S dans les trois échantillons, au détriment des types L, Q, J et des sous-types U et N. A titre d'exemple nous donnons les fréquences des types dans la barre gréseuse Cl₂.

S ₂ = 4,61 %	L ₂ = 1,53 %
S ₃ = x présence	L ₃ = 1,53 %
S ₄ = 1,53 %	P ₁ = 1,53 %
S ₆ = x présence	J ₃ = x présence
S ₇ = 10,76 %	J ₄ = 1,53 % N ₄ = 1,53 %
S ₈ = 3,07 %	
S ₉ = x présence	
S ₁₁ = 1,53 %	
S ₁₃ = 4,61 %	
S ₁₇ = 7,69 %	
S ₁₈ = 3,07 %	U ₁₈ = 3,07 %
S ₁₉ = 1,53 %	
S ₂₀ = x présence	
S ₂₂ = 3,07 %	
S ₂₃ = 26,75 %	U ₂₃ = 1,53 %
S ₂₄ = 15,38 %	U ₂₄ = 1,59 %
S ₂₅ = 3,07 %	

Indeterminés : 35 %

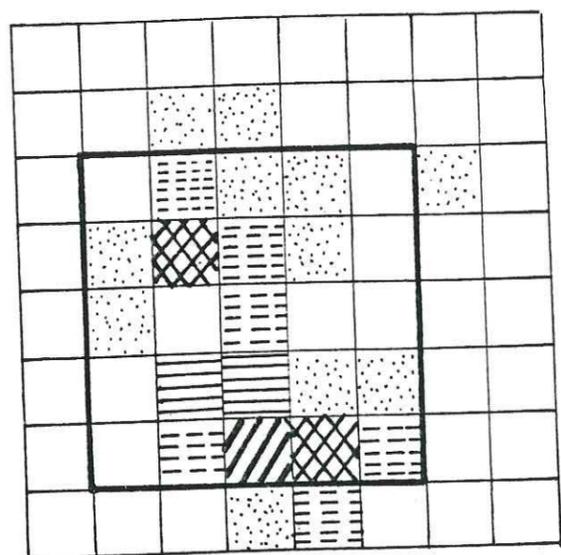
III_{32.3.3} Interprétation des résultats

On remarque que la distribution des zircons dans le diagramme (IA,IT) est tout à fait la même pour le niveau supérieur (Cl₄), pour la barre gréseuse (Cl₂) et pour le ciment des "conglomérats de base". On note une bimodalité dans la distribution typologique avec un premier pôle autour des types S₇, L₂ qui n'est pas très net indiquant une source granitique sens large et un deuxième autour de S₂₃ et S₂₄ très net caractéristique d'une source éruptive calco-alcaline illustrée par l'aire de répartition des zircons des roches volcaniques calco-alcalines dans le diagramme (IA,IT) de la figure III₂₀.

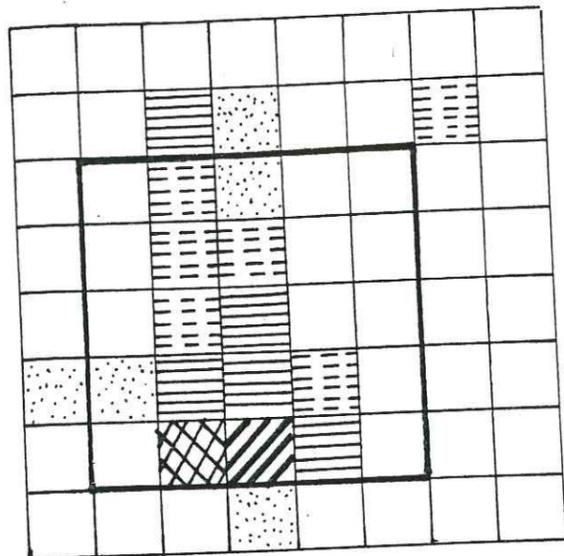
III_{32.4} Conclusion

L'étude typologique des zircons précise les sources possibles d'alimentation des formations schisteuses du socle et les formations sédimentaires du continental terminal.

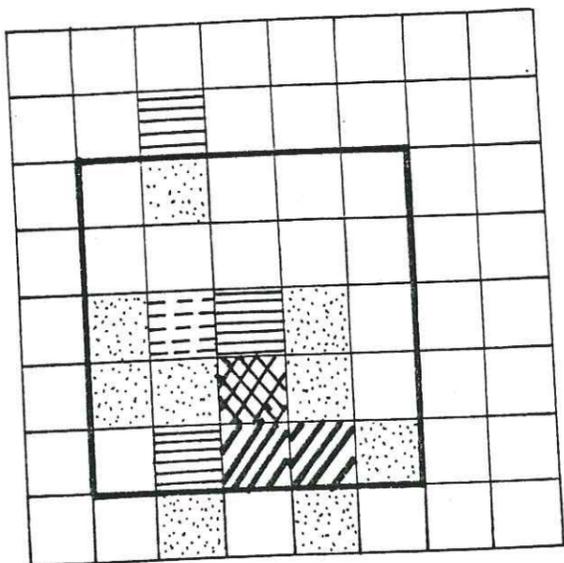
- La première source est constituée par des roches



CL₂ : Barre gréseuse



CL₃ : ciment des "conglomérats de base"



CL₄ : Niveau supérieur du continental continental terminal

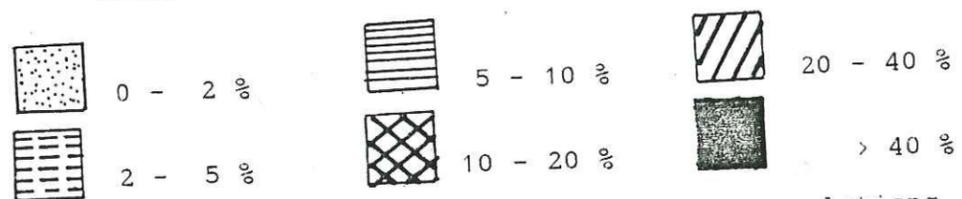


Figure III₂₂ : Distribution typologique des populations de zircons des sédiments du continental terminal dans le diagramme (IA, IT)

"granitiques" (granite, granodiorite) et probablement des diorites quartziques (tonalites) ;

- La deuxième source est constituée par les roches volcaniques certainement calco-alcalines avec une ascendance plus marquée au niveau des formations du continental terminal.

Le continental terminal aurait, en fait, hérité des zircons déjà remaniés des schistes birrimiens.

Yacé (1976) a mis en évidence, l'existence d'un volcanisme éburnéen de type calco-alcalin dans les parties centrales et méridionales de la chaîne précambienne de Féttekro, au centre de la Côte d'Ivoire. Les zircons d'origine volcaniques proviendraient de ce volcanisme calco-alcalin.

Les roches volcaniques associées aux formations sédimentaires forment le complexe volcano-sédimentaire (Tagini, 1971) correspondant à l'étage structural inférieur du birrimien.

Planche 1

Typologie :

- | | | | |
|---|-----------------------------------|---|--|
| 1 | S ₂₃ - S ₂₄ | 6 | S ₁₂ |
| 2 | S ₁ - S ₂ | 7 | S ₂₃ - S ₂₄ |
| 3 | S ₁₇ | 8 | S ₂₅ (très proche de J ₅ et D) |
| 4 | S ₇ - S ₈ | 9 | S ₁₈ |
| 5 | S ₁₈ | | |

Caractéristiques des zircons :

- zircons cupulés : 1, 5, 6, 8, 9
- Zircons zonés : 2 et 4
- zircons en groupement cristallin prismatique : 3
- zircons à centre opaque : 7

Echantillon C.A.H. : 1, 4, 5, 9, 6

Echantillon C₂P₂ : 7, 2, 8



①



②



③



④



⑤



⑥



⑦



⑧



⑨

III₄ caractéristiques hydrogéologiques des différents ensembles géologiques de la région d'étude

Les caractéristiques hydrogéologiques des formations affleurantes ou reconnues en forages dans notre région d'étude dépendent de leur nature géologique. Selon que ces formations sont perméables ou non, elles seront susceptibles de contenir de l'eau ou pas.

Dans les lignes qui suivent nous tenterons de montrer la qualité aquifère de ces différentes formations.

III₄₁ Socle cristallin et cristallophyllien

III_{41.1} Les schistes

Les schistes métamorphiques ont une perméabilité très faible mais sont néanmoins susceptibles de contenir de l'eau.

Nous aurons deux types d'aquifères dont l'un sera constitué par la tranche altérée superficielle et l'autre par la tranche fissurée de la roche saine.

III_{41.2} Le granite à deux micas de M'Pody

Le granite de M'Pody est d'extension réduite et se présente sous forme de dômes. La présence de blocs de granites au bord de la route témoigne d'une altération en boules suivant les plans des fractures. Cette altération en boules est typique des régions tropicales humides. Ce fait montre que le granite est fracturé et que l'eau s'infiltrerait à la surfaces des dômes et rejoindrait la nappe des altérites ou de la tranche fracturée du granite sain. Le granite jouerait le rôle de drain pour les formations schisteuses encaissantes.

II₄₂ Crétacé supérieur

Le crétacé supérieur (maastrichtien) formé de bancs calcaires greseux discontinus est aquifère et renferme les eaux minérales (Awa) de la Côte d'Ivoire.

III₄₃ Le paléocène

Le paléocène marin découvert en forage à Akakro est imperméable car formé d'argiles noires.

III₄₄ Miocène marin

Le miocène marin supérieur marno-schisteux ainsi que le miocène marin inférieur formé d'argiles noires sont imperméables et par conséquent d'une qualité aquifère nulle.

III₄₅ Miopliocène ou continental terminal

C'est la principale formation aquifère. Elle contient la nappe du continental terminal qui alimente la ville d'Abidjan, notre étude a porté essentiellement sur cette formation.

Seuls les niveaux 1, 3 et 4 de cette formation contiennent de l'eau. Le niveau 2 étant formé d'argiles est imperméable mais compte tenu de son caractère localisé, il y a une possibilité de communication entre le niveau 1 et les niveaux 3 et 4 lorsque le niveau 2 est absent. Dans la majorité des cas, les forages d'exploitation d'eau s'arrêtent seulement à la hauteur du niveau 3.

Niveau 4 : C'est un sable moyen argileux et bien classé avec un sorting $ST = \left(\frac{\phi 75}{\phi 25}\right)^{1/2} = 1,5$. Les logs granulométriques montrent en moyenne 35 à 65 % de matériaux supérieurs à 50 μ et 65 à 35 % de particules fines inférieures à ce diamètre.

La perméabilité calculée par analyse granulométrique (L. Bi Folité, 1978) donnent des valeurs entre 10⁻⁴ et 10⁻⁵ m/s.

Le niveau 4 est généralement sec mais peut renfermer des nappes perchées.

Niveau 3 : Ce sont des sables grossiers à intercalations argileuses. Nous avons représenté sur la figure III₂₃ l'enveloppe granulométrique du niveau 3 du forage IV Riviera Centre (Sodeci). La profondeur des échantillons est comprise entre 22 et 120 mètres.

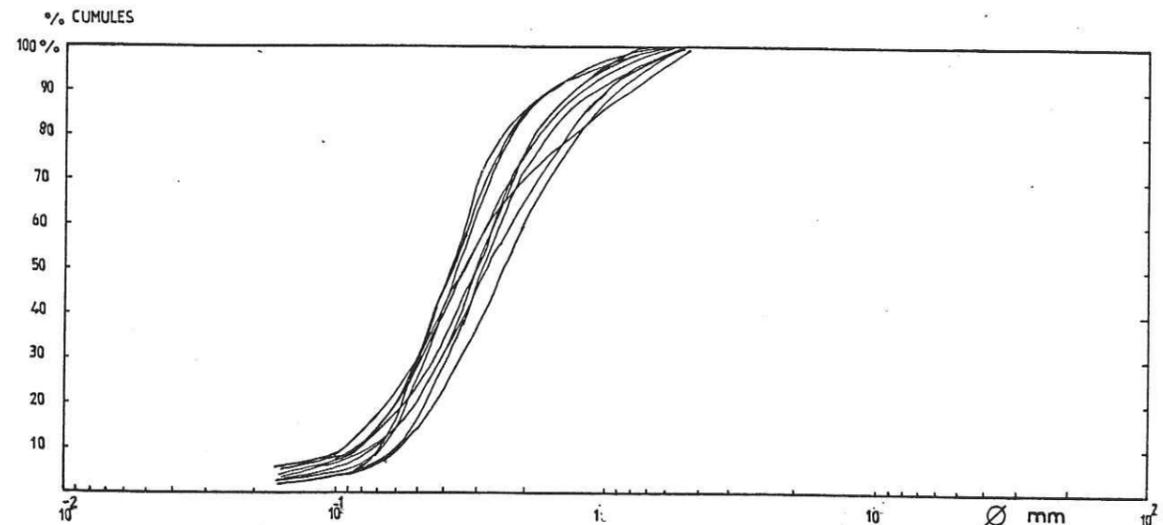


Figure III₂₃ : Enveloppe granulométrique du niveau 3 du forage IV Sodeci Riviera Centre (continental terminal)

Avec les résultats des analyses granulométriques, nous avons calculé le classement (sorting) selon la formule de Trask (1930) $ST = \left(\frac{\phi 75}{\phi 25}\right)^{1/2}$ des échantillons que nous avons prélevés sur le forage IV Riviera Centre de la Sodeci. Les résultats ont donné un indice de classement (ST) compris entre 1,3 et 1,7 avec une moyenne de 1,5, ce qui correspond à des sables bien classés.

Le coefficient d'uniformité $CU = \frac{\phi 60}{\phi 10}$ est en général supérieur à 2, sauf pour l'échantillon prélevé à 84 mètres de profondeur dont le CU est égal à 1,8. Ce qui permet de dire que ce sont des sables variés dans l'ensemble.

La perméabilité calculée selon la formule $K = 100 d_{10}^2$, pour des valeurs de d_{10} comprises entre 0,0075 mm et 0,200 mm, donne une perméabilité moyenne de $2,2 \cdot 10^{-3}$ m/s. Cette valeur de perméabilité est à prendre avec réserve parce que calculée à partir de l'analyse granulométrique d'échantillons remaniés.

Pour illustrer la répartition des différents niveaux dans le continental terminal, nous avons représenté sur les figures III₂₄₋₂₅₋₂₆ les coupes de quelques forages.

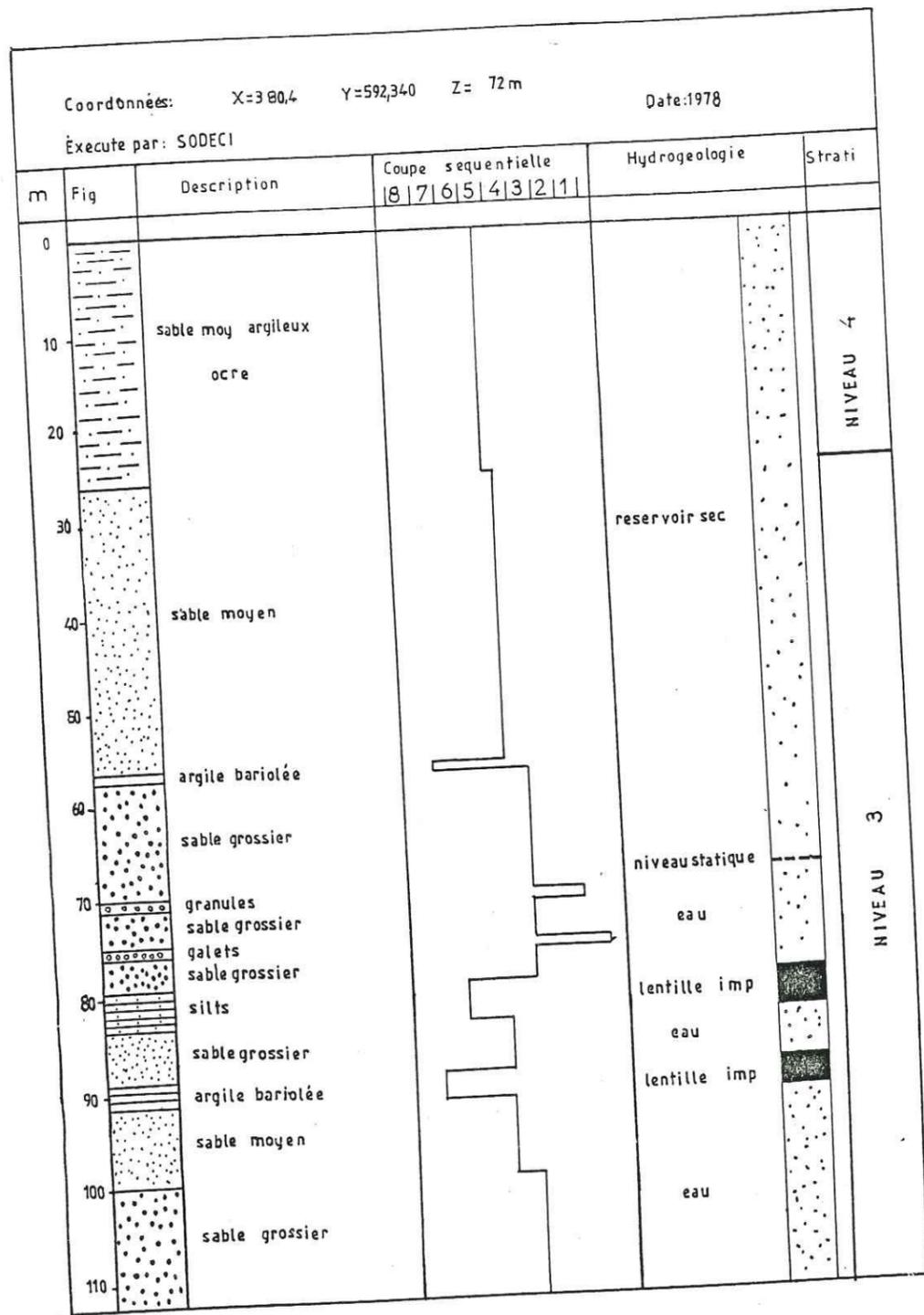


Figure III₂₄ : Coupe géologique et séquentielle du forage UNIWAX II (Continental terminal)

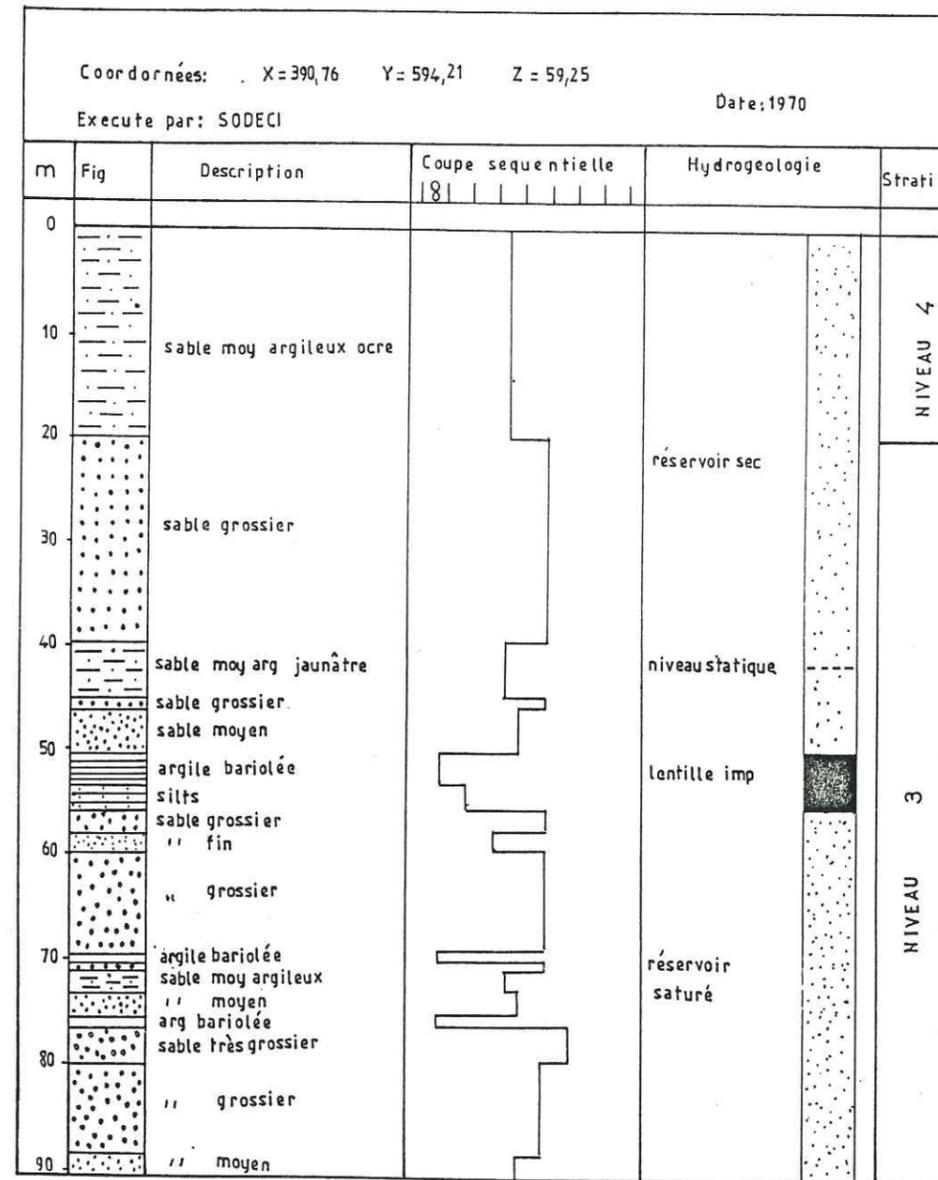


Figure III₂₅ : Coupe géologique et séquentielle du forage Sodeci Zone est II (continental terminal)

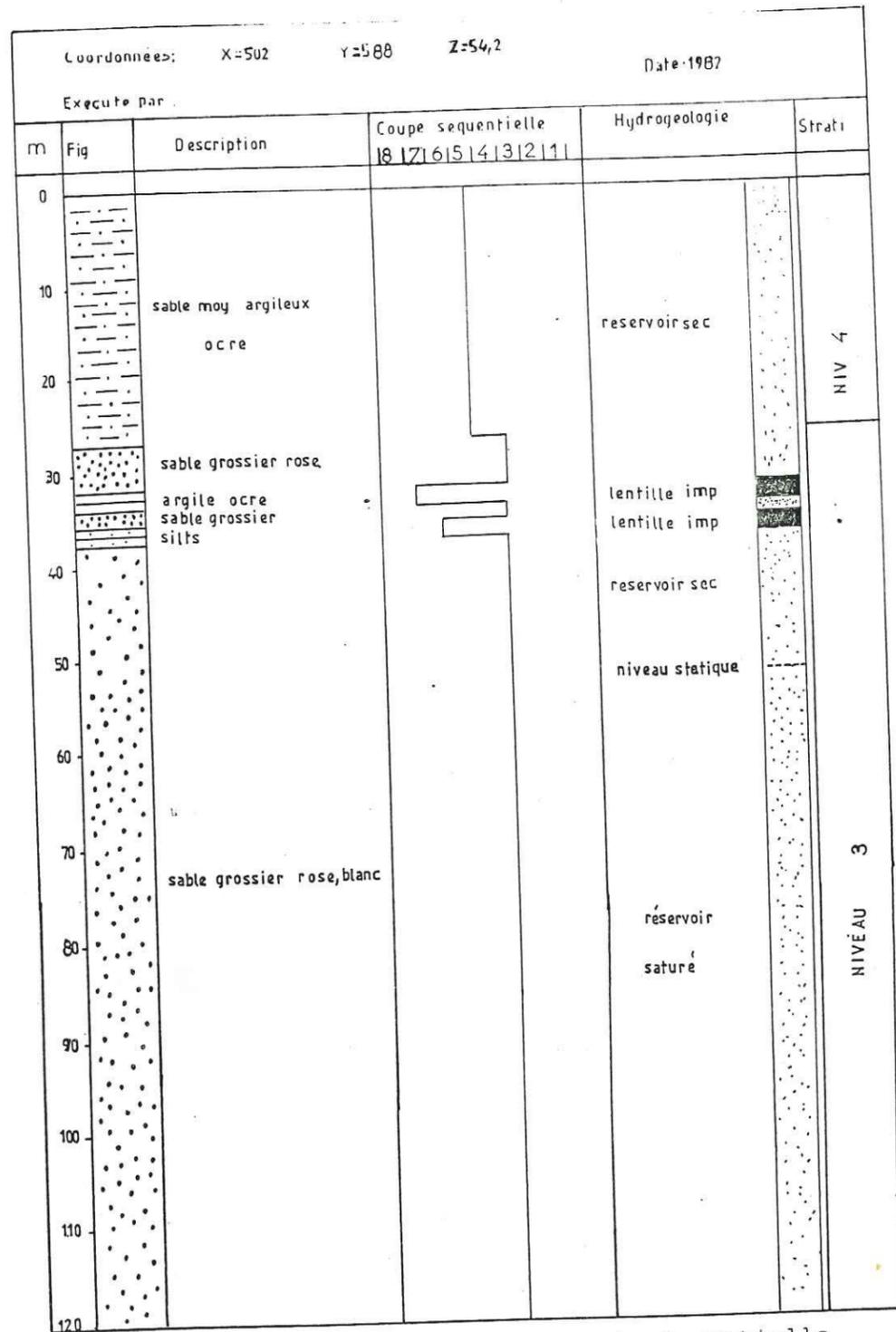


Figure III₂₆ : Coupe géologique et séquentielle
du piézomètre ELOKA
(Continental terminal)

III₄₆ Quaternaire

Au niveau du quaternaire, seules les formations 2 et 3 définies précédemment lors de l'étude stratigraphique sont aquifères.

- La formation 1 est imperméable en raison de sa nature lithologique essentiellement argileuse.

- La formation 2, ce sont essentiellement des sables fins à grossiers renfermant la nappe de l'oogolien. Leur granulométrie est constante. Ils contiennent moins de 30 % de grains inférieurs à 50 µm mais jamais moins de 5 % avec toujours une faible proportion d'argile. Le classement (sorting) varie de 1,4 à 3,2 avec une moyenne de 1,7. Le classement est bon.

- La formation 3, ce sont des sables grossiers marins des cordons sableux renfermant la nappe du Nouakchottien. Du point de vue granulométrique, ces sables présentent deux faciès :

- un faciès grossier dont la médiane est supérieure à 260 µm et peut atteindre 840 µm comportant moins de 10 % de grains inférieurs à 150 µm ;

- un faciès fin dont la médiane se situe entre 100 et 260 µm et pouvant contenir jusqu'à 95 % de grains inférieurs à 160 µm.

En général, ces sables contiennent toujours moins de 10 % de grains inférieurs à 50 µm et leur classement est bon. Le sorting moyen de l'ensemble des deux catégories est de 1,4.

Nous donnons pour illustration des formations aquifères quaternaires, la coupe du sondage de Treichville sur la figure III₂₇.

Enfin, en guise de conclusion sur le paragraphe des caractéristiques hydrogéologiques des formations géologiques rencontrées sur notre terrain, nous avons représenté sur la figure III₂₈ le log hydrologique résumant les formations aquifères et non aquifères du secteur d'étude.

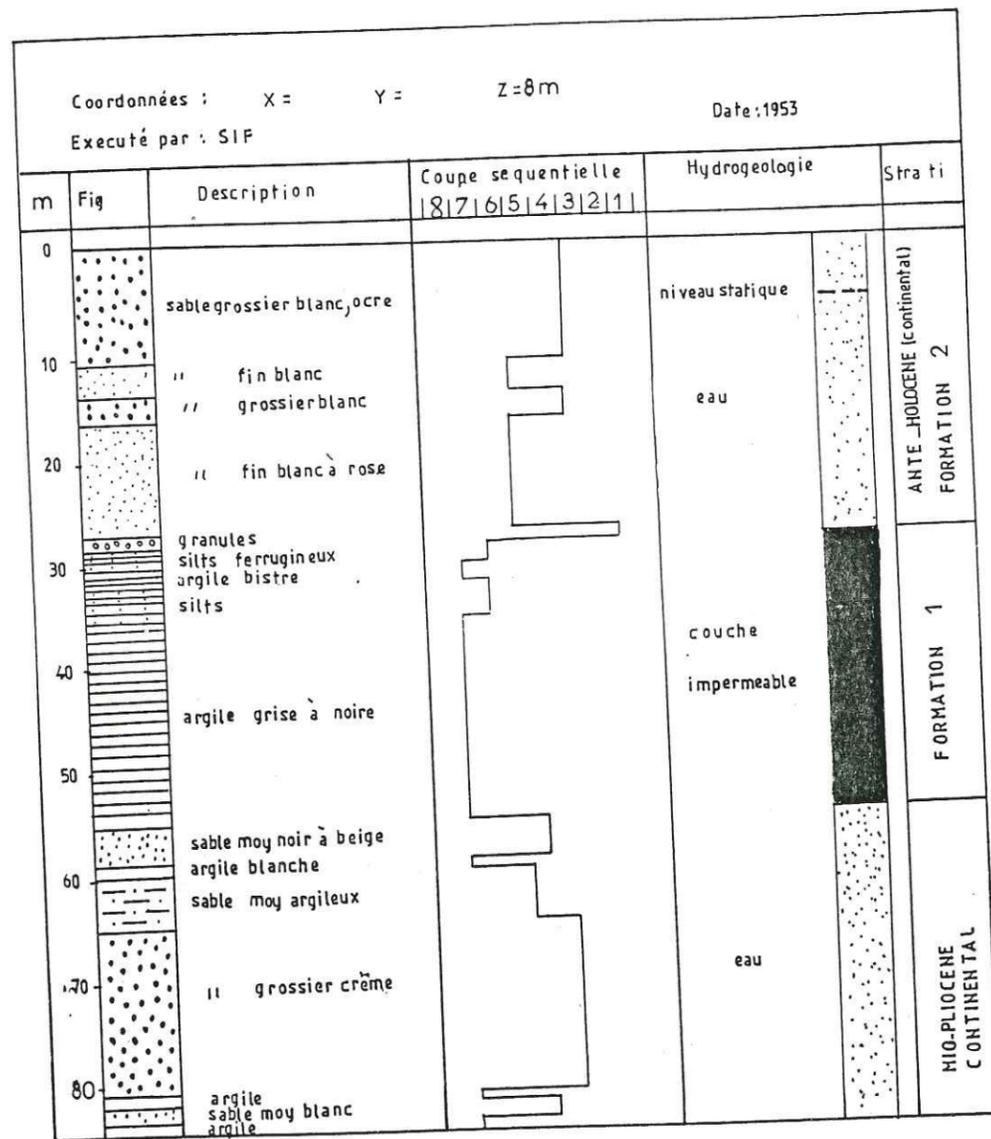


Figure III₂₇ : Coupe géologique et séquentielle dans le forage Treichville (quaternaire)

EPOQUES	AGES	NATURE HYDRO-LITHOLOGIQUE	HYDRO-LITHOLOGIE	LOG HYDRO-GEOLOGIQUE	DESCRIPTION	EPAISSEUR EN METRE
QUATERNAIRE	Holocène	Sables marins grossiers	F3	EAU	Nappe du Nouakchottien	50
	Ante-Holocène	Sables fins à grossiers	F2	EAU	Nappe de l'Oogolien	30
	42000 BP	Argiles tourbeuses	F1		impermeable i ₅ (localisé)	16
TERTIAIRE	Miopliocène (continental terminal)	Cuirasse			lentille impermeable Nappe du continental terminal	70
		Sables moyens argileux (terre de Barre)	N4	EAU		
		Sables grossiers fluviatils	N3	EAU		
		Argiles noires	N2			
		Sables graveleux	N1	EAU	impermeable i ₄ (localisé)	10
		Miocène sup marin	Marnes silteuses		impermeable i ₃	40
		Mioc inf mar	Argiles noires		impermeable i ₂	10
	Paleocène	Argiles noires		impermeable i ₁	?	
CRET SUP	Maestrichtien	Sables Calcaires gréseux		EAU	Nappe du Maestrichtien	50
PRECAMB	Birimien	Schistes		EAU	Nappe du socle fissure	

Figure III₂₈ : Log hydrogéologique du secteur d'étude

III₅ Topographie du toit du socle

Dans le cadre des études hydrogéologiques, des mesures géophysiques ont été réalisées par la compagnie générale de géophysique en 1968, 1977 et 1981 - 82.

En outre une étude localisée de géophysique dans la forêt du Banco a été menée par Faillat et Squarcioni en 1978.

Nous présenterons dans un premier temps la synthèse des résultats de ces études et dans un deuxième temps nous utiliserons ces résultats pour établir une carte du toit du socle.

III₅₁ Mesures géophysiques

III_{51.1} Méthode par prospection sismique refraction

La méthode sismique refraction avait pour objet de définir :

- La profondeur du niveau hydrostatique mal connue dans certains secteurs et qu'il était indispensable de déterminer pour interpréter les sondages électriques ;

- La profondeur du socle.

Plusieurs profils sismiques ont été réalisés dans le sens nord-sud.

III_{51.1.1} Résultats

L'examen des chronogrammes a permis de mettre en évidence 4 terrains de vitesse croissant avec la profondeur :

- Un horizon superficiel correspondant à des sables aérés dont la vitesse est de 400 à 600 m/s ;

- Un horizon correspondant aux sables miopliocènes non saturés dont la vitesse est comprise entre 650 et 900 m/s ;

- Un horizon à 1600 - 2000 m/s correspondant au niveau aquifère du continental terminal ;

- Un horizon à vitesse très constante entre 5000 et 5700 m/s correspondant au socle cristallin.

Les contrastes de vitesse entre les différentes formations sont nets.

III_{51.2} Méthode par prospection électrique

III_{51.2.1} Sondage électrique d'étalonnage

Le nombre de forages ayant atteint le socle est faible. Seuls les S.E. d'étalonnage concernent les forages :

- Du groupe ouest SE₁ de 1968 (X = 382,43 Y = 591,76) ;
- d'Apobo SE₃ de 1968 (X = 387,00 Y = 599,20) ;
- Du Banco près du SE₁₀₃ (X = 384,50 Y = 595,95) ;
- Du Gobélé SE₃₉ de 1968 (X = 391,04 Y = 594,08).

La coupe de ces forages a permis d'interpréter les coupes électriques et de faire des hypothèses sur leur signification géologique.

III_{51.2.2} Echelle des résistivités et corrélation géologique

L'interprétation des sondages électriques a permis de les classer en deux types principaux suivant leur position géographique.

Le type 1 correspond à des sondages électriques effectués sur le continental terminal. L'interprétation des S.E. conduit à la succession des couches électriques suivantes :

- Un résistif superficiel mince R₀, qui est dans certains cas absent et peut correspondre vraisemblablement à des sables quaternaires secs, sa résistivité varie de 1000 à 3000 ohm.m et son épaisseur est inférieure à 5 - 6 mètres. ;

- Un conducteur C₁ dont l'épaisseur peut atteindre une vingtaine de mètres et sa résistivité est comprise entre 400 et 800 ohm.m. Il s'agit des sédiments du continental terminal relativement argileux ;

- Un ensemble résistif R₁, il comprend schématiquement deux niveaux :

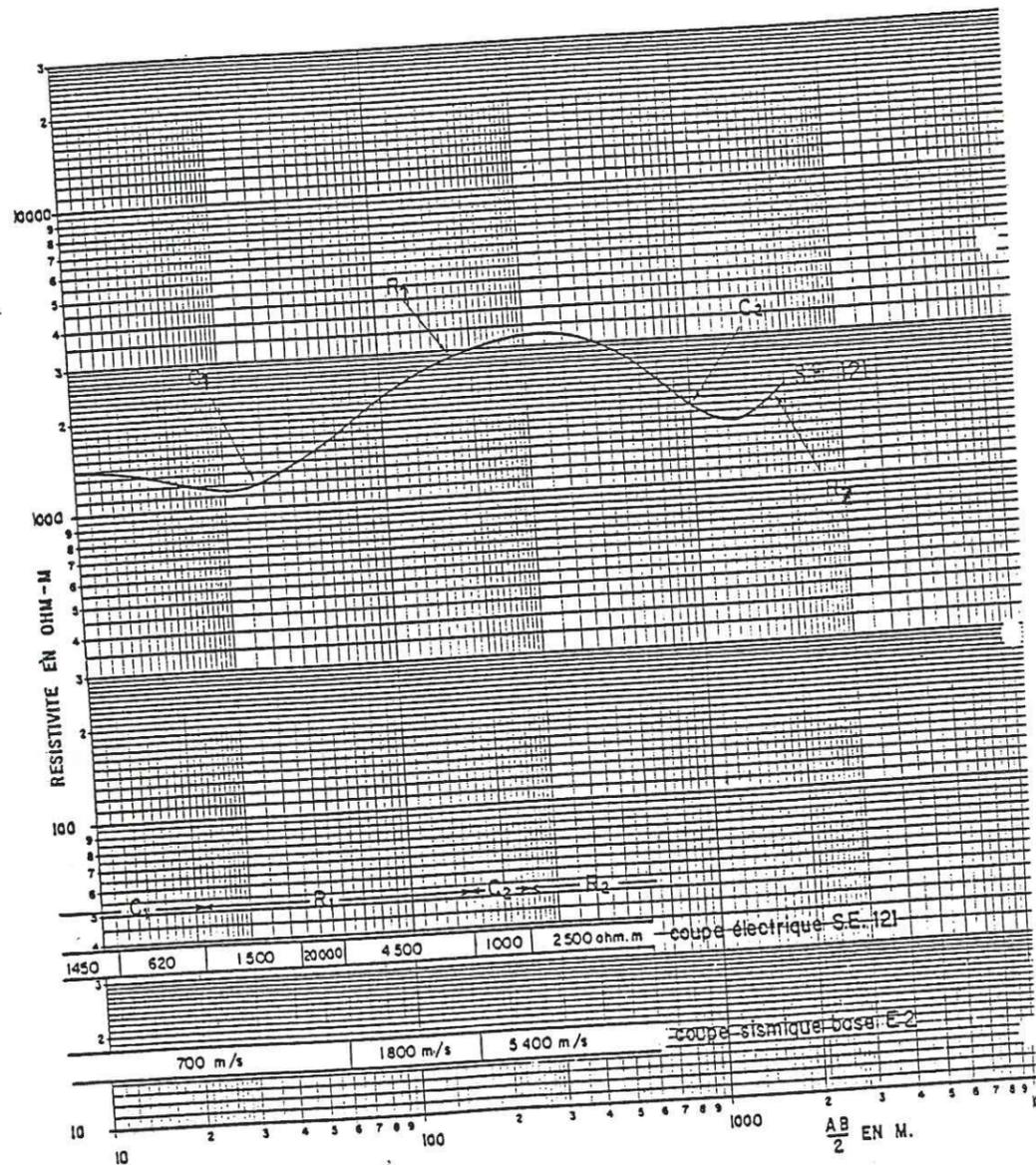


Figure III₂₉ : Exemple de sondage électrique de type 1 dans le continental terminal (d'après C.G.G., 1982)

- * Continental terminal sableux et sec avec une résistivité comprise entre 400 et 10000 ohm.m ;
- * Continental terminal saturé dont la résistivité moyenne serait de 2000 ohm.m.

- Un conducteur C₂ de resistivité variant entre 700 et 1500 ohm.m. Il peut correspondre soit à :

- * Des niveaux du continental terminal argileux ou imbibés d'eau plus ou moins saumâtre ;
- * La zone d'altération du socle cristallin;
- * Ou à une combinaison des deux hypothèses.

- Un résistif final R_f ou R₂, ce résistif final correspond au socle cristallin sain de résistance supérieure à 2500 ohm.m.

Sur la figure, III₂₉ est représenté un exemple de sondage électrique de type 1.

Le sondage électrique du type 2 correspond à des sondages électriques réalisés dans les zones à remplissage quaternaire. Sur ce type de sondage électrique on constate en premier lieu que les résistivités apparentes sont nettement plus basses, généralement inférieures à 100 ohm.m alors que sur le continental terminal, elles excédaient 1000 ohm.m. Un exemple est donné sur la figure III₃₀.

III₅₂ Etablissement de la carte du toit du socle

La topographie du toit du socle a été établie à partir des données de forages ayant atteint le socle et en utilisant les différentes profondeurs du substratum déterminées au niveau de chaque sondage électrique suivant les différents profils nord-sud.

Le substratum des formations miocènes correspond en général à une formation conductrice pouvant éventuellement inclure la base du continental terminal.

La carte du toit du socle est représentée sur la figure III₃₁.

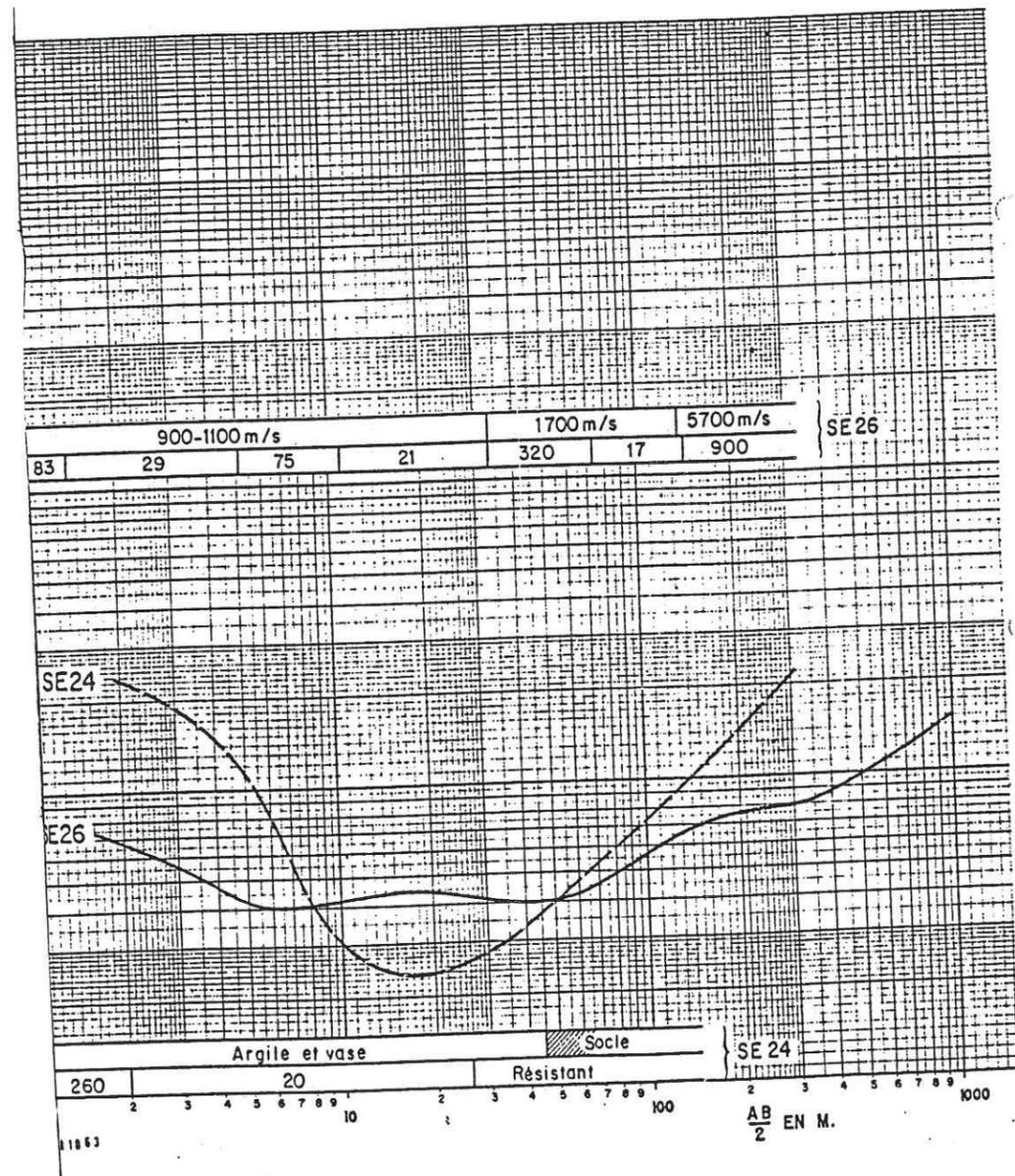


Figure III₃₀ : Exemple de sondage électrique de type 2 dans la zone de remplissage quaternaire (d'après C.G.G., 1982)

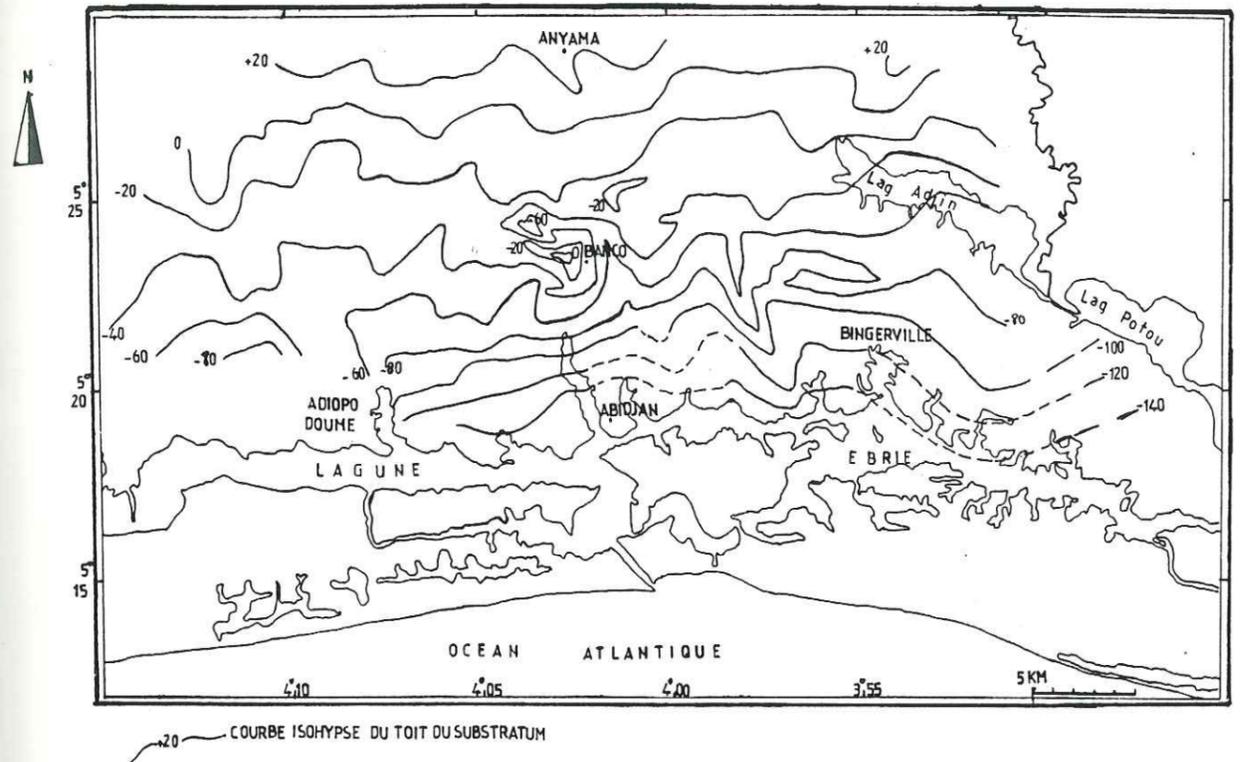


Figure III₃₁ : Carte du toit du substratum

A l'analyse de la carte du toit du substratum, on observe l'abaissement régulier du socle du nord vers le sud, d'où une augmentation de l'épaisseur de l'aquifère.

L'augmentation d'épaisseur de l'aquifère se fait également d'ouest en est marquée par un enfoncement plus important du toit du socle au niveau de la zone comprise entre les lagunes Potou et Adjin au nord-est et la lagune Ebrié au sud. Dans cette région, la cote du socle atteint sa valeur maximum de - 140 mètres.

La morphologie du toit du socle se révèle particulièrement accidentée.

Elle présente des pointements dont celui de la forêt du Banco, ayant pour conséquence de réduire l'épaisseur de l'aquifère, d'où une capacité de stockage réduite du réservoir.

On note par contre la présence de nombreux surcreusements et des paléovallées, comme par exemple la paléovallée située au nord-est d'Adiopodoumé et celle plus nette située au

nord-est d'Abidjan. Ces paléovallées peuvent correspondre soit à des axes d'anciens lits, soit à des accidents nord-sud affectant le socle, comme il semble être le cas de la paléovallée comprise entre Abidjan et Bingerville.

Ces structures qui témoignent d'une forte érosion du toit du socle constituent des axes de drainage des eaux superficielles et souterraines et seront de ce fait les zones les plus intéressantes quant à la recherche et à l'exploitation des eaux souterraines. La zone qui semble offrir une bonne possibilité aquifère est la partie est du bassin sédimentaire.

III₇ Conclusion

La géologie de notre région se résume en deux entités bien distinctes matérialisées par la carte géologiques figure III₁.

Nous avons au nord, un socle constitué en grande partie de formations schisteuses de direction générale N 50 avec un pendage des couches subvertical vers le N.E. et une schistosité confondue avec la stratification.

Dans la partie nord-ouest de notre région, il y a un affleurement de granite à 2 micas dont le gisement, la texture et la composition minéralogique font qu'il rentre dans la classification des granites baoulés type Ferké définis par M. Arnoud (1961).

Les formations sédimentaires débutent au sud par le crétacé supérieur d'âge maestrichtien formé de calcaire gréseux sur lequel reposent les formations du continental terminal d'âge miopliocène.

Le continental terminal repose au nord sur le socle par l'intermédiaire de niveaux graveleux dont l'âge serait tantôt miopliocène lorsqu'ils se trouvent à la base du continental terminal, tantôt quaternaire représentant en fait qu'un horizon remanié. Il y aurait par conséquent diachronisme de ces niveaux graveleux par rapport aux étages géologiques.

Le continental terminal se termine en surface par un niveau sablo-argileux ocre (Terre de Barre) d'âge miopliocène dont certains horizons remaniés seraient d'âge quaternaire.

Les formations du continental terminal passent latéralement au sud de l'accident majeur à des formations marno-silteuses d'âge miocène supérieur marin. Au dessus des formations marno-silteuses viennent les formations quaternaires formées d'argiles, tourbes et de sables plus ou moins grossiers.

Dans la région de Bingerville, à l'est d'Abidjan, a été mis en évidence du paléocène marin ainsi que du miocène marin inférieur, tous deux formés d'argiles noires.

L'application de l'étude typologique des zircons sur les formations schisteuses du socle et sur le niveau superficiel du continental terminal a fait ressortir deux sources d'alimentation possibles de ces formations :

- Une source constituée par les roches granitiques et granodioritiques ;

- Une autre source provenant certainement des roches volcaniques calco-alcalines. Le pôle des zircons d'origine volcanique est plus accentué dans la distribution typologique sur le diagramme (IA, IT) au niveau des formations sédimentaires du niveau superficiel du continental terminal.

Au sein des formations géologiques, nous avons relevé cinq niveaux aquifères dont :

- L'aquifère du socle cristallin et cristalloyphyllien fissuré ;

- L'aquifère des calcaires gréseux du crétacé supérieur (maestrichtien) ;

- L'aquifère du continental terminal qui sera l'objet de notre étude hydrogéologique ;

- Le réservoir des sables anté-holocène continentaux ;

- Le réservoir des sables holocènes marins.

Enfin, la carte du toit du socle établie en faisant la synthèse des mesures géophysiques et des forages qui ont atteint le socle, nous a permis de mettre en évidence une paléomorphologie très accidentée de substratum.

Nous avons déterminé deux axes principaux de paléovallées qui auront une incidence importante dans la répartition des eaux souterraines.

CHAPITRE IV

CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

- IV₁ Introduction
- IV₂ Détermination de la conductivité hydraulique k
par la mesure d'infiltration de l'eau dans le sol
- IV₃ Pompages d'essai
- IV₄ Conclusion

CHAPITRE IV

CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

IV₁ Introduction

La détermination des caractéristiques hydrauliques d'un aquifère nécessite l'exécution de pompages d'essai de longue durée ou des essais de puits.

Au cours de notre étude nous avons pu obtenir des services de la SODECI et de la Direction de l'eau des mesures de pompage d'essai par paliers de débits enchainés.

L'évolution des rabattements dans ces ouvrages suit les lois générales de l'hydrodynamique, aussi bien à la descente qu'à la remontée ; et permet ainsi l'utilisation des méthodes classiques d'interprétation en vue de l'évaluation des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères testés.

Vu la nature complexe des terrains sédimentaires et cristallins rencontrés, nous avons appliqué plusieurs méthodes d'interprétation répondant au modèle aquifère rencontré et par recoupement des résultats nous avons tiré les valeurs les plus probables des paramètres calculés.

Dans la majorité des cas nous ne pourrions déterminer le coefficient d'emménagement faute de piézomètre d'observation.

Indépendamment des pompages d'essai, nous avons déterminé la conductivité hydraulique (K) en mesurant la vitesse d'infiltration dans le sol. Le choix des sites de mesures a obéi au souci d'une répartition homogène sur le bassin sédimentaire.

IV₂ Détermination de la conductivité hydraulique (K) par la mesure d'infiltration de l'eau dans le sol

IV₂₁ Principe de la méthode

Cette méthode s'applique dans le cas des sols sans nappe phréatique de surface ou à nappe profonde. Pour déterminer

K, on pratique un trou de sondage de diamètre et de profondeur connus et on y verse de l'eau jusqu'à un niveau Y_0 .

A partir de Y_0 et du temps t_0 correspondant, on observe l'abaissement $Y = f(t)$ du niveau d'eau dans le trou par des mesures successives de ce niveau.

La profondeur normale du puits varie de 0,6 à 1 mètre.

Soit Y la profondeur d'eau à un moment donné, le débit qui s'infiltré dans le sol par seconde est :

$$Q = (\pi r^2 + 2 \pi rY) K \cdot \frac{\partial H}{\partial z}$$

mais dans un profil homogène en l'absence d'une nappe phréatique peu profonde, le gradient de charge hydraulique est souvent très proche de l'unité (Black et autres, 1969) $\frac{\partial H}{\partial z} = 1$

Ainsi le débit qui s'infiltré est :

$$Q = (\pi r^2 + 2 \pi rY) K$$

Or ce même débit est égale à :

$$Q = - \pi r^2 \frac{dY}{dt}$$

après égalisation de ces deux expressions du débit ; séparation des variables et intégration nous obtenons :

$$\frac{2 K}{r} (t - t_0) + c^{te} = - \text{Ln} \frac{Y + r/2}{Y_0 + r/2}$$

Or à $t = t_0$, $Y = Y_0$, d'où la constante d'intégration = 0 on déduit :

$$K = \frac{r}{2} \cdot \frac{1}{t - t_0} \cdot 2,3 \log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$$

On peut prendre la première mesure de hauteur d'eau au temps = 0 d'où :

$$K = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{t} \log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$$

On remarque que le terme $\frac{1}{t} \log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$ est le coefficient angulaire de la courbe $\log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2} = f(t)$ qui est sensiblement une droite, soit $\text{tg} \alpha$.

Ainsi $K = 1,15 \cdot r \cdot \text{tg} \alpha$, r représentant le rayon du trou de sondage.

Pour avoir K , on calcule le coefficient angulaire $\text{tg} \alpha$.

IV₂₂ Application de la méthode aux sites choisis

Le sol sur lequel est appliqué cette méthode est un niveau de sable argileux ocre appelé terre de Barre. Les différents sites étudiés sont les suivants :

- Riviéra (Forum Golf Hotel) ;
- Route d'Abobo-Té ;
- Plantation Guerard Alokoua ;
- Anokoua Kouté ;
- Route d'Anyama ;
- Route de Bingerville ;
- Faculté des sciences (Université).

Le niveau de la nappe étant profond, nous nous situons dans le domaine de validité de la méthode.

Caractéristiques du trou de sondage :

- Profondeur : 100 cm ;
- Diamètre : 6 cm.

La connaissance précise de ces deux paramètres est importante car une différence de ± 2 cm sur le diamètre donne K de 15 à 20 % près et une erreur de ± 5 cm sur la profondeur entraîne des variations sur K de 4 à 9 %.

La valeur de $\text{tg} \alpha$ étant déterminée par la partie la plus éloignée de l'origine, de ce fait nous avons pris un temps d'expérimentation d'au moins quinze minutes, ce qui est suffisant pour permettre l'exploitation des courbes.

Nous avons fait plusieurs essais sur le même site car la vitesse de filtration ne se stabilise que lorsque le sol est suffisamment humecté.

Le tableau IV₁ reprend les valeurs calculées de Y et de $\log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$ des différents sites.

Sur la figure IV₁ sont représentés les graphiques de l'évolution de $\log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$ en fonction du temps de quatre sites.

Faculté des sciences	Temps (mm) : 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Y (cm) : 96	: 92	: 90	: 88	: 86	: 84	: 83	: 82	: 80	: 79	: 78	: 77	: 75	: 74	: 73	: 72	: 71	: 70	
	$\log \frac{Y_0+r/2}{Y+r/2}$: 0,000	: 0,017	: 0,027	: 0,036	: 0,046	: 0,056	: 0,066	: 0,076	: 0,081	: 0,087	: 0,092	: 0,092	: 0,103	: 0,110	: 0,114	: 0,120	: 0,126	: 0,132
Anakoua	Temps (mm) : 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Y (cm) : 94	: 89	: 86	: 81	: 79	: 76	: 74	: 72	: 69	: 67	: 65	: 63	: 61	: 59	: 58	: 56	: 55	: 54	
	$\log \frac{Y_0+r/2}{Y+r/2}$: 0,000	: 0,022	: 0,054	: 0,062	: 0,072	: 0,089	: 0,100	: 0,111	: 0,129	: 0,141	: 0,154	: 0,167	: 0,180	: 0,194	: 0,201	: 0,215	: 0,223	: 0,230
Guetard	Temps (mm) : 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Y (cm) : 90	: 88	: 86	: 85	: 84	: 82	: 81	: 80	: 79	: 78	: 77	: 76	: 75,5	: 75	: 74	: 73,5	: 73	: 72,5	
	$\log \frac{Y_0+r/2}{Y+r/2}$: 0,000	: 0,009	: 0,019	: 0,024	: 0,028	: 0,039	: 0,044	: 0,049	: 0,054	: 0,059	: 0,065	: 0,070	: 0,073	: 0,076	: 0,081	: 0,085	: 0,087	: 0,091
Alokoua	Temps (mm) : 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Y (cm) : 96	: 95	: 94,5	: 94	: 93,5	: 93	: 92,5	: 92,2	: 92	: 91,5	: 91,3	: 91	: 90,5	: 90,2	: 90	: 89,7	: 89,5	: 89	
	$\log \frac{Y_0+r/2}{Y+r/2}$: 0,000	: 0,004	: 0,006	: 0,008	: 0,011	: 0,013	: 0,015	: 0,016	: 0,017	: 0,020	: 0,021	: 0,022	: 0,024	: 0,026	: 0,027	: 0,028	: 0,029	: 0,031
Route d'Anyama	Temps (mm) : 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Y (cm) : 94	: 92	: 91	: 90	: 88,5	: 89	: 88	: 87	: 86,8	: 86,3	: 86	: 85,5	: 85	: 84	: 83,5	: 83	: 82,5	: 82	
	$\log \frac{Y_0+r/2}{Y+r/2}$: 0,000	: 0,009	: 0,013	: 0,018	: 0,020	: 0,022	: 0,027	: 0,032	: 0,033	: 0,035	: 0,037	: 0,039	: 0,042	: 0,047	: 0,049	: 0,052	: 0,054	: 0,057
Abobo-Té	Temps (mm) : 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Y (cm) : 84	: 71	: 61	: 53	: 48	: 42,5	: 38	: 34	: 31	: 28	: 25	: 22	: 20	: 18	: 16	: 14	: 13	: 12	
	$\log \frac{Y_0+r/2}{Y+r/2}$: 0,000	: 0,070	: 0,133	: 0,191	: 0,231	: 0,281	: 0,326	: 0,371	: 0,408	: 0,448	: 0,492	: 0,541	: 0,577	: 0,617	: 0,660	: 0,709	: 0,735	: 0,763
Route de Bingerville	Temps (mm) : 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Y (cm) : 81	: 74,5	: 71	: 68	: 66,5	: 65	: 63,5	: 62,5	: 61,5	: 60	: 59	: 58	: 57,5	: 57	: 56	: 55	: 54	: 53	
	$\log \frac{Y_0+r/2}{Y+r/2}$: 0,000	: 0,034	: 0,055	: 0,073	: 0,082	: 0,091	: 0,101	: 0,108	: 0,114	: 0,124	: 0,131	: 0,138	: 0,142	: 0,146	: 0,153	: 0,160	: 0,168	: 0,176

Tableau IV₁ : Valeurs calculées de Y et de $\log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$

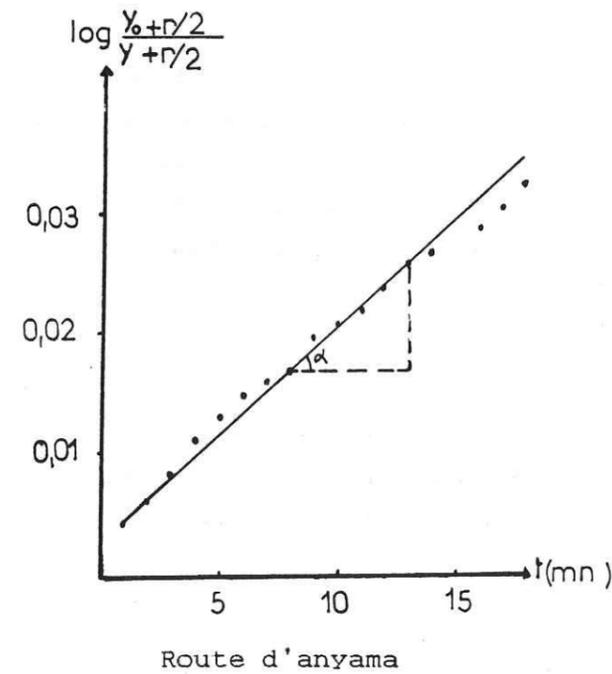
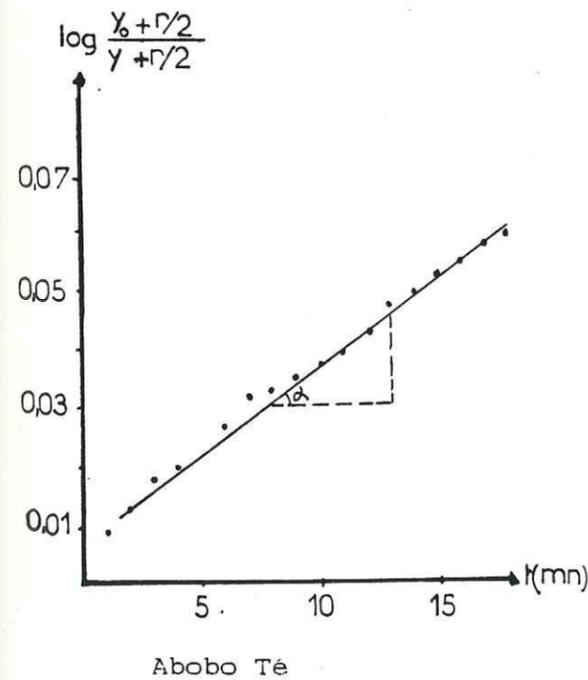
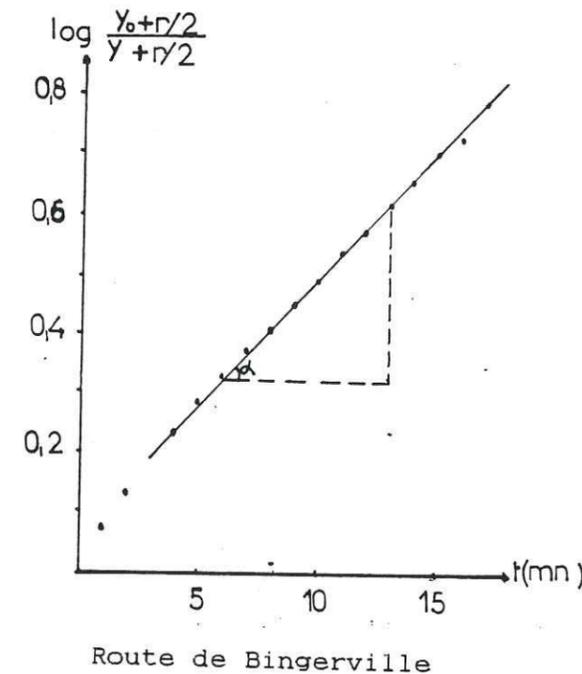
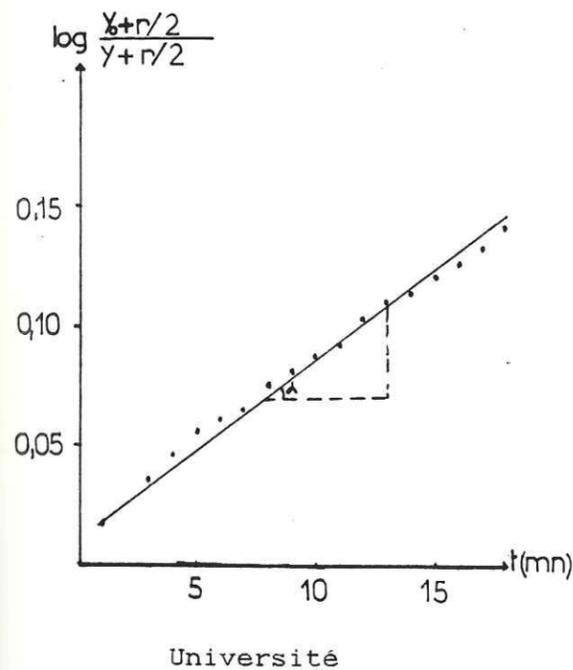


Figure IV₁ : Graphiques de la variation de $\log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$ en fonction du temps

Connaissant les valeurs du coefficient angulaire $\text{tg}\alpha$ nous avons calculé pour chaque site, la valeur de la conductivité hydraulique. Les résultats figurent sur le tableau IV₂.

Sites	Faculté des sciences (Université)	Anokoua Kouté	Guerard Alokoué	Route d'Anyama	Abobo Té	Route de Bingerville	Rivière Golfe Hotel
Tgα	0,0076	0,012	0,005	0,0018	0,0030	0,043	0,007
(m/s)	4,4 · 10 ⁻⁶	7 · 10 ⁻⁶	3 · 10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	1,7 · 10 ⁻⁶	2,5 · 10 ⁻⁵	4 · 10 ⁻⁶
K (m/jour)	0,38	0,60	0,26	0,09	0,15	2,2	0,35

Tableau IV₂ : Conductivités hydrauliques des différents sites

Lors d'une étude faite par Loroux Bi Folité (1976), les valeurs de la perméabilité déterminés par l'analyse granulométrique variaient entre 10⁻⁴ et 10⁻⁵ m/s pour le même type de sol.

Nos résultats obtenus ne sont pas loin mais légèrement inférieurs à ceux obtenus par Loroux. On pourrait expliquer cette différence par le fait que, la méthode par analyse granulométrique s'applique sur un échantillon remanié, ce qui aurait pour conséquence de ne pas prendre en compte les particules fines.

IV₂₃ Conclusion

Les valeurs de la conductivité hydraulique calculées sont homogènes et varient entre 10⁻⁵ et 10⁻⁶ m/s. Ces résultats obtenus étant en conformité avec la nature géologique du terrain étudié qui est un sable argileux.

Sur l'ensemble des sites étudiés, la moyenne de la vitesse d'infiltration est de 0,60 mètres par jour.

IV₃ Pompage d'essai

Il existe deux sortes de pompages d'essai :

- Les pompages d'essai par paliers de débits de longue durée exécutés par la SODECI sur le bassin sédimentaire avec des débits élevés (300 m³/h) ;

- Les pompages d'essai par paliers de débit de courte durée exécutés lors des programmes d'hydraulique villageoise, avec des débits relativement faibles (1 à 5 m³/h). Ces essais ont été réalisés sur des forages implantés dans le socle cristallin.

IV₃₁ Interprétation des pompages

IV_{31.1} Résultats antérieurs à l'étude

Dans le cadre de l'extention de l'exploitation de la nappe d'Abidjan, des essais de pompage à débit constant de longue durée avec des piézomètres d'observation ont été exécutés sur l'ensemble du bassin sédimentaire.

La méthode d'interprétation utilisée est celle de Neuman prenant en compte les paramètres suivants :

a) Paramètres géométriques :

- L'épaisseur de l'aquifère b ;
- La distance du puits au piézomètre r ;
- La position des crépines du puits ;
- La fonction des crépines du piézomètre.

b) Paramètres hydrodynamiques :

- Transmissivité de l'aquifère T ;
- Coefficient d'anisotropie Kv/Kh ;
- Coefficient d'emmagasinement élastique de l'aquifère ;
- Coefficient d'emmagasinement à la surface libre S.

Le principe d'application de la méthode de Neuman est le même que celui des autres méthodes d'interprétation. On superpose la courbe expérimentale sur la courbe type théorique et les coordonnées du point de superposition permettent de

Paramètres	Q (m ³ /h)	Niveau statique (m)	Position de la crépine (m)	T (m ² /s)	S	S'	KV / Kh
Niangon	338,4	13,5	20 - 72	7 : 10 ⁻²	1,2 · 10 ⁻³	3,8 · 10 ⁻²	0,01
Bingerville 1	162	6		0,6 · 10 ⁻³	1,6 · 10 ⁻³	5 · 10 ⁻¹	1
DCH ₂	78,4	68,4	64 - 70	6 · 10 ⁻³	10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻¹	0,02
DCH ₃ bis	97,7	414,5	67 - 93	3 · 10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻¹	0,09
DCH ₅	87	68	88 - 117	2,2 · 10 ⁻²	2,5 · 10 ⁻⁴	2,5 · 10 ⁻³	1,15 · 10 ⁻²
Domolon	151,2	26,5	37 - 85	2 · 10 ⁻²	5,6 · 10 ⁻⁴	0,3	10 ⁻¹
Eloka	113	52	66 - 114	7 · 10 ⁻²	10 ⁻³	0,24	0,25

Tableau IV₃ : Paramètres hydrodynamiques

calculer les paramètres hydrodynamiques.

Nous avons résumé les résultats de chaque essai de pompage dans le tableau IV₃.

IV_{31.2} Essai de pompage Anokoua Kouté 3

IV_{31.2.1} Hydrogéologie et géologie

La coupe lithologique du forage AK 3 est la suivante :

- 0 - 25,5 m : sable argileux ocre
- 25,5 - 33 m : argile compacte bariolée
- 33 - 35,5 m : sable grossier blanc
- 35,5 - 45,5 m : sable fin argileux
- 45,5 - 53,5 m : sable grossier jaune
- 53,5 - 69 m : sable moyen argileux
- 69 - 76 m : sable moyen
- 76 - 85 m : sable moyen très argileux
- 85 - 112 m : sable grossier
- 112 - 112,3 m : argile compacte

La nappe est libre avec un niveau statique à 71,2 mètres de profondeur.

L'aquifère est constitué par des sables moyens à grossiers avec des intercallations de bancs argileux.

Le forage est muni d'un tubage plein de 0,406 mètres de diamètre jusqu'à 81 mètres de profondeur.

IV_{31.2.2} Pompage d'essai

Un pompage d'essai alterné, à débit constant de 162 m³/h consistant à pomper pendant 25 minutes suivi de 5 minutes de repos, a été exécuté du 5.5.83 au 7.5.83. Le rabattement maximum a été de 16,96 mètres.

Un essai par paliers de débit a également été exécuté dans ce forage.

Vu la durée suffisamment longue (69 heures) de la descente du 4^e palier, nous l'utiliserons pour l'interprétation.

IV_{31.2.2.1} Essai par paliers de débit

Cet essai a consisté en un pompage à débits croissants d'une durée variable, sans arrêts intermédiaires. Quatre paliers ont été exécutés. Les résultats figurent dans le tableau IV₄.

(N° palier)	(Durée de pompage (h))	(Q(m ³ /h))	(Rabattement stabilisé S(m))	(S/Q(m/m ³ /h))
1	4 H 43'	68,4	6,6	0,0965
2	6 H	123,6	11,97	0,0968
3	13 H 10'	175,2	18,88	0,1078
4	69 H 15'	198	22,06	0,1114

Tableau IV₄ : Essai par paliers de débit

La courbe caractéristique $S = f(Q)$ de la figure IV₂ montre que les mesures d'un des paliers sont érronées. Il s'agit du palier n° 2 qui s'écarte fortement de la droite $S/Q = f(Q)$. Les rabattements observés au forage peuvent donc être approchés par une équation du type $S = BQ + CQ^2$.

$$B = 0,089, \text{ d'où } T = \frac{1,22}{B} = 13,70 \text{ m}^2/\text{h} = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$C = 1,11 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Nous avons donc } S = 8,9 \cdot 10^{-2} Q + 1,11 \cdot 10^{-4} Q^2$$

Pour le débit constant de 162 m³/h, nous avons des pertes de charges quadratiques de 2,9 mètres soit 17 % du rabattement maximum correspondant à ce débit.

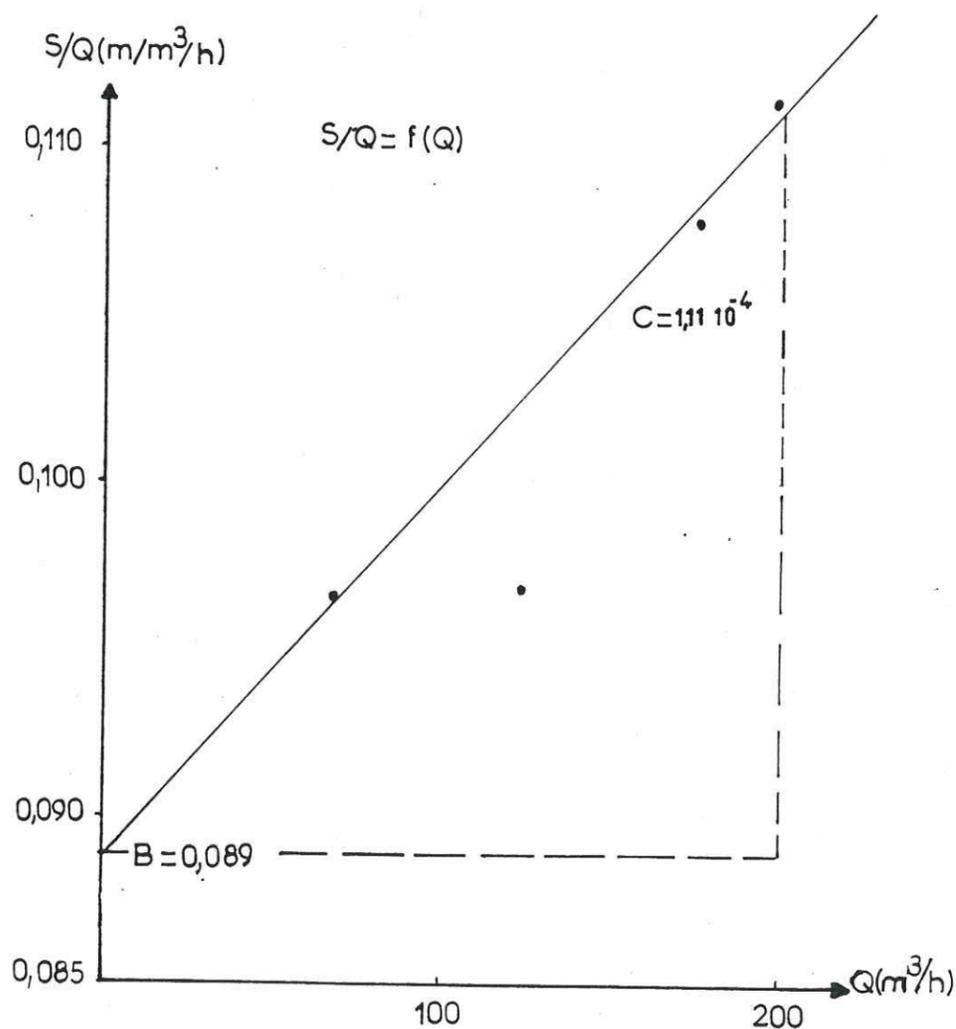
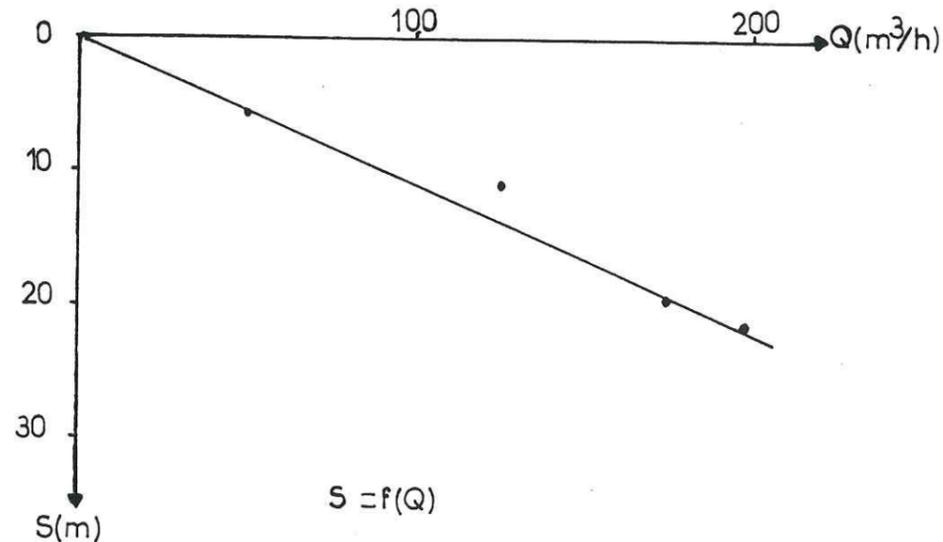


Fig IV₂ : Anokoua Kouté 3. Essai par paliers de débit

Mais pour savoir si cette perte de charge quadratique due au régime turbulent peut être négligée, nous avons évalué l'importance des pertes de charges quadratiques par rapport aux pertes de charges linéaires en utilisant l'index de Mogg (1969).

$$J = \frac{(Q/S)}{Q/S_{\text{moyen}}} = \frac{1,39}{38,92} = 0,036 = 3,6 \%$$

L'index de Mogg étant inférieur à 10 %, nous pouvons admettre que les effets de la turbulence aux abords du forage sont relativement négligeables.

IV_{31.2.2.2} Descente

Le temps de pompage du 4° palier ayant été suffisamment long, nous avons utilisé les mesures des rabattements de ce palier pour déterminer la transmissivité. Le débit de ce palier est de 198 m³/h. Les rabattements du forage sont reportés sur les diagrammes semi-logarithmiques et bilogarithmiques.

L'allure de la courbe en forme de S est caractéristique des nappes libres avec phénomène d'égouttement dû aux épontes semi-perméables conforme au modèle bilogarithmique de Boulton.

Méthode bilogarithmique de Boulton

La courbe expérimentale se superpose sur la courbe type $r/B = 1,5$.

- Les résultats de la superposition de la partie gauche de la courbe observée sur la courbe $\frac{r}{B} = 1,5$ de la famille A

donne :

$$F(u, \frac{r}{B}) = 0,44$$

$$u = 6,4 \cdot 10^{-3}$$

$$S = 0,5 \text{ m}$$

$$t = 20 \text{ mn}$$

d'où :

$$T = \frac{0,08 Q}{S} F(u, \frac{r}{B}) = \frac{0,08 \times 198}{0,5} \times 0,44 = 13,93 \text{ m}^2/\text{h} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

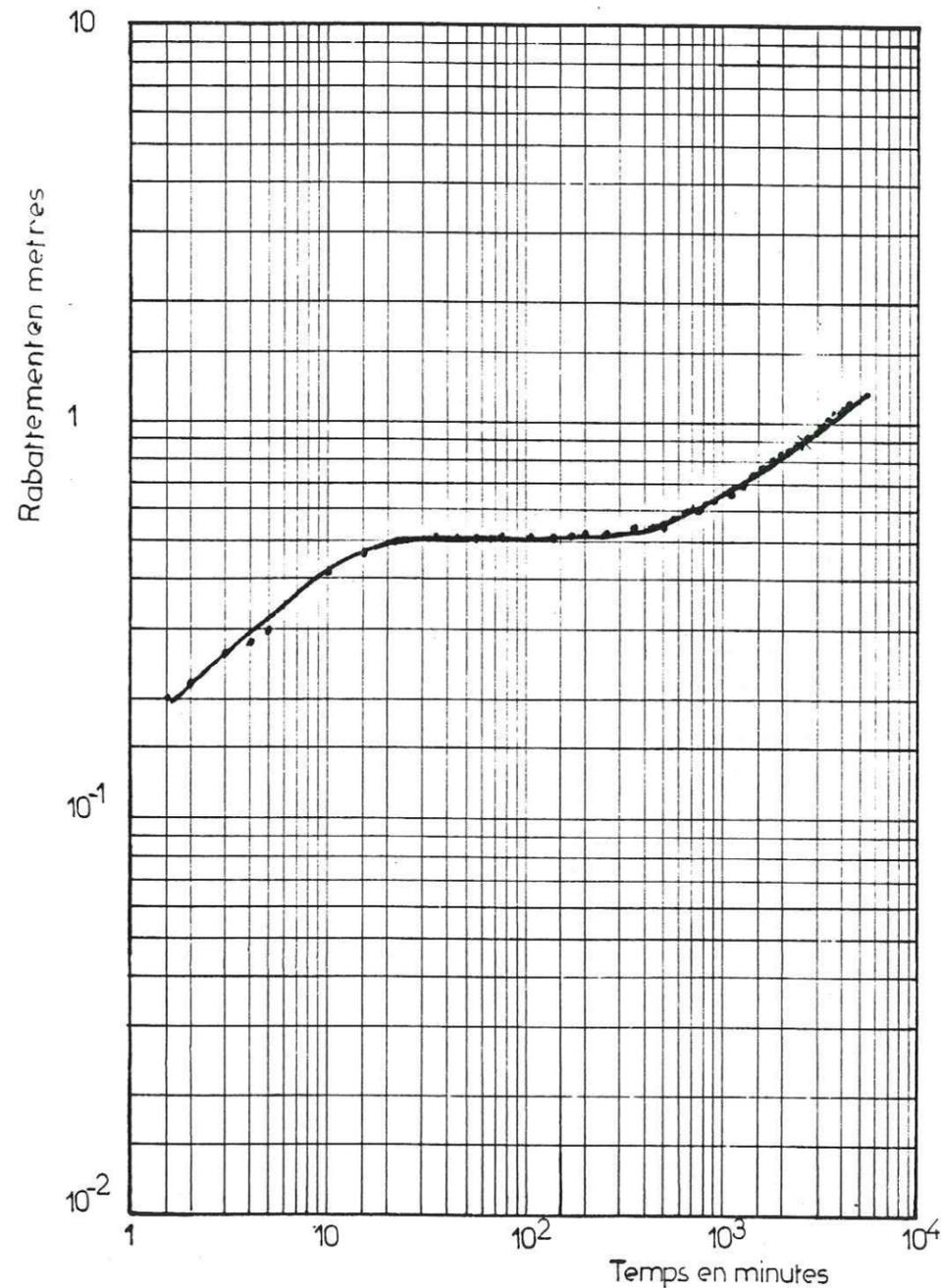


Figure IV₃ : Forage Anokoua Kouté 3
(Méthode de Boulton : descente 4° palier)

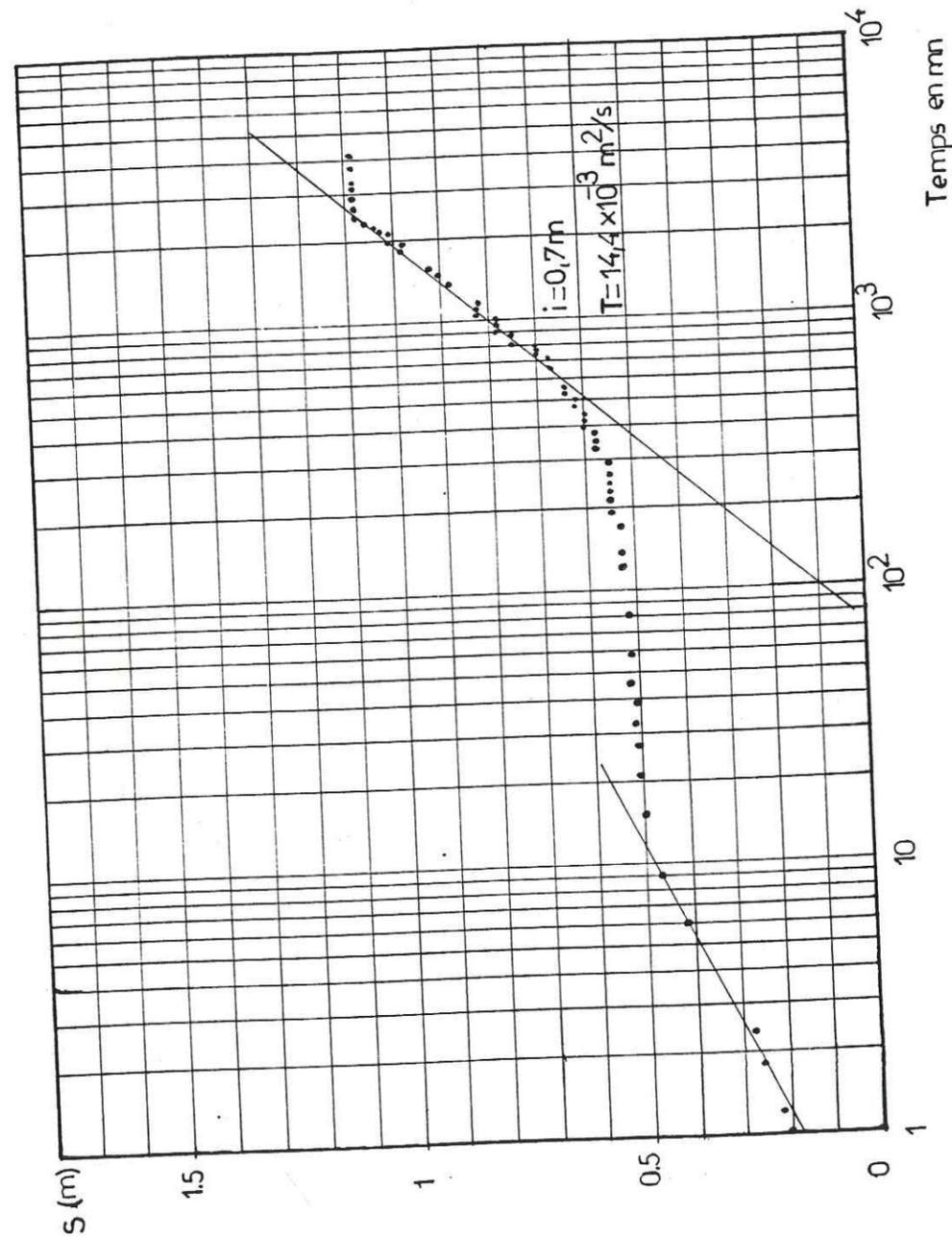


Figure IV₄ : Pompage d'essai. Anokoua Kouté 3. Descente
(Méthode semi logarithmique de Jacob)

- Les résultats de la superposition de la partie droite de la courbe observée sur la courbe théorique $\frac{r}{B}=1,5$ de la famille B :

$$F(u_1, \frac{r}{B}) = 0,80$$

$$u_1 = 1,7$$

$$S = 0,9 \text{ m}$$

$$t = 2\,500 \text{ mn} = 41 \text{ H } 66'$$

$$\text{d'où } T = \frac{0,08 Q}{0,9} F(u_1, \frac{r}{B}) = \frac{0,08 \times 198}{0,9} \times 0,8 = 14,08 \text{ m}^2/\text{h} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Méthode semi-logarithmique de Jacob

L'assymptote à la deuxième partie de la courbe donne une pente $i = 0,7 \text{ m}$.

$$\text{d'où } T = \frac{0,183 Q}{i} = \frac{0,183 \times 198}{0,7} = 51,71 \text{ m}^2/\text{h} = 14,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV_{31.2.2.3} Remontée

La remontée a été observée au niveau du forage pendant 10 heures. La descente s'étant faite par paliers avec des débits variables, il fallait chercher le débit qui servira dans le calcul de la transmissivité.

Pour ce faire, nous avons appliqué la méthode de Cooper-Jacob pour les pompages par paliers. Cette méthode nous a permis de tirer la moyenne logarithmique pondérée \bar{t}_n représentant le temps auquel se serait produit le rabattement dans un certain piézomètre si le débit de pompage était resté constant depuis le début et égal au débit réel au temps t_n .

Le mode opératoire est le suivant :

- On multiplie chaque accroissement de débit avec le temps de pompage final t_n ($Q_0, Q_1 \dots Q_{n-1}$) par le logarithme du temps écoulé depuis le début de chaque palier, soit $\log(t_n - t_0), \log(t_n - t_1) \dots \log(t_n - t_{n-1})$.

- On fait la somme algébrique de ces produits, $\{ Q_i \log(t_n - t_i) \}$.

- On divise cette somme par la somme algébrique des accroissements de débit, c'est à dire par le débit réel de pompage au temps t_n , soit $\{ Q_i \times \log(t_n - t_i) \} / Q_n$.

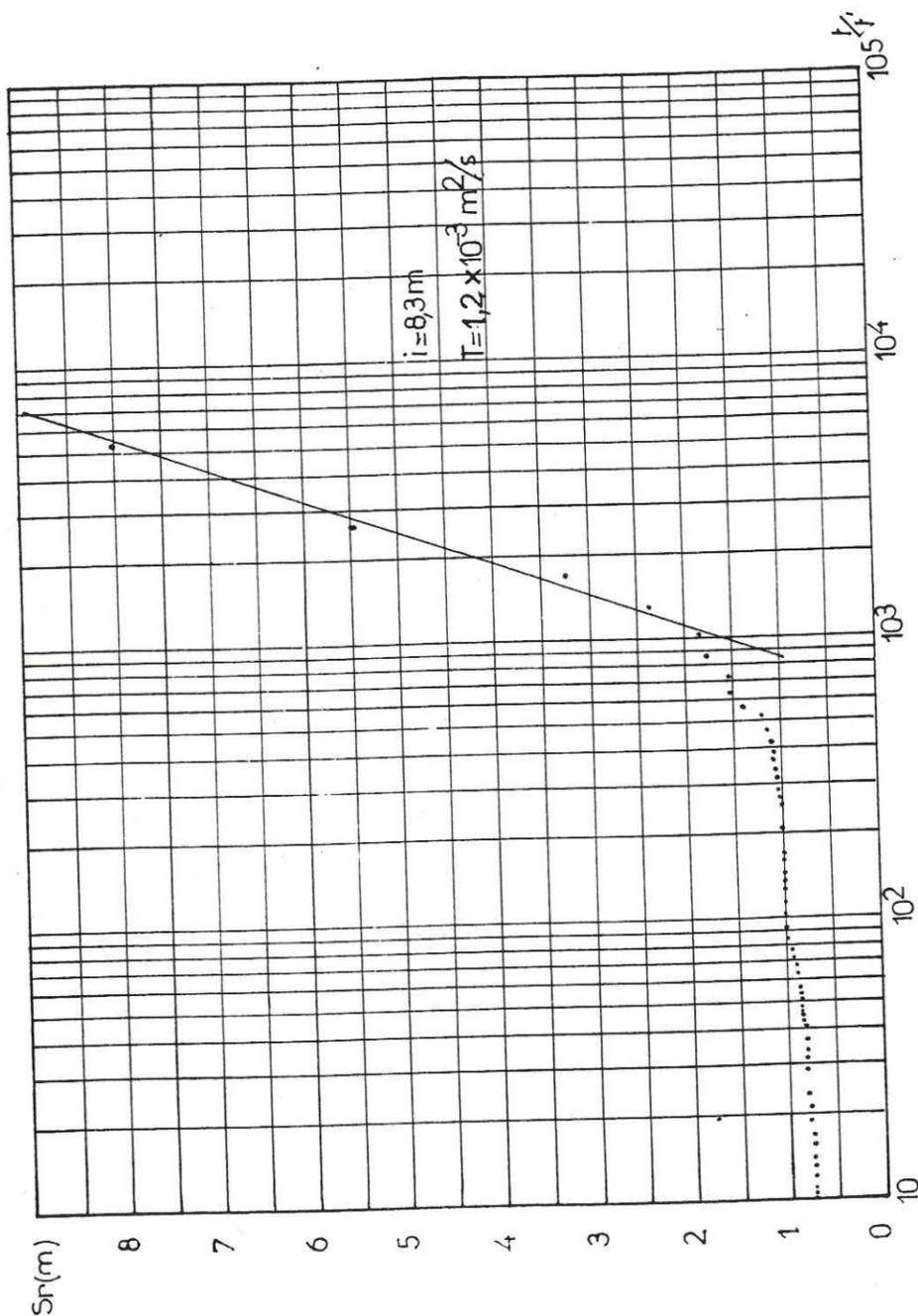


Figure IV₅ : Pompage d'essai. Anokoua Kouté. Remontée

- On extrait l'antilogarithme de ce quotient, ce qui donne la valeur cherchée du temps corrigé \bar{t}_n .

La méthode appliquée à notre essai par paliers de débit donne les résultats résumés dans le tableau IV₅. Les débits sont en m³/jour et les temps en minutes.

$(t_n - t_i)$	$\text{Log}(t_n - t_i)$	ΔQi	$\Delta Qi \times \log(t_n - t_i)$	$\Sigma(\Delta Qi \times \log(t_n - t_i)) / \Sigma \Delta Qi$	\bar{t}_n
5588	3,747	1641,6	6151,75		
5305	3,724	1324,8	4933,555		
4945	3,694	1238,4	4574,649		
4155	3,618	547,2	1979,769		
				4752	5140
				17639,048	3,711

Tableau IV₅ : Méthode de calcul du temps et du débit corrigés

Ainsi, le temps corrigé est de 5140 mn. au lieu de 5588 mn.

Le débit moyen pondéré est de 4752 m³/jour (198 m³/h), ce qui revient à prendre le débit de pompage du 4^e palier.

Le temps corrigé \bar{t}_n servira dans le calcul du rapport t/t' .

L'asymptote à la courbe de remontée à une pente beaucoup plus forte qu'à la descente. Nous avons $i = 8,3$ m

$$d'où T = \frac{0,183 Q}{i} = \frac{0,183 \times 198}{8,3} = 4,36 \text{ m}^2/\text{h} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV_{31.2.2.4} Conclusion

Ne disposant pas de piézomètres, nous n'avons pu calculer le coefficient d'emmagasinement et les facteurs de drainance.

Les différentes méthodes utilisées pour le calcul de la transmissivité donnent des résultats presque similaires sauf la

valeur donnée par la méthode semi-logarithmique de Jacob qui semble relativement plus élevée. A cette station, nous pouvons considérer la nappe comme libre avec un phénomène d'égouttement dû aux épontes semi-perméables. La transmissivité moyenne de l'aquifère (au site de la station) est de :

$$T_{\text{Moyen}} = 20,97 \text{ m}^2/\text{h} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV_{31.3} Essai de pompage Niangon 10

IV_{31.3.1} Géologie et hydrogéologie

La coupe lithologique du forage est la suivante :

- 0 - 15 m : sable argileux ocre
- 15 - 26,5 m : sable moyen
- 26,5 - 28,5 m : argile compacte bariolée
- 28,5 - 51 m : sable moyen mauve
- 51 - 53 m : argile compacte bariolée
- 53 - 67 m : sable moyen argileux mauve
- 67 - 69 m : argile compacte mauve

L'aquifère est constitué par des sables moyens avec des lentilles d'argile bariolée.

La nappe est libre avec un niveau statique situé à 4 m de profondeur.

Le forage est équipé d'un tube plein de 0,406 mètres de diamètre jusqu'à 30,5 mètres de profondeur et d'un tube crépiné de 0,350 mètres de diamètre jusqu'à 68 mètres de profondeur.

IV_{31.3.2} Pompage d'essai

Un pompage de 20 mn alterné de 5 mn de repos a été exécuté pendant 24 heures à un débit constant de 332 m³/h pour un rabattement maximum de 24,98 mètres.

En plus de ce pompage alterné, il a été exécuté un pompage d'essai par paliers de débit.

Le pompage d'essai s'est fait sans piézomètre d'observation.

IV_{31.3.2.1} Essai par palier de débit

Il a consisté en quatre paliers de débits croissants d'une durée variable sans arrêts intermédiaires. Les résultats des mesures figurent dans le tableau IV₆.

(N° palier :	Temps de pompage :	Q (m ³ /h) :	Rabattement S (m) :	S/Q (m/m ³ /h) :
(1 :	21 H 45' :	143,2 :	11,20 :	0,0782 :
(2 :	23 H :	192,5 :	14 :	0,0727 :
(3 :	23 H 39' :	252 :	18,75 :	0,0744 :
(4 :	24 H 30' :	331 :	24,98 :	0,0755 :

Tableau IV₆ : Essai par paliers de débit

De l'analyse de la droite S/Q = f(Q), nous constatons que les mesures du premier palier sont erronées en ce sens qu'elles s'écartent de la droite.

De la droite S/Q = f(Q) nous tirons les différents coefficients :

$$B = 7,08 \cdot 10^{-2}$$

$$C = 1,5 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{d'où } T = \frac{1,22}{B} = \frac{1,22}{7,08 \cdot 10^{-2}} = 17,23 \text{ m}^2/\text{h} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Les pertes de charges quadratiques calculées pour le débit de 331 m³/h donnent une valeur de 1,6 mètres. Ce qui vaut 6,4 % du rabattement total mesuré sur le forage.

L'index de Mogg donne :

$$J = \frac{(Q/S)}{Q/S_{\text{moyen}}} = \frac{0,05}{13,48} = 0,037 = 3,7 \%$$

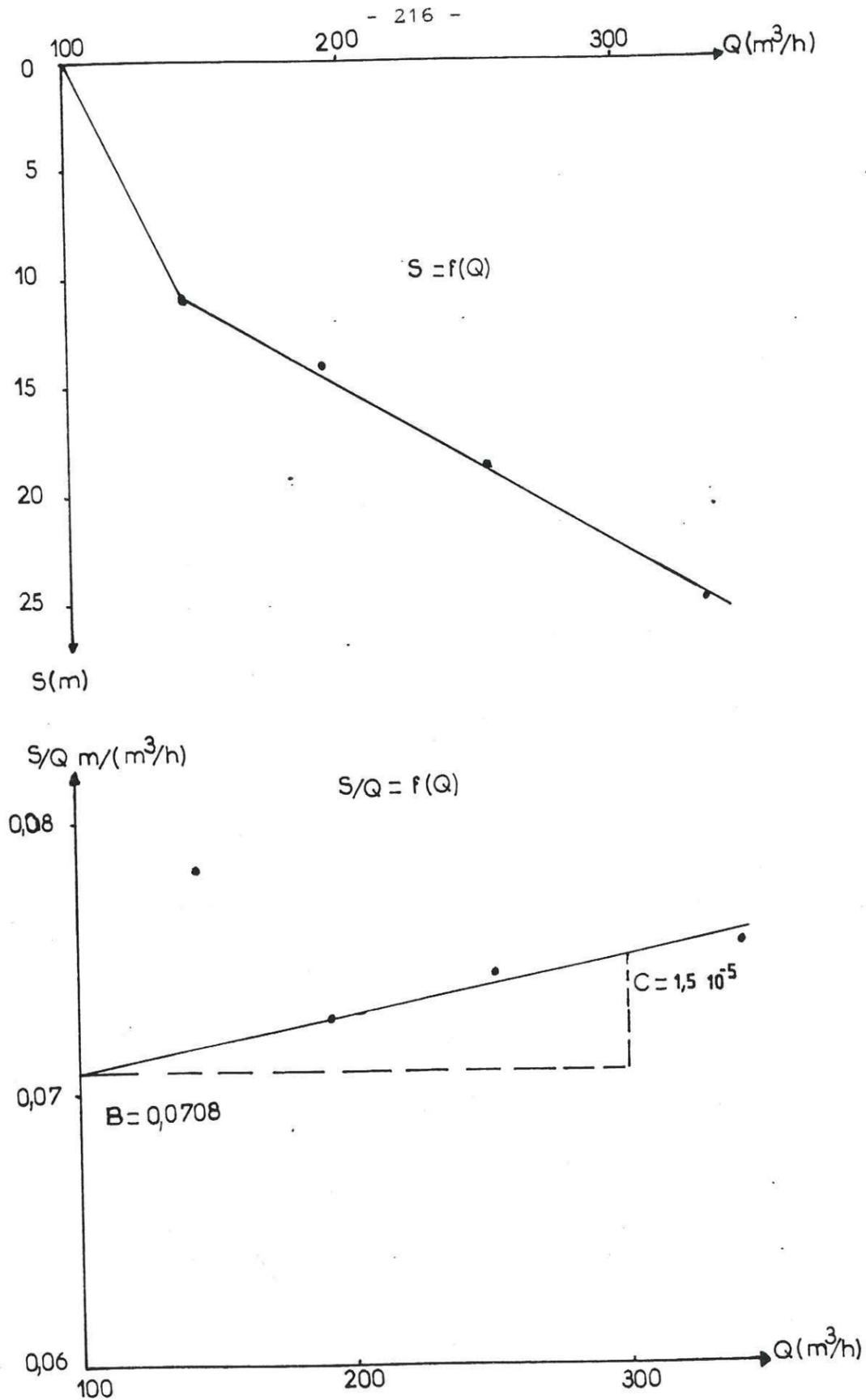


Figure IV₆ : Forage Niangon 10. Essai par paliers de débit

Ce terme étant inférieur à 10 %, nous pouvons admettre que les effets de la turbulence aux abords du forage sont relativement négligeables.

IV_{31.3.2.2} Descente

Les rabattements sont reportés en fonction du temps sur diagrammes semi-logarithmiques et bilogarithmiques.

Le temps de pompage de plus de vingt heures du premier palier peut être considéré comme suffisamment long pour qu'on puisse appliquer les différentes méthodes d'interprétation.

La nappe est libre avec un niveau statique situé dans une couche semi-perméable. L'observation d'une stabilisation après dix minutes de pompage est probablement due à un transfert d'eau par égouttement des couches semi-perméables. Ceci semble correspondre à un schéma de Boulton quand bien même nous n'avons pas la courbe en forme de S de Boulton.

Méthode bilogarithmique de Boulton

Nous n'avons que la première partie de la courbe, le temps de pompage étant insuffisant pour l'obtention d'une courbe complète comme ce fût le cas lors du pompage du forage d'Anokoua Kouté 3.

Les résultats de la superposition de la partie gauche de la courbe observée sur la courbe théorique $\frac{r}{B} = 0,4$ de la famille A sont les suivantes :

$$F\left(u', \frac{r}{B}\right) = 2,2 \quad u = 6 \cdot 10^{-2}$$

$$S = 11 \text{ m} \quad t = 6 \text{ mm}$$

$$\text{d'où } T = \frac{0,08 \cdot Q}{S} F(u', r) = \frac{0,08 \times 143,2}{11} \times 2,2 = 2,3 \text{ m}^2/\text{h} = 0,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Méthode Semi-logarithmique de Jacob

L'asymptote à la courbe de descente du premier palier a une très faible pente, ce qui donne $i = 0,30 \text{ m}$.

$$\text{d'où } T = \frac{0,183 \cdot Q}{i} = \frac{0,183 \times 143,4}{93} = 87,4 \text{ m}^2/\text{h} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

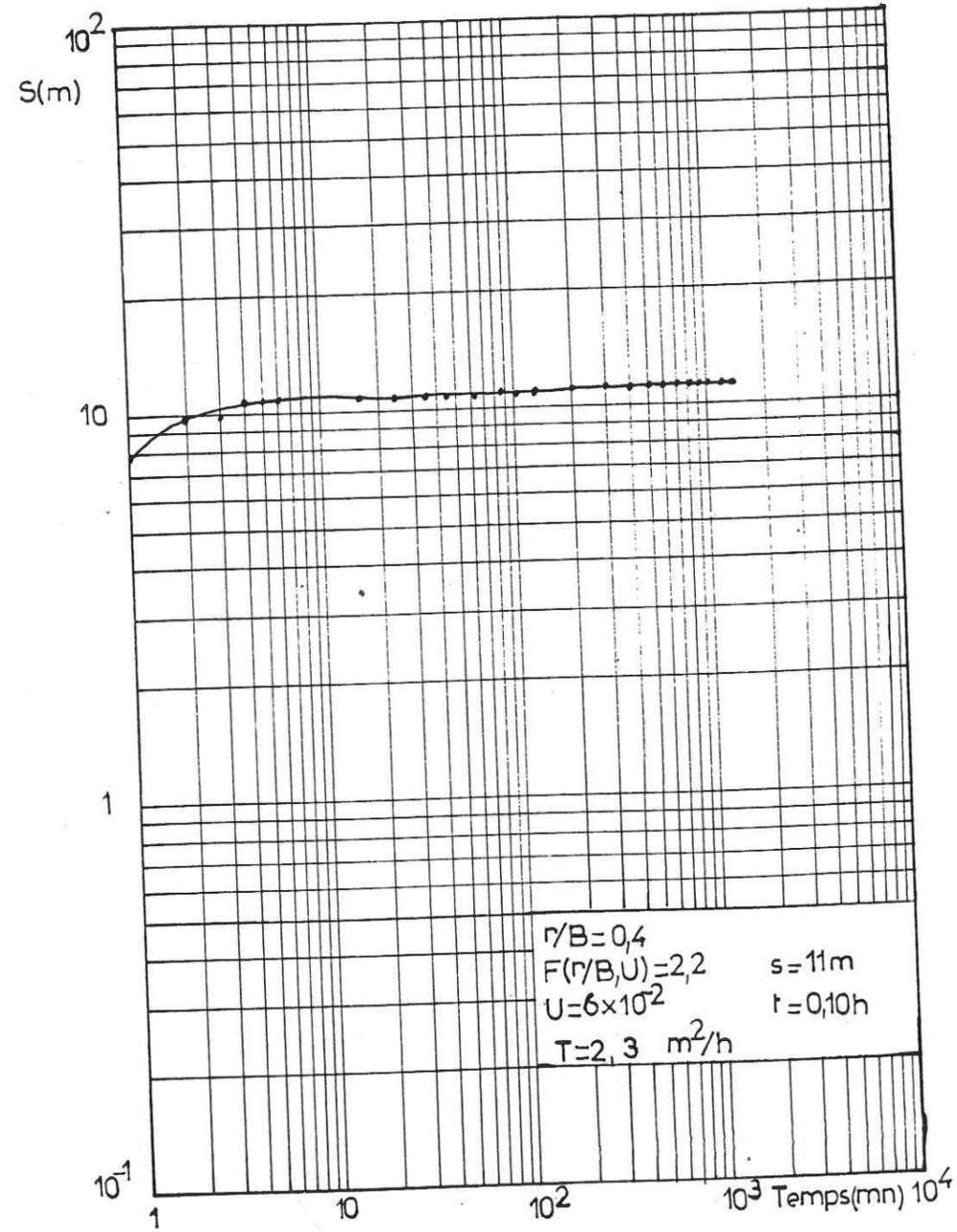


Figure IV₇ : Forage Niangon 10
 (Méthode de Boulton : descente 1er palier)

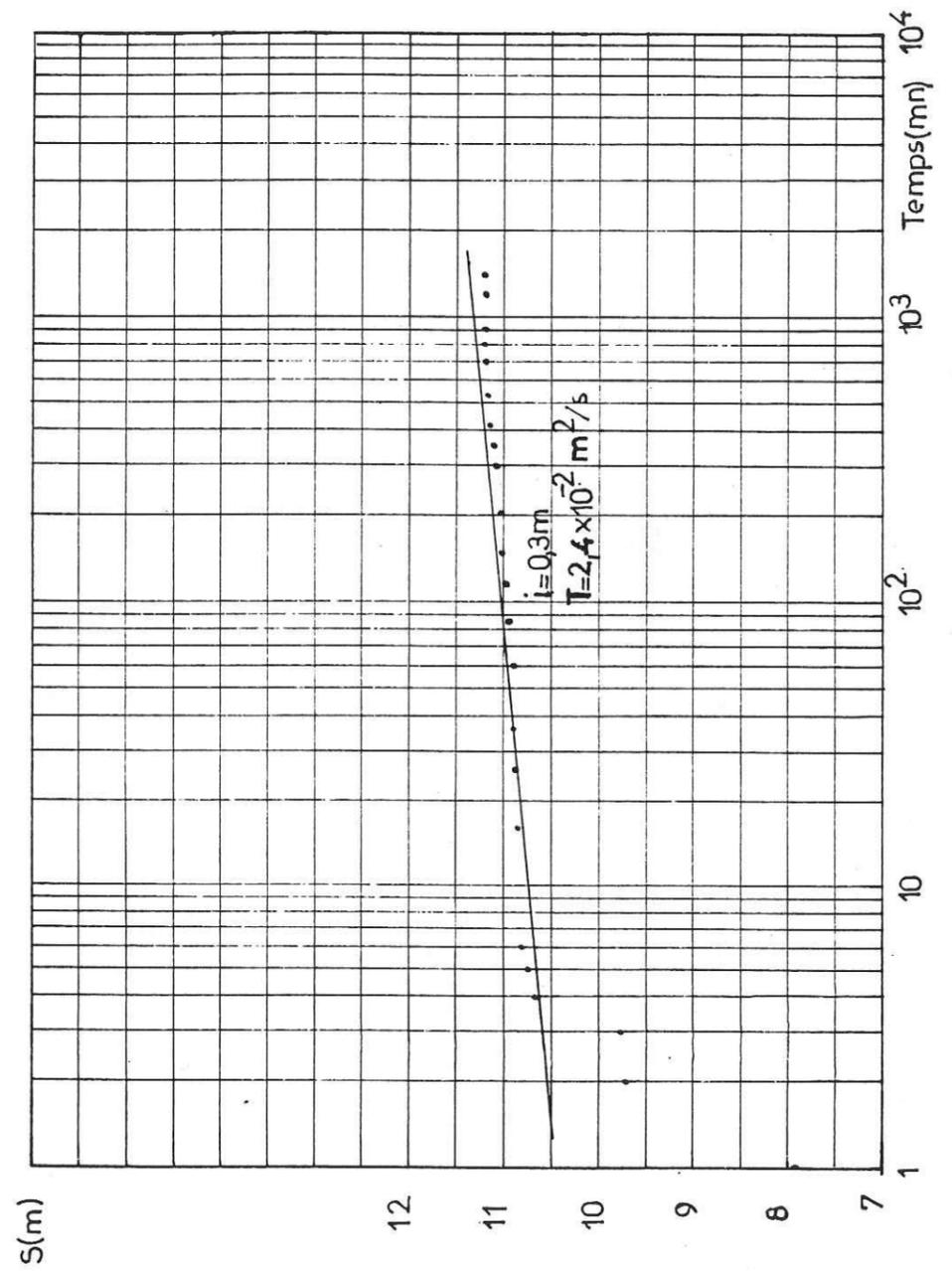


Figure IV₈ : Pompage d'essai. Forage Niangon 10
 (Méthode semi-logarithmique de Jacob. Descente 1er palier)

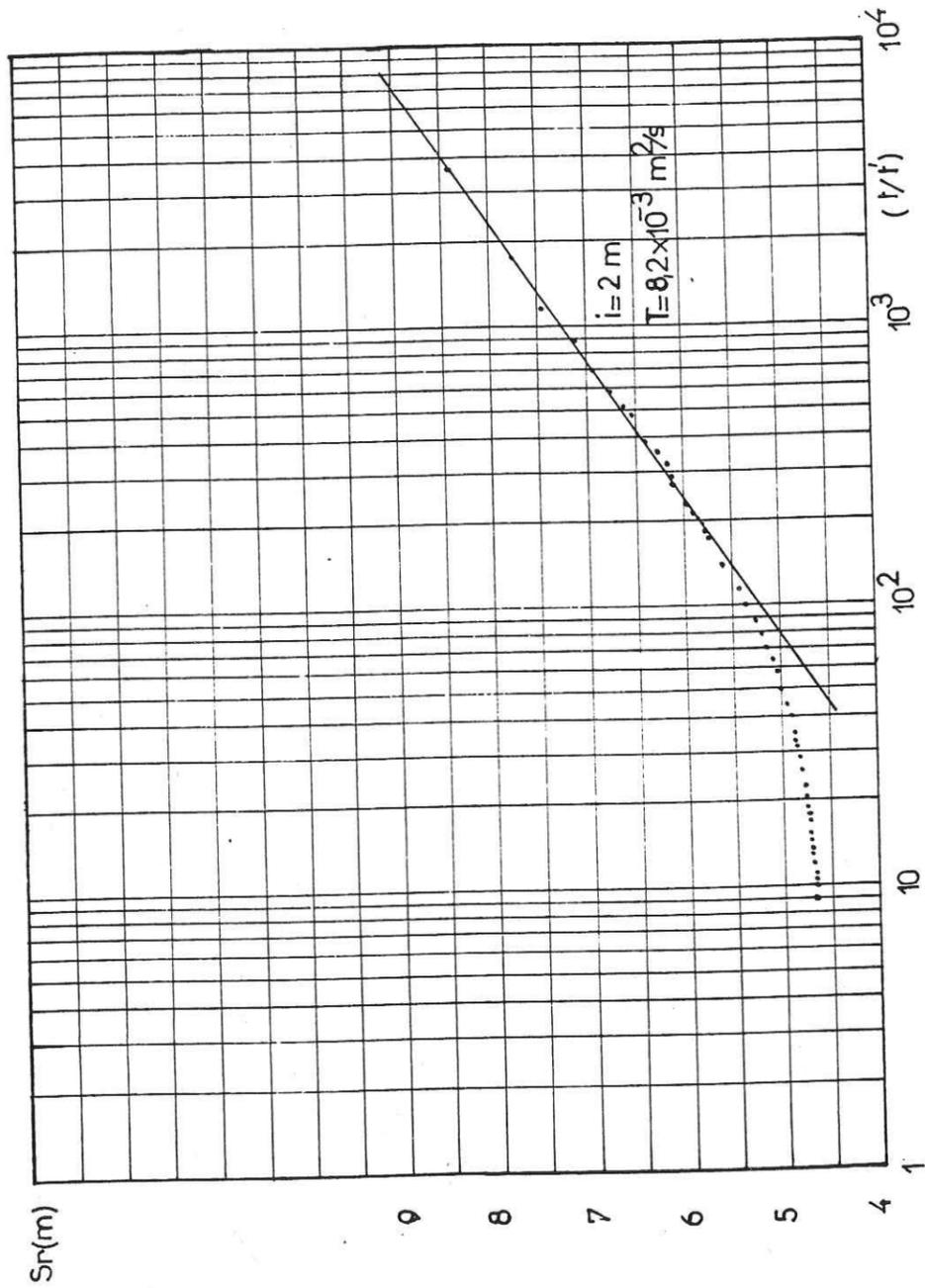


Figure IV₉ : Pompage d'essai. Forage Niangon 10 (remontée)

IV_{31.3.2.3} Remontée

La remontée a été observée au niveau du forage durant six heures. La descente s'étant faite par paliers, nous avons déterminé le débit de pompage devant servir dans le calcul de la transmissivité par la méthode de Cooper-Jacob pour les pompages par paliers.

De cette méthode, nous avons obtenu le temps corrigé et le débit moyen pondéré. Ceci donne :

- Temps corrigé : 3503 mn = 58 H 38' ;
- Débit moyen pondéré : 331 m³/h.

Les rabattements résiduels du forage reportés en fonction de (t/t') en diagramme semi-logarithmique figure IV₉ s'alignent selon une droite $i = 2,05$ m

d'où $T = \frac{0,183 Q}{i} = \frac{0,183 \times 331}{2,05} = 29,6 \text{ m}^2/\text{h} = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

IV_{31.3.2.4} Conclusion

Nous pouvons caractériser l'aquifère à la station étudiée par la transmissivité moyenne suivante :

$T_{\text{Moy}} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

IV_{31.4} Essai de pompage de Niangon

IV_{31.4.1} Géologie et hydrogéologie

La coupe lithologique résumée du forage est la suivante :

0	-	30	m	: sable moyen à grossier
30	-	35	m	: argile compacte mauve
35	-	56,5	m	: sable fin à moyen argileux mauve
56,5	-	60	m	: argile compacte
60	-	73	m	: sable moyen
73	-	80	m	: argile compacte mauve

La nappe est libre avec le niveau statique situé à 13,5 mètres de profondeur.

L'aquifère est constitué par des sables argileux.

Le forage est muni d'un tube plein de 0,406 mètres de diamètre jusqu'à 20 mètres de profondeur et entre 20 et 70, d'un tube crépiné de 0,350 mètres de diamètre.

Un piézomètre d'observation est situé à 75 mètres du forage

IV_{31.4.2} Pompage d'essai

L'essai de pompage de Niangon s'est déroulé pendant 125 heures à un débit constant de 94 l/s.

IV_{31.4.2.1} Descente

Seuls les rabattements au niveau du piézomètre ont été utilisés dans l'interprétation. Les rabattements dans le forage étant trop perturbés pour être utilisés;

Les rabattements en fonction du temps sont reportés sur diagrammes semi-logarithmiques et bilogarithmiques.

Cet essai de pompage a fait déjà l'objet d'une interprétation selon la méthode de Neuman. Les résultats de cette méthode se retrouvent résumés dans le tableau IV₃ du paragraphe sur les résultats antérieurs à notre étude.

Nous avons essayé de réinterpréter l'essai de pompage par les méthodes classiques de Theiss et Jacob.

Méthode bilogarithmique de Thiess

La superposition de la courbe expérimentale sur la courbe type de Thiess nous donne,

$$W(u) = 4,5 \quad u = 1,5 \cdot 10^2$$

$$S = 0,07 \quad t = 20 \text{ mn} = 0,33 \text{ h}$$

$$\text{d'où } T = \frac{0,08 \times Q}{S} W(u) = \frac{0,08 \times 0,094}{0,07} \times 4,5 = 4,8 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = \frac{4 T t_0}{r^2 u} = \frac{4 \times 4,8 \cdot 10^{-1} \times 1200}{(75)^2 \times 1,5 \cdot 10^2} = 2,7 \cdot 10^{-3}$$

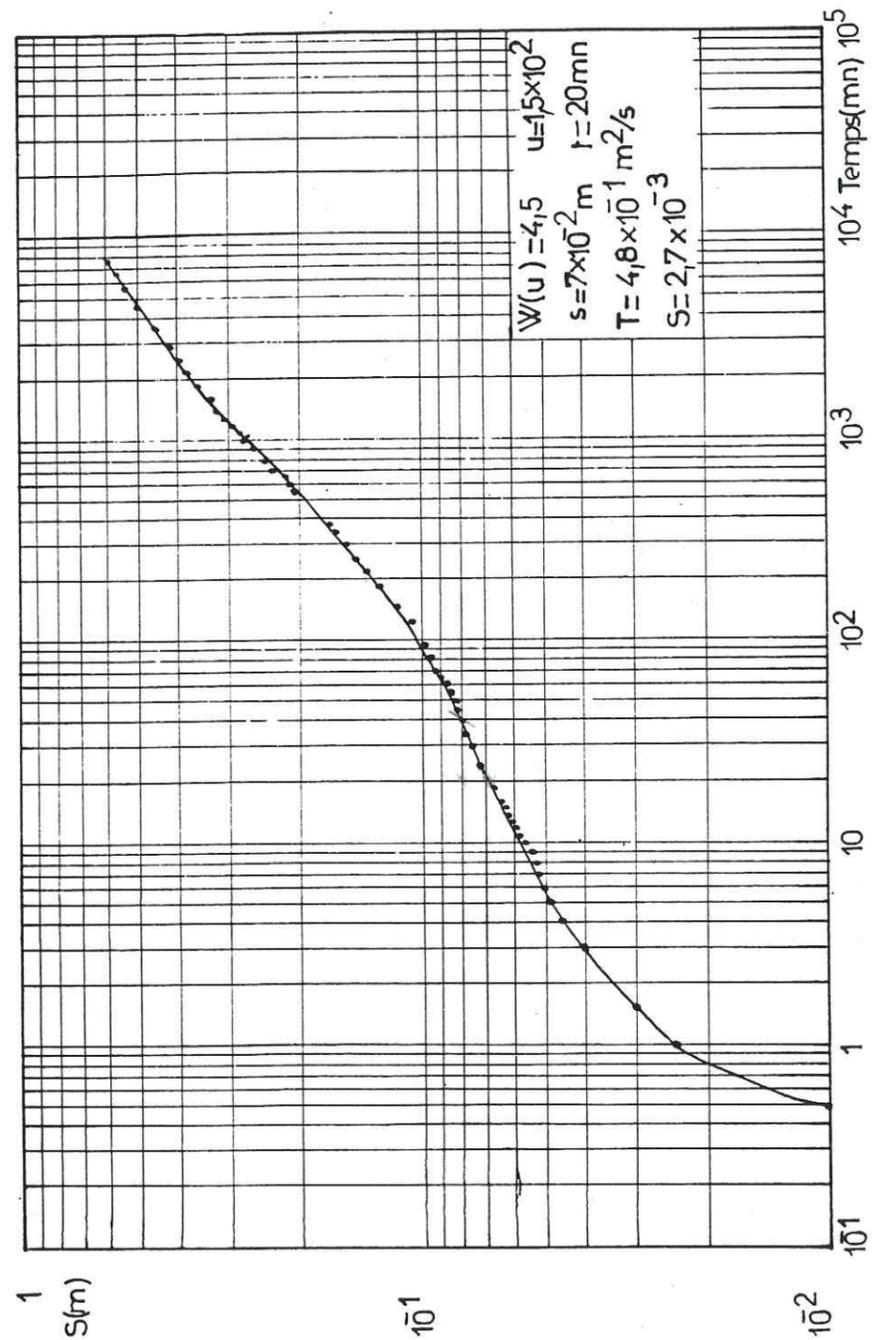


Figure IV₁₀ : Essai de pompage de Niangon.

Descente dans le piézomètre N₂

(Méthode bilogarithmique de Thiess)

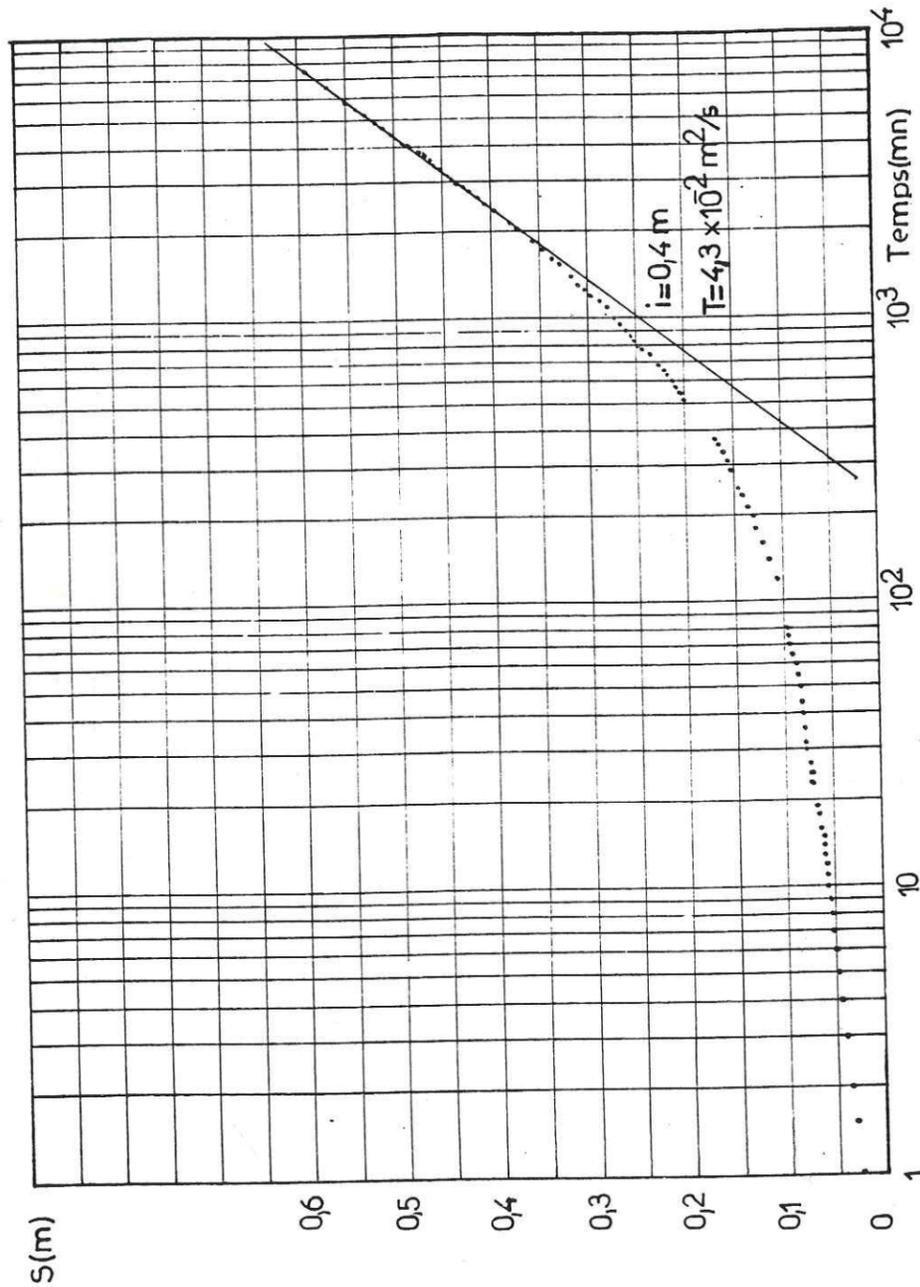


Figure IV₁₁ : Essai de pompage de Niangon
Descente dans le piézomètre N₂
(Méthode semi-logarithmique de Jacob)

Méthode semi-logarithmique de Jacob

La pente de la droite est : $i = 0,4 \text{ m}$

$$d'où T = \frac{0,183 \times Q}{i} = \frac{0,183 \times 0,094}{0,4} = 154,8 \text{ m}^2/\text{h} = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2} \text{ avec } t_0 = 240 \text{ mn} = 14400 \text{ s}$$

$$S = \frac{2,25 \times 4,3 \cdot 10^{-2} \times 14400}{(75)^2} = 0,24$$

IV_{31.4.2.2} Remontée

Les rabattements résiduels du forage reportés en fonction de (t/t') en diagramme semi-logarithmique s'alignent selon une droite de pente $i = 0,44 \text{ m}$.

$$d'où T = \frac{0,183Q}{i} = \frac{0,183 \times 0,094}{0,44} = 141 \text{ m}^2/\text{h} = 3,91 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \neq 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV_{31.4.2.3} Conclusion

Les méthodes utilisées pour le calcul de la transmissivité donnent des valeurs proches sauf celle calculée par la méthode de Theiss qui semble élevée pour la nature géologique de l'aquifère.

Nous avons fait la moyenne des différentes valeurs en intégrant aussi celles trouvées par la méthode de Neuman.

Cela nous donne :

$$T_{\text{Moy}} = 184 \text{ m}^2/\text{h} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

Le coefficient d'emménagement trouvé par la méthode de Jacob nous paraît exéssif pour être pris en compte, nous prendrons en conséquence la moyenne calculée avec les valeurs trouvées par les méthodes de Neuman et de Theiss.

$$S_{\text{Moy}} = 2 \cdot 10^{-3}$$

Compte tenu de l'épaisseur de l'aquifère, nous avons :

$$T = KH$$

$$K = \frac{T}{H} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{71,5} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

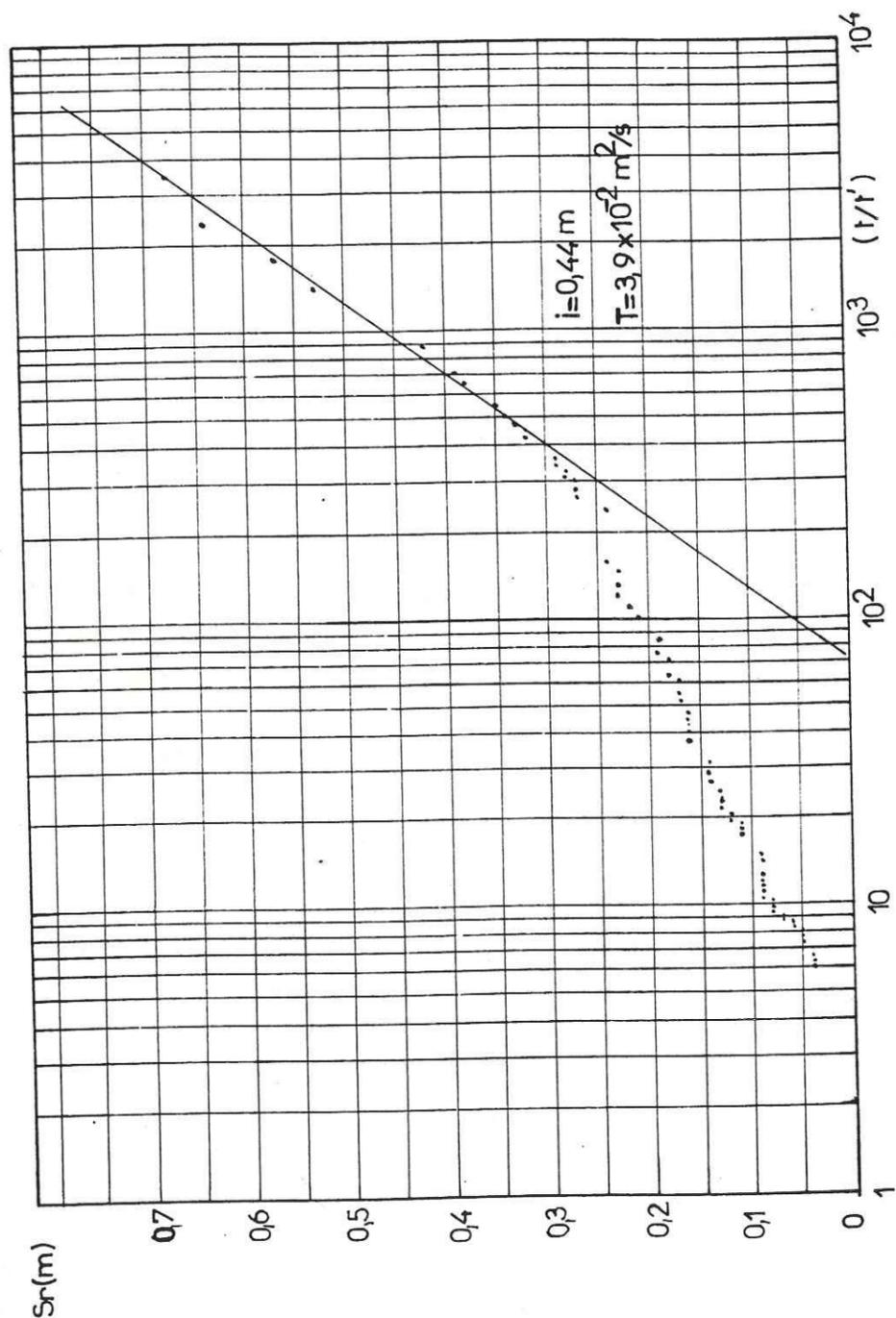


Figure IV₁₂ : Essai de pompage de Niangon.
Remontée dans le forage

IV_{31.5} Essai de pompage d'Attiékoi

IV_{31.5.1} Géologie et hydrogéologie

Nous ne disposons pas de la coupe lithologique du forage. Le seul renseignement que nous avons est que le socle schisteux sain a été atteint à 38 mètres de profondeur et foré jusqu'à 51 mètres.

La région d'Attiékoi étant située au nord du bassin sédimentaire, de la surface du sol jusqu'à 38 mètres de profondeur, il est certain qu'il y a une couche de formation sédimentaire reposant sur une tranche de schiste altéré.

Il y a eu une seule venue d'eau située à 46 mètres de profondeur. La nappe est captive (niveau statique à 23,2 mètres de profondeur).

L'aquifère est constitué par le socle fissuré schisteux.

IV_{31.5.2} Pompage d'essai

Un essai par paliers de débits a été exécuté. Le débit air lift estimé au cours de la foration était de 14,4 m³/h mais le débit maximum mesuré lors de l'essai de pompage a donné 3,5 m³/h.

IV_{31.5.2.1} Essai par paliers de débit

Cet essai a consisté en un pompage à débits croissants d'une durée variable sans arrêts intermédiaires, trois paliers ont été exécutés. Les résultats sont résumés dans le tableau IV₇.

La courbe caractéristique $S = f(Q)$ montre que les mesures du palier n°2 sont erronées en ce sens qu'elles s'écartent de la droite $S/Q = f(Q)$.

Les rabattements observés au forage peuvent être approchés par une équation du type $S = BQ + CQ^2$.

$$B = 1,85 \quad \text{d'où } T = \frac{1,22}{B} = \frac{1,22}{1,85} = 0,66 \text{ m}^2/\text{h} = 20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$C = 0,56 \quad S = 1,85 Q + 0,56 Q^2$$

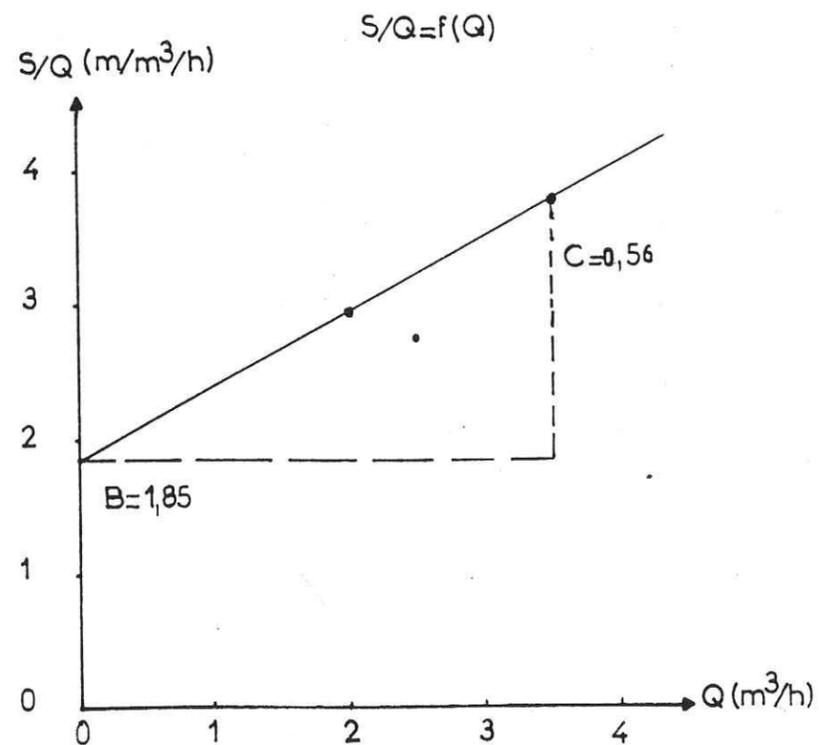
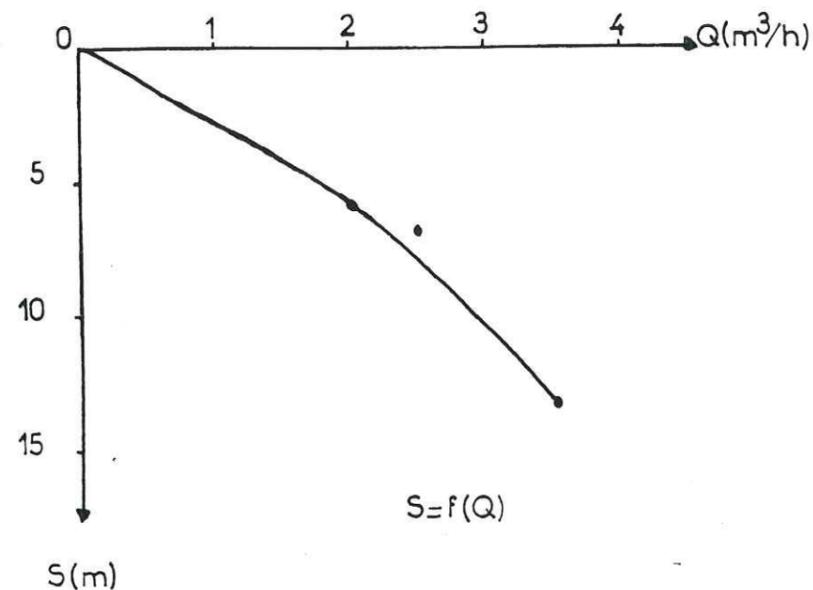


Figure IV₁₃ : Attiekoi. Essai par paliers de débit

(N° palier)	(Temps de pompage)	(Q(m³/h))	(Rabattement)	(S/Q(m/m /h))	(Pertes de charges quadratiques CQ²)
1	4H 10'	2	5,87	2,94	2,2 (38 %)
2	1H 50'	2,5	6,86	2,74	3,5 (51 %)
3	3H 40'	3,5	13,20	3,77	6,9 (52 %)

Tableau IV₇ : Attiékoï : Essai par paliers de débit

Nous avons calculé pour chaque débit pompé, les pertes de charges quadratiques correspondantes ; les résultats sont résumés dans le tableau IV₇. Les valeurs représentent 40 à 50 % des rabattements mesurés. Ce qui est relativement élevé.

Nous avons aussi déterminé par l'index de Mogg (1966), l'importance des pertes de charges quadratiques par rapport aux pertes de charges linéaires. Ceci nous donne :

$$J = \frac{(Q/S)}{Q/S_{\text{Moyen}}} = \frac{0,075}{0,97} = 0,077 = 7,8 \%$$

Ce terme étant inférieur à 10 %, on peut admettre que les effets de la turbulence sont relativement négligeables.

IV_{31.5.2.2} Descente

Les rabattements du forage sont reportés sur diagrammes semi-logarithmiques et bilogarithmiques.

Seules les mesures du premier palier seront utilisées. Le temps de pompage n'étant pas assez long pour qu'on puisse appliquer rigoureusement les méthodes classiques d'interprétation mais nous appliquerons la méthode de Theiss-Jacob pour tenter de calculer la transmissivité.

Méthode bilogarithmique de Theiss

La superposition de la courbe expérimentale sur la

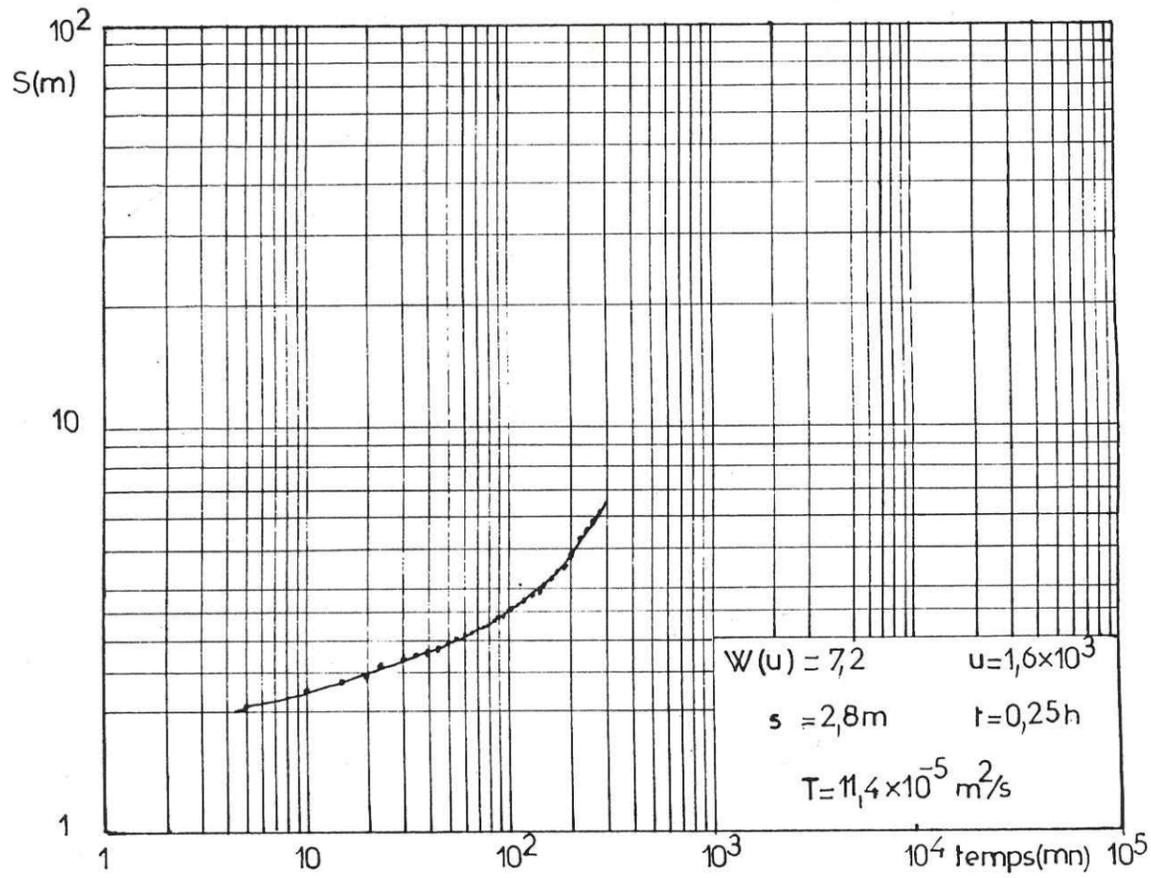


Figure IV₁₄ : Attiékoi : Pompage d'essai
(Méthode bilogarithmique de Theiss. Descente 1er palier)

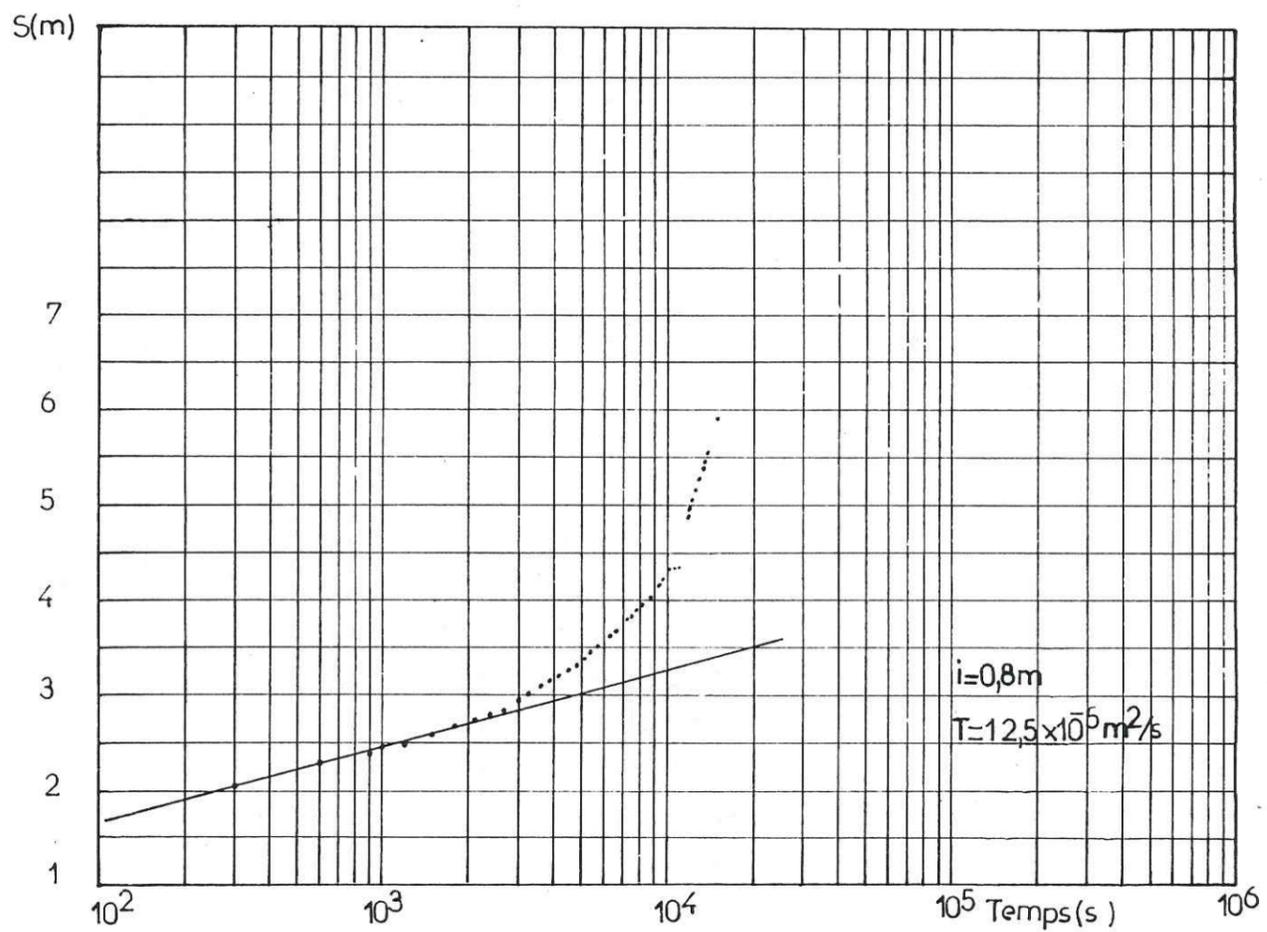


Figure IV₁₅ : Attiékoi : Pompage d'essai
(Méthode semi-logarithmique de Jacob)

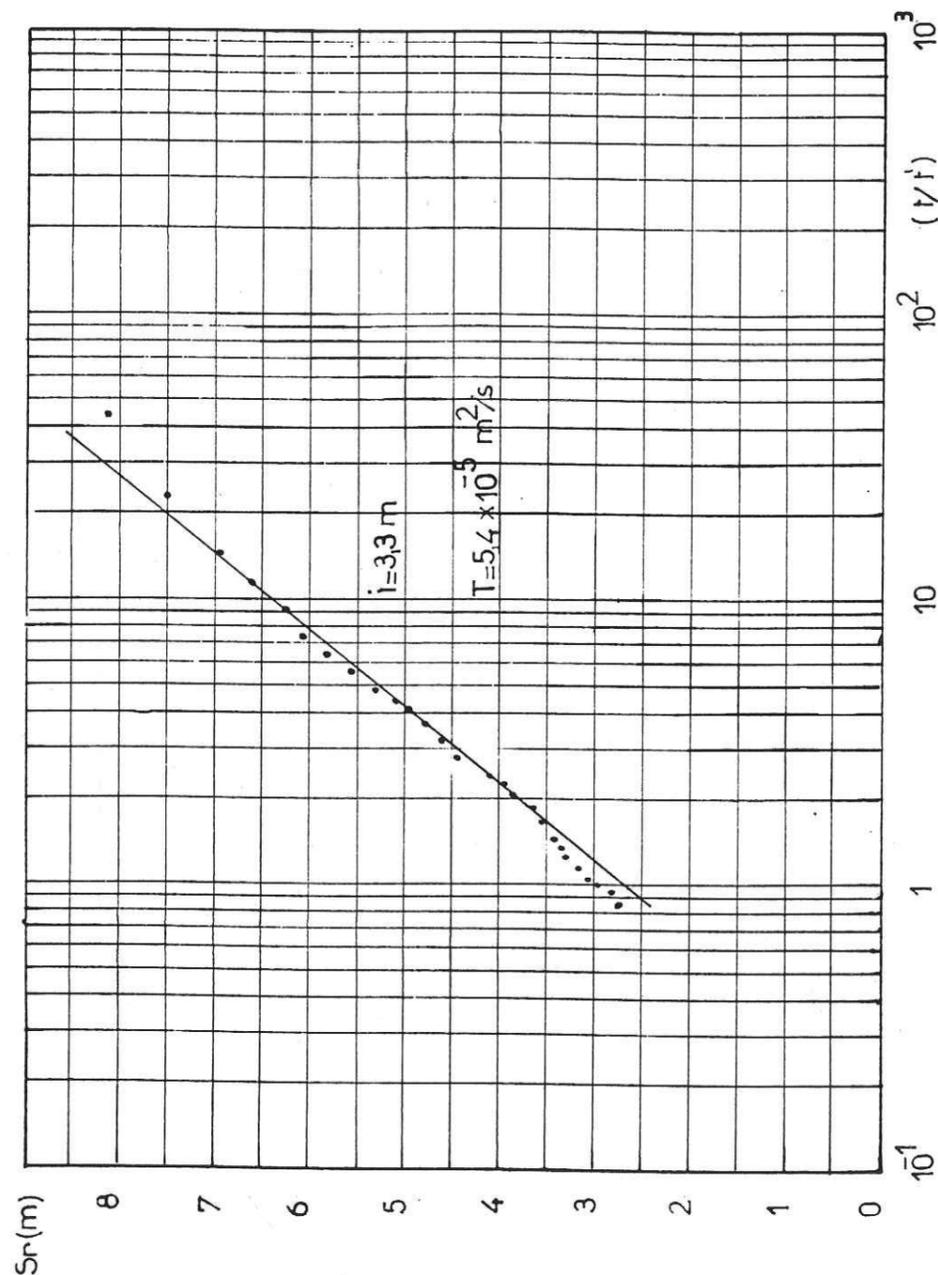


Figure IV₁₆ : Attiékoi : Pompage d'essai. Remontée

courbe type de Theiss nous donne :

$$W(u) = 7,2 \quad u = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

$$S = 2,8 \text{ m} \quad t = 15 \text{ mn} = 0,25 \text{ h}$$

$$\text{d'où } T = \frac{0,08 \times Q}{S} W(u) = \frac{0,08 \times 2}{2,8} \times 7,2 = 0,41 \text{ m}^2/\text{h} = 11,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Ne disposant pas de piézomètre et pour avoir une idée de la valeur du coefficient d'emmagasinement, nous avons pris la distance du point considéré à l'axe du puits égale à l'unité. Ce qui nous donne approximativement :

$$S = \frac{4 T t}{r^2 u} = \frac{4 \times 11,4 \cdot 10^{-5} \times 900}{(1)^2 \times 1,6 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-4}$$

Méthode semi-logarithmique de Jacob

La pente de la droite est : $i = 0,8$

$$\text{d'où } T = \frac{0,183 \times Q}{i} = \frac{0,183 \times 2}{0,8} = 0,45 \text{ m}^2/\text{h} = 12,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Nous observons après 50 minutes de pompage un accroissement anormal des rabattements. Cette anomalie peut provenir soit :

- de phénomènes d'écran imperméable simple ou multiple (Pnud, 1982) ;
- du dépassement du débit critique.

IV_{31.5.2.3} Remontée

La remontée a été observée au niveau du forage durant quatre heures. La descente s'étant faite par paliers nous avons déterminé le débit moyen pondéré devant servir dans le calcul de la transmissivité, ainsi que le temps de pompage corrigé par la méthode de Cooper-Jacob pour les pompages par paliers.

Le débit moyen pondéré est de $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le temps de pompage corrigé est de 220 mn.

Les rabattements résiduels dans le forage reportés en fonction de (t/t') en diagramme semi-logarithmique s'alignent

selon une droite de pente :

$$i = 3,15 \text{ m}$$

$$\text{d'où } T = \frac{0,183 Q}{i} = \frac{0,183 \times 3,5}{3,15} = 0,20 \text{ m}^2/\text{h} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV_{31.5.2.4} Conclusion

Les résultats obtenus, pour le calcul de la transmissivité, par les différentes méthodes sont proches.

La valeur du coefficient d'emménagement est à prendre comme une valeur indicative faute de mieux.

On peut caractériser l'aquifère schisteux au site d'Attiékoï par les paramètres suivants :

$$T_{\text{Moy}} = 12,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 2 \cdot 10^{-4}$$

IV_{31.6} Essai de pompage de M'Pody

IV_{31.6.1} Géologie et hydrogéologie

La coupe lithologique résumée du forage est la suivante :

0 - 34 m : schiste altéré argileux

34 - 62 m : schiste fissuré

La seule venue d'eau est située à 38 mètres de profondeur. La nappe est captive avec un niveau statique à 5,36 m de profondeur.

IV_{31.6.2} Pompage d'essai

Un essai de pompage par paliers de débit a été exécuté. Le débit air lift a été estimé à 2,8 m³/h et le niveau dynamique à la fin du pompage a été de 31 mètres.

IV_{31.6.2.1} Essai par paliers de débit

C'est un essai de pompage à débits croissants par paliers d'une durée variable sans arrêts intermédiaires. Trois paliers ont été exécutés. Les résultats figurent dans le tableau IV₈.

(N° palier)	(Temps de pompage)	(Q (m ³ /h))	(Rabattement)	(S/Q (m/m ³ /h))	(Pertes de charges quadratiques)
					(CQ ²)
1	2H 25'	0,6	8,47	14,11	1,2 (14%)
2	3H 45'	1,2	18,29	15,24	4,8 (26%)
3	2H 10'	1,5	25,64	17,09	7,4 (29%)

Tableau IV₈ : M'Pody : Essai par paliers de débit

De la droite S/Q = f(Q) nous obtenons les différents paramètres suivants :

$$B = 12,2 \quad \text{d'où } T = \frac{1,22}{B} = \frac{1,22}{12,2} = 0,10 \text{ m}^2/\text{h} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$C = 3,3$$

Nous avons évalué les pertes de charges quadratiques pour chaque palier de débit. Les résultats sont résumés dans le tableau IV₈.

L'index de Mogg qui détermine l'importance des pertes de charges quadratiques par rapport aux pertes de charges linéaires nous donne ceci :

$$J = \frac{(Q/S)}{Q/S_{\text{Moy}}} = \frac{0,0123}{0,1949} = 0,063 = 6,3 \%$$

Ce terme étant inférieur à 10 %, nous pouvons admettre que les pertes de charges par turbulence sont relativement négligeables.

IV_{31.6.2.2} Descente

Les rabattements sont reportés en fonction du temps sur diagrammes semi-logarithmiques et bilogarithmiques.

Le deuxième palier sera utilisé dans l'interprétation. Nous tenterons d'appliquer la méthode de Theiss - Jacob

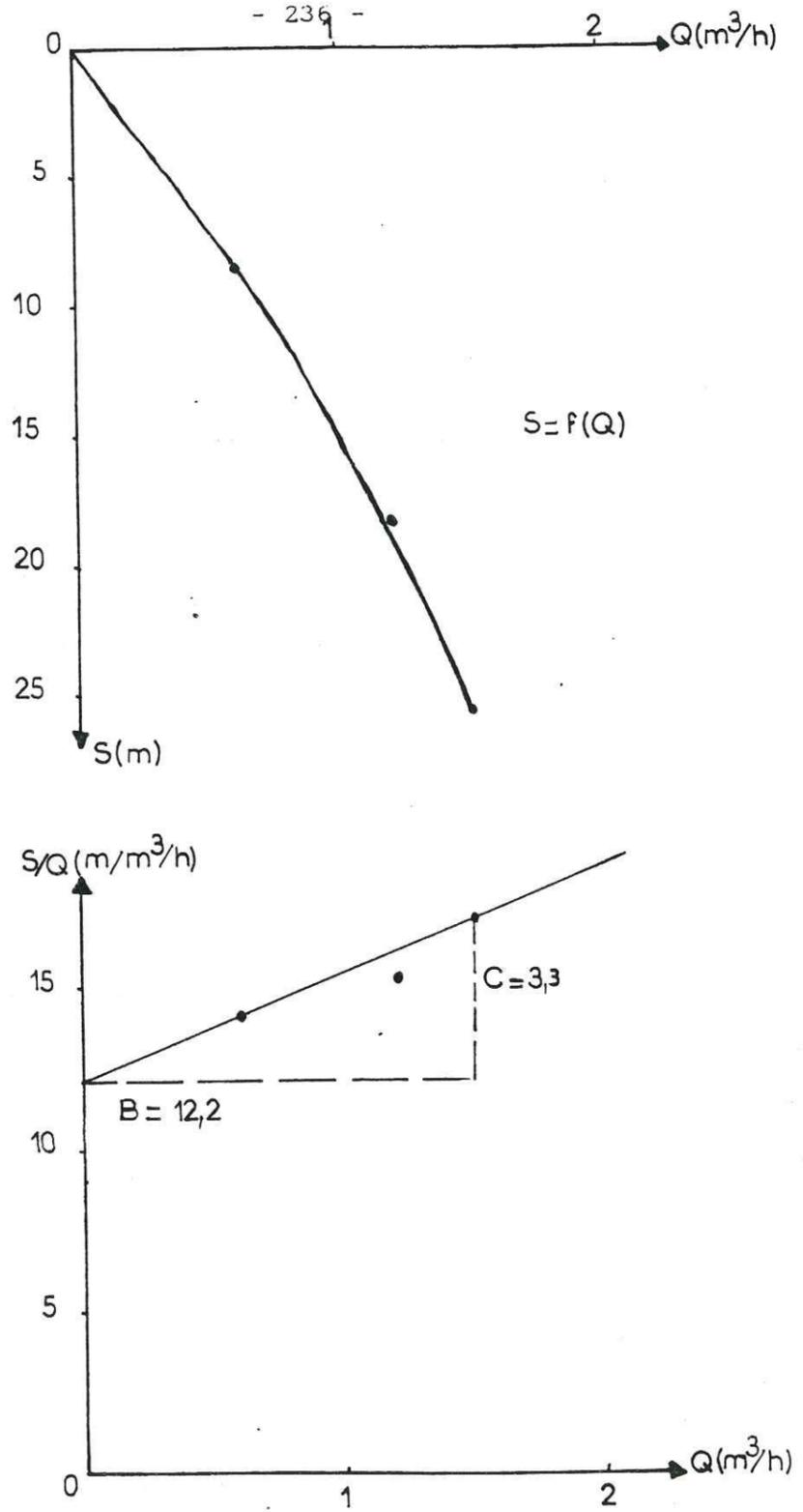


Figure IV₁₇ : M'Pody : Essai par paliers de débit

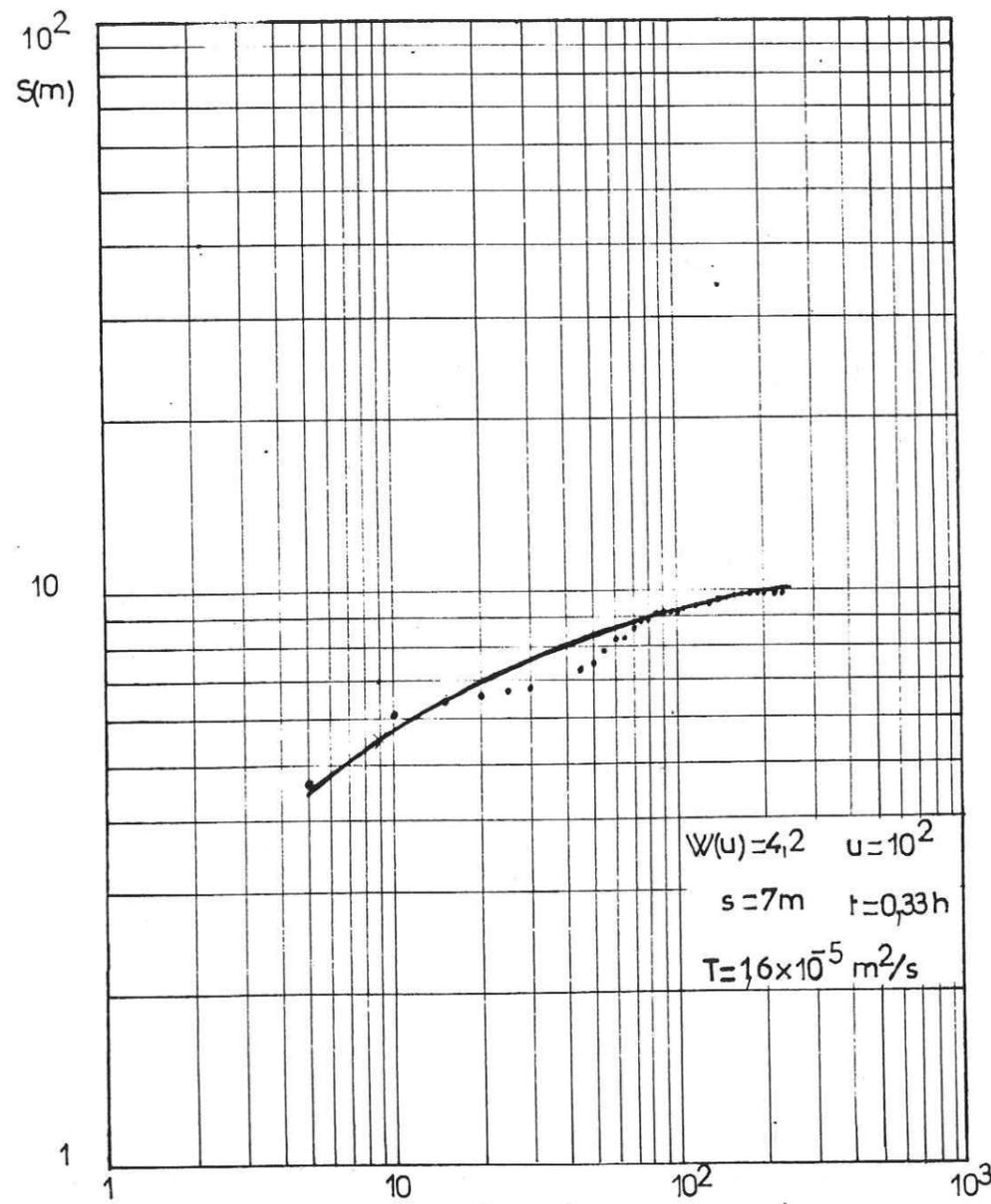


Figure IV₁₈ : M'Pody : Pompage d'essai (Méthode de Theiss. Descente 2° palier)

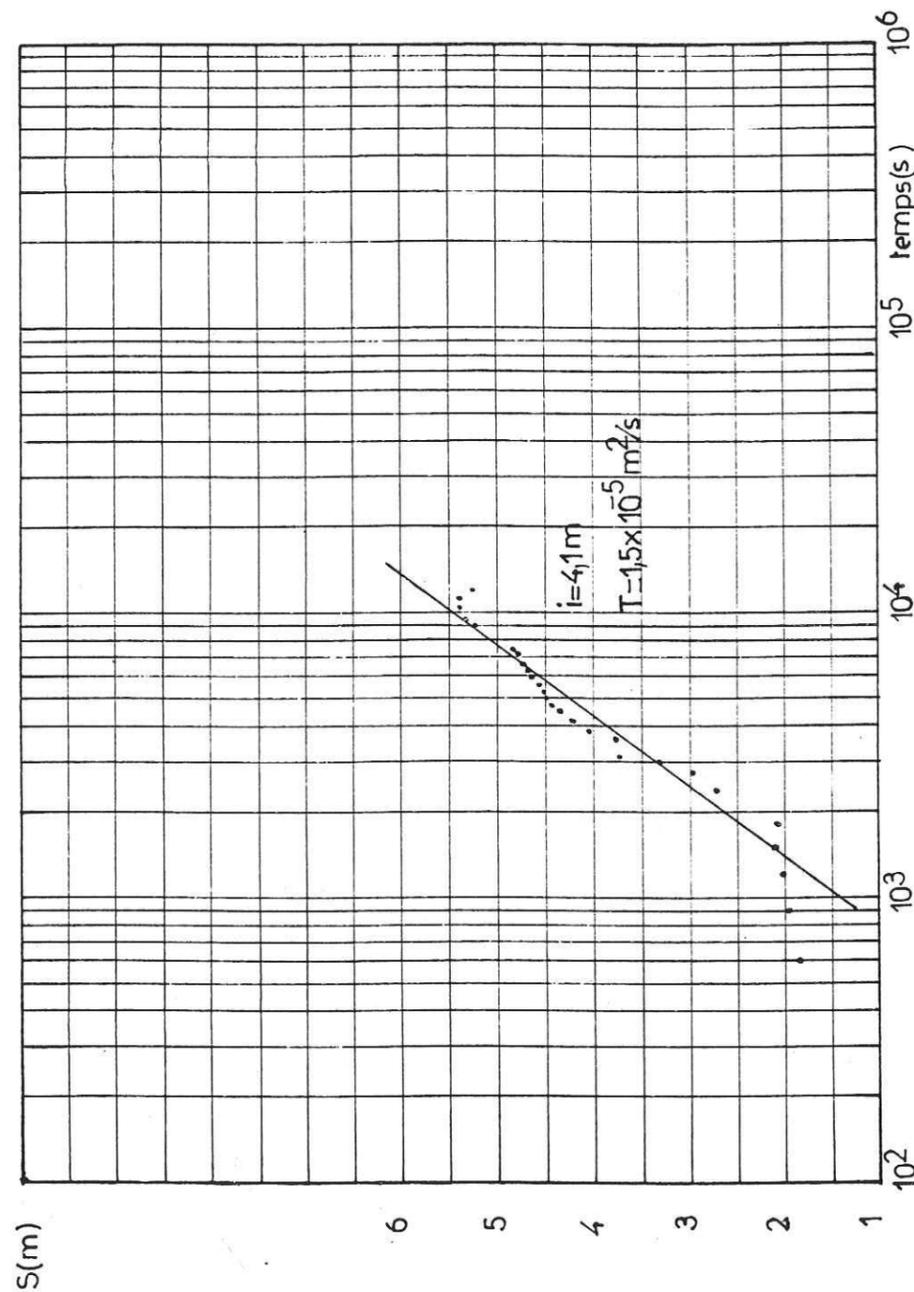


Figure IV₁₉ : M'Pody : Pompage d'essai
(Méthode semi-logarithmique de Jacob)

aux mesures de rabattement.

Méthode bilogarithmique de Theiss

La superposition de la courbe expérimentale sur la courbe type de Theiss nous donne :

$$W(u) = 4,2 \quad u = 10^2$$

$$S = 7 \text{ m} \quad t = 20 \text{ mn} = 0,33 \text{ h}$$

$$\text{d'où } T = \frac{0,08 \times Q}{S} W(u) = \frac{0,08 \times 1,2}{7} \times 4,2 = 5,76 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{h} = 1,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Pour estimer le coefficient d'emménagement par manque de piézomètre d'observation, nous avons pris la distance du point considéré à l'axe du forage égale à l'unité. Ceci nous donne :

$$S = \frac{4 T t}{r^2 u} = \frac{4 \times 1,6 \times 10^{-5} \times 1200}{(1)^2 \times 10^2} = 7,7 \times 10^{-4}$$

Méthode semi-logarithmique de Jacob

La pente de la droite est : $i = 4,85 \text{ m}$

$$\text{d'où } T = \frac{0,183 \times Q}{i} = \frac{0,183 \times 1,2}{4,85} = 4,53 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{h} = 1,3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

avec $r = 1$

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2} \text{ avec } t_0 = 540 \text{ s}$$

$$S = \frac{2,25 \times 1,26 \times 10^{-5} \times 540}{(1)^2} = 1,5 \times 10^{-2}$$

IV_{31.6.2.3} Remontée

La remontée a été observée au niveau du forage durant quatre heures en appliquant la méthode de Cooper-Jacob pour le pompage par paliers, nous avons déterminé le débit moyen pondéré pour le calcul de la transmissivité et le temps de pompage corrigé. Ceci nous donne :

Le débit moyen pondéré est de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le temps de pompage corrigé est de 333 mn (5,6 H).

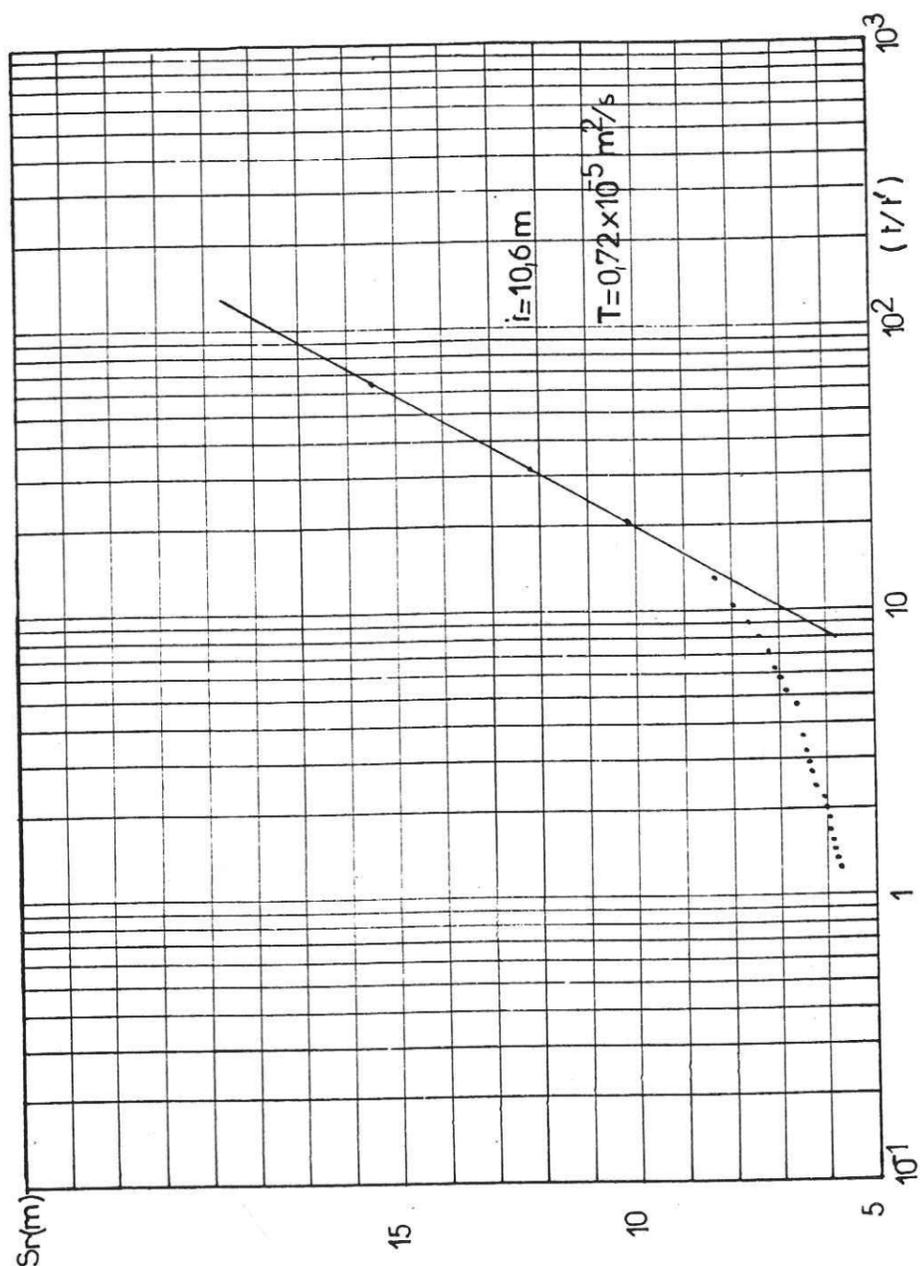


Figure IV₂₀ : M'Pody : Pompage d'essai. Remontée

Les rabattements résiduels du forage reportés en fonction de (t/t') en diagramme semi-logarithmique s'alignent selon une droite de pente $i = 10,6 \text{ m}$, plus forte que celle de la descente.

$$\text{d'où } T = \frac{0,183 Q}{i} = \frac{0,183 \times 1,5}{10,6} = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{h} = 0,72 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

IV_{31.6.2.4} Conclusion

La transmissivité moyenne est de :

$$T_{\text{Moy}} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Les valeurs estimées du coefficient d'emmagasinement par les méthodes de Theiss et de Jacob sont assez différentes, mais nous retiendrons celle donnée par la méthode de Theiss qui semble plus près de la réalité.

$$S = 7,7 \cdot 10^{-4}$$

IV₄ Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères que nous avons rencontrés.

L'application de la méthode par la mesure d'infiltration de l'eau dans le sol, nous a permis d'avoir des valeurs de la conductivité hydraulique (K) du niveau superficiel sablo-argileux du bassin sédimentaire.

De ces mesures nous avons obtenu des valeurs de K variant de 10^{-5} à 10^{-6} m/s , soit une vitesse d'infiltration moyenne de 0,6 mètres par jour. Vue la profondeur relativement importante à laquelle se situe le niveau de la nappe, la vitesse d'infiltration trouvée pourrait expliquer en partie le décalage entre la pluviosité et la remontée du niveau piézométrique de la nappe.

Selon que l'on est sur le bassin sédimentaire ou sur le socle, nous avons des caractéristiques hydrodynamiques différentes :

La nappe du bassin sédimentaire est en général libre

mais pourrait être localement en charge compte tenu de la nature lithologique variable des terrains superficiels. Les débits enregistrés sont élevés plus de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ et la synthèse des résultats des études antérieures avec les nôtres nous donne une valeur moyenne de la transmissivité comprise entre 10^{-2} et $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les coefficients d'emmagasinement obtenus vont de 10^{-3} à 10^{-4} et les coefficients d'emmagasinement élastiques calculés par la méthode de Neuman lors d'une étude antérieure varient de 10^{-1} à 10^{-3} . Au cours de cette même étude antérieure à la notre, il a été déterminé toujours par la méthode de Neuman, la perméabilité verticale et la perméabilité horizontale dont le rapport $\frac{K_v}{K_h}$ est compris entre 10^{-2} et 1, d'où une anisotropie plus ou moins prononcée de l'aquifère sédimentaire selon les endroits où l'on se trouve.

Au niveau du socle métamorphique situé au nord, les aquifères étudiés ont des nappes en charge avec des débits très faibles ($0,6$ à $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$).

L'application des différentes méthodes nous permet d'estimer une transmissivité moyenne de $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emmagasinement moyen de 10^{-4} , valeur qu'il faut prendre avec réserve parce que nous ne disposions pas de piézomètres.

On note par ailleurs que les pertes de charges non linéaires calculées, lors des essais de pompages sur des forages du bassin sédimentaire représentant environ 6 à 17 % des rabattements maximum mesurés, sont nettement inférieures à celles déterminées dans les forages du socle, qui elles, varient entre 40 et 50 % des rabattements maximum obtenus.

La valeur relativement élevée des pertes de charges quadratiques au niveau des forages du socle pourrait s'expliquer par le fait que, lors du pompage, la hauteur de la surface de suintement (différence entre le niveau dynamique dans le forage et le niveau piézométrique dans l'aquifère au voisinage du forage) croît avec le rabattement dans l'aquifère pour atteindre une valeur maximale lorsque le rabattement

dans l'aquifère est voisin de la moitié de l'épaisseur de ce dernier. Or nous savons que l'épaisseur des aquifères du socle est faible et que la condition pour que le rabattement atteigne sa valeur maximale est vite remplie. A ce moment là, selon la loi de Darcy, la vitesse effective des filets liquides croît pour atteindre la vitesse critique qui correspond à un débit critique. Le débit critique étant atteint et la vitesse critique dépassée, le régime devient turbulent et le rabattement dans l'aquifère comme dans le forage n'est plus représenté que par le terme $S = CQ^2$ des pertes de charges quadratiques. Par conséquent le régime turbulent augmente les pertes de charges quadratiques diminuant ainsi le rendement des ouvrages.

CHAPITRE V

ETUDE PIEZOMETRIQUE

- V₁ : Introduction
- V₂ : Régime piézométrique
- V₃ : Etablissement et interprétation des cartes piézométriques
- V₄ : Zones d'alimentation de la nappe
- V₅ : Conclusion

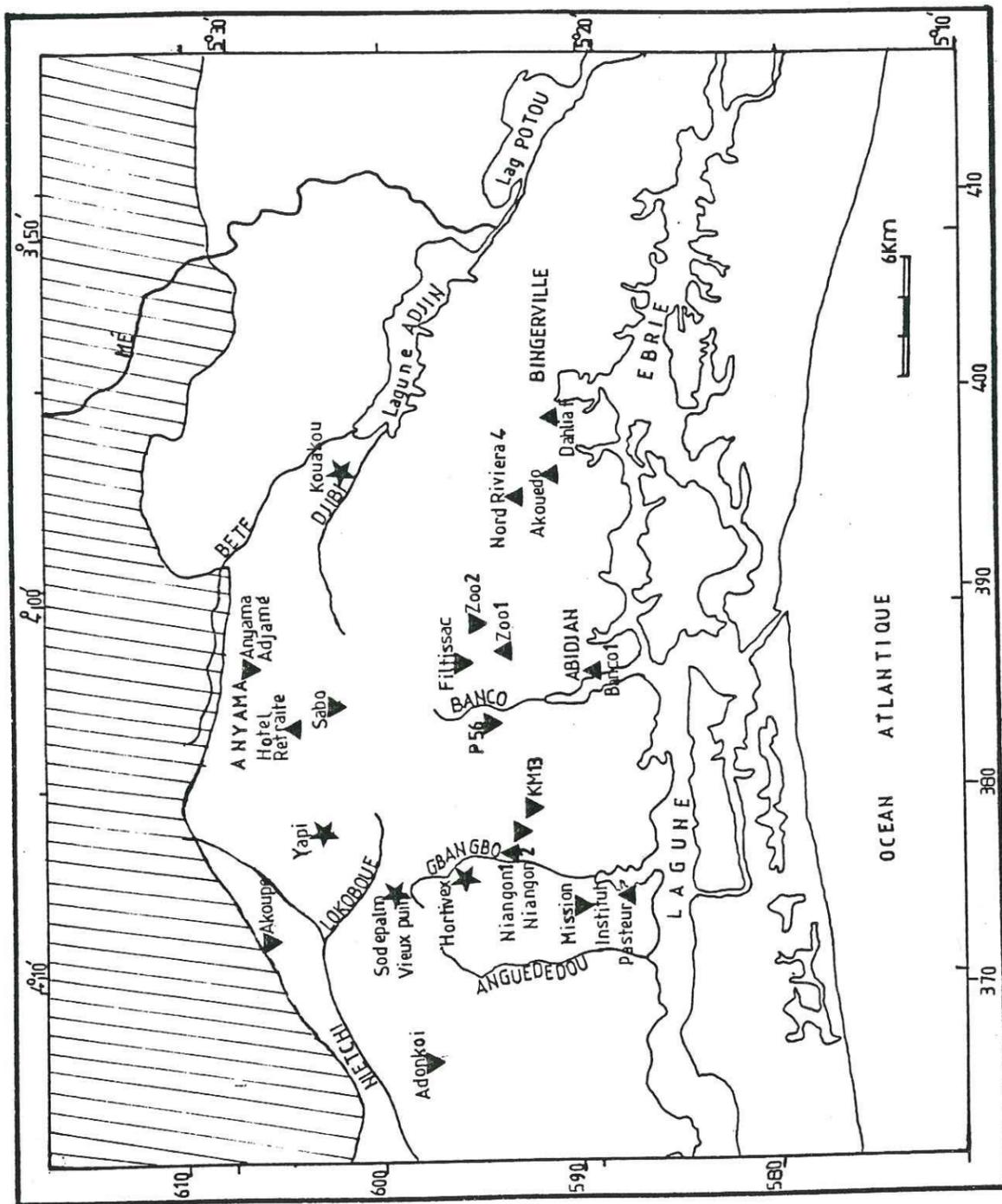


Fig V₁. CARTE DE SITUATION

DES POINTS D'EAU

▲ PIEZOMETRE

★ PUIITS

||| LIMITE DU SOCLE

CHAPITRE V ETUDE PIEZOMETRIQUE

V₁ Introduction

Lors des études antérieures, Sodemi et projet OMS, plusieurs piézomètres ont été exécutés en 1970.

En 1978 et 1980, la région a été l'objet d'une étude piézométrique dans le cadre du projet d'extension des exploitations de la nappe d'Abidjan.

Malheureusement, la plus grande partie de ces piézomètres ont été détruite ou bouchée à cause de l'urbanisation de la ville d'Abidjan.

Dans le cadre de nos travaux, nous avons recensé une vingtaine de piézomètres, de forages piézométriques et de puits qui ont servi lors des études précédentes.

Les forages de l'hydraulique villageoise, bien que très nombreux dans la région, n'ont pu être utilisés parce que ne comportant pas de système permettant de jauger le niveau de la nappe. Ce qui est vraiment regrettable. De ce fait, nous n'avons pu étendre l'étude piézométrique à la zone du socle comportant seulement des forages d'hydraulique villageoise.

Sur les piézomètres recensés, nous avons fait deux mesures périodiques en hautes eaux et en basses eaux.

La situation des points de mesures est donnée par la carte de la figure V₁.

Pour essayer de déterminer le sens d'écoulement et les zones possibles d'alimentation, nous avons dressé deux cartes piézométriques sommaires, vu le nombre très faible de piézomètres.

V₂ Régime de la nappe

Le régime de la nappe a été observé sur sept piézomètres dont les niveaux piézométriques sont relevés périodiquement deux fois par mois par les services de la Sodéci.

Nous donnons les résultats des mesures piézométriques des sept piézomètres pour l'année 1985 dans le tableau V₁.

Piézomètres	Prof (m) 15/1/85	Prof (m) 15/3/85	Prof (m) 15/6/85	Prof (m) 15/9/85	Prof (m) 15/12/85
Filtissac	86,05	86,37	86,78	87,05	87,26
Zoo 1	22,27	22,51	22,66	22,72	22,76
Zoo 2	39,59	39,89	40,28	40,47	40,62
Niangon 1	9,89	10,46	10,78	10,85	10,36
Niangon 2	17	17,16	17,43	17,41	17,40
Banco 1	4,31	4,38	4,37	4,37	4,40
Nord Riviera 4	26,58	26,82	27,16	27,47	27,67

Tableau V₁ : Valeurs des niveaux piézométriques relevés à différentes périodes de l'année 1985

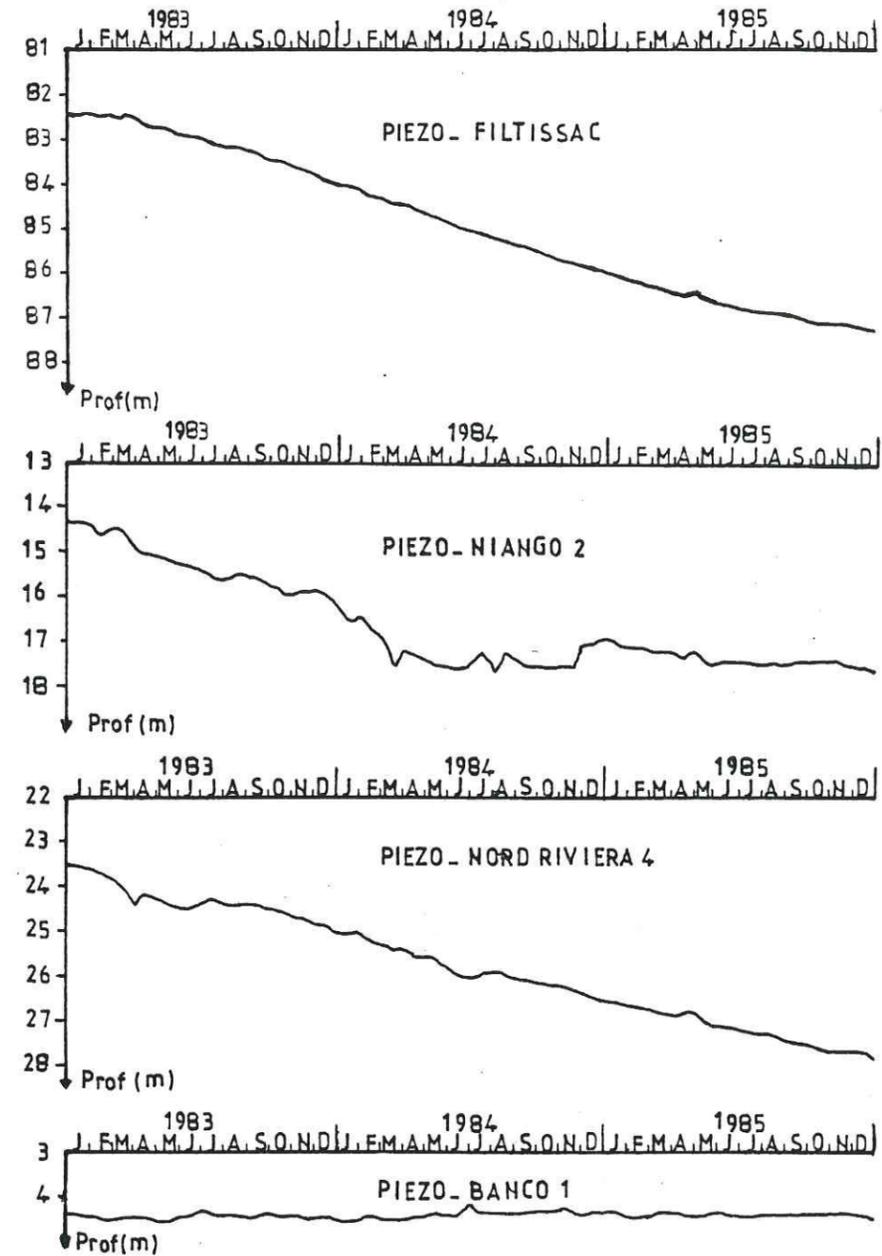
Nous avons représenté sur les figures V₂ - 3, les courbes des variations mensuelles des niveaux piézométriques au cours des trois dernières années (1983 - 1985).

A l'analyse des courbes, le premier constat qui s'impose est la tendance générale à la baisse des niveaux piézométriques. Seul le piézométrique Banco 1, situé près de la lagune a un niveau constant mais légèrement en baisse.

Au cours de la seule année 1982, les niveaux piézométriques sont remontés de 2 à plus de 3 mètres (Tableau V₂) dans les piézomètres traduisant une alimentation de la nappe.

C'est à partir de 1983 que les niveaux piézométriques ont commencé à baisser pour atteindre des valeurs en baisse de 0 à plus de 4 mètres (Tableau V₃).

Cette baisse générale est due au fait que l'alimentation naturelle de la nappe par les pluies n'arrive pas à



Histogramme des pluies mensuelles

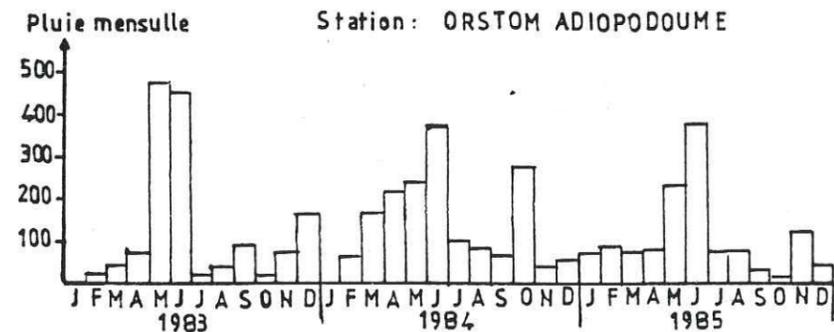
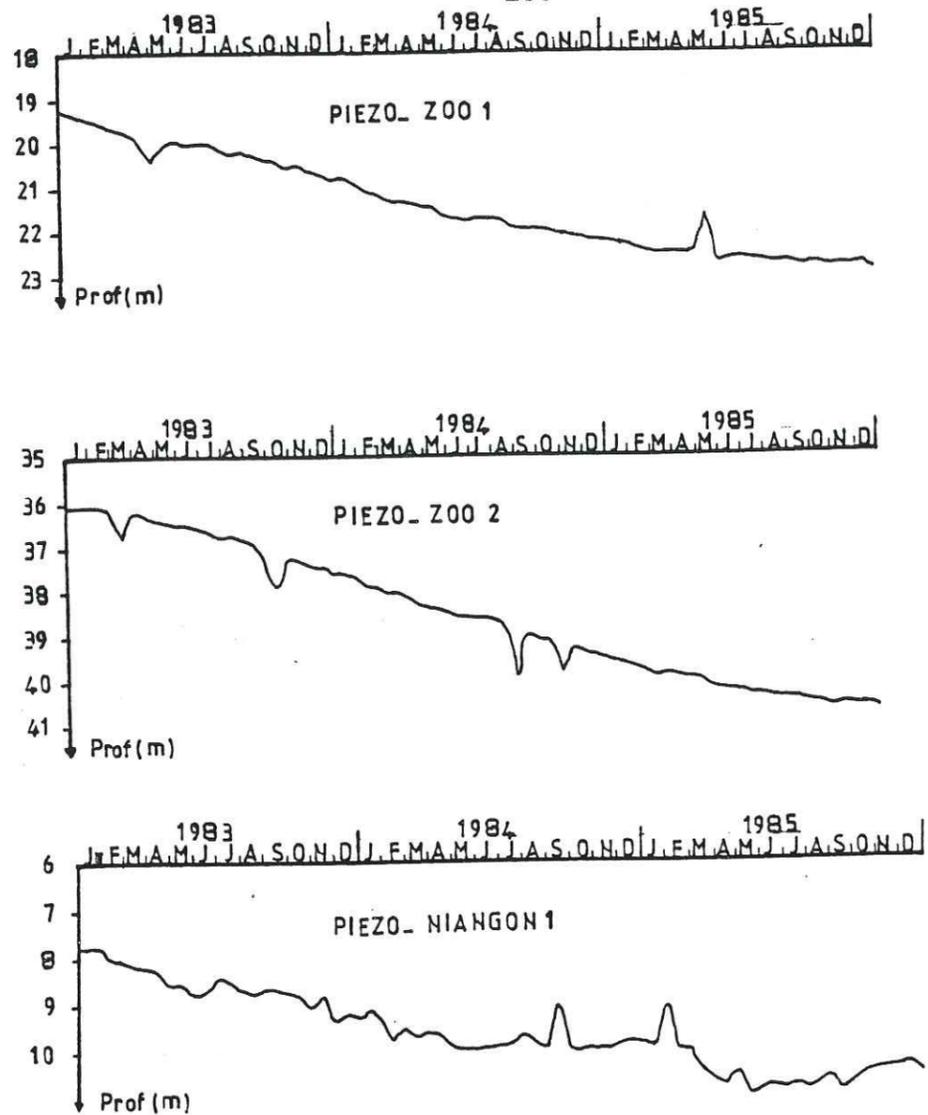


Figure V₂ : Variation des niveaux piézométriques mensuels
Période : 1983 - 1985



Histogramme des pluies mensuelles

Station: ORSTOM ADIOPODOUME

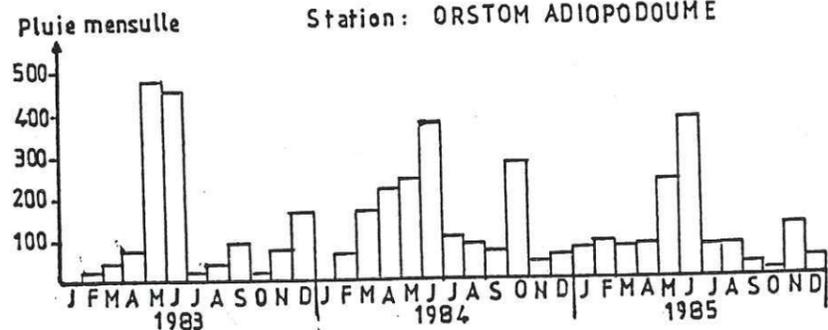


Figure V₃ : Variation des niveaux piézométriques mensuels
Période : 1983 - 1985

Piézomètres	Prof (m) 31/12/81	Prof (m) 31/12/82	hauteur (m) de la remontée des niveaux piézométriques
Filtissac	85,83	82,54	+ 3,21
Zoo 1	21,65	19,24	+ 2,41
Zoo 2	39,42	36,14	+ 3,28
Niangon 1	9,70	7,77	+ 1,93
Niangon 2	16,51	14,29	+ 2,22
Banco 1	4,31	4,37	- 0,06
Nord Riviera 4	26,51	23,41	+ 3,10

Tableau V₂ : Valeurs de la remontée des niveaux piézométriques en 1982

Piézomètres	Prof (m) 31/12/82	Prof (m) 31/12/85	Hauteur (m) de la baisse des niveaux piézométriques
Filtissac	82,54	87,31	- 4,77
Zoo 1	19,24	22,92	- 3,68
Zoo 2	36,14	40,73	- 4,59
Niangon 1	7,77	10,54	- 2,77
Niangon 2	14,29	17,48	- 3,19
Banco 1	4,37	4,47	- 0,10
Nord Riviera 4	23,41	27,81	- 4,40

Tableau V₃ : Valeurs de la baisse des niveaux piézométriques au cours des trois dernières années (1983 - 1985)

compenser les prélèvements très importants pour la ville d'Abidjan.

Ce déficit d'alimentation naturelle de la nappe a pour cause la sécheresse qui sévit, depuis l'année 1983, dans la région comme nous l'avons montré dans le chapitre sur l'hydro-climatologique.

Néanmoins, indépendamment de cette baisse généralisée des niveaux piézométriques, on observe des fluctuations très faibles des niveaux piézométriques de l'ordre du centimètre dues aux effets de la pluviométrie. Pour essayer de montrer la relation existant entre les fluctuations piézométriques et la pluviométrie, nous avons comparé les courbes des niveaux pluviométriques mensuelles (Figure V₂ - 3) à l'hystogramme des pluies mensuelles de la station pluviométrique Orstom Adiopodoumé compte tenu de son caractère représentatif de toutes les autres stations pluviométriques de la région.

Dans la majorité des cas, il faut attendre, selon les endroits où on se trouve, 1 à 3 mois après la grande saison des pluies (Mai, juin) pour voir une remontée des niveaux piézométriques.

D'où un décalage dans le temps de la remontée de la nappe selon les points où l'on se trouve.

Les fluctuations piézométriques dépendent de la profondeur à laquelle se trouve le niveau de la nappe ; c'est à dire de l'épaisseur de la couche superficielle qui surplombe la nappe. L'illustration est donnée par le piézomètre fil-tissac dont le niveau de la nappe se trouve à 82 mètres de profondeur sous une épaisse couche sablo-argileuse ocre (Terre de Barre). Le niveau piézométrique subit des variations légères, voire nulles avec un décalage important dans le temps.

Par contre les niveaux piézométrique des piézomètres Niangon 1 & 2, Zoo 1 qui sont situés relativement plus près de la surface réagissent aux effets de la pluviosité plus ou moins rapidement.

Les lentilles d'argiles sont aussi pour quelque chose dans le décalage dans le temps de la remontée des niveaux piézométriques et agissent par conséquent sur le mode d'alimentation

de la nappe.

V₃ Etablissement et interprétation des cartes piézométriques

A la suite de nos mesures périodiques des niveaux piézométriques, nous avons établi deux cartes piézométriques ne concernant que le bassin sédimentaire Figure V₄ & 5. Par manque de points de mesures, nous n'avons pu étendre la réalisation des cartes piézométriques à la zone du socle métamorphique.

La première carte piézométrique correspond à la saison sèche avec des relevés de niveaux piézométriques faits le 15/2/86. La deuxième carte piézométrique couvre la saison pluvieuse et les niveaux piézométriques ont été mesurés le 13/8/86.

Vu le nombre très faible de piézomètres par rapport à la superficie couverte et par rapport à l'échelle de la carte (1/200000), nous avons trouvé bon de prendre 10 mètres comme équidistance des courbes isopièzes.

Les gradients hydrauliques calculés vont de 0,2 % à 0,4 %. A l'analyse des deux cartes piézométriques établies à des périodes différentes, nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence au niveau de la morphologie de la nappe ; ce qui se justifie par la très faible variation des niveaux piézométriques.

Le sens général d'écoulement de la nappe, quelle que soit la période, est nord-sud avec deux variantes de sens d'écoulement coïncidant avec les axes des deux paléovallées mises en évidence par la carte du toit du socle. Les deux variantes du sens d'écoulement de la nappe sont orientées N.E-S.W. et N.W-S.E.. Ces deux axes d'écoulement empruntant ces deux paléovallées, confirment l'importance de la paléomorphologie dans la circulation et le stockage des eaux souterraines.

Sur nos cartes piézométriques, le rôle de drainage des cours d'eau sur la nappe n'est pas remarquable ; cependant une étude (Faillat et Squarcioni, 1978) réalisée dans la forêt du Banco a permis de mettre en évidence le rôle de drainage joué localement sur la nappe par le cours d'eau, figure V₆.

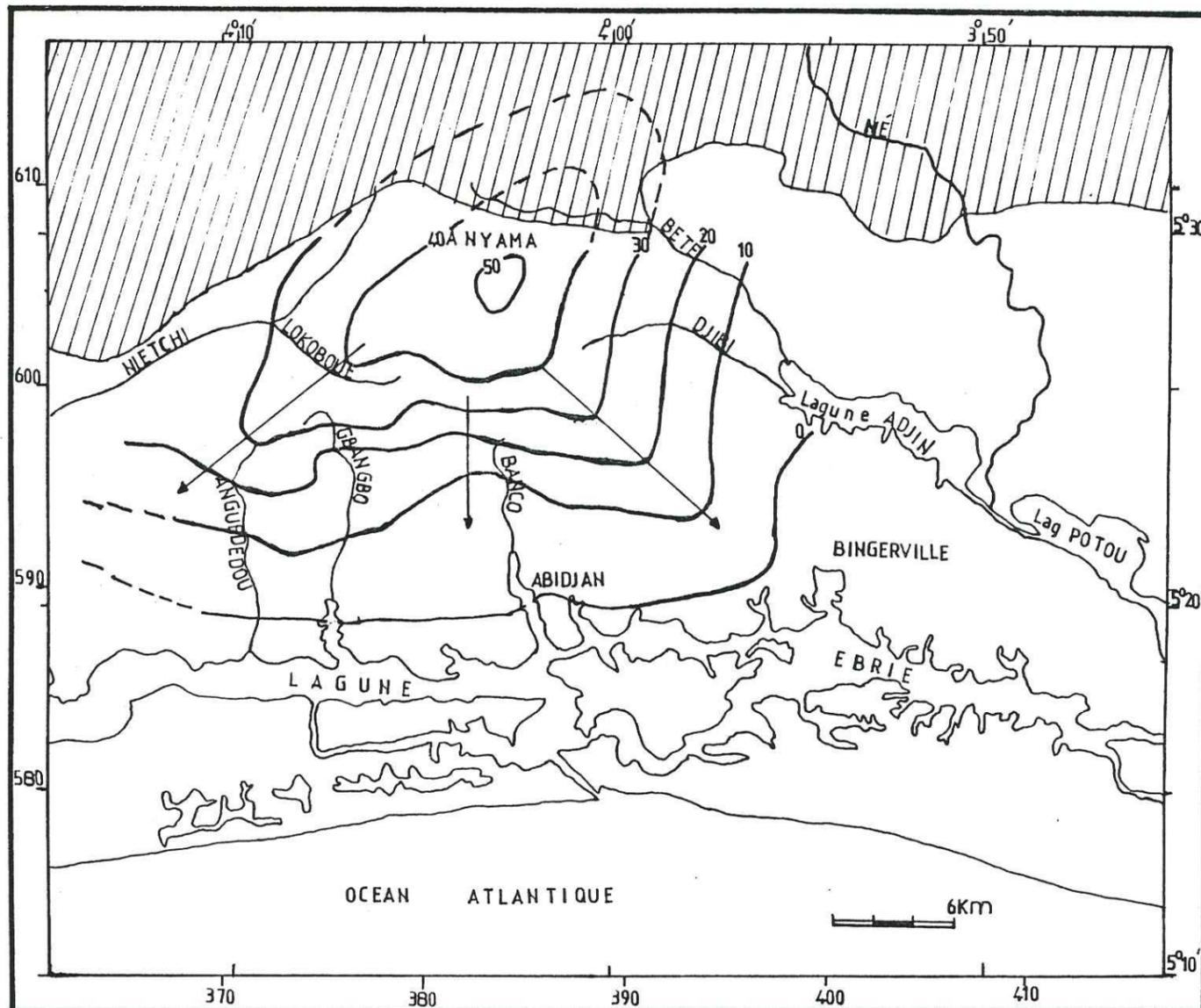
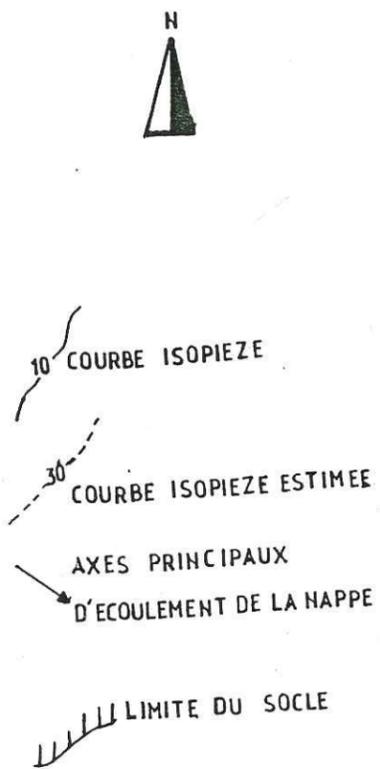


Figure V₄ : Carte piézométrique de la nappe du continental terminal. Basses eaux (Février 1986)

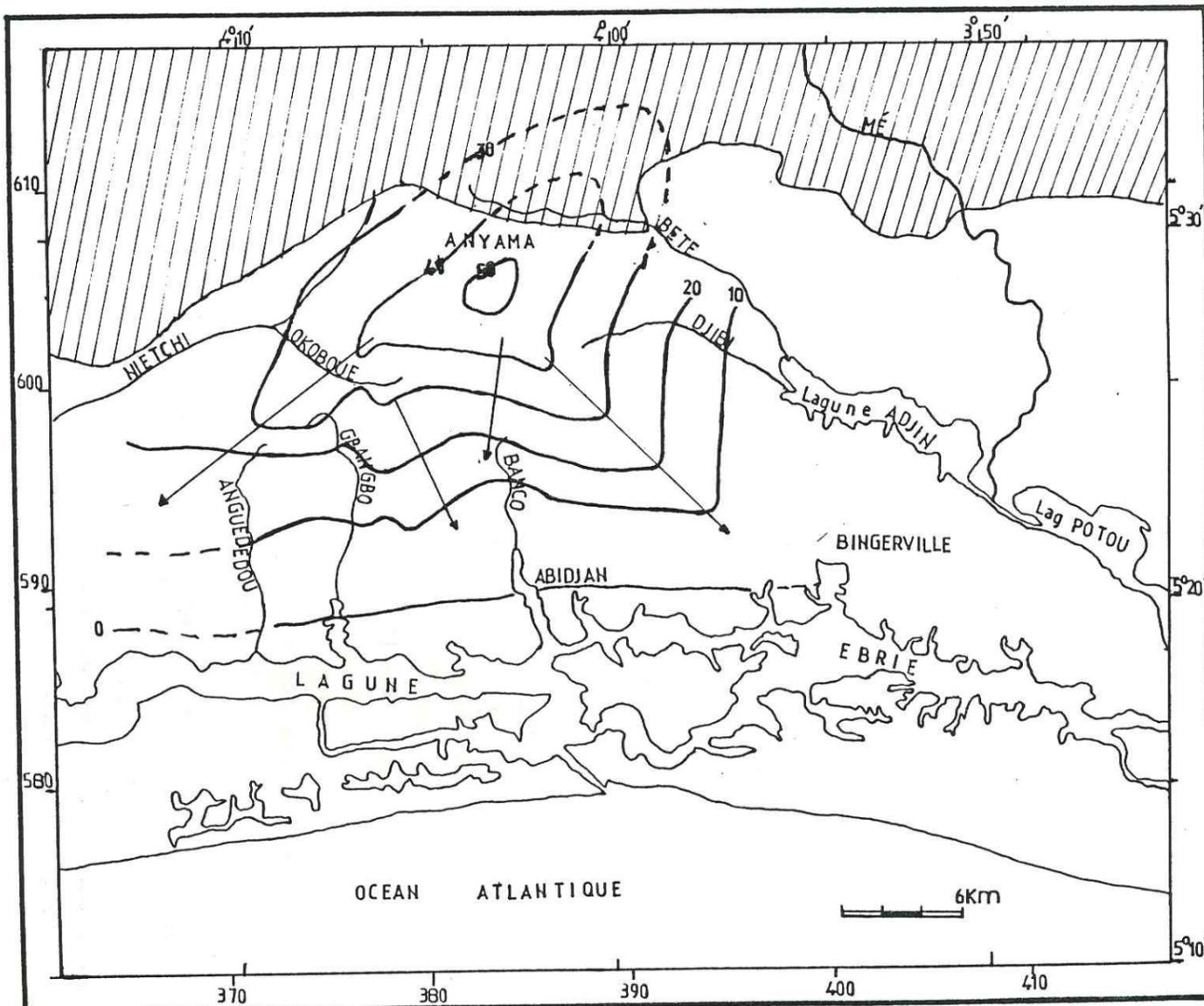
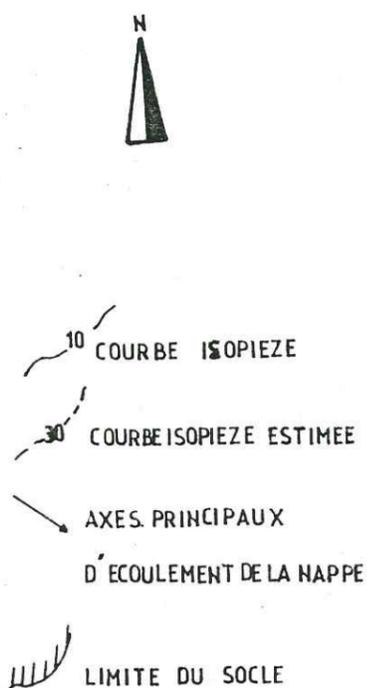


Figure V₅ : Carte piézométrique de la nappe du continental terminal. Hautes eaux (Août 1986)

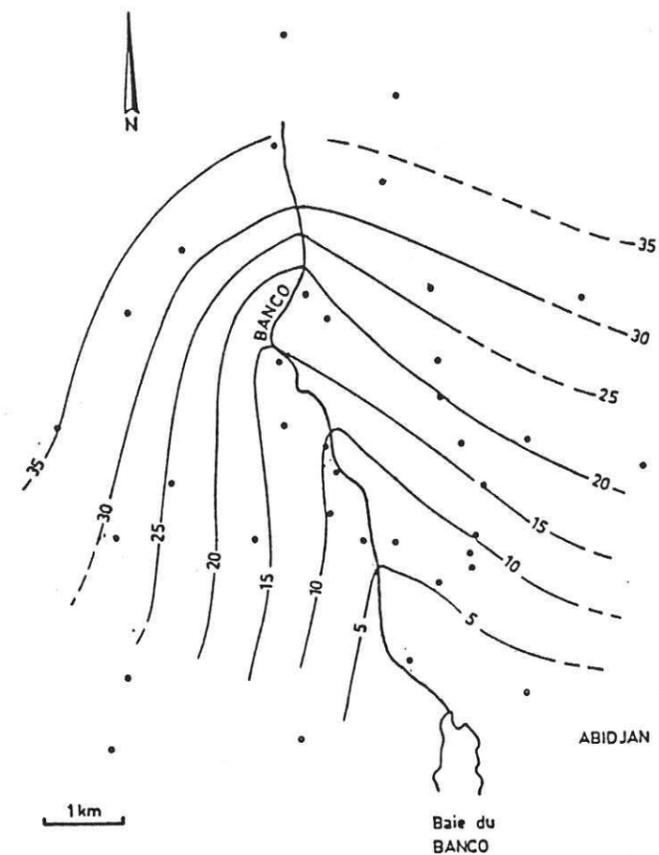


Figure V₆ : Piézométrie locale du Banco
(Faillat et Squarcioni, 1978)

Par ailleurs, les forages de prélèvement à gros débits ne semblent pas avoir, à l'échelle utilisée ici, un effet sur la morphologie de la surface de la nappe.

V₄ Zone d'alimentation

Le fait que les niveaux piézométriques varient (Figure V₄ & 5) sembleraient noter qu'il y a une alimentation sur presque toute la surface de la nappe avec des zones préférentielles suivant la nature lithologique des terrains qui surplombent la nappe.

L'existence au nord, dans la région d'Anyama, d'un dôme piézométrique autour de l'isopièze 50 avec des lignes de courant divergents pourrait d'ailleurs correspondre à une aire d'alimentation par l'eau des précipitations efficaces. Mais nous pensons qu'il y a une alimentation de la nappe du

continental terminal, au nord du bassin sédimentaire, par l'intermédiaire probablement de sa zone de contact avec le socle cristallophyllien. L'alimentation par la zone de contact en empruntant les paléovallées remblayées par les graviers décrits lors de l'étude géologique et aussi les fractures du socle.

Nous tenterons par l'étude hydrochimique de confirmer l'alimentation de la nappe du bassin sédimentaire par les eaux provenant du socle.

V₅ Conclusion

L'étude de l'évolution des niveaux piézométriques montre que la surface de la nappe du continental terminal est en baisse depuis les trois dernières années (1983 - 1985) ; avec une baisse atteignant parfois quatre mètres.

Cette baisse générale des niveaux piézométriques étant due au fait que l'alimentation naturelle de la nappe par les précipitations efficaces n'arrive plus à compenser les prélèvements très importants qui y sont effectués pour alimenter la ville d'Abidjan.

Cependant, en dehors de cette baisse générale du niveau de la nappe, celle-ci réagit à la pluviométrie un à trois mois, voire même plus, après la grande saison des pluies. Cette réaction à la pluviométrie est fonction de la profondeur à laquelle se trouve la nappe et de la nature lithologique des terrains qui la surplombent.

Le sens général d'écoulement de la nappe est nord-sud avec deux axes d'écoulement orientés N.E.-S.W. et N.W.-S.E., empruntant les axes des paléovallées mises en évidence par la carte du toit du socle.

La nappe est alimentée sur presque toute sa surface avec une zone d'alimentation probable au nord au contact du bassin sédimentaire avec le socle par l'intermédiaire des paléovallées remblayées et les fractures du socle. Compte tenu des perméabilités des fissures et du remplissage de ces

paléothalwegs et de leurs sections, les flux d'eaux souterraines qui transitent du socle vers le bassin sédimentaire sont limités et ne peuvent compenser les prélèvements réalisés par l'exploitation de la nappe du bassin sédimentaire.

CHAPITRE VI

ETUDE GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

- VI 1 Etude géochimique
 - VI 11 Introduction
 - VI 12 Caractéristiques des eaux
 - VI 13 Classification chimique des eaux
 - VI 14 Génèse de la minéralisation
 - VI 15 Origine du déséquilibre de la balance ionique
 - VI 16 Conclusion de l'étude géochimique
- VI 2 Etude isotopique
 - VI 21 Généralités
 - VI 22 Analyse et interprétation des résultats
 - VI 23 Conclusion

CHAPITRE VI

ETUDE GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

VI 1 Etude géochimique

VI 11 Introduction

L'étude a porté sur une centaine d'analyses chimiques d'eaux provenant de forages, de puits et des eaux de surface.

Les dosages ont été effectués à Abidjan au laboratoire de chimie de la SO.DE.MI. pour tous les ions majeurs exceptés les ions Cl^- et SO_4^{--} dont le dosage a été effectué au laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut Dolomieu.

Par souci de vérification, nous avons refait le dosage de tous les cations par spectrométrie d'absorption et d'émission atomique au laboratoire d'hydrologie de la faculté de pharmacie de Grenoble.

Nous présenterons au cours de ce chapitre les caractéristiques physiques, ainsi que les différents faciès des eaux souterraines.

Vu le P^{H} très acide de nos eaux et le déséquilibre presque systématique des balances ioniques de ces eaux en faveur des anions, nous avons tenté de savoir l'origine de ce déséquilibre des balances ioniques.

VI 12 Caractéristiques physiques des eaux

VI 12.1 Température

La température des eaux souterraines mesurée sur le terrain varie entre 24 °C et 28 °C avec une moyenne de 25 °C.

Il n'y a pas d'écart sensible entre la température moyenne des eaux souterraines et la température moyenne annuelle de l'air de la région.

VI 12.2 ^H_P

Les P^H mesurés varient entre 4 et 6 dont la moyenne calculée sur l'ensemble des échantillons est de 5,2 avec un écart-type de 0,8. Le fait remarquable est le caractère très acide de ces eaux. Cette caractéristique particulière sera abordée dans le paragraphe sur l'origine du déséquilibre des balances ioniques.

VI 12.3 Conductivité

La conductivité moyenne des eaux de forages est de 46 µs/cm pour une plage de variation allant de 20 µs/cm à 150 µs/cm.

La variation de la conductivité des eaux de puits est comprise entre 20 µs/cm et 330 µs/cm pour une moyenne de 105 µs/cm.

Dans le cadre de notre étude nous n'avons pas pu doser le résidu sec mais des résultats de dosages de travaux antérieurs sur des eaux de forage (SO.DE.CI / Adjamé) donnent pour des conductivités comprises entre 50 et 100 µs/cm des résidus secs de l'ordre de 40 à 70 mg/l.

Au niveau des forages, les valeurs de conductivité élevées sont enregistrées sur des forages situés au nord, où le socle est en contact avec la bassin sédimentaire. Ces valeurs relativement élevées sont liées aux teneurs en ions HCO₃⁻ élevées dans les eaux.

Par contre les valeurs élevées de conductivité sur les puits sont liées aux ions NO₃⁻ dûs à la pollution par les engrais agricoles.

Cette zonalité verticale de la conductivité est due au fait que les puits étant moins profonds que les forages, les eaux des puits sont plus exposées aux pollutions.

VI 13 Classification chimique des eaux

Les principaux ions contenus dans les eaux et dont le

dosage permet de caractériser chimiquement une eau sont regroupés sous deux formes :

- Cations : Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺
- Anions : CO₃⁻⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻⁻, Cl⁻

Pour réaliser cette classification chimique des eaux, nous nous sommes aidés du diagramme logarithmique de Schoeller dont le principe est basé sur l'importance des principaux anions et cations.

Nous avons également utilisé le diagramme losangique de Piper dont la méthode consiste à reporter dans chaque triangle approprié les r % de chaque cation et anion. Les deux triangles donnent chacun un point triple et de ces deux points nous obtenons un point unique dans le losange qui représente la nature chimique de l'échantillon considéré, figure VI₁

La synthèse de ces deux types de diagrammes permet de distinguer deux grandes familles chimiques dans les eaux analysées :

- eaux bicarbonatées ;
- eaux chlorurées.

VI 13.1 Les eaux bicarbonatées

Elles représentent près de 40 % des eaux analysées et leur caractéristique première est la prédominance de l'ion HCO₃⁻ sur les autres ions. Bien qu'elles soient toutes bicarbonatées, les distinctions de sous-classes ne peuvent se fonder que sur les teneurs en cations. Ainsi nous aurons les faciès chimiques suivants.

VI 13.1.1 Les eaux bicarbonatées sodiques
(Figure VI₂)

La formule caractéristique est la suivante avec

$$r \text{ HCO}_3 > r \text{ Cl} > r \text{ SO}_4$$

$$\text{et } r (\text{Na} + \text{k}) > r \text{ Mg ou } r \text{ Ca}$$

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

18 AOUT 2003

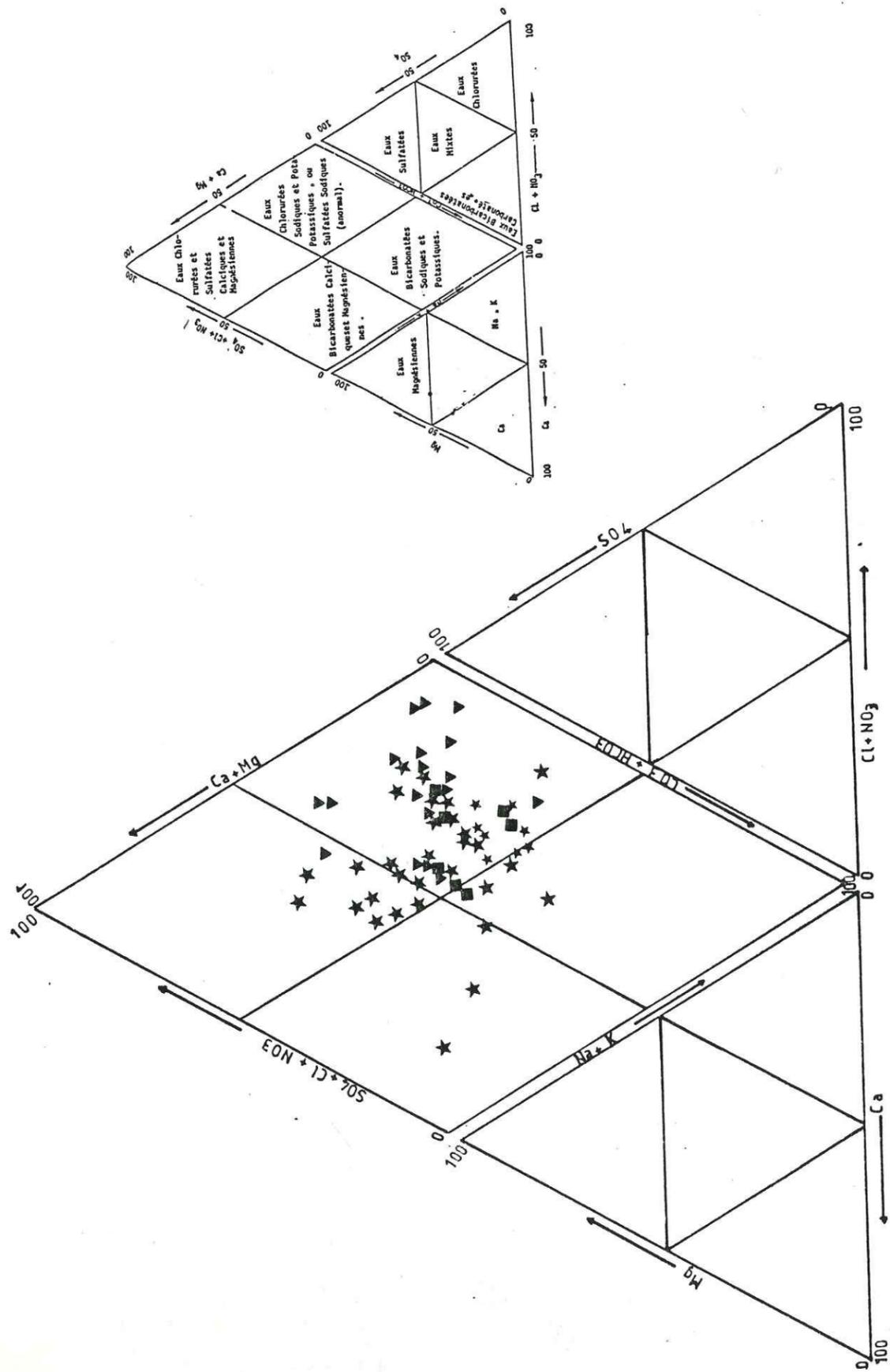


Fig VI₁ : Diagramme de Piper

- ★ Eaux de forages
- Eaux de surface
- ▼ Eaux de puits

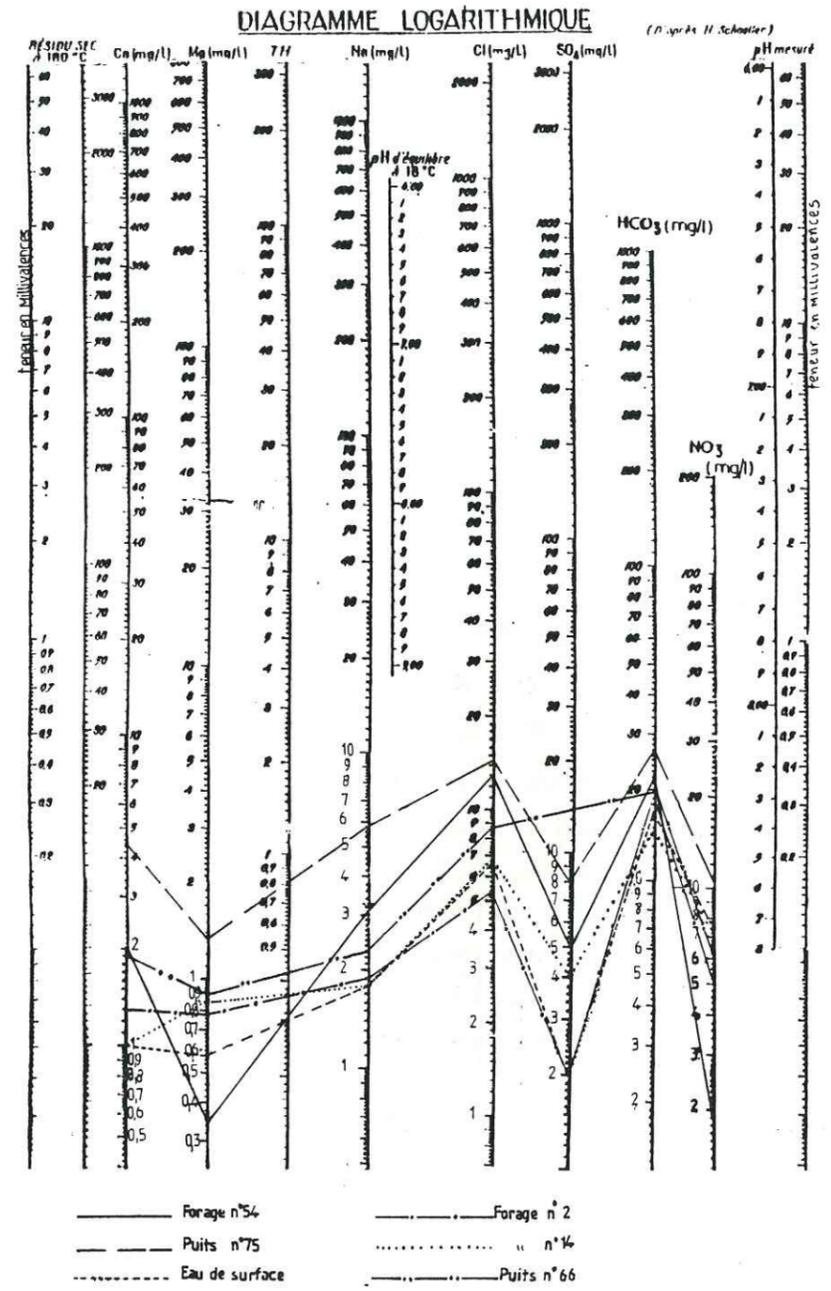


Fig VI₂ : Eaux bicarbonatées sodiques

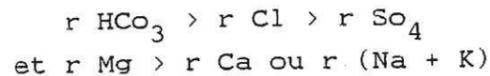
Ce sous-type est le plus fréquent au niveau des eaux bicarbonatées et on le rencontre au niveau des forages comme des puits.

L'analyse du diagramme de Schoeller permet de constater, dans la majorité des eaux représentées, une prépondérance de la teneur en ion Cl^- sur l'ion SO_4^{--} excepté l'eau du puits P_{66} où nous avons le cas contraire.

Les concentrations des éléments chimiques majeurs évoluent dans la même fourchette eu égard au parfait parallélisme existant entre les courbes. Ce qui ne permet pas de faire une différence entre les eaux de puits et de forage. Cependant, on note que la teneur en ions Mg^{++} et Ca^{++} est relativement plus élevées sur les puits (P_{66} et P_{75}) qui, il faudrait le noter, sont tous deux situés près de la lagune.

VI 13.1.2 Les eaux bicarbonatées magnésiennes
(Figure VI₃)

Nous avons comme formule caractéristique :



Ce sous-type n'a été rencontré seulement qu'au niveau de quatre forages (F_{68} , F_{56} , F_{34} , F_{42}).

Le diagramme de Schoeller illustre bien au niveau de ce sous-type la dilution progressive des concentrations chimiques suivant un profil qui va du nord vers le sud.

Les eaux dont la concentration est la plus élevée se retrouvent au niveau des forages F_{68} et F_{56} situés dans la zone nord où le bassin sédimentaire est en contact avec le socle métamorphique. On note sur ces forages des valeurs en ions HCO_3^- , Mg^{++} et Ca^{++} plus fortes.

Lorsqu'on descend plus au sud, on observe une diminution des concentrations en éléments chimiques, due à un effet de dilution dont nous parlons plus haut, sur les forages F_{34} et F_{42} . Il faut néanmoins noter que la teneur en ion Mg^{++} est relativement élevée par rapport à la moyenne enregistrée

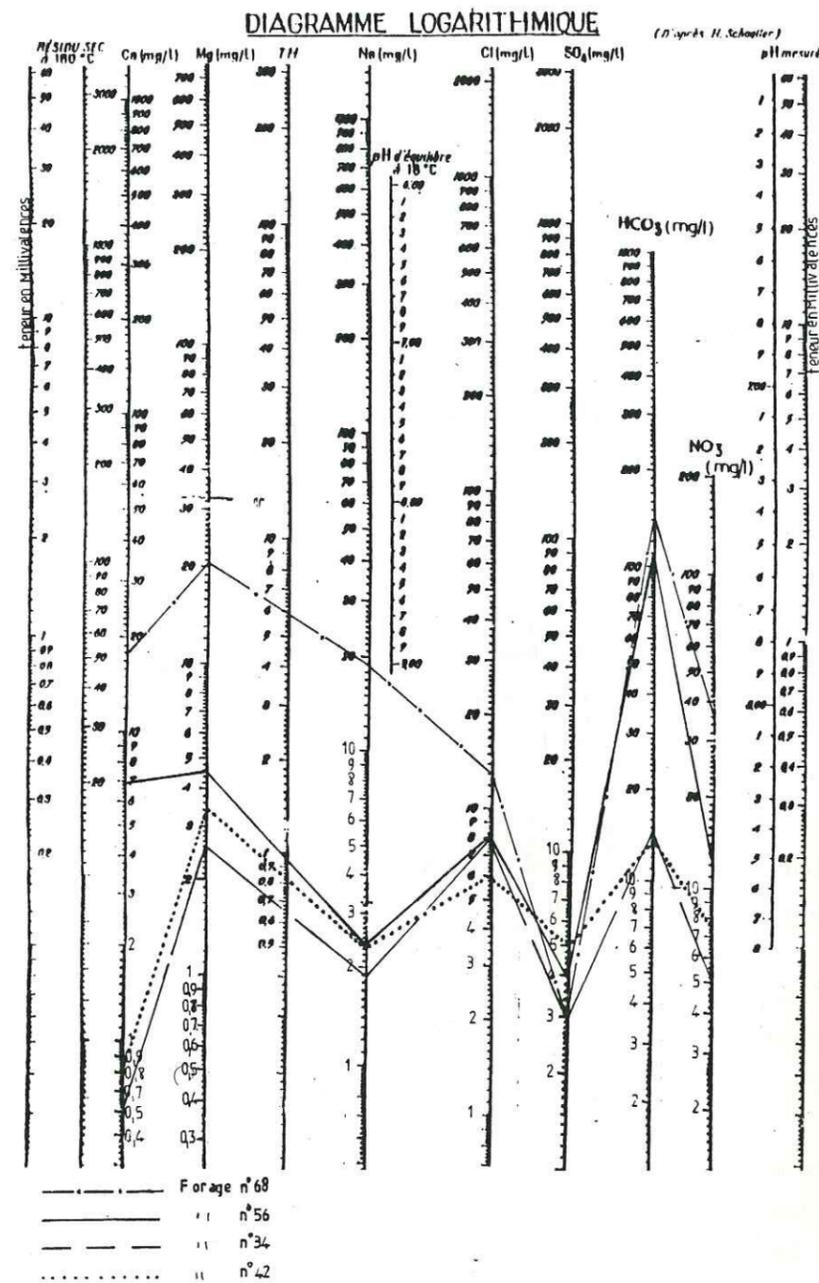


Fig VI₃ : Eaux bicarbonatées magnésiennes

sur les eaux de forages, bien que celle-ci soit inférieure à la teneur en magnésium des eaux des deux forages cités plus haut (F₆₈ et F₅₆).

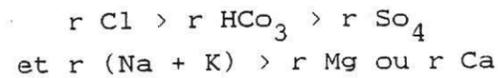
VI 13.2 Les eaux chlorurées

Ces eaux représentent plus de 50 % des échantillons analysés. La prédominance de l'ion chlorure sur les bicarbonates n'est pas trop marquée mais l'élévation de la teneur en ion Cl⁻ s'accompagne presque toujours de celle de l'ion Na⁺.

La distinction de sous classes se fera en fonction des cations. Ainsi nous aurons.

VI 13.2.1 Les eaux chlorurées sodiques (Fig VI₄)

La formule caractéristique de cette sous-classe est la suivante :



Toutes les eaux de surface analysées, ainsi que la majeure partie des eaux de forages et des puits appartiennent à cette sous-classe.

Le rapport r Na/r Cl est presque toujours inférieur à 1. Bien qu'il semble exister une relation entre le sodium et le chlore, la teneur en ion chlorure est nettement plus élevée que celle du sodium.

Les forages et les puits dans lesquels est observée cette catégorie d'eau sont tous situés le long de la lagune exceptés le forage F₂₇ et le forage Ebimpé situés tous deux au nord.

L'analyse du diagramme de Schoeller montre au niveau des forages une diminution de concentration du nord au sud illustrée par les forages (F₂₇, F Ebimpé) se trouvant au nord et les forages F₄ et F₁₂ situés plus au sud.

On note les teneurs en ions HCO₃⁻, Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺ relativement élevées sur les forages F₂₇ et F Ebimpé qui doivent ces

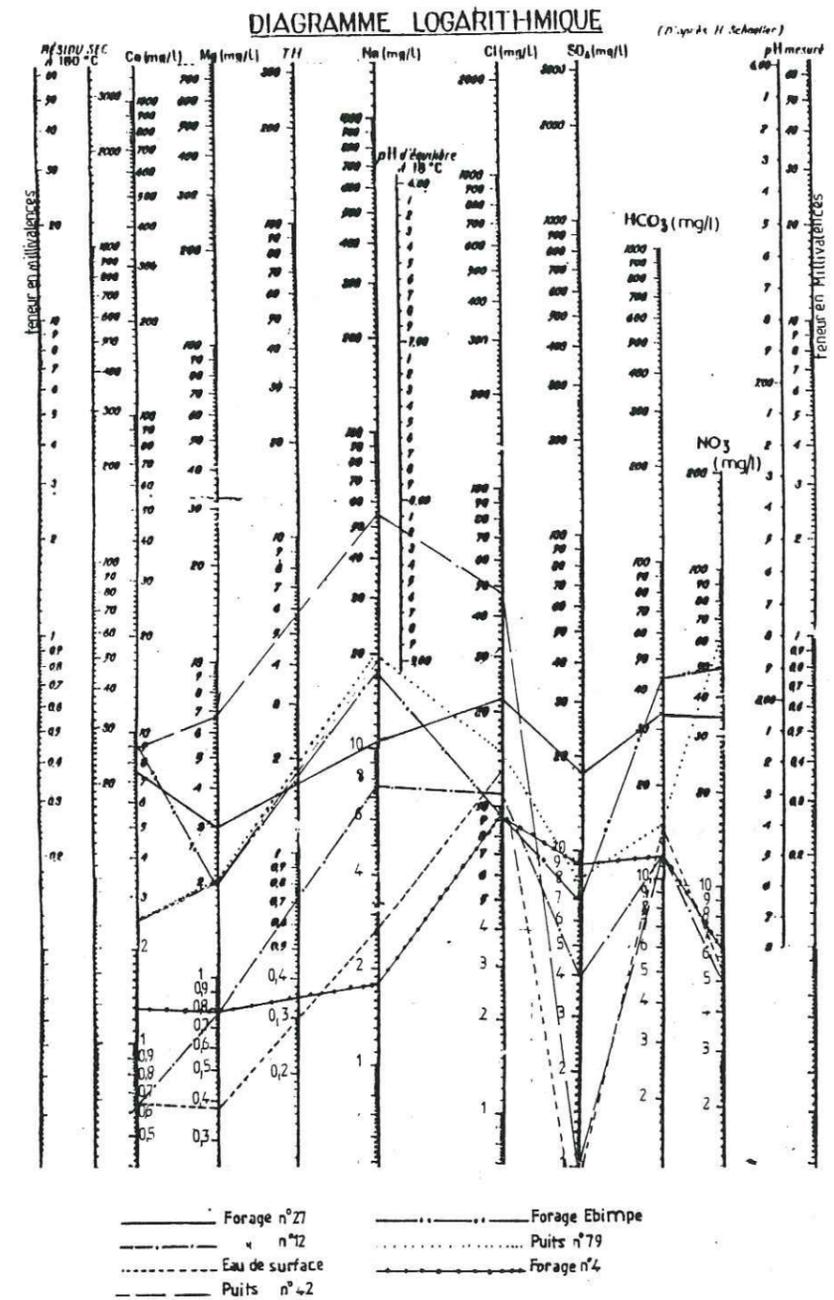
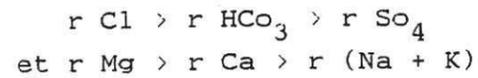


Fig VI₄ : Eaux chlorurées sodiques

concentrations élevées en ces ions grâce aux minéraux plus solubles provenant du socle métamorphique.

VI. 13.2.2 Les eaux chlorurées magnésiennes Fig VI₅

La formule caractéristique de ce sous-type est la suivante :



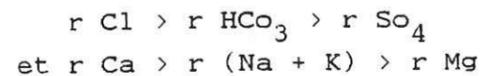
Ce type d'eau est exceptionnel et a été retrouvé au niveau du puits P_{27/101} situé au bord de la lagune dans la région de Bingerville et plus au nord dans le forage F₆₉ situé près de la zone de contact entre le socle métamorphique et le bassin sédimentaire.

La représentation sur le diagramme Schoeller de ces deux eaux montre un parallélisme entre les deux courbes.

L'eau du puits P₃₇ est relativement plus concentrée en tous les ions sauf pour le magnésium où la teneur en cet ion au niveau du forage F₆₉ est plus élevée. Cet apport en magnésium est dû probablement à la présence du socle métamorphique.

VI 13.2.3 Les eaux chlorurées calciques Fig VI₆

Nous avons la formule caractéristique suivante :



On retrouve ce type d'eau au niveau des forages F₃₁, F₅₂, F₁₃ et F₃₈ tous situés le long de la lagune.

Le diagramme de Schoeller indique une homogénéité au niveau de la concentration chimique des différentes eaux des forages sauf les teneurs en cations du forage F₃₁ qui sont relativement inférieures à celles des autres forages.

VI 14 Génèse de la minéralisation

D'après Schoeller (1951) l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines se fait lors de l'infiltration

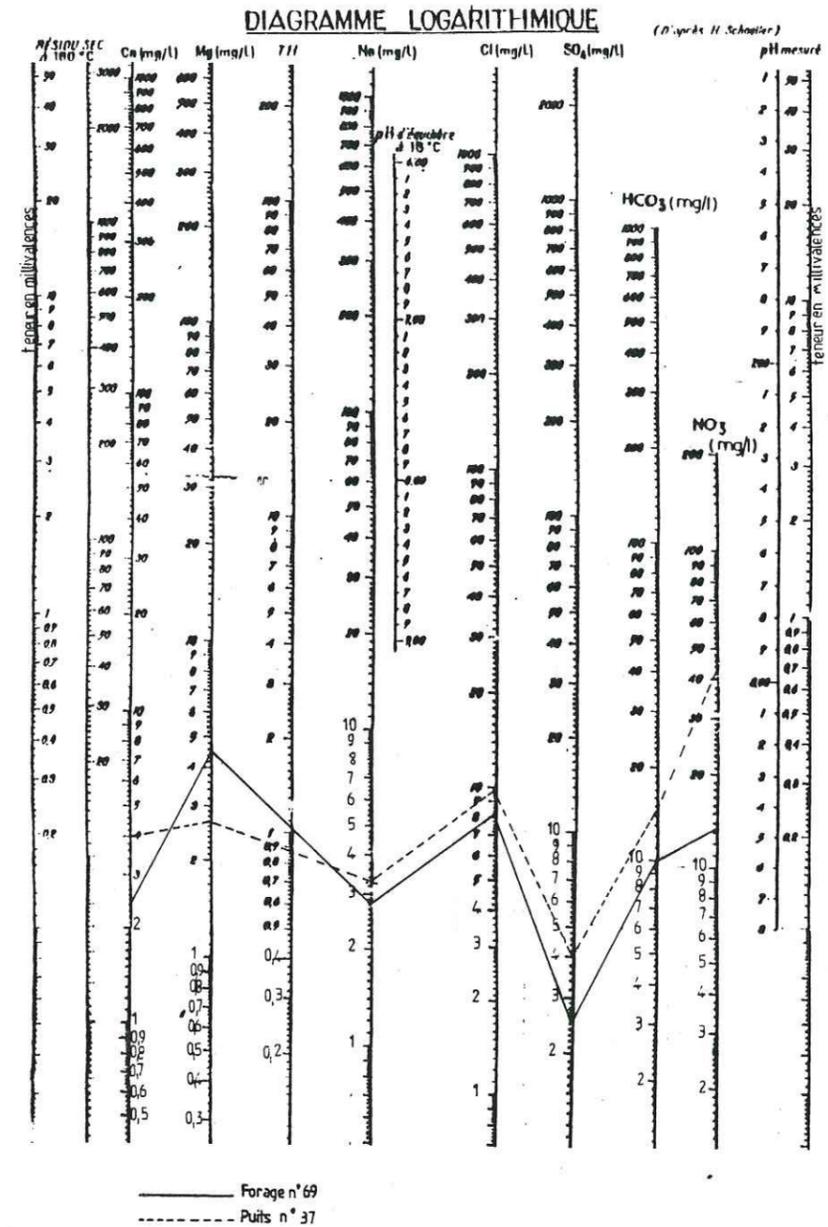


Fig VI₅ : Eaux chlorurées magnésiennes

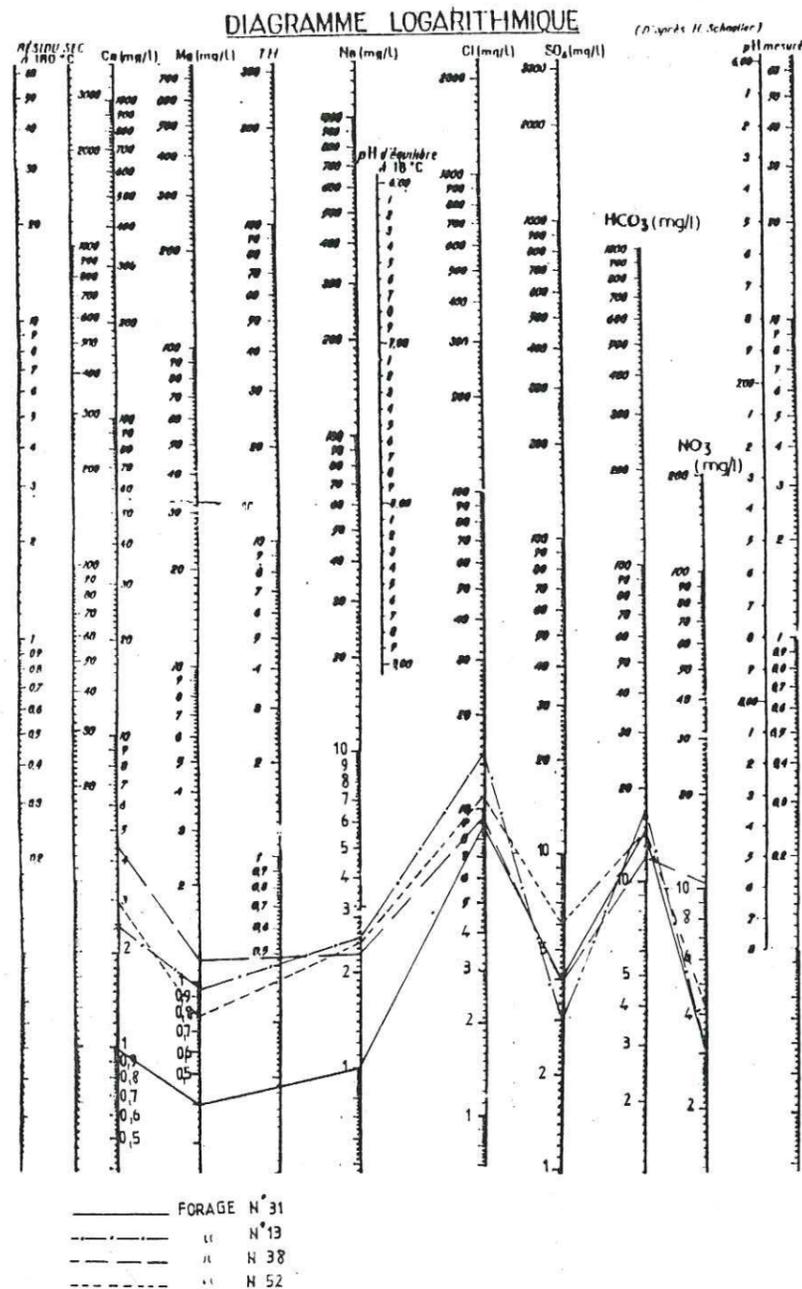


Fig VI₆ : Eaux chlorurées calciques

par dissolution et attaque chimique des substances minérales contenues dans le sol et la zone d'altération. Au cours de l'écoulement souterrain, la composition chimique des eaux subit des modifications qui sont fonctions de la durée de circulation, des échanges de bases, des conditions de contact et de la nature géologique des terrains traversés.

VI 14.1 Indice d'échange de base (i.e.b.)

Certaines roches dites permutantes peuvent céder à l'eau des alcalins contre des alcalino-terreux ou vice versa. Les échanges ioniques entre les eaux et des terrains encaissants seront étudiés en considérant l'indice d'échange de base (i.e.b.).

Selon Schoeller (1951) l'échange de base peut s'exprimer par les rapports ou indices suivants :

$$i.e.b. = \frac{r Cl^- - r (Na^+ + K^+)}{r Cl^-}$$

Cet indice est positif lorsque $r Cl^- > r (Na^+ + K^+)$, dans ce cas les eaux échangent leurs ions Na^+ et K^+ contre des ions Ca^{++} et Mg^{++} du terrain.

Dans le cas où $r Cl^- < r (Na^+ + K^+)$ est négatif, les eaux cèdent leurs ions Ca^{++} et Mg^{++} contre les ions Na^+ et K^+ du terrain. A ce moment là, il est préférable de calculer l'i.e.b. par la formule suivante :

$$i.e.b. = \frac{r Cl^- - r (Na^+ + K^+)}{r SO_4^{--} + r HCO_3^- + r NO_3^-}$$

Tout ceci s'opère en admettant qu'avant l'échange il y avait primitivement l'équilibre :

$$r Na + r K = r Cl \text{ et } r Ca = r SO_4 + HCO_3$$

Dans le cadre de notre étude, les eaux de forages ont en général un indice d'échange de base positif exceptées les eaux des forages situés dans la zone nord (F₅₈, F₆₈, F₂₇, F Ebimpé). Ce résultat voudrait en principe dire que les eaux de forages échangent leurs ions Na^+ et K^+ contre des ions Ca^{++} et Mg^{++} des terrains.

Mais selon Schoeller (1962), ce déséquilibre qui existe entre le chlore et les alcalins n'est pas toujours une caractéristique d'échanges de bases en ce sens que l'eau de mer a un rapport $r \frac{Cl - (Na^+ + K^+)}{Cl}$ positif sans qu'il y ait eu nécessairement échange de bases.

Les eaux provenant de l'altération des roches cristallines et cristallophylliennes ont à peu près toujours un rapport $r \frac{Cl - (Na + K^+)}{Cl}$ ou $r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{SO_4^{--} + HCO_3^- + NO_3^-}$ négatif. Schoeller (1962), or il se trouve que les indices d'échange de bases négatifs proviennent des forages situés tous au nord près de la zone de contact entre le bassin sédimentaire et la roche métamorphique schisteuse. Ce qui nous amène à dire que les eaux de ces forages profonds situés dans le bassin sédimentaire proviendraient du socle métamorphique.

Au niveau des puits qui sont moins profonds, l'indice d'échange de base est en général négatif, ce qui veut dire que les eaux parvenant aux puits ont échangé leurs ions Ca^{++} et Mg^{++} contre les ions Na^+ et K^+ des terrains. Ce résultat est en conformité avec la nature argileuse des terrains dans lesquels sont creusés les puits.

VI 14.2 Origine des ions

La classification chimique de nos eaux nous a donné deux grandes familles et met en évidence des conditions distinctes dans l'acquisition de la minéralisation.

La grande caractéristique de nos eaux est qu'elles sont très peu minéralisées, ceci étant dû à l'absence de minéraux solubles dans le bassin sédimentaire.

VI 14.2.1 Calcium - Magnésium

Les teneurs en calcium des eaux sont généralement faibles avec une moyenne de 2 mg/l au niveau des forages et de 5 mg/l pour les puits. Le maximum de 20 mg/l a été observé sur le puits P₆₅ à Achokoi.

La moyenne des concentrations en calcium reflète la teneur en calcium des eaux des sables et grès purement siliceux. Bien qu'il n'existe pas de minéraux riches en calcium sur notre terrain, le calcium proviendrait des marnes et des plagioclases.

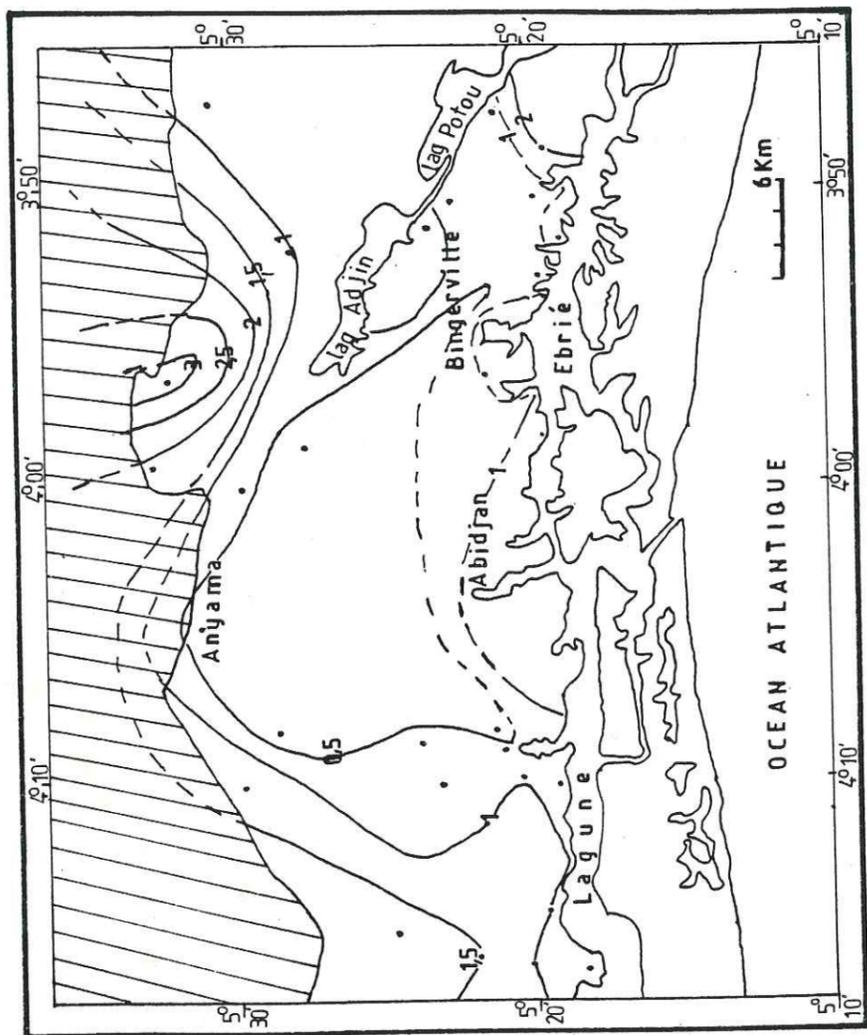
Les concentrations en magnésium restent généralement faibles : 2 mg/l en moyenne avec un maximum de 20 mg/l observé sur le forage F₆₈. Certaines contiennent moins d'un mg/l. Les eaux des forages situés les plus au nord, près du contact entre le socle et le bassin sédimentaire ont des teneurs en magnésium plus élevées. Ce magnésium provient des roches ferromagnésiennes du socle métamorphique.

Pour étudier le chimisme de l'eau dans la nappe, nous avons établi le rapport $r \frac{Mg}{Ca}$. Nous constatons que le rapport est supérieur à 1 vers le nord et décroît progressivement jusqu'à devenir inférieur à 1 en allant vers le sud, pour redevenir supérieur à 1 au bord de la lagune. L'illustration est donnée par la carte des équirapports $r \frac{Mg}{Ca}$. Figure VI₇.

Le chimisme de l'eau souterraine étant en rapport avec celui de la roche qu'elle lessive et baigne, ce fait va se traduire dans les eaux baignant des roches schisteuses du socle situées au nord, par des concentrations élevées en magnésium avec un rapport $r \frac{Mg}{Ca} > 1$. Cette eau minéralisée au contact de l'eau du bassin sédimentaire peu minéralisée va subir une dilution progressive au fur et à mesure qu'on descendra plus au sud. Ce qui nous donne un rapport $r \frac{Mg}{Ca} < 1$. Ce fait nous amène à penser qu'il y a une alimentation de la nappe du bassin sédimentaire au nord en son contact avec le socle schisteux probablement par d'anciens talwegs cachés et remblayés ou par les fissures profondes affectant le socle.

VI 14.2.2 Sodium - Potassium

Les teneurs en sodium sont relativement faibles : 9 mg/l en moyenne avec des concentrations légèrement plus élevées au niveau des puits. Nous avons constaté une relation entre les



— 2 — Courbe d'egal
rapport r $\frac{Mg}{Ca}$

Limite du
socle

Fig VI₇ : Carte d'équirapports r $\frac{Mg}{Ca}$

ions chlorures et les ions sodium en ce sens qu'une augmentation des teneurs au niveau du chlore s'accompagne presque toujours d'une augmentation de la teneur en sodium. Le sodium proviendrait en partie des minéraux argileux et des eaux météoriques relativement riches en ClNa compte tenu de la proximité de l'océan.

Les teneurs en potassium sont très faibles : 2 mg/l en moyenne. Ces faibles teneurs s'expliqueraient par l'absorption par les plantes d'une part (R. Rapp, 1971 in Savadogo, 1984) et d'autre part par la fixation de cet élément par les minéraux argileux et les colloïdes. Les roches cristallines de la région sont d'ailleurs plus riches en plagioclases qu'en feldspath potassiques.

VI 14.2.3 Bicarbonates

Par leur Ph très acide (5 en moyenne), les eaux souterraines de la région ne contiennent que des ions HCO_3^- et pas d'ions CO_3^{--}

La teneur moyenne en bicarbonate est de 21 mg/l. Le maximum de 147 mg/l a été observé au niveau du forage F₆₈ situé dans la zone de contact entre le socle métomorphique et le bassin sédimentaire.

Pour l'ensemble de nos eaux, les bicarbonates proviennent des bicarbonates contenus dans les eaux de pluies et de la dissociation de l'acide carbonique formé par la réaction entre le CO_2 atmosphérique et l'eau du sol.

VI 14.2.4 Chlorures

Les teneurs en ion chlore sont faibles avec une moyenne de 11 mg/l, mais nous observons des concentrations relativement plus élevées au niveau des puits.

Vue la proximité de la côte, une grande partie du chlore proviendrait des eaux de précipitation. Cette différence de concentration entre la teneur en chlore des eaux de forage et celle des eaux de puits serait due à une

surconcentration des chlorures par évaporation du fait des difficultés de circulation des eaux au niveau des formations sablo-argileuses latéritiques de la terre de Barre,

VI 14.2.5 Les sulfates

Comme pour tous les autres éléments de nos eaux, les teneurs en sulfates sont faibles avec une moyenne de 6 mg/l. Il y a même certaines eaux qui n'en contiennent pas. La concentration maximum de 18 mg/l a été enregistrée au niveau du forage F_{27/164} situé dans la zone nord près du contact socle et le bassin sédimentaire.

Les sulfates de cette eau pourraient provenir de la décomposition de la pyrite présente dans les formations schisteuses du socle. Pour l'ensemble des eaux les sulfates proviennent probablement des eaux de pluies.

VI 14.2.6 Les nitrates

Les eaux de forages contiennent des nitrates mais en faible quantité avec une moyenne de 10 mg/l. Par contre les teneurs en nitrates des eaux de puits sont relativement élevées. On note une moyenne de 52 mg/l avec un maximum de 202 mg/l relevé sur le puits P₄₂ situé dans la région de Bingerville près de la lagune.

La région étant en grande partie agricole, les nitrates proviennent des engrais utilisés pour l'agriculture et aussi des phénomènes intenses de nitrification due au couvert végétal. On peut aussi ajouter une pollution due aux rejets d'eaux usées dans le sol.

VI 15 Origine du déséquilibre de la balance ionique

Lors du calcul des balances ioniques des échantillons analysés, nous avons constaté que celles-ci étaient systématiquement déséquilibrées en faveur des anions. Le même phénomène avait été observé au cours de travaux antérieurs.

Le déséquilibre peut provenir soit :

- de l'existence de cations non dosés ;
- des erreurs de dosages.

Nous avons refait le dosage des cations par la méthode de spectrométrie d'absorption et d'émission atomique au laboratoire d'hydrologie de la faculté de pharmacie de Grenoble. Ces nouveaux dosages de cations ont confirmé ceux déjà trouvés par les analyses faites à Abidjan. Par conséquent il n'y avait pas d'erreur de dosage au niveau des cations.

Nous avons continué nos vérifications sur les analyses en calculant un certain nombre de paramètres. Nous avons calculé la minéralisation totale en mg/l à partir de la conductivité mesurée multipliée par un facteur fonction de la valeur de la conductivité considérée. En fait, le calcul de la minéralisation à partir de la conductivité ne permet pas d'avoir une valeur exacte mais la possibilité ainsi offerte, a surtout un intérêt dans le cas de vérifications de concordance comme c'est notre cas.

Les différentes valeurs des facteurs par lesquels on multiplie les conductivités sont données dans le tableau VI₁ ci-contre tiré de l'analyse chimique et physico-chimique de l'eau de Jean Rodier, 1960 (page 61).

Ensuite nous avons utilisé la différence, entre la somme des anions et celle des cations, convertie en équivalent pour calculer le P^H suivant la formule ci-dessous :

$$P^H = \left| \log \left[\frac{\text{somme des anions} - \text{somme des cations}}{\text{en eq/l}} \right] \right|$$

Le P^H est égal à la valeur absolue du logarithme de la différence entre la somme des anions et la somme des cations.

Les résultats des calculs pour un certain nombre d'eaux sont résumés dans le tableau VII₂ ci-contre.

A l'analyse du tableau, nous constatons d'une part, exceptées quelques valeurs erronées, qu'il n'y a pas une grande différence entre la minéralisation totale calculée à partir de la conductivité et celle déterminée par analyse

Conductivité (μS/cm)	Minéralisation (mg/l)
Conductivité inférieure à 50 μS/cm.....	1,365 079 × conductivité (μS/cm) à 20°C
Conductivité comprise entre 50 et 166 μS/cm.....	0,947 658 × conductivité (μS/cm) à 20°C
Conductivité comprise entre 166 et 333 μS/cm.....	0,769 574 × conductivité (μS/cm) à 20°C
Conductivité comprise entre 333 et 833 μS/cm.....	0,715 920 × conductivité (μS/cm) à 20°C
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 μS/cm.....	0,758 544 × conductivité (μS/cm) à 20°C
Conductivité supérieure à 10 000 μS/cm.....	0,850 432 × conductivité (μS/cm) à 20°C

Tableau VI₁ : Tableau de calcul de la minéralisation à partir de la conductibilité in J. Rodier, 1960

chimique. D'autre part que les P^H calculés sont tous dans le même ordre de grandeur bien qu'un peu inférieurs aux P^H mesurés.

Ces deux constats appellent deux remarques intéressantes, à savoir :

- Premièrement qu'il n'y a pas eu d'erreur d'analyse ;
- Deuxièmement que les anions ont été légèrement surévalués mais qu'il existe en solution des ions H⁺ qui concourent à équilibrer les balances ioniques.

Nous avons émis deux hypothèses pour expliquer le P^H acide des eaux :

- Soit le P^H acide est dû à la présence de CO₂ libre en quantité élevée dans les eaux ;
- Soit ce P^H résulte du passage des eaux sur des permuto-lites libérant des ions H⁺.

Pour vérifier la première hypothèse, nous avons fait une campagne de mesures de CO₂ libre sur le terrain dans une

(Forages :	conduc- tivité μs/cm	Minéralisa- tion à partir de la conductivité mg/l	Minéra- lisation totale mg/l	Σ ⁻ - Σ ⁺	P ^H mesuré au labo- ratoire	P ^H calculé
(F 1/121 :	33,8	46,13	39,93	0,51	4,56	3,29
(F37/110 :	22,9	36,2	36,2	0,58	5,15	3,23
(F54/149 :	29,2	46,27	46,27	0,57	6,15	3,24
(F31/162 :	20,9	28,53	32,9	0,49	5,75	3,30
(F14/182 :	27,9	38,1	36,7	0,43	4,95	3,36
(F 2/ 75 :	18,7	25,5	35,14	0,37	5,80	3,43
(F39/164 :	24,1	32,9	35,9	0,52	4,72	3,28
(F27/164 :	173,6	133,6	148,3	0,58	4,25	3,24
(F56/173 :	156,9	148,7	148,91	1,46	7,5	2,83
(F11/180 :	31,6	43,1	40,1	0,50	4,55	3,30
(F58/ 84 :	115,2	109,2	101,6	0,54	4,65	3,27
(F33/155 :	27,7	37,8	38,4	0,49	5,15	3,30
(F34/156 :	26,5	36,2	36,5	0,23	5,10	3,63
(F51/176 :	31,3	42,7	43,5	0,64	4,42	3,19
(F42/171 :	28,2	38,5	38,75	0,17	5,20	3,76
(F41/ 73 :	24,4	33,3	33,66	0,40	5,70	3,39
(F53/183 :	26,3	35,9	38,57	0,54	4,65	3,26
(F45/147 :	30,4	41,5	41,01	0,50	4,85	3,30
(F 8/132 :	17,7	24,16	23,12	0,31	5,15	3,50
(F40/143 :	28,1	38,36	40,39	0,51	5,25	3,29
(F 4/127 :	27,9	38,1	40,95	0,54	4,65	3,26
(F48/142 :	25,9	35,4	38,9	0,52	4,60	3,28
(F 5/128 :	28,2	38,49	30,6	0,39	4,60	3,4

Tableau VI₂ : Minéralisations calculées à partir de la conductivité et les P^H calculés au niveau des forages

Puits	Conductivité μs/cm	Minéralisation totale calculée à partir de la conductivité (mg/l)	Minéralisation totale (mg/l)	$\Sigma^{-} - \Sigma^{+}$	pH mesuré	pH calculé à partir de $\Sigma^{-} - \Sigma^{+}$
(P66/170:	32,2	43,95	54,35	0,65	6,32	3,18
(P64/133:	83,5	79,13	78,93	0,80	4,15	3,10
(P63/178:	43,4	59,24	55,27	0,61	4,3	3,21
(P75/105:	66,8	63,30	73,17	0,53	6,70	3,27
(P45/111:	79,7	75,53	70,89	0,51	4,50	3,29
(P39/ 80:	39,6	54,05	59,48	0,63	5,8	3,20
(P57/ 82:	173,7	133,7	146,47	0,55	4,35	3,26
(P78/ 62:	90,2	85,5	82	0,46	4,62	3,33
(P33/ 77:	31,9	43,54	49,94	0,48	6,30	3,31
(P43/ 93:	167,8	129,13	122,24	0,42	4,19	3,37
(P69/165:	81,8	71,51	81,17	0,28	4,50	3,55
(P49/ 90:	112,7	106,8	106,44	0,36	6,85	3,44
(P37/101:	79,7	75,53	83,54	0,65	4,85	3,18
(P19/103:	62,6	59,32	64,43	0,66	4,5	3,18
(P38/ 79:	35,1	47,91	48,48	0,55	5,35	3,25
(P25/116:	27,3	37,26	38,04	0,48	4,70	3,31
(P47/ 83:	59,7	56,07	66,51	0,57	5,95	3,24
(P12/145:	35,1	47,91	40,13	0,47	4,35	3,32
(P55/ 87:	227,1	174,77	176,79	0,37	4,50	3,45
(P70/161:	188,7	145,21	154,4	0,09	4,65	4,04
(P40/ 97:	75,9	71,92	73,20	0,26	6,35	3,58
(P 4/ 63:	80,2	76	83,47	0,58	4,55	3,23

Tableau VI. 3 : Minéralisations calculées à partir de la conductivité ainsi que les pH calculés au niveau des puits

vingtaine de forages par le dosage avec une solution de soude N/50 avec comme indicateur coloré la phénolphtaléine à 1 %.

Les résultats trouvés sont résumés dans le tableau VI₄.

Les valeurs de CO₂ libre mesurées donnent une moyenne de 30 mg/l.

A l'analyse du tableau VI₄, nous constatons que les forages situés sur le socle ont un taux en CO₂ libre relativement plus élevé que les eaux du bassin sédimentaire. Les eaux du socle étant presque neutres, on aurait pu attendre des résultats contraires.

En général, bien que les valeurs de CO₂ libre trouvées soient largement au dessus de celles obtenues dans les travaux antérieurs (4 mg/l en moyenne BRGM, 1963) elles ne permettent pas d'expliquer le P^H acide des eaux. Si cette première hypothèse était vérifiée, on aurait pu avoir un P^H neutre pour les eaux des puits à cause du dégazage de CO₂ libre, or ceci n'est pas vrai en ce sens que le P^H est acide aussi bien au niveau des forages profonds que dans les puits de surface.

Vue la nature de notre aquifère qui est constituée de lentilles d'argiles composées en majeure partie de Kaolinite et en quantité moindre de montmorillonite et d'illite, nous penchons plutôt pour la deuxième hypothèse qui lierait la présence d'ions H⁺ dans l'eau aux réactions sur les permuto-lites (kaolinite, montmorillonite, illite).

VI' 16 Conclusion

Cette étude d'analyse chimique des eaux nous a permis d'obtenir un certain nombre de renseignements permettant de caractériser nos eaux.

Les eaux sont dans leur grande majorité peu chargées en sels dissous. Ceci étant dû à l'absence de minéraux solubles dans le bassin sédimentaire. Néanmoins, les puits relativement peu profonds sont un peu plus chargés que les forages profonds avec une conductivité moyenne de 100 μs/Cm au niveau des puits et de 45 μs/cm pour les forages.

Forage	CO ₂ libre en mg/l
F 1 M' PouTo	15
F 1 M' Badon	22
Achokoi	31
F 60 Adadakié *	39
F61 M' Brago II *	38
F62 M' Bonouan Maternité *	37
F 65 M' Bonouan Marché *	46
F 63 M' Pody *	44
F 64 M' Pody Marché *	44
F 60 Adakié *	42
F 68 Attiékoï Hopital	20
F 69 Brofodoumé Santé	28
F 33	23
F 34	22
Songon M' Bratté	22
F 43 Mme Djo	25
F 42	23
Abadjan Kouté	22
F 41	28

Tableau VI 4 : CO₂ libre mesuré sur le terrain

* Forages situés sur le socle métamorphique.

Le P^H moyen mesuré est de 5 d'où son caractère très acide.

Nous avons déterminé deux grandes familles chimiques, à savoir :

- Des eaux bicarbonatées ;
- Des eaux chlorurées.

L'analyse des diagrammes de Schoeller nous a permis de mettre en évidence une certaine dilution des concentrations des eaux du nord vers le sud.

La carte du rapport $r \frac{Mg}{Ca}$ a révélé l'alimentation de la nappe du bassin sédimentaire au nord à son contact avec le socle métamorphique.

Notre tentative pour expliquer l'origine du déséquilibre des balances ioniques nous fait pencher pour l'hypothèse selon laquelle le déséquilibre de la balance ionique des eaux serait lié aux permutolites (montmorillonites, kaolinites, illites) qui échangent des ions H⁺ contre des alcalins et des alcalino-terreux des eaux. En l'absence de bases dans les formations du bassin sédimentaire, les ions H⁺ resteraient libres conférant à l'eau une forte acidité pouvant agir par ailleurs sur le dosage du CO₂ libre dont on aurait pu envisager qu'il soit d'origine profonde et lié aux grandes fractures de bordure du Golfe de Guinée.

VI 2 Etude isotopique des eaux souterraines

VI 21 Généralités

Différents isotopes du milieu sont utilisés en hydrogéologie. Il y a des isotopes stables ou radioactifs, naturels ou artificiels parmi lesquels les plus utilisés sont : le Deutérium (D, ²H), le Tritium (T, ³H), l'Oxygène 18 (¹⁸O), le Carbone 14 (¹⁴C) et le Carbone 13 (¹³C). Les teneurs en isotopes stables (²H, ¹⁷O) liées aux précipitations fournissent des informations sur les mécanismes de recharge et les zones d'alimentation. Les teneurs en isotopes radioactifs (³H, ¹⁴C)

sont régies par la loi générale de la décroissance radioactive :

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A_t}$$

avec T_{1/2} : demi-vie ou période ;

A₀ : activité initiale ;

A_t : activité au temps t.

Leur étude permet la connaissance du temps du transit des eaux, l'âge et l'identification du mélange entre les eaux.

VI 21.1 Deutérium - Oxygène 18

Ce sont des constituants de la molécule d'eau qui sont donc des parfaits traceurs.

Leurs teneurs sont mesurées par spectrométrie de masse et s'expriment en delta (δ)

$$\delta = \frac{R_{\text{échantillon}}}{R_{\text{étalon}}} - 1$$

avec R : rapport isotopique = $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ ou $\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}}$

L'étalon utilisé est la composition isotopique moyenne des eaux océaniques : "Standard Mean Ocean Water" = S.M.O.W.

Dans la pratique on exprime δ en partie pour mille (‰)

$$\delta\text{‰} = \left(\frac{R_{\text{échantillon}}}{R_{\text{étalon}}} - 1 \right) \times 1000$$

Les variations des teneurs en isotopes lourds dépendent du fractionnement isotopique lors des déplacements de l'eau, et des principaux facteurs régissant les précipitations (latitude, altitude).

Dans les précipitations les teneurs en ¹⁸O et ²H sont linéairement corrélées avec la température de condensation. Ainsi dans les eaux de précipitation n'ayant pas subi d'évaporation on a la relation suivante :

$$^2\text{H} = 8 \text{ } ^{18}\text{O} + d \text{ (Craig, 1961)}$$

d est appelé excès en deutérium et dépend du régime des précipitations (+ 10 en régime océanique non perturbé ; + 22 en régime méditerranéen).

VI 21.2 Tritium

Le tritium a deux origines : naturelle et artificielle.

Le tritium provient de l'interaction, dans la haute atmosphère, entre les neutrons produits par le rayonnement cosmique et l'azote atmosphérique. Cette production est faible : 0,25 atome par cm² et par seconde, soit environ 3,5 Kg/an (Lat et Suess, 1969).

Le tritium artificiel est produit par les essais thermonucléaires aériens ; 200 Kg supplémentaires ont ainsi été injectés dans l'atmosphère. Depuis 1964 on assiste à une décroissance des teneurs dues à l'arrêt des essais aériens. La période du tritium est de 12,43 ans.

La teneur en ³H se mesure par comptage radioactif en scintillation liquide. Les résultats sont exprimés en unité de tritium (UT).

1 UT correspond à un atome de ³H pour 10¹⁸ atomes de ¹H, soit 3,28 picocuries par cm³ (1 curie = 3,7 10¹⁰ désintégration par seconde).

VI 22 Analyse et interprétation des résultats

Au cours de notre étude, nous avons recueilli 4 échantillons provenant de forages profonds dont les dosages sur l'oxygène 18 et le tritium ont été effectués au centre de recherches géodynamiques de Thonon. Les résultats sont résumés dans le tableau VI 5

Forages	Date	δ ‰ ¹⁸ O	Tritium : UT
F 42	28/1/86	- 3,34	9 ± 1 UT
F 34	28/1/86	- 3,36	7 ± 1 UT
F 69	28/1/86	- 3,17	7 ± 1 UT
F 68	21/1/86	- 3,84	< 3,5 UT

Tableau VI 5 : Analyses isotopiques des eaux

Au cours de l'échantillonnage nous avons pris soin de prélever les eaux suivant un profil qui part du sud vers le nord de la latitude 5° 20' à la latitude 5° 35' N.

Les teneurs des δ‰ 18O des eaux souterraines varient de - 3,17 à - 3,84, d'où un appauvrissement progressif en 18O de nos eaux par rapport aux précipitations dû à un effet de continentalité d'autant plus marqué qu'on s'éloigne de la côte comme le montre les valeurs δ‰ 18O de plus en plus négatives lorsqu'on monte en latitude.

Comme nous pouvons le constater, les valeurs des δ‰ 18O des eaux souterraines varient de - 3,1 à la latitude de 5° N au sud de la Côte d'Ivoire à - 5,7 à la latitude 11° N au sud du Burkina Faso, pour atteindre - 6,7 à la latitude 18° 5 au nord du Burkina Faso.

Les teneurs relativement élevées en isotopes lourds de nos eaux témoignent du fait que les épisodes pluvieux qui parviennent aux aquifères appartiennent au système de mousson en provenance du Golfe de Guinée.

Les teneurs en δ‰ 2H évoluent entre les valeurs de - 14 à - 16 au sud de la Côte d'Ivoire, bien que nous n'ayons pas dosé les teneurs en deutérium de nos eaux et qui nous aurait permis de tracer la droite de corrélation 2H - 18O, nous avons par estimation mis en relation nos δ‰ 18O avec les δ‰ 2H déterminés au sud de la Côte d'Ivoire, ce qui permet de situer à peu près nos eaux sur la droite des précipitations du Golfe de Guinée. Ceci nous amène à dire que les eaux des nappes se rapprochent des eaux météoritiques locales et qu'il existe un très faible fractionnement par évaporation lié à une infiltration plus ou moins rapide dans le sous sol. Au niveau du bassin sédimentaire, le niveau phréatique étant généralement suffisamment profond par rapport à la surface du sol, la réserve est ainsi immédiatement à l'abri de la reprise évaporante. Nous donnons à titre d'exemple sur la figure VIg la relation δ‰ 18O/ δΔ pour l'aquifère du continental terminal du Togo qui est situé à la même latitude que notre bassin sédimentaire.

Les teneurs en tritium 3H varient elles entre 3 et 9 UT

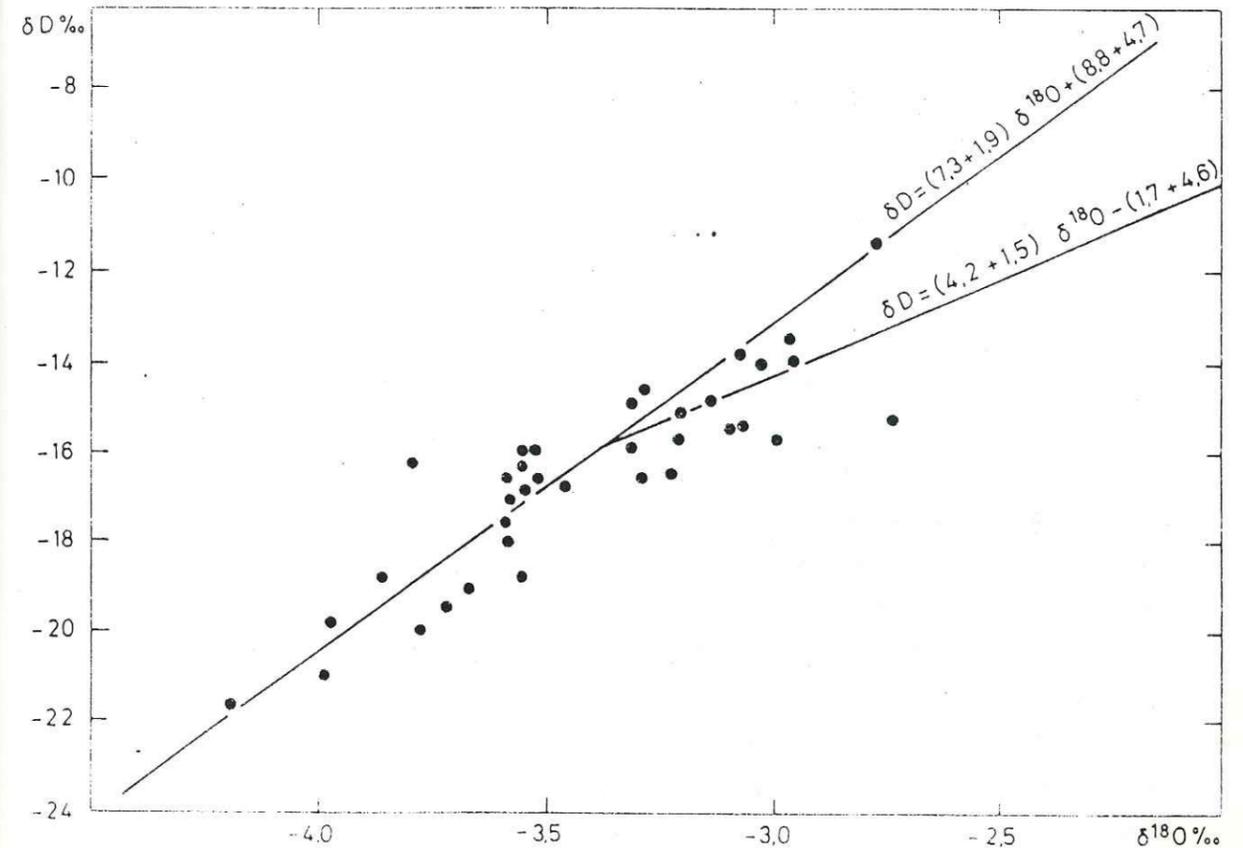


Fig VIg : Togo. Relation δ18O/ δD pour l'aquifère du continental (d'après Akiti)

La comparaison, des teneurs en tritium de nos eaux avec quelques mesures limitées dans le temps de tritium pluviométrique de la station d'Abidjan, nous permet de dire que nos eaux ne sont pas récentes mais correspondent à un mélange entre des eaux anciennes et des eaux plus récentes.

La faible valeur de la teneur en tritium (< 3 UT) du forage F_{68} situé dans la zone de contact entre le socle métamorphique et le bassin sédimentaire est due au fait que le forage est profond et que le renouvellement de l'eau est extrêmement lent.

Les teneurs en ^3H sont fréquemment faibles ou nulles dans les forages profonds (60 à 100 mètres) du socle métamorphique au sud de la Côte d'Ivoire. Les eaux anciennes infiltrées (F_{68} $^3\text{H} < 3$ UT) rapidement mais non renouvelées, participent probablement à l'alimentation des aquifères du bassin sédimentaire de bordure du Golfe de Guinée.

A l'analyse des résultats des quatre échantillons, nous remarquons, même si cela n'est pas très marquant, que l'appauvrissement en $\delta\text{‰}^{18}\text{O}$ des eaux s'accompagne d'une décroissance des teneurs en tritium et cela se fait suivant le profil qui part du sud (F_{42}) jusqu'au nord (F_{68}). Ceci nous amène à dire que les eaux deviennent de plus en plus anciennes en allant vers le nord confirmant ce que nous avons dit plus haut.

VI 23 Conclusion

Les données isotopiques mettent en évidence l'existence d'une recharge de la nappe mais les teneurs en tritium ne permettent pas de choisir entre les modèles de recharges de type "effet piston" ou bien de type "mélange parfait" du fait que le signal d'entrée (la pluie) est mal connu.

Néanmoins, ces faibles concentrations indiquent un faible mélange des recharges avec un réservoir d'eau ancienne dont une exploitation trop intense peut entraîner une décharge.

CONCLUSION GENERALE

Au cours de nos travaux, après avoir situé la région du Grand Abidjan dans son contexte géographique et géologique général qui correspond à la zone de contact entre le socle cristallin du bouclier ouest africain et le bassin sédimentaire du Golfe du Guinée, nous avons, à partir de l'étude hydroclimatique, établi un bilan hydrologique de notre secteur d'étude.

De cette étude hydroclimatologique, il ressort que les précipitations, bien que déficitaires au cours des trois dernières années (1983 - 1985) par rapport à la moyenne sur une longue période, sont relativement élevées et atteignent 1471 mm pour la période de 1983 à 1985, il en est de même de l'évapotranspiration réelle qui est égale à 1166 mm soit près de 80 % des précipitations. Compte tenu de cette valeur élevée de l'évapotranspiration réelle, le ruissellement est relativement faible atteignant 15 % des précipitations et que la lame d'eau disponible pour l'infiltration est extrêmement limitée soit 6 % de la hauteur des précipitations.

L'étude géologique des affleurements et des coupes de forages nous a permis de distinguer deux zones géologiques dont l'une, au nord, est formée essentiellement des formations schisteuses birrimiennes intrudées par un granite à deux micas type Ferké dans la partie nord-ouest de notre région.

L'autre zone, au sud, représente la plus grande superficie et est recouverte par des formations sédimentaires dont l'âge va du crétacé supérieur (maastrichtien) au quaternaire. Une analyse typologique des zircons accessoires, nous a permis de déterminer deux sources d'alimentation des formations sédimentaires superficielles du continental terminal et celles des schistes birrimiennes :

- Une source provenant des roches granitiques (sens large) ;
- Une source d'origine volcanique, probablement un volcanisme calco-alcalin.

A partir de cette étude géologique, nous avons pu mettre

en évidence l'existence d'une part d'aquifères fissurés dans le socle métamorphique d'âge birrimien et d'autre part d'aquifères poreux non seulement au niveau des formations quaternaires, mais surtout dans les assises du continental terminal d'âge miopliocène qui a été l'objet de notre étude.

A l'aide des mesures géophysiques et de la côte du socle atteinte par les forages, nous avons établi une carte du toit du substratum qui a mis en évidence la morphologie accidentée du toit du socle matérialisée par des pointements et des linéaments qui peuvent correspondre soit à des anciens lits de rivières, soit à de grandes fractures affectant le socle. Il est important de noter que ces fractures peuvent faciliter les transferts d'eaux souterraines du socle cristallin vers le bassin sédimentaire de même que la présence d'anciens thalwegs remblayés par les formations grossières d'altération, facilite les circulations d'eau souterraine du nord vers le sud.

L'étude des propriétés hydrodynamiques a consisté dans une première phase à déterminer la perméabilité à l'aide de mesures directes par essais d'infiltration sur le terrain, tout spécialement dans les formations de la Terre de Barre représentant le niveau superficiel des formations miopliocènes du continental terminal couvrant une très grande partie de la surface de la région du Grand Abidjan. De ces mesures directes de perméabilité, nous avons obtenu des valeurs de perméabilité qui vont de 10^{-5} à 10^{-6} m/s.

Puis par l'interprétation des essais de pompages sur les forages réalisés tant dans le bassin sédimentaire que dans le socle métamorphique fissuré, après avoir utilisé plusieurs méthodes d'interprétation, nous avons obtenu d'une part pour le bassin sédimentaire une valeur moyenne de transmissivité comprise entre 10^{-2} et 10^{-3} m²/s et les coefficients d'emmagasinement vont de 10^{-3} à 10^{-4} .

D'autre part, nous avons obtenu pour le socle métamorphique, une transmissivité moyenne de 10^{-5} m²/s et un coefficient d'emmagasinement moyen estimé à 10^{-4} faute de piézomètres.

On note par ailleurs que les pertes de charges non linéaires, calculées lors des essais de pompages sur les forages du socle métamorphique, sont plus élevées et atteignent 40 à 50 % des rabattements maximum obtenus.

Le chapitre sur l'étude piézométrique qui se traduit par une baisse irrégulière mais générale des niveaux piézométriques peut être due à une surexploitation mais plus vraisemblablement à une baisse des quantités d'eaux précipitées ces dernières années.

Cependant, indépendamment de cette baisse généralisée des niveaux piézométriques, on observe une fluctuation des niveaux piézométriques avec un décalage dans le temps dû d'une part à la présence de lentilles d'argiles et d'autre part à l'épaisseur des terrains qui surplombent la nappe.

Par l'interprétation des cartes piézométriques et des fluctuations des niveaux piézométriques, nous avons pu savoir que la nappe du continental terminal est alimentée partiellement sur toute sa surface mais plus particulièrement dans sa partie nord dans la région d'Anyama où nous avons noté un dôme piézométrique avec des lignes de courant divergentes. Le sens d'écoulement de la nappe est nord-sud avec deux axes d'écoulement orientés N.E.-S.W. et N.W.-S.E. empruntant les deux paléovallées principales mises en évidence par la carte du toit du socle.

L'étude physico-chimique des eaux, nous a permis de montrer dans un premier temps, grâce à l'interprétation de la carte d'équirapport $r \frac{Mg}{Ca}$ de mettre en évidence une alimentation probable de la nappe du continental terminal à son contact, au nord, avec le socle cristallin.

Dans un deuxième temps, l'analyse physicochimique a montré que si les eaux prélevées dans le socle cristallin fissuré traduisent la composition des roches qu'elles traversent (granites ou schistes birrimiens) et présentent des P^H légèrement acides correspond à des teneurs en CO₂ non négligeables dues à l'abondance du sol forestier et peut être à des venues de CO₂ profond grâce aux grandes fractures affectant le

socle ; les eaux prélevées dans les forages réalisés dans le bassin sédimentaire présentent une acidité forte qui ne peut être imputée à la présence du CO_2 et un déséquilibre de la balance ionique dû à un déficit des cations. A la suite de nos travaux, nous avons abouti à la conclusion selon laquelle l'acidité de l'eau est due à la présence d'ions H libérés lors d'échanges entre les eaux provenant du socle cristallin et les minéraux contenus dans les assises sédimentaires pauvres en cations solubles et que le déséquilibre de la balance ionique est équilibré par ces ions H.

Les analyses des teneurs en isotopes stables et instables : tritium et oxygène 18 effectuées sur quatre échantillons judicieusement choisis ont permis de montrer que les eaux exploitées par forage au-delà de cinquante mètres de profondeur sont pour leur majeure partie des eaux souterraines ne se renouvelant que très lentement, confirmant ainsi les faits observés lors de l'étude piézométrique.

L'ensemble des résultats acquis permet donc de mieux connaître le régime des eaux souterraines de la région du Grand Abidjan et s'il serait souhaitable de pouvoir disposer de nouvelles données piézométriques et isotopiques pour suivre l'évolution des nappes exploitées ou exploitables dont dépend pour une grande part l'avenir de la région, nous espérons avoir montré l'importance de la connaissance précise du cadre géologique régional et local pour la compréhension de tous les phénomènes qui interviennent dans l'hydrogéologie d'un bassin aussi complexe que celui du Grand Abidjan.

BIBLIOGRAPHIE

- ADOU A (1971) : Etat actuel de l'étude hydrogéologique de la région d'Abidjan. Rap n°269. SODEMI. Ministère des mines, Abidjan.
- Aghui N. Biémi J. (1983) : Géologie et hydrologie des nappes de la région d'Abidjan et risques de contamination. Ed spéciale. Dépt Sc de la Terre. Faculté des Sciences.
- Anonyme (1980) : Etude hydrogéologique de la nappe d'Abidjan. Rap n°2 et 3. Direction centrale de l'hydraulique. Rep de Côte d'Ivoire.
- Anonyme (1982) : Extension Est de la nappe d'Abidjan. Etude hydrogéologique Projection Géophysique. Rap Scet Ivoire, Scet international, SODECI, Holfeder, CGG.
- Bacchiana C. (1981) : L'étude géologique de la région d'Abidjan, Anyama, Alepé, Bassam. Rap Direction des hydrocarbures. Ministère des mines Abidjan.
- Beliard C. Tastet J.P. (1977) : Carte géologique de la région d'Abidjan au 1/100 000. Note explicative. Université d'Abidjan. BNETS Abidjan.
- BRGM (1981) : Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest. Section III, n°4.
- Camil J. (1984) : Pétrographie et chronologie des ensembles granulitiques archéens de la région de Man (Côte d'Ivoire). Implication pour l'histoire géologique de Craton ouest africain. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences naturelles. Université d'Abidjan.
- Casanova R. (1968) : Etude de faciès du continental terminal dans les carrières de Bingerville. Rap n°257 de la SODEMI.

- Casanova R. (1973) : Géochimie et minéralogie des granitoides éburnéens de Côte-d'Ivoire. Thèse de doctorat d'Etat. Universités d'Abidjan et de Nice.
- Castany G. (1967) : Traité pratique des eaux souterraines Masson et Cie. Paris.
- Castany G. (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed Dunod Université. Paris
- Claude A. Bernard D. (1977) : Analyse physicochimique des eaux. Memento pratique. Lab d'hydrogéologie. Institut Dolomieu.
- C.G.G. Scet Ivoire (1977) : Prospection hydrologique. Zone du grand Abidjan. Reconnaissance géophysique par méthode électrique et sismique refraction.
- Dubreuil P. (1974) : Initiation à l'analyse hydrologique Masson et Cie, Orstom. Paris.
- Faillat J.P. et Al (1978) : Contribution à l'étude hydrogéologique par prospection électrique du bassin sédimentaire côtier aux environs d'Abidjan (Forêt du Banco). Rap DCH. Université d'Abidjan.
- Forkasiewicz J. (1972) : Interprétation des données de pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères. BRGM Rap 72 SGN 273 AME.
- Forkasiewicz J. (1978) : Essais de puits par paliers de débit. Analyse et interprétation des données. BRGM Rap 78 SGN 040 Hyd.
- Géomines (1982) : Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Cahier n°30-31. Direction Centrale de l'hydraulique Abidjan.
- Guerin Villeaubreil G. (1957) : Hydrogéologie en Côte-d'Ivoire. Bulletin de la DGPM n°2.
- Jeune Afrique (1982) : Atlas de la Côte-d'Ivoire. Ed Jeune Afrique.

- Jourda J.P. Dray, Sarrot Reynauld et al (1987) : L'alimentation des aquifères fissurés en Afrique de l'ouest soudano-sahélienne (Côte d'Ivoire, Mali, Burkina Faso, Niger). IAEA. SM 299/70 P. Vienne.
- Joseph A. Aranyossi J.P. (1985) : Etude géochimique et isotopique des aquifères de l'air (Niger). IAEATA. 2330. Vienne.
- Joseph A. Aranyossi J.P. (1986) : Etude géochimique et isotopique des aquifères de la plaine de l'IRHAZER.
- Joseph A. Ousmane B. (1987) : Pollution Nitrate de la nappe alluviale du fleuve Niger à Niamey. Annales de l'université de Niamey.
- Kikietta A. (1975) : Observations pour l'étude hydrogéologique des bassins versants du Banco et du Gbangbo. Rap de stage. Orstom Abidjan.
- Kruseman G.P. Derider N.A. (1974) : Interprétation et discussion des pompages d'essai. "International Institute for land reclamation and improvement wageningen the netherlands". Traduit par Meilhac A.
- Loroux Bi F.E. (1978) : Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier de Côte d'Ivoire. Thèse de 3° cycle. Université de Bordeaux I.
- Médonne Beye (1978) : Détermination de la conductivité hydraulique par la mesure de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Application au site de Villiers. Bonne eau. Département du génie rural. Université Catholique de Louvan.
- Ousmane B. et al (1984) : Hydrologie isotopique et hydrochimique des aquifères discontinus de la bande sahélienne et de l'Air (Niger). IAEASM 270/59.

- Pupin J.P. (1976) : Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Application, thèse de doctorat d'Etat ès-sciences naturelles, Université de Nice.
- Remenieras G. (1976) : L'hydrologie de l'ingénieur. Ed Eyrolles, Paris.
- Roche M. (1963) : Hydrologie de surface. Ed Gauthier Villars, Paris.
- Rodier J. (1960) : L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Ed Dunod, Paris.
- Savadogo A.N. Sarrot Reynauld J. (1983) : Utilisation des nouvelles données isotopiques et chimiques pour la connaissance du mode d'alimentation des nappes du socle cristallin de Haute-Volta 108^e congrès national des sociétés savantes, Grenoble.
- Savadogo A.N. (1984) : Géologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de doctorat d'Etat ès sciences naturelles, Université de Grenoble I.
- Schoeller H. (1962) : Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Ed Masson, Paris.
- Siédo Touré (1981) : Données nouvelles sur les formations détritiques de l'Arc de Castellane, Sud-Est de la France (conglomérats tertiaires des synchiaux de S^t Antonin. Barreme, Majastre). Pétrographie des galets des roches endogènes. Applications de la typologie du zircon accessoire. Approche paléogéographique. Thèse de 3^e cycle. Université de Nice.
- Simon P. Amadou B. (1983) : La discordance oligocène et les dépôts postérieurs à la discordance dans le bassin sédimentaire Ivoirien. Direction des hydrocarbures. Ministère des mines, Abidjan.

- Spengler A. Delteil J.R. (1964) : Le bassin secondaire de Côte-d'Ivoire. In Symposium sur les bassins du littoral Africain, 1, 1964, New Delhi. Paris, Asga, 1966.
- Tagini B. (1971) : Esquisse structurale de la Côte-d'Ivoire. Essai de géotectonique régionale. SODEMI Abidjan.
- Tastet J.P. (1979) : Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golf de Guinée (Côte-d'Ivoire, Togo, Bénin). Thèse de doctorat ès-sciences naturelles. Université de Bordeaux I.
- Tempier P. (1986) : Le Burkinien : cycle orogénique majeur du proterozoïque inférieur en Afrique de l'ouest. CIFEG page 17 - 23.
- Vidal M. et Guibert J.L. (1984) : Un nouveau décrochement ductile Nord-Sud dans le birrimien d'Afrique de l'ouest. Le couloir cisailant senestre de Wango Fitini (Côte-d'Ivoire). C.R. Acad Sc, Paris, t 299, serie II, p 1085 - 1090.
- Yacé I. (1976) : Etude géologique du volcanisme Eburnéen dans les parties centrales et méridionales de la chaîne précambrienne de Fettekro. Thèse de doctorat d'Etat ès-sciences naturelles. Université d'Abidjan.

A N N E X E S.

Piézomètres	X	Y	Z	Février 1986: Août 1986			
				Côte IGN(m)	NP (m)	Côte IGN(m)	NF (m)
Hotel Retraite	:383,38	:604,16	:104,35	+ 51,95	:52,40	+ 51,77	:52,58
Anyama Adjamé	:385,71	:606,36	:89,54	+ 49,08	:40,46	+ 48,40	:41,14
Akoupé	:372,45	:605,79	:52	+ 27,74	:24,26	+ 25,44	:26,56
Yapi	:377,96	:602,34	:59,57	+ 43,58	:16,99	+ 42,44	:17,13
P ₅₆	:383,25	:594,66	:8,22	+ 6,58	:1,64	+ 6,54	:1,68
DCH ₅	:379,36	:599,55	:107,67	+ 35,86	:71,81	SEC	:SEC
SOPEPALM Vieux Puits	:374,55	:598,44	:44,66	+ 36,07	:8,59	+ 36,07	:8,40
SABO	:384,46	:602,54	:115,11	+ 47,49	:67,62	+ 47,11	:68
Hortivex	:375,65	:595,72	:22,88	+ 14,14	:8,74	+ 14,21	:8,67
Adonkoi	:365,84	:598,04	:67,84	+ 22,07	:47,77	+ 21,27	:46,57
Institut Pasteur	:374,30	:587,42	:18,04	- 1,60	:19,68	- 1,56	:19,60
Mission	:373,80	:589,71	:47,80	+ 4,49	:43,31	+ 4,33	:43,47
Km 17	:378,49	:592,02	:69,72	+ 9,02	:60,70	+ 8,63	:61,09
Akouedo	:395,65	:591,19	:52,63	+ 4,34	:48,29	+ 4,27	:48,36
Dahlia Fleur	:398,69	:590,88	:22,84	- 3,72	:26,06	+ 2,7	:19,60
Kouakou	:395,76	:601,62	:12	+ 6,71	:5,29	+ 5,77	
Filtissac	:386,82	:596,05	:105,28	+ 17,89	:87,39	+ 17,78	:87,45
Banco ₁	:385,85	:588,99	:4,30	- 0,23	:4,53	- 0,15	:4,45
Niangon ₁	:376,47	:593,39	:21,32	+ 10,64	:10,64	+ 10,52	:10,80
Niangon ₂	:377,16	:593,24	:27,73	+ 10,09	:17,64	+ 9,77	:17,96
Zoo ₁	:387,92	:593,82	:33,02	+ 9,97	:23,05	+ 9,54	:23,37
Zoo ₂	:388,28	:595,62	:58,39	+ 17,56	:40,83	+ 17,11	:41,21
Nord Riviéra 4	:394,27	:593,29	:35,88	+ 7,97	:27,91	+ 7,60	:28,19

Annexes I Relevés piézométriques

Annexes II Résultats d'analyses chimiques des eaux

Forages	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	HCO ₃ mg/l	Cond µs/cm	PH	Σ ions mg/l	r Mg r Ca	i.e.b
F/121	17/1/85	0,5	0,5	2,4	7,39	7	7,5	14,64	33,8	4,56	39,93	2	0,52
F37/110	17/1/85	0,5	0,4	1,8	12,76	3	3,1	14,64	22,9	5,15	36,20	1,5	0,77
F54/149	17/1/85	2	0,35	3,3	12,76	5	0,9	21,96	29,2	6,15	46,27	0,3	0,64
F31/162	17/1/85	1	0,4	1	8,73	4	3,1	14,64	20,9	5,75	32,87	0,6	0,83
F14/182	17/1/85	1	0,5	2	6,72	4	7,5	14,64	27,9	4,95	36,71	1,4	0,58
F39/175	17/1/85	0,5	0,3	1,8	6,72	2	7,5	17,08	24,1	4,72	35,9	1	0,63
F2/75	17/1/85	1,3	0,77	2	5,37	2	4,2	19,52	18,7	5,80	35,16	1	0,46
F19/167	17/1/85	1	1,1	6,5	12,76	4	16,3	9,76	72,6	5,55	51,42	1,8	0,27
F7/86	17/1/85	0,64	0,77	2,3	6,72	4	3,1	21,96	19,4	5,55	37,49	2	0,52
F11/180	17/1/85	1	0,4	3,15	9,4	4	7,5	14,64	31,6	4,55	40,09	0,6	0,54
F9/172	17/1/85	1	0,38	3	9,4	6	18,5	9,76	48,5	4,95	46,04	0,6	0,54
F12/179	17/1/85	0,64	0,77	10,8	11	3	5	12,2	92,7	4,42	44,41	2	0,27
F33/155	17/1/85	0,64	0,6	2,9	9,4	6	4,18	14,64	27,7	5,15	38,4	1,7	0,58
F34/156	17/1/85	0,5	3	2,2	8,75	3	5,3	14,64	26,5	5,10	36,5	1,56	0,59
F58/84	17/1/85	3	2,5	16,4	16,12	4	44,9	14,64	115,2	4,65	101,6	1,3	0,14
F27/164	17/1/85	7,5	3	28,5	22,17	18	35	34,16	173,6	4,25	148,3	0,7	0,19
F5/128	17/1/85	0,64	0,38	2	6,72	2	4,2	14,64	28,2	4,6	30,6	1	0,58
F10/126	17/1/85	1,28	1,15	3,4	8,06	10	11,9	19,52	35,4	5,75	55,31	1,5	0,45
F16/135	17/1/85	1,28	1,15	3,4	12,09	1	9,7	19,52	48	8,6,15	48,14	1,5	0,61
F69	21/1/85	2,4	4,5	4,49	8,26	2,5	13,6	10			45,75	3,1	0,30
F6	21/1/85	18	20,5	20,61	12,75	3	37	146,5			258,36	1,9	0,16
F23/167	17/1/85	0,64	0,38	2,5	6,72	7	28,12	17,08	29,4	5,25	62,44	1	0,47
F36/169	17/1/85	0,64	0,38	2,3	9,74	6	11,9	14,64	36,7	5,2	45,6	1	0,66
F51/176	17/1/85	0,64	0,5	2,55	12,43	5	5,3	17,08	28,4	4,42	43,5	1,33	0,71
F13/72	17/1/85	2,5	0,96	3,05	10,41	4	3,1	17,08	28,4	6,2	41,1	0,7	0,58
F42/171	17/1/85	0,8	3,4	2,65	5,9	5	7,5	13,5	28,2	5,2	38,75	7	0,31
F3/96	17/1/85	0,64	0,38	1,4	6,04	4	4,2	17,08	13,9	6,2	33,74	11	0,64

N° de Forages	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	HCO ₃ mg/l	Cond us/cm	pH	ions mg/l	rMg rCa	i.e.b.
(F41/73	:17/1/85:	1	:0,38:	2,5	:6,04:	6	:3,1	:14,64:	24,4:	5,7	:33,66:	0,6	:0,41)
(F43/148	:17/1/85:	0,64:	0,4	:2,7	:6,72:	1	:6,4	:14,64:	25,5:	4,7	:32,50:	1	:0,31)
(F56/173	:17/1/85:	7,04:	4,61:	2,8	:8,06:	4	:12,6	:109,8	156,9:	7,65:	148,91:	1,1	:0,50)
(F38/64	:17/1/85:	4,5	:1,15:	2,8	:9,4	:4	:10,38:	12,2	:42,1:	6,15:	44,43:	0,41	:0,46)
(F4/127	:17/1/85:	1728:	0,77:	1,9	:9,4:	9	:6,4	:12,2	27,9:	4,65:	40,95:	1	:0,67)
(F6/92	:17/1/85:	1,28:	0,77:	2,3	:6,04:	11	:7,5	:14,64:	22,9:	5	:40,53:	1	:0,41)
(F40/143	:17/1/85:	1,28:	0,77:	2,1	:9,4	:8	:4,2	:14,64:	28,1:	5,25:	40,39:	1	:0,65)
(F53/183	:17/1/85:	0,64:	0,38:	2	:7,05:	6	:10,3:	:12,2:	26,3:	4,65:	38,57:	1	:0,60)
(F35/154	:17/1/85:	0,5	:0,5	:3	:11	:9	:7,5	:14,64:	28,4:	4,95:	46,14:	2	:0,61)
(F8/132	:17/1/85:	0,64:	0,00:	1,9	:6,72:	1	:3,1	:9,76:	17,7:	5,15:	23,12:	0,00	:0,5)
(F48/142	:17/1/85:	0,64:	0,55:	2,35	:7,72:	4	:9	:14,64:	25,9:	4,6	:38,9	1,7	:0,57)
(F45/147	:17/1/85:	0,64:	0,4	:3,7	:12,43:	5	:4,2	:14,64:	30,4:	4,85:	41,01:	1	:0,57)
(F52/68	:17/1/85:	3	:0,7	:2,8	:10,08:	6	:4,2	:14,64:	25,1:	4,65:	41,42:	0,4	:0,6)
(FEFB/85	:17/1/85:	9,5	:2	:2,4	:9,4	:77	:49,5	:43,92:	117,8:	6,2	:145,32:	0,34	:0,40)
(S3/160	:17/1/85:	0,64:	0,38:	2,6	:6,62:	6	:11,9	:9,76	33,2:	5,10:	37,9	1	:0,44)
(S2/95	:17/1/85:	0,96:	0,58:	1,9	:6,62:	2	:7,5	:17,08	21,1:	5,9	:36,64:	1	:0,55)
(S4/118	:17/1/85:	1,28:	0,77:	2,5	:8,21:	0	:6,4	:14,64:	21,1:	5,65:	33,8	1	:0,56)
(S5/186	:17/1/85:	0,64:	0,38:	2,9	:13,25:	0	:5,3	:14,64:	29,5:	5,35:	37,11:	1	:0,67)
(S1/124	:17/1/85:	1,28:	0,77:	2,7	:6,09:	5	:7,5	:14,64:	29,4:	4,95:	37,98:	1	:0,37)
(S6/168	:17/1/85:	0,64:	0,77:	2,8	:15,12:	9	:4,2	:14,64:	25,9:	6,08:	47,17:	2	:0,71)
(S7/159	:17/1/85:	0,64:	0,38:	3,3	:10,6	:2	:8,6	:14,64:	30,5:	6,42:	40,16:	1	:0,56)
(S8/166	:17/1/85:	0,64:	0,38:	3,6	:9,27:	12	:4,2	:12,2	51,4:	4,55:	42,29:	1	:0,46)

N° de Puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	HCO ₃ mg/l	Cond us/cm	pH	ions mg/l	rMg rCa	i.e.b.
(P55/ 97	:17/1/85:	5	:2,4	:36,35:	8,4	:7	:103	:14,64:	227,1:	4,5	:176,9	0,76	:0,60)
(P82/150	:17/1/85:	10	:5	:19,50:	15,12:	11	:76,5	:14,64:	164,4:	5,15:	141,76:	0,8	:0,17)
(P79/ 61	:17/1/85:	2,5	:2	:31,05:	15,12:	8	:59	:14,64:	185,4:	4,25:	132,3	1,3	:0,54)
(P70/161	:17/1/85:	2	:1,61:	50,1	:10,41:	6	:72	:12,20:	188,7:	4,65:	154,38:	1,4	:1,28)
(P13/140	:17/1/85:	6	:2,5	:22,55:	9,4	:27	:10,6	:14,64:	182	:4,35:	92,7	0,	:0,45)
(P84/112	:17/1/85:	10,5	:3	:31,9	:11	:3	:88	:14,64:	282,2:	4,2	:162	0,5	:0,49)
(P40/ 97	:17/1/85:	7,5	:1,45:	9,4	:7,15:	22	:6,2	:19,52:	75,9:	6,35:	73,2	0,3	:0,14)
(P51/177	:17/1/85:	7,5	:3	:50,6	:10,41:	4	:125	:14,64:	346,5:	3,95:	215	0,7	:0,72)
(P42/113	:17/1/85:	8,96:	6,7	:97,5	:47,7	1	:202,5	:12,2	:801,6:	3,85:	376,6	1,3	:0,61)
(P43/185	:17/1/85:	8,32:	6,91:	36,3	:10	1	:144	:9,76:	452,6:	5,3	:216,3	1,4	:0,40)
(P66/170	:17/1/85:	1,75:	0,85:	2,4	:8,73:	14	:6,2	:19,52:	32,2:	6,32:	54,5	0,8	:0,45)
(P64/133	:17/1/85:	1,28:	1,35:	8,15:	12,43:	9	:36,96:	9,76:	83,5:	4,15:	70,8	1,8	:0,08)
(P63/178	:17/1/85:	0,64:	1	:5,95:	11,42:	4	:22,5	:9,76:	43,4:	4,3	:55,3	2,7	:0,37)
(P81/144	:17/1/85:	0,64:	0,38:	5,15:	12,76:	1	:13,50:	19,52:	31,2:	5,05:	52,95:	1	:0,47)
(P75/105	:17/1/85:	4,5	:1,34:	7,45:	14,44:	8	:10,6	:26,84:	66,8:	6,7	:73,2	0,5	:0,22)
(P59/107	:17/1/85:	3	:1,92:	6,9	:10,41:	0	:62,25:	14,64:	96	:4,35:	99,1	1	:0,03)
(P45/111	:17/1/85:	1,5	:1	:10,7	:10,33:	5	:32,6	:9,76:	79,7:	4,5	:70,9	1,1	:0,15)
(P39/ 80	:17/1/85:	1	:0,85:	5,6	:11,39:	4	:22	:14,64:	36,6:	5,8	:59,5	1,4	:0,25)
(P 7/130	:17/1/85:	2,5	:0,77:	6,9	:6,04:	2	:23,8	:14,64:	68,1:	4,8	:56,7	0,5	:0,16)
(P21/ 98	:17/1/85:	0,64:	0,4	:1,4	:3,97:	5	:10,6	:14,64:	19,9:	4,7	:36,7	1	:0,54)
(P52:184	:17/1/85:	4	:1,15:	9,7	:18,55:	3	:112,5	:9,76:	330	:4	:198,7:	0,45	:0,73)
(P78/ 62	:17/1/85:	2,5	:1,5	:13,1	:15,45:	2	:30,4	:17,08:	90	:4,62:	82	1	:0,13)
(P83/ 99	:17/1/85:	11	:2,5	:11,8	:11	9	:42,8	:21,96:	128,5:	7,3	:110	0,36	:0,14)
(P22/ 78	:17/1/85:	4,5	:1,85:	16,4	:0,08:	4	:27,9	:19,52:	120,2:	5,2	:84,3:	0,7	:0,41)
(P36/ 88	:17/1/85:	9,5	:3,2	:10,9	:15,45:	3	:67,5	:17,08:	141	:5,5	:126,6:	0,55	:0,02)
(P68/158	:17/1/85:	15,5	:3,26:	40,5	:19,08:	1	:81	:48,8	:257	:6,75:	209	0,35	:0,35)
(P79/ 61	:17/1/85:	2,5	:2	:31	:15,12:	8	:42,6	:14,64:	185,4:	4,3	:115,9:	1,3	:0,66)
(P69/165	:17/1/85:	7,5	:1,3	:10,8	:12,43:	0	:34,5	:14,64:	81,8:	4,5	:81,2:	0,3	:0,04)
(P49/ 90	:17/1/85:	6,5	:1,9	:16,6	:11,92:	0	:50	:19,52:	112,7:	6,85:	106,5:	0,5	:0,25)
(P37/101	:17/1/85:	4	:2,7	:5,1	:9,8	4	:43,3	:14,64:	79,7:	4,85:	83,5:	1,1	:0,22)
(P6 / 67	:17/1/85:	3,25:	1,1	:6,4	:10,33:	4	:51,4	:19,52:	83,1:	4,4	:96	0,56	:0,10)
(P2 /119	:17/1/85:	3	:1,7	:12	:11	9	:32,6	:9,76:	97,7:	4,5	:79	0,9	:0,20)
(P19/103	:17/1/85:	2	:1,2	:5,35:	13,44:	4	:23,8	:14,64:	62,6:	4,5	:64,4:	1	:0,42)

N° du Puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	HCO ₃ mg/l	Cond µs/cm	PH	ions mg/l	r Mg r Ca	i.e.b.
(P33/ 77)	17/1/85	1,60	0,96	3,8	4,5	7	15	17,08	31,9	6,3	50	1	- 0,03
(P 4/ 63)	17/1/85	2,5	1,85	10,1	12,98	1	28,2	26,84	80,2	4,5	83,5	1,25	- 0,06
(P38/ 79)	17/1/85	1,5	0,75	3,55	10,08	3	14,96	14,64	35,1	5,3	48,5	0,85	0,5
(P25/116)	17/1/85	0,64	0,35	2,9	9,07	1	7	17,08	27,3	4,7	38	1	0,52
(P47/ 83)	17/1/85	1,92	1,15	7,15	10,41	3	15,04	26,84	59,7	5,95	65,5	0,9	0,07
(P12/145)	17/1/85	0,64	0,38	3,5	8,06	2	10,91	14,64	35,1	4,35	140,1	1	0,36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II ₁	Equipement et période de fonctionnement des stations	53
Tableau II ₂	Précipitations moyennes annuelles et précipitations annuelles cumulées	55
Tableau II ₃	Résultats des corrélations	58
Tableau II ₄	Pluies moyennes mensuelles aux différentes stations	61
Tableau II ₅	Valeurs caractéristiques mensuelles à la station d'Orstom Adiopodoumé (Période 1948 - 1985)	65
Tableau II ₆	Valeurs statistiques caractéristiques des précipitations annuelles	68
Tableau II ₇	Pourcentages expérimentaux obtenus en ajustant les précipitations annuelles à la loi de Gauss pour chaque station	70
Tableau II ₈	Equations de la droite d'ajustement de Henry	72
Tableau II ₉	Temps de retour des valeurs caractéristiques des précipitations	72
Tableau II ₁₀	Précipitations moyennes annuelles	82
Tableau II ₁₁	Températures moyennes mensuelles en degré celsius (Période 1966 - 1985)	85
Tableau II ₁₂	Durée d'insolation totale mensuelle et moyenne journalière. Période 1966 - 1985	88
Tableau II ₁₃	Humidité relative mensuelle à la station d'IRHO Lamé (1957 - 1985)	90
Tableau II ₁₄	ETP Turc moyenne mensuelle à la station d'Orstom Adiopodoumé pour la période 1966 - 1985	94
Tableau II ₁₅	ETP moyennes annuelles selon la formule de Serra	95
Tableau II ₁₆	ETP moyennes mensuelles selon Thorntwaite	
Tableau II ₁₇	Evapotranspiration potentielles moyennes mensuelles mesurées et calculées à la station d'Orstom Adiopodoumé	97
Tableau II ₁₈	Valeurs d'évapotranspirations potentielles annuelles mesurées et calculées	98
Tableau II ₁₉	Bilan moyen annuel de l'eau à la station Orstom Adiopodoumé	102
Tableau II ₂₀	ETR mesurée par lysimétrie à la station Orstom Adiopodoumé de 1967 à 1976	103
Tableau II ₂₁	Tableau récapitulatif de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes	105
Tableau II ₂₂	Débits moyens et débits spécifiques pour la période 1983 - 1985	107
Tableau II ₂₃	Débits moyens et débits spécifiques pour l'année 1985	112
Tableau II ₂₄	Débits caractéristiques : Année 1985	117

Tableau IV ₁	Valeurs calculées de Y et de $\log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$	200
Tableau IV ₂	Conductivités hydrauliques des différents sites	202
Tableau IV ₃	Paramètres hydrodynamiques	204
Tableau IV ₄	Essais par paliers de débit (Anokoua Kouté 3)	206
Tableau IV ₅	Méthode de calcul du temps et du débit corrigés	123
Tableau IV ₆	Essai par paliers de débit Niangon 10)	215
Tableau IV ₇	Attiekoi. Essai par paliers de débit	229
Tableau IV ₈	M'Pody. Essai par paliers de débit	235
Tableau V ₁	Valeurs des niveaux piézométriques relevés à différentes périodes de l'année 1985	248
Tableau V ₂	Valeurs de la remontée des niveaux piézométriques en 1982	249
Tableau V ₃	Valeurs de la baisse des niveaux piézométriques au cours des trois dernières années (1983 - 1985)	249
Tableau VI ₁	Tableau de calcul de la minéralisation à partir de la conductivité	280
Tableau VI ₂	Minéralisations calculées à partir de la conductivité et les Ph calculés au niveau des forages	281
Tableau VI ₃	Minéralisations calculées à partir de la conductivité ainsi que les Ph calculés au niveau des puits	282
Tableau VI ₄	CO ₂ libre mesuré sur le terrain	284
Tableau VI ₅	Analyses isotopiques des eaux	287

LISTE DES FIGURES

Fig I ₁	Situation géographique de la Côte d'Ivoire	18
Fig I ₂	Disposition des différentes zones dans le F.I.T.	20
Fig I ₃	Schéma du mécanisme des variations climatiques saisonnières	21
Fig I ₄	Réseau hydrographique de la Côte d'Ivoire	23
Fig I ₅	Structures d'ensemble de l'Afrique	26
Fig I ₆	Ensemble schématique de l'ouest africain	26
Fig I ₇	Carte géologique simplifiée de la Côte d'Ivoire	29
Fig I ₈	Structure du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire	33
Fig I ₉	Histogramme des âges pour la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso	35
Fig I ₁₀	Importance relative des diverses directions principales pour l'ensemble du pays	37
Fig I ₁₁	Tectonique du bassin sédimentaire	39
Fig I ₁₂	Répartition des venues d'eau dans la roche saine	44
Fig I ₁₃	Fréquence des venues d'eau dans la roche altérée et dans la roche saine en relation avec l'épaisseur d'altération	45
Fig II ₁	Situation géographique du secteur d'étude	48
Fig II ₂	Localisation spatiale des stations climatologiques	52
Fig II ₃	Droite de corrélation double masse des pluies annuelles cumulées	56
Fig II ₄	Droite de corrélation linéaire des pluies entre les stations Orstom Adiopodoumé et IRFA Anguededou	59
Fig II ₅	Droite de corrélation linéaire des pluies entre les stations Orstom Adiopodoumé et IRCC Bingerville	59
Fig II ₆	Droite de corrélation linéaire des pluies entre les stations Orstom Adiopodoumé et Banco	60
Fig II ₇	Droite de corrélation linéaire des pluies entre les stations Orstom Adiopodoumé et Abidjan Cocody	60
Fig II ₈	Histogrammes des hauteurs des précipitations mensuelles	62
Fig II ₉	Variation des coefficients pluviométriques mensuels relatifs à la station Orstom Adiopodoumé. Période 1966 - 1985	64
Fig II ₁₀	Graphique des hauteurs de précipitations mensuelles d'après leur fréquence à la station Orstom Adiopodoumé. Période 1948 - 1985	67
Fig II ₁₁	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Abidjan aéroport	73
Fig II ₁₂	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Abidjan Cocody	74
Fig II ₁₃	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Abidjan Ville	75

Fig II ₁₄	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Banco	76
Fig II ₁₅	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station IRCC Bingerville	77
Fig II ₁₆	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station IRFA Anguededou	78
Fig II ₁₇	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station IRFA Azaguié	79
Fig II ₁₈	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station IRHO Lamé	80
Fig II ₁₉	Ajustement à la loi de Gauss des pluies annuelles de la station Orstom Adiopodoumé ..	81
Fig II ₂₀	Variation des pluies annuelles	84
Fig II ₂₁	Variation des températures moyennes mensuelles aux différentes stations au cours de la période 1966 - 1985	86
Fig II ₂₂	Variation de l'insolation journalière (1966 - 1985)	89
Fig II ₂₃	Humidité relative à la station IRHO Lamé (Période 1957 - 1985)	90
Fig II ₂₄	Vent au sol à la station Abidjan aéroport	92
Fig II ₂₅	Organigramme du bilan mensuel (Méthode de Thornthwaite)	101
Fig II ₂₆	Bilan de l'eau d'après Thornthwaite à la station d'Orstom Adiopodoumé (1983 - 1985) ..	104
Fig II ₂₇	Profils en long des rivières Gbangbo et Banco ..	104
Fig II ₂₈	Courbes de tarage	114
Fig II ₂₉	Débits moyens journaliers, courbes des débits classés au cours de l'année 1985 (Rivière Banco)	115
Fig II ₃₀	Débits moyens journaliers, courbe des débits classés au cours de l'année 1985 (Rivière Gbangbo)	116
Fig II ₃₁	Fréquence moyenne des débits journaliers	118
Fig III ₁	Carte géologique du secteur d'étude	124
Fig III ₂	Coupe 6. Nouvelles gare de train d'Anyama	127
Fig III ₃	Diagramme en rosace des directions de fractures de la carrière de la nouvelle gare de train d'Anyama	129
Fig III ₄	Histogramme de distribution des fréquences de fractures de la carrières de la nouvelle gare de train d'Anyama	129
Fig III ₅	Granite à deux micas de M'Pody	131
Fig III ₆	Le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire	134
Fig III ₇	Log schématique des séries d'Eboinda et d'Ebocco d'après De Klatz et Fabre	136
Fig III ₈	Coupe 1. Route de Leprosérie (Bingerville) ...	138
Fig III ₉	Coupe 3. Ranch Km 17 route de Dabou	140
Fig III ₁₀	Coupe 2. Station Intelci d'Akakro	142
Fig III ₁₁	Coupe 4. Village de Grand Alepé	143
Fig III ₁₂	Coupe 5. Nouvelle route d'Alepé	145
Fig III ₁₃	Coupe lithologique et analyse séquentielle du forage IV Sodéci Riviéra centre	148

Fig III ₁₄	Coupe nord sud du secteur d'étude	152
Fig III ₁₅	Schéma paléogéographique du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire	155
Fig III ₁₆	Projection cristallographique des principales faces des cristaux de zircons naturels avec leurs fréquences relatives. Réseau quadratique centré (orientation structurale (J.P. Pupin, 1976).)	157
Fig III ₁₇	Types et sous types fondamentaux de la classification (J.P. Pupin et G. Turco, 1972 a,b) ..	158
Fig III ₁₈	Position des types secondaires dans le diagramme (IA,IT) d'après J.P. Pupin, 1976 ..	159
Fig III ₁₉	Distribution typologique des populations de zircons des schistes d'Ahoué (C.A.H.)	166
Fig III ₂₀	Répartition des roches volcaniques dans le diagramme (IA,IT) selon la terminologie de A. la Croix, in Pupin, 1976	167
Fig III ₂₁	Distribution typologique de populations de zircon des schistes de la carrière 2 de la nouvelle gare de train d'Anyama	169
Fig III ₂₂	Distribution typologique des populations de zircons des sédiments du continental terminal dans le diagramme (IA,IT)	172
Fig III ₂₃	Enveloppe granulométrique du niveau 3 du forage IV Sodéci Riviéra Centre	179
Fig III ₂₄	Coupe géologique et séquentielle du forage Uniwax II (Continental terminal)	180
Fig III ₂₅	Coupe géologique et séquentielle du forage Sodéci Zone est II (Continental terminal) ...	181
Fig III ₂₆	Coupe géologique et séquentielle du piézomètre Eloka (Continental terminal)	182
Fig III ₂₇	Coupe géologique et séquentielle dans le forage Treichville (Quaternaire)	184
Fig III ₂₈	Log hydrogéologique du secteur d'étude	185
Fig III ₂₉	Exemple de sondage électrique de type 1 dans le continental terminal	188
Fig III ₃₀	Exemple de sondage électrique de type 2 dans la zone de remplissage quaternaire	190
Fig III ₃₁	Carte du toit du substratum	191
Fig IV ₁	Graphiques de la variation de $\log \frac{Y_0 + r/2}{Y + r/2}$ en fonction du temps	207
Fig IV ₂	Anokoua Kouté 3. Essai par paliers de débit ..	207
Fig IV ₃	Forage Anokoua Kouté 3 (Méthode de Boulton : descente 4° palier)	209
Fig IV ₄	Pompage d'essai. Anokoua Kouté 3. Descente (Méthode semi-logarithmique de Jacob)	210
Fig IV ₅	Pompage d'essai. Anokoua Kouté 3. Remontée ...	212
Fig IV ₆	Forage Niangon 10. Essai par paliers de débit...	216
Fig IV ₇	Forage Niangon 10 (Méthode de Boulton : descente 1° palier)	218
Fig IV ₈	Pompage d'essai. Forage Niangon 10 (Méthode semi-logarithmique de Jacob. Descente 1° palier)	219

Fig IV ₉	Pompage d'essai. Forage Niangon 10 (Remontée)	220
Fig IV ₁₀	Essai de pompage de Niangon. Descente dans le piézomètre N2 (Méthode bilogarithmique de Theiss)	223
Fig IV ₁₁	Essai de pompage de Niangon. Descente dans le piézomètre N2 (Méthode semi-logarithmique de Jacob)	224
Fig IV ₁₂	Essai de pompage de Niangon. Remontée dans le forage	226
Fig IV ₁₃	Attiékoi. Essai par paliers de débit	228
Fig IV ₁₄	Attiékoi. Pompage d'essai (Méthode bilogarithmique de Theiss. Descente 1° palier)	230
Fig IV ₁₅	Attiékoi. Pompage d'essai (Méthode semi-logarithmique de Jacob)	231
Fig IV ₁₆	Attiékoi. Pompage d'essai. Remontée	232
Fig IV ₁₇	M'Pody. Essai par paliers de débit	236
Fig IV ₁₈	M'Pody. Pompage d'essai (Méthode de Theiss. Descente 2° palier)	237
Fig IV ₁₉	M'Pody. Pompage d'essai (Méthode semi-logarithmique de Jacob)	238
Fig IV ₂₀	M'Pody. Pompage d'essai. Remontée	240
Fig V ₁	Carte de situation des points d'eau	246
Fig V ₂	Variation des niveaux piézométriques mensuels. Période 1983 - 1985	249
Fig V ₃	Variation des niveaux piézométriques mensuels. Période 1983 - 1985	250
Fig V ₄	Carte piézométrique de la nappe du continental terminal. Basses eaux (Février 1986)	254
Fig V ₅	Carte piézométrique de la nappe du continental terminal. Hautes eaux (Août 1986)	255
Fig V ₆	Piézométrie locale du Banco (Faillat et Squarcioni, 1978)	256
Fig VI ₁	Diagramme de Piper	264
Fig VI ₂	Diagramme logarithmique de Schoeller (Eaux bicarbonatées sodiques)	265
Fig VI ₃	Diagramme logarithmique de Schoeller (Eaux bicarbonatées magnésiennes)	267
Fig VI ₄	Diagramme logarithmique de Schoeller (Eaux chlorurées sodiques)	269
Fig VI ₅	Diagramme logarithmique de Schoeller (Eaux chlorurées magnésiennes)	271
Fig VI ₆	Diagramme logarithmique de Schoeller (Eaux chlorurées calciques)	272
Fig VI ₇	Carte d'équirapports $r \frac{Mg}{Ca}$	276
Fig VI ₈	Togo. Relation $S^{18}O/SD$ pour l'aquifère du continental terminal (d'après Akiti)	289

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	15
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LA COTE D'IVOIRE	17
I ₁ CADRE PHYSIQUE	19
I ₁₁ Situation géographique. Relief	19
I ₁₂ Le climat et la végétation	19
I _{12.1} Le climat	19
I _{12.2} La végétation	21
I ₁₃ Réseau hydrographique	22
I ₂ GEOLOGIE	25
I ₂₁ Introduction	25
I ₂₂ Formations géologiques	28
I _{22.1} Le socle	28
I _{22.1.1} Les roches cristallines	28
I _{22.1.2} Les métaporphites	30
I _{22.1.2.1} Formation volcano-sédimentaire	31
I _{22.1.2.2} Formation de flyschs et molasses	31
I _{22.1.3} Le domaine libérien	31
I _{22.2} Le bassin sédimentaire côtier	32
I ₂₃ Répartition temporelle des formations géologiques	34
I ₂₄ La tectonique	35
I _{24.1} Tectonique plicative	35
I _{24.2} Tectonique cassante	36
I _{24.3} Tectonique du bassin sédimentaire	38
I ₃ HYDROGEOLOGIE	39
I ₃₁ Historique des recherches	39
I ₃₂ Les principaux aquifères	41
I _{32.1} Aquifères continus	41
I _{32.1.1} Les sables quaternaires	42
I _{32.1.2} Le continental terminal	42
I _{32.1.3} Le crétacé supérieur	42
I _{32.2} Aquifères discontinus	43
I _{32.2.1} Aquifères de la tranche altérée	43
I _{32.2.2} Aquifères de la tranche fissurée ou fracturée	44

CHAPITRE II. ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE	47
II ₁ GENERALITES	49
II ₁₁ Situation	49
II ₁₂ Géomorphologie	49
II ₁₃ Climatologie	50
II ₁₄ Hydrographie	50
II ₂ INTRODUCTION A L'ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE	50
II ₃ SITUATION GEOGRAPHIQUE ET FONCTIONNEMENT DES STATIONS	51
II ₄ ETUDE DES PRECIPITATIONS	53
II ₄₁ Test d'homogénéité ou corrélation double-masse	53
II ₄₂ Régression linéaire	57
II ₄₃ Pluies mensuelles	61
II _{43.1} Pluies mensuelles pour une année moyenne aux différentes stations	61
II _{43.2} Etude des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Orstom Adiopodoumé	63
II _{43.2.1} Coefficient pluviométrique mensuel relatif	63
II _{43.2.2} Valeurs caractéristiques mensuelles	65
II _{43.2.3} Hauteur des précipitations d'après leur fréquence	66
II ₄₄ Pluies annuelles	66
II _{44.1} Calcul des valeurs caractéristiques	66
II _{44.2} Ajustement des précipitations à la loi normale de Gauss	69
II _{44.3} Période de retour des pluies	71
II _{44.4} Variation des pluies annuelles	82
II ₅ ETUDE DES TEMPERATURES	83
II ₆ INSOLATION	87
II ₇ HUMIDITE RELATIVE	89
II ₈ VENT	91
II ₉ ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION	92
II ₉₁ Calcul de l'évapotranspiration potentielle	93
II _{91.1} ETP selon la formule de Turc	93
II _{91.2} ETP selon la formule de Serra	95
II _{91.3} ETP selon la formule de Thornthwaite	95
II ₉₂ Calcul de l'évapotranspiration réelle	98
II _{92.1} Formule de Turc	99
II _{92.2} Première formule de Contagne	100
II _{92.3} Calcul de l'ETR selon le bilan hydrique de Thornthwaite	100
II _{92.4} ETR déterminée par lysimétrie	103
II ₉₃ Discussion des résultats	105

II ₁₀ HYDROLOGIE DE SURFACE	106
II _{10.1} Généralités	106
II _{10.2} Régime hydrologique du Gbangbo et du Banco ..	108
II _{10.2.1} Bassins versants du Gbangbo et du Banco	108
II _{10.2.2} Tarage du Gbangbo et du Banco	110
II _{10.2.2.1} Stations hydrométriques. Equipement	110
II _{10.2.2.2} Etalonnage des stations	110
II _{10.2.3} Débits mesurés sur le Banco (Station école forestière) et sur le Gbangbo (Station Sodefor) pour l'année 1985 ..	111
II _{10.2.3} Débits mesurés caractéristiques	113
II _{10.2.3.2} Fréquence moyenne des débits journaliers	117
II ₁₁ ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU GBANGBO	117
II _{11.1} Pluviométrie moyenne annuelle	119
II _{11.2} Evapotranspiration réelle moyenne annuelle ..	119
II _{11.3} Ruissellement	119
II _{11.4} Infiltration	120
II ₁₂ CONCLUSION	121
CHAPITRE III. GEOLOGIE	123
III ₁ INTRODUCTION	125
III ₂ STRATIGRAPHIE	125
III ₂₁ Le socle	125
III _{21.1} Les roches cristallophylliennes	125
III _{21.2} Les roches cristallines	130
III ₂₂ Le bassin sédimentaire	132
III _{22.1} Secondaire	133
III _{22.1.1} Crétacé inférieur	133
III _{22.1.2} Crétacé supérieur	133
III _{22.2} Tertiaire	135
III _{22.2.1} Paléocène	135
III _{22.2.2} Miocène marin	135
III _{22.2.3} Miocène ou continental terminal ...	139
III _{22.2.3.1} Le toit du continental terminal	139
III _{22.2.3.1.1} Coupe 3. Ranch Km 17. Route de Dabou	139
III _{22.2.3.1.2} Coupe 2. Station Intelci d'Akakro	141
III _{22.2.3.1.3} Coupe 4. Village de Grand Alepé	143
III _{22.2.3.1.4} Description de certains faciès rencontrés	144

- III_{22.2.3.2} Le mur du continental terminal .. 145
- III_{22.2.3.3} Succession stratigraphique dans le continental terminal 147
- III_{22.3} Quaternaire 149
 - III_{22.3.1} Formation 1 lagunaire 150
 - III_{22.3.2} Formation 2 150
 - III_{22.3.3} Formation 3 150
 - III_{22.3.4} Formation 3a 150
- III_{22.4} Coupe nord-sud du secteur d'étude 151
- III_{22.5} Paléogéographie du bassin sédimentaire . 153
- III₃ ETUDE TYPOLOGIQUE DU ZIRCON 156
 - III₃₁ Généralités 156
 - III_{31.1} Bref historique des travaux antérieurs . 156
 - III_{31.2} Base fondamentale de la méthode proposée (J.P. Pupin et G. Turco, 1972) 157
 - III_{31.2.1} Système cristallographique et indexation 157
 - III_{31.2.2} Classification typologique du zircon accessoire 158
 - III_{31.2.2.1} Types principaux 158
 - III_{31.2.2.2} Types secondaires 159
 - III_{31.2.3} Etude d'une population de zircons . 159
 - III_{31.2.3.1} Préparation des concentrés de zircon 159
 - III_{31.2.3.2} Etude de la population au microscope 161
 - III_{31.2.3.3} Autres caractères des zircons (J.P. Pupin, 1976) 161
 - III_{31.2.3.3.1} Qualité des formes cristallines 161
 - III_{31.2.3.3.2} La couleur 162
 - III_{31.2.3.3.3} Groupements cristallins . 162
 - III_{31.2.3.3.4} Croissance de cristaux .. 162
 - III_{31.2.3.3.5} Corrosion 162
 - III_{31.2.3.3.6} Noyaux 162
 - III_{31.2.3.3.7} Zonage 163
 - III_{31.2.3.3.8} Inclusions 163
- III₃₂ Application de la méthode typologique du zircon accessoire 163
 - III_{32.1} Introduction 163
 - III_{32.2} Application à l'étude des formations schisteuses 164
 - III_{32.2.1} Echantillon C.A.H. 164
 - III_{32.2.1.1} Caractéristiques des zircons de la population 164
 - III_{32.2.1.2} Fréquence des types de zircon 164
 - III_{32.2.1.3} Interprétation des résultats . 165

- III_{32.2.2} Echantillon C₂P₂ 165
 - III_{32.2.2.1} Caractéristiques des zircons de la population 168
 - III_{32.2.2.2} Fréquence des types de zircon 168
 - III_{32.2.2.3} Interprétation des résultats . 168
- III_{32.3} Application à l'étude des formations sédimentaires du continental terminal . 170
 - III_{31.3.1} Caractéristiques des zircons 170
 - III_{32.3.2} Fréquence des types de zircon 170
 - III_{32.3.3} Interprétation des résultats 171
 - III_{32.4} Conclusions 171
- III₄ CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIFFERENTS ENSEMBLES GEOLOGIQUES DE LA REGION D'ETUDE 177
 - III₄₁ Socle cristallin et cristallophyllien 177
 - III_{41.1} Les schistes 177
 - III_{41.2} Le granite à deux micas de M'Pody 177
 - III₄₂ Crétacé supérieur 177
 - III₄₃ Le paléocène 178
 - III₄₄ Le miocène marin 178
 - III₄₅ Miopliocène ou continental terminal 178
 - III₄₆ Quaternaire 183
- III₅ TOPOGRAPHIE DU TOIT DU SOCLE 186
 - III₅₁ Mesures géophysiques 186
 - III_{51.1} Méthode par prospection sismique réfraction 186
 - III_{51.1.1} Résultats 186
 - III_{51.2} Méthode par prospection électrique 187
 - III_{51.2.1} Sondage électrique d'étalonnage ... 187
 - III_{51.2.2} Echelle des résistivités et corrélation géologique 187
 - III₅₂ Etablissement de la carte du toit du socle ... 189
- III₆ CONCLUSIONS 192
- CHAPITRE IV. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES 195
 - IV₁ INTRODUCTION 197
 - IV₂ DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE (K) PAR LA MESURE D'INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOL 197
 - IV₂₁ Principe de la méthode 197
 - IV₂₂ Application de la méthode aux sites choisis ... 199
 - IV₂₃ Conclusions 202
 - IV₃ POMPAGES D'ESSAI 202
 - IV₃₁ Interprétation des pompages 203
 - IV_{31.1} Résultats antérieurs à l'étude 203

IV _{31.2}	Essai de pompage Anokoua Kouté 3	205
IV _{31.2.1}	Hydrogéologie et géologie	205
IV _{31.2.2}	Pompage d'essai	205
IV _{31.2.2.1}	Essai par paliers de débit	206
IV _{31.2.2.2}	Descente	208
IV _{31.2.2.3}	Remontée	211
IV _{31.2.2.4}	Conclusions	213
IV _{31.3}	Essai de pompage Niangon 10	214
IV _{31.3.1}	Hydrogéologie et géologie	214
IV _{31.3.2}	Pompage d'essai	214
IV _{31.3.2.1}	Essai par paliers de débit	215
IV _{31.3.2.2}	Descente	217
IV _{31.3.2.3}	Remontée	221
IV _{31.3.2.4}	Conclusions	221
IV _{31.4}	Essai de pompage Niangon	221
IV _{31.4.1}	Géologie et Hydrogéologie	221
IV _{31.4.2}	Pompage d'essai	222
IV _{31.4.2.1}	Descente	222
IV _{31.4.2.2}	Remontée	225
IV _{31.4.2.3}	Conclusions	225
IV _{31.5}	Essai de pompage d'Attiekoi	227
IV _{31.5.1}	Géologie et hydrogéologie	227
IV _{31.5.2}	Pompage d'essai	227
IV _{31.5.2.1}	Essai par paliers de débit	227
IV _{31.5.2.2}	Descente	229
IV _{31.5.2.3}	Remontée	233
IV _{31.5.2.4}	Conclusions	234
IV _{31.6}	Essai de pompage de M'Pody	234
IV _{31.6.1}	Géologie d'hydrogéologie	234
IV _{31.6.2}	Pompage d'essai	234
IV _{31.6.2.1}	Essai par paliers de débit	234
IV _{31.6.2.2}	Descente	235
IV _{31.6.2.3}	Remontée	239
IV _{31.6.2.4}	Conclusion	241
IV ₄	CONCLUSION	241
	CHAPITRE V. ETUDE PIEZOMETRIQUE	245
V ₁	INTRODUCTION	247
V ₂	REGIME DE LA NAPPE	247
V ₃	ETABLISSEMENT ET INTERPRETATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES	253
V ₄	ZONE D'ALIMENTATION	256
V ₅	CONCLUSIONS	257

	CHAPITRE VI. ETUDE GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES	259
VI ₁	ETUDE GEOCHIMIQUE	261
VI ₁₁	Introduction	261
VI ₁₂	Caractéristiques physiques des eaux	261
VI _{12.1}	Température	261
VI _{12.2}	Ph	262
VI _{12.3}	Conductivité	262
VI ₁₃	Classification chimique des eaux	262
VI _{13.1}	Les eaux bicarbonatées	263
VI _{13.1.1}	Les eaux bicarbonatées sodiques	263
VI _{13.1.2}	Les eaux bicarbonatées magnessiennes	266
VI _{13.2}	Les eaux chlorurées	268
VI _{13.2.1}	Les eaux chlorurées sodiques	268
VI _{13.2.2}	Les eaux chlorurées magnessiennes	270
VI _{13.2.3}	Les eaux chlorurées calciques	270
VI ₁₄	Génèse de la minéralisation	270
VI _{14.1}	Indice d'échange de base (i.e.b.)	273
VI _{14.2}	Origine des ions	274
VI _{14.2.1}	Calcium. Magnésium	274
VI _{14.2.2}	Sodium. Potassium	275
VI _{14.2.3}	Bicarbonates	277
VI _{14.2.4}	Chlorures	277
VI _{14.2.5}	Les sulfates	278
VI _{14.2.6}	Les nitrates	278
VI ₁₅	Origine du déséquilibre de la balance ionique	278
VI ₁₆	Conclusions	283
VI ₂	ETUDE ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES	285
VI ₂₁	Généralités	285
VI _{21.1}	Deutérium. Oxygène 18	286
VI _{21.2}	Tritium	287
VI ₂₂	Analyse et interprétation des résultats	287
VI ₂₃	Conclusions	290
	CONCLUSION GENERALE	291
	BIBLIOGRAPHIE	295
	ANNEXES	301
	Annexes I	302
	Annexes II	303
	Liste des tableaux	307
	Liste des figures	309

ERRATA

- Page 28 :
Dernière ligne. Lire :
syntectonique
- Page 56 :
Légende de la Fig II₃. Lire :
Orstom. Adiopodoumé - IRFA AZAGUIE
- Page 57 :
4° ligne. Lire :
Orstom Adiopodoumé
8° ligne. Lire :
d'IRHO LAME
- Page 133 :
9° ligne. Lire :
472 mètres à Adiadon près de Grand Lahou
- Page 242 :
Avant dernière ligne. Lire :
voisinage
- Page 252 :
9° ligne. Lire :
les courbes des niveaux piézométriques
- Page 278 :
Dernière ligne. Lire :
observé
- Page 289 :
Légende de la figure VI₈. Lire :
Togo. Relation $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$ pour l'aquifère du continental
terminal (d'après Akiti)

THESE DE 3^{ème} CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE
(option Hydrogéologie)

Titre de l'ouvrage :

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE
ET HYDROGÉOLOGIQUE
DE LA RÉGION DU GRAND ABIDJAN
(COTE D'IVOIRE)**

Nom de l'auteur : Jean Roger Patrice JOURDA

Etablissement : Université Scientifique, Technologique
et Médicale de Grenoble

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
E 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL: (76) 87.46.42

RÉSUMÉ

Après avoir décrit le cadre géologique de la région d'étude située à cheval sur le bouclier ouest africain et le bassin sédimentaire côtier, sont tout d'abord, traitées les données hydroclimatologiques nécessaires à l'établissement du bilan hydrologique du bassin versant témoin du Gbangbo.

Les résultats des essais de pompages effectués, ainsi que la mesure directe de la perméabilité par essais d'infiltration sur le terrain ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (T, S et K) de la nappe du continental terminal et des aquifères fissurés du socle métamorphiques.

L'interprétation de l'évolution des niveaux piézométriques et des cartes piézométriques a permis de mettre en évidence les divers types d'écoulement et les zones d'alimentation de la nappe du continental terminal du bassin sédimentaire.

L'étude hydrochimique a montré que l'acidité de l'eau de la nappe du continental terminal est due à la présence d'ions hydrogène libérés lors d'échanges entre les eaux provenant du socle cristallin et les minéraux contenus dans les assises sédimentaires pauvres en cations ; le déséquilibre de la balance ionique est équilibré par ces ions hydrogène. Les analyses des teneurs en isotopes stables et instables (Tritium et oxygène 18) ont montré que les eaux exploitées par forage au-delà de cinquante mètres de profondeur sont pour la majeure partie des eaux souterraines ne se renouvelant que très lentement.

MOTS-CLÉS

Bouclier ouest africain - Continental terminal - Bilan hydrologique - Caractéristiques hydrodynamiques - Nappe - Niveaux piézométriques - Cartes piézométriques - Acidité - Ions hydrogène - Balance ionique - Isotopes.

16 SEP. 1987

16 SEP. 1987