



**Thèse**  
**Présentée par**  
**MOUKOLO, Noël**

**UCAD - FST**  
**DEPARTEMENT DE**  
**GEOLOGIE**

**Le bassin du fleuve congo : modalités des écoulements de surface et souterrains. approche des échanges hydriques surface, souterrain en milieu continu. hydrologie-hydrogeologie-hydrochimie**

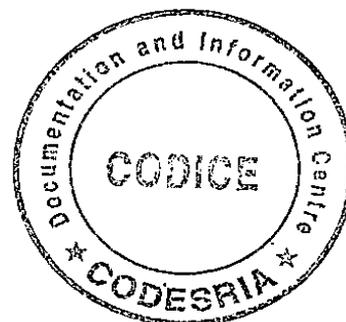
---

**10 MARS 2000**



07 SEP. 2000

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



**THESE**

Présentée pour obtenir le grade de

**DOCTEUR ès SCIENCES**

Par

**MOUKOLO Noël**

**LE BASSIN DU FLEUVE CONGO  
MODALITES DES ECOULEMENTS DE SURFACE ET  
SOUTERRAINS. APPROCHE DES ECHANGES HYDRIQUES  
SURFACE/SOUTERRAIN EN MILIEU CONTINU.  
(HYDROLOGIE – HYDROGEOLOGIE – HYDROCHIMIE)**

Soutenue publiquement le 10 mars 2000  
devant le jury :

M. Ababacar	LY	Président	UCAD
M. Cheikh	B. GAYE	Directeur de thèse	UCAD
M. Abdoulaye	FAYE	Rapporteur	UCAD
M. Alioune	KANE	Rapporteur	UCAD
M. Mamadou	FALL	Examineur	UCAD
M. Bachir	DIOUF	Examineur	UCAD

*Cette thèse, je la dédie :*

- à mon très regretté cher père, **NGOUETE Théodore**, décédé en 1995 et qui n'a pu voir son aboutissement ;
- à ma mère, **NGOUNGA Simone**, pour toutes les privations ;
- à mon épouse, **Madame MOUKOLO née BIKOUNGOU Madeleine**, qui a tout entrepris pour faire avancer les choses ;
- à tous les porteurs du nom **MOUKOLO** :

**Roleine Abigaëlle  
Miryam Annaï  
Falonne Marilyn  
Noëlle Sarah  
Jacqueline Kathia**

*Merci pour tout.*

## REMERCIEMENTS

- Avant d'exposer ce travail, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Notre gratitude va à l'endroit de Monsieur le professeur **Cheikh Bécaye GAYE** qui a accepté de diriger cette thèse. Nous lui exprimons tous nos remerciements pour sa disponibilité et pour ses précieux conseils qui nous ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

Nous remercions également :

- Monsieur le professeur **Ababacar LY** qui a bien voulu présider au jury de soutenance de cette thèse ;
- Messieurs les membres du jury qui ont accepté d'examiner de manière critique ce travail;
- Tout le personnel, enseignants et techniciens du département de Géologie de l'Université Cheikh Anta DIOP, pour la collaboration et la sympathie qu'il a manifesté à mon égard.

- Plusieurs institutions et organismes de coopération bilatérale et multilatérale sollicités ont également apporté des contributions substantielles dans la réalisation de ce travail. Il s'agit plus singulièrement des agences et programmes ci-après auxquels nous adressons nos très sincères remerciements :

- L'**Agence Universitaire de la Francophonie (AUPELF)** qui a pris à sa charge nos différents séjours de travail à l'Université de Dakar au Sénégal ;
- le **Conseil pour le Développement de la Recherche en Sciences Sociales en Afrique (CODESRIA)**, qui nous a accordé un financement pour la rédaction et la publication de cette thèse ;
- le volet hydrologique de ce travail a été réalisé dans le cadre du programme PEGI-GBF financé par l'**Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération- ORSTOM**. Nous exprimons notre profonde gratitude à Monsieur **Jean Pierre BRICQUET**, responsable local de ce programme à Brazzaville, qui a bien voulu nous impliquer dans cette oeuvre en qualité de chercheur associé DGRST et mettre à notre disposition les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance pour avoir autorisé la publication des résultats obtenus dans le cadre de ce programme.
- le volet hydrogéologique a bénéficié des contributions du **Programme de Cartographie Hydrogéologique Internationale de l'Afrique-PCHIA**. A Monsieur **Safar ZITOUN** coordonnateur de ce programme et à Monsieur **Jean MARGAT** Directeur de recherche au Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM- France), qui ont consenti des moyens importants pour la réalisation de ce volet, nous leur exprimons nos sincères remerciements.

- Enfin, nous remercions aussi nos amis et collègues **Edouard MIAMBI** et **Michel BITEMO** qui ont largement contribué à la finalisation de ce travail, notamment dans le traitement statistique des données. Nous n'oublions pas l'équipe qui a saisi ce document : Madame **Dorothée ANDOUA** et monsieur **Grégoire MBOUNGOU**, à laquelle nous disons merci.

## SOMMAIRE

	<b>Pages</b>
REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
RESUME	8
LISTE DES FIGURES	12
LISTE DES TABLEAUX	14
ABREVIATIONS	16
 INTRODUCTION GENERALE	 18
 <b>PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT DU CONGO- MATERIEL ET METHODES</b>	
 <b>- CHAPITRE I : <i>Présentation générale du bassin versant du Congo</i></b>	
1 Situation géographique	21
2 Climat	22
3 Grands traits morphologiques du bassin versant	30
4 Cadre géologique du bassin versant	35
5 Sols	52
6 Végétation	54
 <b>- CHAPITRE II : <i>Matériels et Méthodes</i></b>	
1 Mesures des écoulements de surface	55
2 Mesures des écoulements souterrains	60
3 Mesures des matières dissoutes	64
4 Minéralogie et géochimie des matières en suspension	67
5 Traitement statistique des données	68
 <b>DEUXIEME PARTIE: RÉSULTATS – DISCUSSIONS</b>	
 <b>CHAPITRE I : <i>Modalités des écoulements de surface</i></b>	
<i>Hydrologie - Bilans et variations des exportations de matières .</i>	
<b>1 <i>Régimes et bilans hydrologiques</i></b>	<b>70</b>
1.1 Hydrographie générale du bassin	70
1.2 Caractéristiques de l'écoulement	72
1.3 Hydrologie du bassin pendant la période de l'étude	76

<b>2. Flux de matières dissoutes et particulaires - Bilan de l'aliération chimique et de l'érosion mécanique</b>	<b>80</b>
2.1 Résultats des mesures effectuées à la station Principale de Brazzaville	80
2.1.1 Bilan des matières	80
2.1.2 Composition chimique des matières dissoutes	89
2.1.3 Minéralogie et géochimie des matières en suspension	92
2.2 Valeurs obtenues sur les principaux affluents de la rive droite	95
2.2.1 Bilan des matières	95
2.2.2 Composition chimique des matières dissoutes	97
2.3 Etude des faciès chimiques	105
2.3.1 Chimisme des eaux du fleuve Congo à Brazzaville	105
2.3.2 Chimisme des eaux des rivières Batéké	105
2.3.3 Chimisme des eaux des rivières des plateaux du nord-ouest	105
2.3.4 Comparaison des différents faciès	105
2.3.5 Faciès dominants	105
3 Valeurs obtenues sur d'autres bassins fluviaux	109
3.1 Rio Madeira à Villabella	109
3.2 Niger (bassin amont)	110
3.3 Sénégal (à l'estuaire)	110
<b>CHAPITRE II: Modalités des écoulements souterrains</b>	<b>112</b>
<b>Hydrodynamique – hydrochimie - Bilan d'eau</b>	
<b>1 Introduction</b>	<b>112</b>
<b>2 Aquifères généralisés</b>	<b>112</b>
<b>2.1 Aquifères du Sédimentaire côtier</b>	<b>112</b>
2.1.1 Aquifère à nappe libre superficielle dans la région de Pointe Noire	114
2.1.2 Aquifère à nappe semi- captive inférieure dans la région de Pointe Noire	117

<b>2.2 Aquifères des Terrains continentaux de la Cuvette congolaise</b>	<b>121</b>
2.2.1 Nappe souterraine de Brazzaville	122
2.2.1.1 Evaluation des réserves de la nappe	122
2.2.1.2 Ecoulement de la nappe	124
2.2.1.3 Qualité de l'eau de la nappe	124
2.2.2 Complexe hydrogéologique des plateaux Batéké	127
2.2.2.1 Nappe générale profonde des Plateaux Batéké	127
2.2.2.2 Petites nappes perchées	130
2.2.2.3 Mares	131
2.2.2.4 Chimie des eaux	132
<b>3 Aquifères discontinus</b>	<b>133</b>
<b>3.1 Aquifères du Sédimentaire ancien – Précambrien moyen et supérieur</b>	<b>133</b>
3.1.1. Aquifères carbonatés fissurés et karstiques de la série Schisto-Calcaire	133
3.1.1.1 Altération et karstification du Schisto-Calcaire	133
3.1.1.2 Différents systèmes aquifères	134
3.1.1.3 Qualité chimique des eaux	137
3.1.2. Aquifères des formations Schisto-Gréseuses	139
<b>3.2 Aquifères des roches cristallines et cristalloyphyllics</b>	<b>141</b>
3.2.1 Aquifères généralisés	141
3.2.2 Aquifères discontinus	141
3.2.3 Essais de nappes	141
3.2.4. Qualité de l'eau	141
<b>4. Alimentation des nappes souterraines</b>	<b>143</b>
4.1 Bilan hydrologique	143
4.2 Discussion des résultats	149

<b>5 Approche des échanges eau de surface-eau souterraine en milieu continu</b>	150
5.1 Equipements de mesures – Résultats – Interprétations	150
5.1.1 Choix des stations de mesures	150
5.1.2 Contexte hydrodynamique	151
5.1.3 Données pluviométriques	152
5.1.4 Données hydrométriques	152
5.1.5 Données piézométriques	154
5.1.6 Essais de corrélations entre les différents paramètres	155
5.2 Echanges eau de surface- eau souterraine	160
5.2.1 Point de vue hydrodynamique	160
5.2.2 Point de vue hydrochimique	160
<b>- CONCLUSIONS GÉNÉRALES</b>	163
<b>- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	167
<b>- ANNEXES</b>	
Annexe I. : Débits mensuels du fleuve Congo à Brazzaville et de ses principaux affluents de la rive droite	
Annexe II. : Résultats des mesures physiques et physico-chimiques	
Annexe III. : Résultats de la caractérisation hydrochimique des matières dissoutes	

## RESUME

Cette thèse réalisée sur le bassin du fleuve Congo a bénéficié des contributions de deux projets majeurs sur l'hydrologie et l'hydrogéologie de ce bassin. Il s'agit des projets PEGI initié par l'ORSTOM et PCHIA initié par l'OUA. La thèse rend compte des résultats acquis durant les onze années de recherches sur le fonctionnement hydrologique, hydrogéologique et hydrogéochimique du bassin du Congo.

Les évaluations hydrologiques ont permis de préciser les modalités des écoulements de surface. Le bilan hydrologique global a été établi et a abouti aux différents termes suivants :

- superficie du bassin versant :  $3,7.10^6 \text{ km}^2$  ;
- pluviométrie moyenne : 1700 mm ;
- évapotranspiration réelle moyenne : 1000 mm ;
- précipitation efficace moyenne : 580 mm ;
- ruissellement moyen : 120 mm.

Par ailleurs, les bilans chiffrés des exportations de matières réalisés à la station principale de Brazzaville contrôlant plus de 95% de la superficie totale du bassin se présentent de la façon suivante :

- Transport solide :  $30,6 \cdot 10^6 \text{ t.an}^{-1}$
- Transport dissous :  $61,1 \cdot 10^6 \text{ t.an}^{-1}$
- Débit liquide :  $41.700 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

Ces résultats révèlent que l'érosion chimique est largement prépondérante (dynamique des bassins aplanis protégés par un couvert végétal dense).

Les analyses hydrochimiques ont montré une faible minéralisation des eaux du fleuve.

Les études hydrogéologiques ont été entreprises en vue de caractériser les différents aquifères. Ces études ont révélé l'existence de deux types d'aquifères :

-les aquifères généralisés : ils sont représentés par les formations de la zone du littoral, celles de la cuvette centrale et les formations récentes des plateaux batéké. Ces formations sont en grande partie constituées de dépôts meubles ayant une porosité de matrice.

-les aquifères discontinus sont représentés par les formations du sédimentaire ancien et les roches cristallines et cristallophylliennes du Précambrien inférieur et moyen. Ce sont des roches compactes et indurées (grès, calcaires, granite, gneiss etc ...). Dans ces aquifères la porosité de fissure domine.

**Certains paramètres hydrodynamiques** ont été calculés et on a abouti aux valeurs suivantes :

- **une transmissivité** très variable, allant de  $6.10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  à  $10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  dans les aquifères discontinus;
- 
- dans les formations à porosité de matrice on a enregistré des **coefficients de Darcy** de l'ordre de  $10^{-5} \text{ m}.\text{s}^{-1}$ . La **porosité efficace** moyenne a été évaluée à 10% dans les aquifères batéké.

**Un bilan hydrologique** chiffré a été établi et a donné les valeurs suivantes :

- **Ecoulement souterrain moyen** :  $2,146. 10^{12} \text{ m}^3.\text{an}^{-1}$
- **Ecoulement total moyen à la sortie (exutoire principal)**:  $2,55.10^{12} \text{ m}^3.\text{an}^{-1}$

Ces chiffres indiquent que les écoulements souterrains représentent plus de 80% des écoulements totaux sur l'ensemble du bassin.

Enfin, **les échanges hydriques Surface / Souterrain ont été étudiés en milieu continu** dans des formations sédimentaires quasi-isotropes à porosité d'interstice. Ils ont été prouvés par l'interprétation des données hydrodynamiques et piézométriques. Notamment l'analyse de la courbe de rabattement a mis en évidence **l'existence d'une liaison hydraulique entre la nappe phréatique et les rivières** qui la drainent. Ainsi, l'alimentation de la nappe en période de hautes eaux provient des cours d'eau qui constituent ses limites à potentiel imposé.

En période d'étiage cette liaison est inversée. L'interprétation des courbes hydroisohypses montre que les rivières sont alors alimentées par la vidange de la nappe.

**Les aspects hydrochimiques** ont également été abordés dans ce travail. Les analyses effectuées sur divers prélèvements font ressortir deux catégories d'eau :

- a) les eaux très peu minéralisées des nappes superficielles :
  - .résidu sec de 10 à 50  $\text{mg.l}^{-1}$  ;
  - .degré hydrotimétrique faible de 1 à 5° français.
- b) les eaux des nappes profondes relativement plus chargées:
  - .résidu sec de 250 à 350  $\text{mg.l}^{-1}$
  - .degré hydrotimétrique de l'ordre de 30° français.

Ce travail constitue une contribution importante dans la compréhension des mécanismes qui régissent les différents écoulements (de surface et souterrains) et le fonctionnement d'ensemble des bassins versants hydrologique et hydrogéologique du fleuve Congo.

**Mots clés:** Hydrologie -- Hydrogéologie – Hydrochimie – Bassin du Congo.

## ABSTRACT

This memory made point of different result acquired since eleven years of research on the hydrologic, hydrogeologic and hydrochimic functional of Congo basin.

Hydrologic value have permitted to specify flows mode of surface. Hydrolic balance eggragate has been established to different following terms :

**surface of slope basin :  $3,7.10^6 \text{ km}^2$ ;**  
**average rain gauge : 17 00 mm;**  
**real average evapotranspire : 1000 mm;**  
**average efficacious rain fall : 580 mm;**  
**average streaming : 120 mm.**

Otherwise, balance numerated of matter exportation realized at the principal station of Brazzaville controlling more of 95 % of the total basin area represented thus:

**solid tranport :  $30,6.10^6 \text{ t. an}^{-1}$**   
**disolve trasport :  $61,1.10^6 \text{ t an}^{-1}$**   
**flow liquid :  $41.700 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$**

These result reveal that chimical erosion is largely preponderant (system biostatic in humid zone with dense vegetation).

The hydrochemical analyses have showed a weak mineralization of river's waters.

Hydrogeologic studies have been entrepresed in sight of characterized the different aquiferes. These studies have revealed being of two types of aquiferes:

**Generalized aquiferes:** they are represented by the formation in the littoral zone those of central basin and recent formation of plateau Batéké. These formations are in great part constitute of deposit loose with a womb porosity;

**Discontinuous aquiferes:** are represented by formation of ancient sedimentary and rock crystalline and cristalophiliens of middle and inferior precambrien these are compact rock and indurated (sand stone, granite, limestone etc...). In these aquiferes porosity of fissure dominate.

Certains parameters hydrodynamic have been calculated and they have resulted to follow value.

- Communicable very variable, going to  $6.10^{-5} \text{ m}^2. \text{s}^{-1}$  to  $10^{-3} \text{ m}^2. \text{s}^{-1}$  in the discontinous aquifere.
- In the formation with porosity of womb they have registered coefficient of Darcy in order of  $10^{-5} \text{ m. s}^{-1}$ . The efficace average porosity has been appraised to 10 % in the Batéké aquifere.

Balance hydrolic calculate have been established and have been given follow value:

- average underground flow :  $2.146 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ ;
- total flow average in out (principal outlet) :  $2.55 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ .

The numeral advisable that flow underground represented more of 80 % of total flow on whole basin.

Finally the exchange hydric superficial flow between underground flow have been studied in continous set in the sedimentary formation quasi isotropes with porosity of "Interstice" they have been proved by question of hydrodynamic and piezometric given.

Especially analyses of lower curved have puted in obviousness existence of one connection hydrolic between slick phreatic and that drain it.

This supply of slick in period of great water derive of steam which constitute their limit with imposed potential in low water period this connection invert interpretation of curved hydroisohypse. Showed that river are supplied by drain slick.

Hydrochimic view have equally been take up in this work analyses effect on various levy emphasize two water categories:

- water less mineracized slick:**
- dry residu: 10 to 50 mg.l<sup>-1</sup>;**
- degree hydrometric weak of 1 to 50° french degree.**
- water of slick deep relatively more loaded:**
- dry residu : 250 to 350 mg.l<sup>-1</sup>;**
- degree hydrometric in order of 30 french degree.**

This work constitute an important contribution in the understanding of mechanism which different flows (superficial and underground) and the working of whole basin slope hydrolic and hydrogeologic of Congo river.

**Key words** : Hydrology- Hydrogeology- Hydrochemstry of Congo river basin.

## LISTE DES FIGURES

### PREMIERE PARTIE

#### CHAPITRE I

- Figure 1.1 : Carte de situation du bassin versant du fleuve Congo.
- Figure 1.2 : Centres d'action régissant le climat (SAMBA-KIMBATA, 1992a)
- Figure 1.3 : Modes d'intervention des centres d'action ainsi que leurs flux et différentes saisons sur le bassin (SAMBA-KIMBATA, 1992a).
- Figure 1.4 : Isohyètes moyennes interannuelles sur le bassin versant (MAHE, G., 1993).
- Figure 1.5 : Esquisse morphologique du bassin du Congo (KINGA MOUZEO, 1986).
- Figure 1.6 : Esquisse géologique du bassin (FURON, 1950, complétée par MOUKOLO, N., 1992b).
- Figure 1.7 : Structure d'ensemble de l'Afrique (ROCCI, 1965).
- Figure 1.8 : Carte géologique du sédimentaire côtier (DADET, P., 1969).
- Figure 1.9 : Carte géologique de la région de Brazzaville (DADET, P., 1969).
- Figure 1.10 : Carte géologique du sédimentaire ancien dans la région du Niari (DADET, P., 1969).
- Figure 1.11 : Coupes interprétatives dans le bassin de Sembé-Ouessou (JAUNATRE, A., 1969).
- Figure 1.12 : Carte géologique du Précambrien moyen et inférieur dans la région du Mayombe (DADET, P., 1969)
- Figure 1.13 : Carte de la morphologie du soubassement de la Cuvette congolaise (EVRARD, 1957).
- Figure 1.14 : Coupe schématique des soubassements des bassins marins et continentaux (GIRESE, P., 1982).
- Figure 1.15 : Carte des sols du bassin du Congo (CYS, 1960).

#### CHAPITRE II

- Figure 2.1 : Site de prélèvement sur le Congo à Brazzaville.
- Figure 2.2 : Carte de situation des stations secondaires.
- Figure 2.3 : Profil en travers du fleuve Congo à Maluku.
- Figure 2.4 : Méthode d'échantillonnage.

## DEUXIEME PARTIE

### CHAPITRE I

- Figure 3.1 : Historique du fleuve Congo.
- Figure 3.2 : Profil longitudinal du fleuve et de ses principaux affluents.
- Figure 3.3 : Hydrogrammes caractéristiques du Congo à Brazzaville.
- Figure 3.4 : principaux types de régimes hydrologiques sur le bassin du Congo.
- Figure 3.5 : Situation des 10 zones hydrologiques du bassin du Congo (BRICQUET, J.P., 1993).
- Figure 3.6 : Bilan annuel des exportations du fleuve Congo à Brazzaville.
- Figure 3.7 : Représentation plane des paramètres physiques du fleuve à Brazzaville.
- Figure 3.8 : Cercle des corrélations entre paramètres physiques (station de Brazzaville).
- Figure 3.9 : Représentation plane des paramètres chimiques des eaux du Congo à Brazzaville.
- Figure 3.10 : Cercle de corrélations entre paramètres chimiques.
- Figure 3.11 : Transports solide et dissous par les principaux affluents.
- Figure 3.12 : Représentation plane des paramètres physiques (affluents du Congo).
- Figure 3.13 : Cercle des corrélations entre paramètres physiques (affluents du Congo).
- Figure 3.14 : Composition chimique des rivières Batéké et du fleuve à Brazzaville.
- Figure 3.15 : Composition chimique des rivières des plateaux du N-W et du fleuve à Brazzaville.
- Figure 3.16 : Représentation plane des paramètres chimiques (affluents du fleuve)
- Figure 3.17 : Cercle de corrélations entre paramètres chimiques (affluents du fleuve).
- Figure 3.18 : Diagramme de Piper des eaux du Congo à Brazzaville
- Figure 3.19 : Diagramme de Piper des eaux des rivières Batéké
- Figure 3.20 : Diagramme de Piper des eaux des plateaux du nord - ouest
- Figure 3.21 : Façès chimiques dominants des eaux du fleuve Congo et ses principaux affluents de la rive droite

### CHAPITRE II

- Figure 4.1 : Corrélations géologiques entre forages pétroliers (MOUKOLO, N., 1984).
- Figure 4.2 : Coupe du port de Pointe Noire (GIRESSE, P., 1971).
- Figure 4.3 : Coupe de la ville de Pointe Noire (Service des mines et de la géologie)
- Figure 4.4 : Carte des résistivités apparentes (IWACO B.V., 1982).
- Figure 4.5 : Corrélations géologiques entre forages d'eau (MOUKOLO, N., 1984).
- Figure 4.6 : Esquisse piézométrique de la nappe profonde (IWACO B.V., 1982).
- Figure 4.7 : Coupe géologique de Brazzaville (DADET, P., 1969).
- Figure 4.8 : Esquisse piézométrique de la nappe de Brazzaville (MOUKOLO, N., 1984)
- Figure 4.9 : Coupe schématique montrant le comportement des eaux souterraines du plateau Koukouya (LE MARECHAL, A., 1966).
- Figure 4.10 : Piézométrie et profondeur de la nappe souterraine sous les plateaux Batéké (LE MARECHAL, A., 1966).
- Figure 4.11 : Fonctionnement des aquifères du Schisto-Calcaire (FAO, 1967).

## LISTE DES TABLEAUX

### PREMIERE PARTIE

#### CHAPITRE II

Tableau 2.1 : Données recueillies sur les forages- valeurs moyennes.

### DEUXIEME PARTIE

#### CHAPITRE I

Tableau 3.1 : Liste des stations de mesures.

Tableau 3.2 : Caractéristiques des stations hydrométriques.

Tableau 3.3 : Caractéristiques des 10 zones d'alimentation (BRICQUET, J.P., 1993).

Tableau 3.4 : Ecoulement mensuel de chaque région hydrologique.

Tableau 3.5 : Résultats des mesures physiques effectuées à Brazzaville.

Tableau 3.6 : Bilans annuels des exportations du fleuve à Brazzaville.

Tableau 3.7 : Transport en suspension du fleuve Congo selon les auteurs.

Tableau 3.8 : Statistiques élémentaires des résultats de mesures physiques (fleuve à Brazzaville).

Tableau 3.9 : Corrélations entre paramètres physiques.

Tableau 3.10 : Composition chimique des eaux du fleuve à Brazzaville.

Tableau 3.11 : Composition chimique moyenne des eaux du fleuve selon les auteurs.

Tableau 3.12 : Statistiques élémentaires des résultats des mesures chimiques du fleuve à Brazzaville.

Tableau 3.13 : Corrélations entre paramètres chimiques (fleuve à Brazzaville).

Tableau 3.14 : Composition minéralogique des suspensions.

Tableau 3.15 : Composition chimique moyenne des suspensions.

Tableau 3.16 : Teneurs en éléments traces des suspensions du fleuve.

Tableau 3.17 : Valeurs moyennes des mesures effectuées sur les affluents du Congo.

Tableau 3.18 : Statistiques élémentaires des résultats des mesures physiques (affluents du Congo)

Tableau 3.19 : Corrélations entre paramètres physiques (affluents du Congo).

Tableau 3.20 : Composition chimique moyenne des matières dissoutes (affluents du Congo).

Tableau 3.21 : Statistiques élémentaires des résultats des mesures chimiques (affluents du Congo).

Tableau 3.22 : Corrélations entre paramètres chimiques (affluents du Congo).

#### CHAPITRE II

Tableau 4.1 : Profondeurs des différents aquifères.

Tableau 4.2 : Qualité de l'eau de la nappe profonde.

Tableau 4.3 : Qualité de l'eau de la nappe de Brazzaville.

- Tableau 4.4 : Caractéristiques des sources des nappes perchées.
- Tableau 4.5 : Composition chimique des eaux des plateaux Batéké (CIEH-BURGEAP, 1969).
- Tableau 4.6 : Composition chimique des eaux du Schisto-Calcaire (FAO, 1967)
- Tableau 4.7 : Composition chimique des eaux du Schisto-Greso.
- Tableau 4.8 : Composition chimique des eaux du Mayombe.
- Tableau 4.9 : Coefficients de ruissellement de 6 sites identifiés.
- Tableau 4.10 : Récapitulatif des termes du bilan calculés par la méthode de Thornthwaite.
- Tableau 4.11 : Bilan hydrologique par grands ensembles hydrogéologiques.
- Tableau 4.12 : Pluviométrie de Makoua.
- Tableau 4.13 : Hauteurs d'eau à Makoua.
- Tableau 4.14 : Données piézométriques de Makoua.
- Tableau 4.15 : Résultats des analyses chimiques des eaux de pluie.
- Tableau 4.16 : Statistiques élémentaires des données des eaux de pluie.
- Tableau 4.17 : Corrélations entre les différents paramètres (eau de pluie).
- Tableau 4.18 : Résultats des analyses chimiques des eaux de rivière.
- Tableau 4.19 : Statistiques élémentaires des données des eaux de rivière.
- Tableau 4.20 : Résultats des analyses des eaux souterraines.
- Tableau 4.21 : Statistiques élémentaires des données des eaux de rivière.

CODESRIA - BIBLIOTHÈQUE

## ABREVIATIONS ET SIGLES

**Cmes** : Concentration des matières en suspension

**Cdis** : Concentration des matières dissoutes

**Csab** : Concentration des sables

**DGRST** : Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technologique.

**EQUANIS** : Programme sur l'Environnement et la Qualité des Apports du Niger au Sahel.

**INSU** : Institut National des Sciences de l'Univers.

**ORSTOM** : Office de Recherche Scientifique Outre Mer.

**OUA** : Organisation de l'Unité Africaine

**PEGI/ GBF** : Programme d'Etude de l'Environnement de la Géosphere Inter tropicale – Grands Bassins Fluviaux

**PHICAB** : Programme Climatologique et Hydrologique du Bassin Versant Amazonien

**RCA** : République centrafricaine

**RDC** : République Démocratique du Congo

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

**INTRODUCTION GENERALE**

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

L'étude des grands bassins fluviaux constitue l'une des grandes préoccupations du siècle finissant pour les scientifiques oeuvrant dans le domaine de l'eau. Notamment, on cherche à caractériser les écoulements et les modes de transports minéraux et organiques, mais aussi les phénomènes d'altération à des échelles diverses, allant des petits bassins très homogènes de quelques km<sup>2</sup> aux grands hydrosystèmes de plusieurs milliers de km<sup>2</sup>. Notre travail se situe au carrefour de nombreuses disciplines telles que l'hydrologie de surface, l'hydrologie souterraine, la pédologie et l'hydrogéochimie des écosystèmes tropicaux. L'objectif de cette étude qui se greffe à deux projets majeurs d'études hydrologique et hydrogéologique était, de façon globale, celui de caractériser les écoulements de surface et souterrain d'un grand bassin fluvial équatorial. Avant nous, plusieurs études ont été menées sur les grands systèmes fluviaux (bassins de l'ordre de 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>), ou à des échelles plus modestes (bassins homogènes de quelques centaines de km<sup>2</sup>). On citera :

- Les grands bilans mondiaux réalisés par LIVINGSTONE (1963) ; d'autres études des grands fleuves, de leurs variations de composition dans le temps et l'espace étaient entreprises par GIBBS sur l'Amazone (1967) et poursuivis plus récemment sur les fleuves chinois ; on dispose aussi des informations partielles sur les grands fleuves soviétiques (ALEKUR et al, 1960).

Les deux derniers grands systèmes à étudier sont ceux de l'Orénoque, qui a fait l'objet de travaux par les américains, et le Congo (OLIVRY, 1986). Ce dernier est le deuxième fleuve du monde en débit (Q moyen: 40.000 m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>), situé essentiellement dans la forêt équatoriale. Son bassin est aplanié et protégé par un couvert végétal dense. Ces eaux sont de ce fait faiblement turbides, riches en matières organiques dissoutes et particulaires, allochtones et autochtones. A cette échelle continentale, les processus d'altération et de transport sont surtout fonction du climat (température, bilan hydrique) et de la lithologie.

L'étude des grands systèmes fluviaux permet, avec des moyens limités, d'avoir une estimation correcte des processus aux échelles continentales, en s'affranchissant des variations locales et régionales. Cette démarche constituait la première ambition du programme PEGI, mais également celle de cette thèse travail, avec pour cadre de travail le bassin du fleuve Congo.

- Une autre problématique développée ici était celle d'étudier les sous bassins amont, représentatifs et homogènes afin de définir les contributions de ces entités à l'échelle de l'ensemble du bassin. Cette problématique a été abordée il y a trente ans dans le cadre d'un travail pluridisciplinaire réalisé au Hubbard Brook dans le New-Hampshire. Les études ont permis de préciser le fonctionnement d'un écosystème terrestre naturel, ses relations avec l'écosystème aquatique, et les couplages entre les divers éléments étudiés (carbone, azote, phosphore, soufre, potassium etc...).

Les travaux du Hubbard Brook, ont fait de nombreux émules en Amérique du nord et en Europe, mais il n'existe pratiquement pas d'étude similaire sur des bassins situés en zone équatoriale ou tropicale humide. Actuellement, quelques équipes américaines et allemandes sont associées à des chercheurs vénézuéliens et brésiliens pour étudier les cycles biochimiques en forêt amazonienne mais, à notre connaissance, ces études ne sont pas couplées à des études de bassins versants. Il est indispensable, pour la compréhension des processus d'altération (la zone tropicale humide est responsable de 75% des apports de silice-

dissoute aux océans (OLIVRY; 1986)), d'étudier des bassins représentatifs dont les caractéristiques de base doivent être l'homogénéité et l'absence d'influence anthropique. Cette approche constituait le second objectif du programme PEGI. Comme nous l'avions mentionné plus haut, notre travail se greffait à deux projets majeurs dotés d'installations de mesures et disposant de moyens matériels et financiers nécessaires. Il s'agit:

- 1). du Programme d'Etude de l'Environnement de la Géosphère Intertropicale (PEGI), initié par l'Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération (ORSTOM) en collaboration avec la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique (DGRST) et d'autres laboratoires associés;
- 2). du Programme de Cartographie Hydrogéologique Internationale de l'Afrique (PCHIA), projet de l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA).

Dans cette thèse, nous rendons compte des résultats acquis durant les onze années de recherche sur le fonctionnement hydrologique, hydrogéologique et hydrogéochimique du fleuve Congo. En d'autres termes, il est exposé ici les résultats des évaluations suivantes :

1. bilan des sorties (débit liquide, flux particulaire et dissous) à l'exutoire principal du bassin (station de Brazzaville à l'entrée du couloir de Maluku) ;
2. modes de transports minéraux dans le fleuve ;
3. contributions saisonnière et annuelle aux transports globaux des grandes entités amonts (roches mères et écosystèmes forestiers homogènes);
4. localisation et caractérisation des ensembles aquifères du bassin hydrogéologique ;
5. caractérisation du type de relations hydrodynamiques et hydrochimiques existant entre le fleuve et le système aquifère adjacent.

La thèse comporte deux parties :

Dans la première partie, la description du bassin du fleuve aborde ses caractéristiques géographiques et géologiques. De manière assez succincte, on a noté l'importance des grandes formations pédologiques. Les mécanismes généraux du climat sont décrits sommairement. Le deuxième chapitre de cette première partie est consacré à la description du matériel et des méthodes utilisés dans la réalisation de ce travail.

Dans la deuxième partie est développée toute l'information disponible sur les régimes des écoulements de surface et souterrain, le bilan des transferts et la caractérisation hydrogéochimique. Un des volets essentiels de cette dernière partie traite des échanges hydriques surface / souterrain.

**PREMIERE PARTIE**

**PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT**

**MATERIEL ET METHODES**

CODESRIA BIBLIOTHEQUE

# CHAPITRE I: PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE CONGO

## 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin du fleuve Congo se situe en Afrique centrale. Il s'étend sur environ 8 pays de cette région ; la République Démocratique du Congo occupe le centre du bassin, tandis que sur ses marges on a :

- La République Centrafricaine et le Soudan au nord ;
- L'Angola et la Zambie au sud ;
- L'Ouganda, le Rwanda et le Burundi à l'est
- Enfin le Congo à l'ouest et le Cameroun au nord-ouest (cf. figure 1.1 carte de situation).

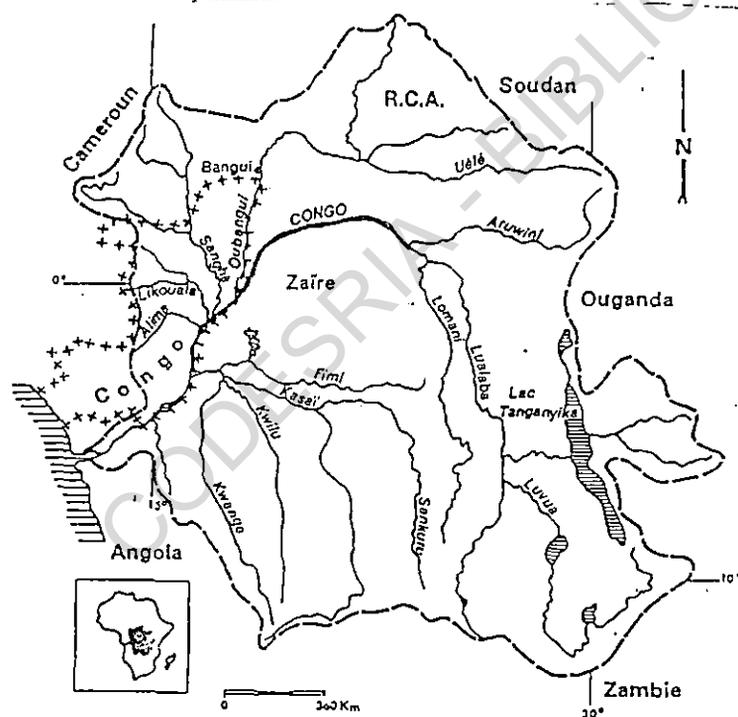


Figure 1.1 : Carte de situation du bassin du Congo.

Le bassin du Congo s'inscrit entre  $9^{\circ}$  N et  $14^{\circ}$  S et les méridiens  $11^{\circ}$  E et  $34^{\circ}$  E.

Les limites du bassin (figure 1.5) sont représentées au sud-ouest et à l'ouest par les hauteurs de la chaîne du Mayombe (plus de 800 m); par les monts du Chaillu (300 m) et les plateaux Batéké (600 à 800 m) qui le séparent des bassins des fleuves côtiers (Ogooué, Kouilou-Niari).

Au nord-ouest, le bassin du Congo est dominé par le massif de l'Adamaoua qui est un ensemble de hauts plateaux dépassant 1500 m où culminent les puissants massifs volcaniques du Mont Cameroun (4000 m) qui isolent le bassin de la Sanaga, autre fleuve côtier. Au nord ; entre les cours de l'Oubangui et la partie centrale du bassin, s'étendent les plateaux de l'Ouellé entre 600 et 800 m d'altitude, ils forment un relief monotone en République Centrafricaine et constituent la dorsale Congo-Tchad qui sépare le bassin du Congo de celui du Tchad. En allant vers les confins orientaux de la Cuvette congolaise, se trouvent les plateaux du Maniema, de l'Ituri et du Kivu, fortement affectés par les grands effondrements où sont logés les lacs. Ces plateaux sont vigoureusement relevés à l'approche de la rift valley occidentale où leurs altitudes atteignent 4.500 m dans le massif volcanique de Virunga (à la frontière du Rwanda) ils dépassent les 5000m dans le massif du Ruwenzori (frontière avec l'Ouganda) et atteignent 2000 m dans les montagnes bleues (à l'ouest du lac Mobutu ou lac Albert) et dans les monts Kivu. Au sud, d'autres plateaux s'élèvent progressivement vers le sud-est et atteignent 1000 à 2000 m dans le Shaba (Katanga), puis constituent les plateaux calcaires de Zambie et du Malawi qui culminent à 2.500 m vers l'est où ils constituent la dorsale qui sépare le Congo et le Zambèze. Les hauts reliefs de cette région forment le plus important château d'eau de la moitié australe de l'Afrique où prennent naissance de nombreux cours d'eau appartenant à plusieurs bassins fluviaux, notamment celui du Congo et celui du Zambèze.

## 2 CLIMAT

Nous nous sommes inspirés des travaux de SAMBA KIMBATA (1992 a et b) pour réaliser cette synthèse dans laquelle sont traités les points suivants :

- dynamisme climatique
- aspects climatiques regroupés en aspects radiatifs et aspects hydrométriques.

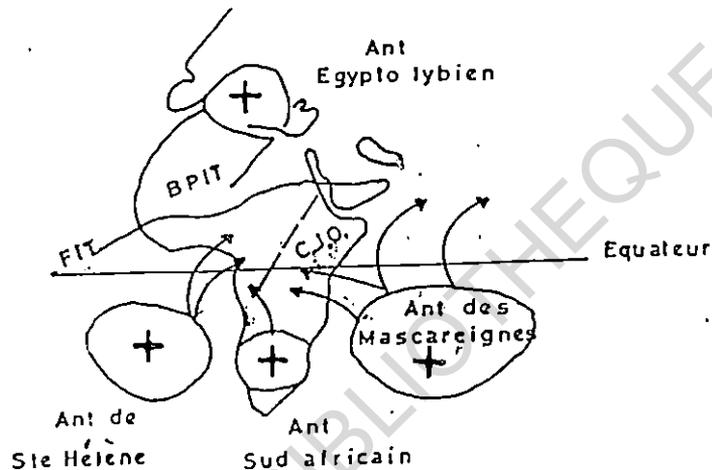
### 2.1 DYNAMISME DE L'ATMOSPHERE ET LES SAISONS

La situation du bassin du Congo à cheval sur l'équateur lui vaut un climat influencé par les basses pressions intertropicales et les hautes pressions subtropicales australes et boréales. Ses principaux traits caractéristiques sont : une forte radiation solaire ; une faible insolation ; une chaleur et une humidité relative élevées à faible variation annuelle, des précipitations relativement faibles et très contrastées saisonnièrement et des vents dominés par des calmes.

En raison de la translation saisonnière de tout le système de circulation atmosphérique de la zone intertropicale, le climat de ce domaine est sous la dépendance des basses pressions intertropicales et des hautes pressions subtropicales boréales et australes (SAMBA KIMBATA, 1992 a). Ce sont au total cinq centres d'actions qui sont (Figure 1.2) :

**au nord:** l'anticyclone continental egyppto-libyen. Cette cellule semi-permanente des hautes pressions, remplacée en surface en été boréale par la dépression saharienne, n'exerce son influence qu'en hiver boréal, de Décembre à Février au moment de son maximum de vigueur et d'expansion vers le sud. Il dirige alors au dessus du bassin entre 850 et 700h. Pa un alizé subsident de nord-est véhiculant de l'air chaud et sec.

**à l'ouest :** l'anticyclone maritime de Sainte Hélène. Ce centre d'action permanent exerce dans les basses couches congolaises jusqu'à 700h Pa, une influence permanente et prépondérante.



**Fig. 1.2 : Centres d'action régissant le climat du B.V. du Congo  
(SAMBA KIMBATA, 1992 a)**

Lors de son gonflement maximum et de son extension la plus septentrionale, en hiver austral, de Mai à Septembre, il envoie dans la partie méridionale du pays, un alizé subsident transportant de l'air frais et humide. En s'éloignant du bassin le reste de l'année, il dirige un alizé non subsident et véhicule de l'air chaud et humide. Au nord de Brazzaville, le flux issu de l'anticyclone de sainte Hélène est dévié à la traversée de l'équateur. Il devient un flux de mousson particulièrement instable car il déplace de l'air très chaud et humide.

**à l'est:** l'anticyclone maritime indien. C'est une cellule permanente des hautes pressions qui intéresse, le bassin versant en altitude toute l'année. Il véhicule à partir de 700h. Pa soit 3000 m environ, un flux d'est très épais qualifié de courant équatorial d'est. Ce flux non subsident transporte de l'air chaud et humide durant l'hiver austral, chaud et relativement sec le reste de l'année.

**au sud :** l'anticyclone continental sud-africain. Ce centre d'action sémi-permanent dirige sur le BV., en hiver austral, de Mai à Septembre, entre les niveaux 850h.Pa soit 1500 environ et 700h. Pa soit 3000 m environ, un alizé fortement subsident de sud-est dans la partie

méridionale du B.V. Il propage de l'air frais et sec. En été austral, il est remplacé en surface par la dépression angolaise qui aspire très fortement les flux issus des anticyclones Egypto-libyen et surtout de Sainte-Hélène.

Les basses pressions intertropicales ou B.P.I.T. forment entre les anticyclones subtropicaux boréaux et austraux, un vaste marais barométrique faiblement creusé. Cette zone de convergence des alizés de deux hémisphères constitue l'équateur énergétique. Les BPIT, par leur ascendance dynamique et humide sont un puissant facteur des précipitations sur le B.V. Le Front Intertropical ou FIT est l'axe des basses pressions intertropicales et l'axe de confluence intertropicale de flux issus des anticyclones des hémisphères. Sous l'influence du mouvement apparent du soleil mais avec un léger retard, tous ces centres d'actions migrent vers le nord de Février à Juillet et vers le sud d'Août à Janvier et déterminent les saisons sur le bassin du Congo.

De Décembre à Février (Figure 1.3a) l'anticyclone égypto-libyen est au maximum de sa vigueur et de son extension vers le sud. Il exerce une influence prépondérante sur le B.V. par son flux subsident entre 1500 et 3000 m et l'air chaud et sec qui lui est associé. Il est alors responsable de la saison sèche au nord et du fléchissement intrapluvial des précipitations au sud du bassin.

De Mai à Septembre (Figure 1.3b), ce sont au contraire les anticyclones austraux qui sont prépondérants suite à leur gonflement et décalage maximum vers le nord. L'alizé maritime subsident frais et relativement sec et l'anticyclone sud-africain sont à l'origine de la saison sèche au sud de Brazzaville et de la légère diminution des pluies au nord.

Entre ces deux positions extrêmes, de Mars à Mai et d'Octobre à Novembre (Figure 1.3c), Brazzaville tout entier est sous l'influence du creux barométrique équatorial. Il souffle dans la partie méridionale un alizé normal et dans la partie septentrionale une mousson. La présence partout des masses d'air épais, chaud et humide et par conséquent instables, provoque des précipitations abondantes. Ce sont les périodes des maxima pluviométriques ou grandes saisons des pluies et des fortes températures.

## 2.2 LES ASPECTS RADIATIFS

Situé à cheval sur l'équateur, notre domaine d'étude appartient aux basses latitudes qui sont considérées comme une réserve énergétique.

### 1°) L'insolation

L'état nébuleux du ciel, relativement permanent, influence directement l'insolation. La nébulosité est d'autant plus importante et d'autant plus durable que l'activité de l'équateur météorologique est intense et stable. Ainsi, se justifie la faiblesse annuelle de l'insolation qui ne dépasse pas 2000 heures.

Cependant le manteau forestier, la continentalité, la latitude et l'altitude imposent des variations locales importantes. A titre d'exemple on enregistre :

- à Yangambi (forestier et continental) : 1870 heures
- à Berbérati (effets continental et latitudinal) 2100 heures (RCA)

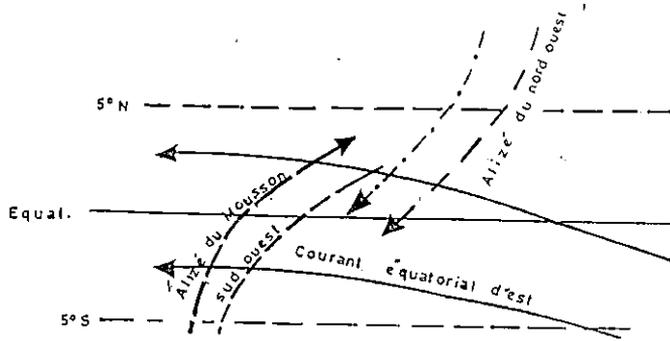


Figure 1.3a : De Décembre à février : saison sèche au nord et fléchissement intrapluvial au sud

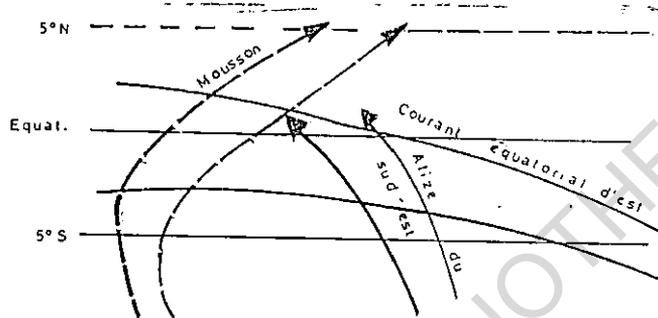


Figure 1.3b : De Mai à Septembre : saison sèche au sud et fléchissement intrapluvial au nord

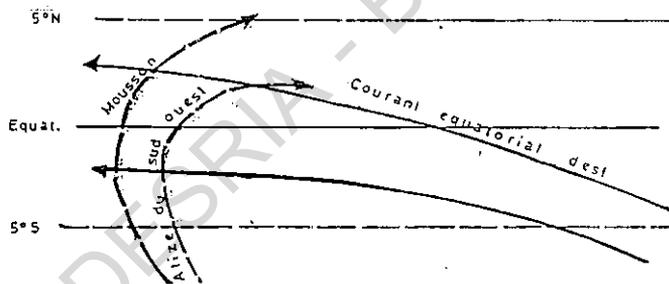


Figure 1.3c : D'octobre à Décembre et de Mars à Avril : saison des pluies généralisée

Légende:

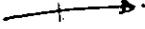
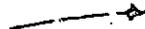
-  Flux des couches inférieures à 850 h.Pa
-  Flux des couches moyennes 850 à 750 h.Pa
-  Flux des couches supérieures à 700 h.Pa

Figure 1.3 : Modes d'intervention des centres d'action ainsi que de leurs flux et différentes saisons sur le bassin versant du Congo(SAMBA KIMBATA, 1992a)

Les régimes thermiques sont peu contrastés. La température moyenne annuelle tourne autour de 26-27°C non seulement sur les stations côtières, mais également loin à l'intérieur du B.V. Les contrastes saisonniers sont faibles : l'amplitude annuelle dépend surtout de la latitude, ainsi observe-t-on les valeurs suivantes :

- 3°C à Berberati (RCA)
- 4°C à Brazzaville (Congo)
- 2,1°C à Gamboma (Congo)
- 1,8°C à Yangambi (RDC)

Par ailleurs, l'amplitude diurne est fonction de l'opacité moyenne 10°C en ciel dégagé et 3° en ciel couvert.

## 2°) La radiation solaire

L'égalité thermique constatée ci-dessus est la résultante de la valeur régulière de la radiation solaire durant l'année, et de la saturation presque constante de l'atmosphère en vapeur d'eau.

L'ensemble du bassin versant bénéficie d'une radiation globale comprise entre 300 et 500 calories par  $\text{Cm}^2$  par jour. BULTOT et GRIFFITHS (1971) trouvent les mêmes valeurs dans les stations du bassin du Congo. Les valeurs les plus importantes sont relevées dans les stations de contact forêt-savane telle que Berberati (RCA).

Le régime annuel apparaît une fois de plus de type équatorial déterminé par le mouvement apparent du soleil et par la nébulosité : maximum en saison estivale et minimum en hiver.

Par ailleurs, d'importantes fluctuations peuvent, il est vrai arriver d'un moment à l'autre, à la suite de brusques perturbations et de la turbidité atmosphérique qui affecte en grande partie l'intensité de la radiation.

Elle concourt par conséquent à l'accroissement du rayonnement diffus dans une proportion élevée. Ce paramètre représente 55 à 60% du rayonnement global.

Ainsi, cette homogénéité relative résulte d'un fort rayonnement diffus dont l'origine est un fort ennuagement lié à la forte convection. L'énergie latente l'emporte sur l'énergie sensible, comme le souligne le rapport de Bower estimé à des valeurs comprises entre 0,12 (en stations forestières) et 0,2 (Berberati).

## 3°) L'évapotranspiration potentielle (ETP)

La permanence des marais barométriques à ces latitudes entraîne une valeur du rayonnement net ( $R_n$ ) plus élevée que celle de l'énergie aérodynamique. En fait, la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère se situe aux environs de 4mm par jour, et plus de 5 mm vers les latitudes plus élevées, ce qui représente 50 à 60% du volume annuel des précipitations. Mais l'occultation importante du rayonnement incident fait décroître la quantité d'eau évaporée à 3 mm par jour surtout en saison estivale.

D'une façon générale, le bilan climatique annuel (P-Etp) dans la région est relativement positif dans la mesure où le volume annuel des pluies l'emporte sur l'ETP à l'exception des franges côtières de l'hémisphère sud et de quelques zones influencées par la position d'abri.

Il est important de souligner qu'à mesure qu'on se dirige vers les latitudes élevées, l'insolation, l'ETP et la température maximale augmentent, tandis que la pluviosité décroît, ce qui fait que les sols sont globalement plus secs.

## 2.3 LES ASPECTS HYDROMETRIQUES

### 1)- L'humidité relative de l'air

L'humidité relative moyenne de l'air est partout très élevée, mais présente néanmoins quelques nuances régionales : le maximum est atteint dans la Cuvette centrale congolaise où elle est supérieure à 85%. De là elle diminue très lentement vers le nord et vers le sud tout en se maintenant très souvent entre 80 et 85%. Les plus faibles valeurs s'observent sur la façade côtière du bassin et sur les hautes terres de l'est du Congo Kinshasa où elles descendent légèrement en dessous de 80% : Bunia 77% et Goma 74% (RDC). Cette forte humidité relative de l'air est la conséquence de la régularité avec laquelle soufflent l'alizé et la mousson atlantique très humides dans cette partie du monde. Leur influence est accentuée localement par la forêt, la multitude des lacs, des cours d'eau et des étendues marécageuses. L'humidité de l'air est en permanence très élevée en raison de la faible variation saisonnière. Les amplitudes sont comprises entre 4% et 10%. Ses variations saisonnières sont analogues à celles des précipitations : les maxima (86 à 92) correspondent aux saisons pluvieuses de Juin à Septembre au nord de l'équateur et de Novembre à Avril au sud de celui-ci. Les minima au mois de faible pluviosité ou de saison sèche, avec un minimum principal de 65 à 80% à la fin de la saison sèche (Février dans l'hémisphère nord et Septembre dans l'hémisphère sud). D'une manière générale, même en saison sèche, l'ambiance atmosphérique demeure très humide. Les variations journalières de l'humidité relative de l'air sont en revanche plus marquées. Les maxima sont relevés généralement le matin vers 6 heures locales et sont très souvent égaux ou supérieurs à 95% les douze mois de l'année. Les minima ont lieu l'après-midi entre 12 et 15 heures locales avec des valeurs supérieures à 55% pour tous les mois de l'année. Les écarts diurnes sont compris entre 20 et 40%.

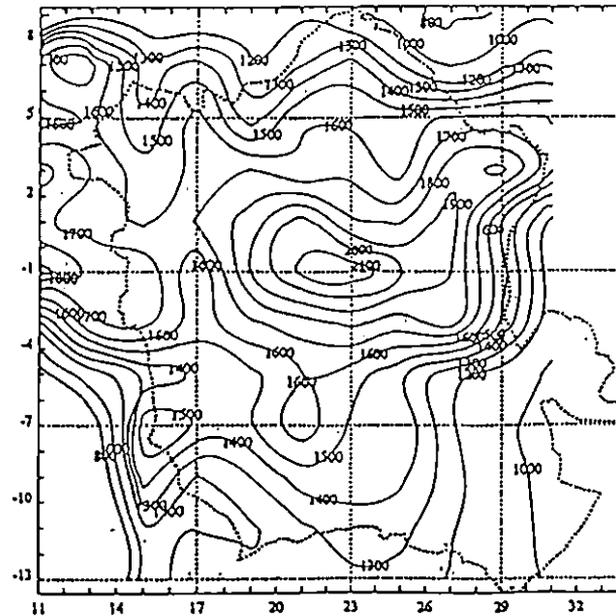
### 2)- Les précipitations

Le bassin versant du fleuve Congo offre une gamme de précipitations moyennes annuelles diversifiées (figure 1.3) allant de l'hyperhumide (plus de 10.000 mm) au sub-sec (moins de 1000 mm d'eau). Les principaux domaines pluviométriques et leurs facteurs explicatifs sont les suivants (SAMBA KIMBATA, 1992 b) :

#### a)- Les secteurs fortement arrosés (recevant plus de 2000 mm)

le centre de la cuvette congolaise dans la boucle du fleuve Congo, entre Opala, Lomela, Basankusu c'est à dire grossièrement entre les longitudes 20°E et 26°E et les latitudes 4° S et 1°N, les précipitations varient de 2000 à 2300 mm d'eau. Les fortes précipitations sont ici probablement liées :

- à la présence des basses pressions thermiques continentales favorisant les pluies toute l'année ;
- au séjour assez prolongé de la zone de Convergence Intertropicale ;



**Figure 1.4: Isohyètes moyennes interannuelles sur le bassin versant du Congo, période 1951-1989. Les contours du bassin versant du Congo sont en trait pointillé. (MAHE, 1993)**

- la présence de l'énorme masse forestière qui par l'évapotranspiration et par l'obstacle constitué par les arbres pour la couche inférieure rend compte des précipitations recyclées sur place.
- le versant occidental des hauts reliefs de l'Est de la RDC sur environ 200 km de large et 700 km de long, les précipitations vont de 2000 à 2560 mm d'eau. L'abondance pluviométrique est ici principalement le fait du relief en plus des facteurs ci-dessus cités pour le centre de la Cuvette congolaise.

#### **b)- les secteurs modérément arrosés (recevant de 1400 à 2000 mm)**

Ils s'étendent sur la plus grande partie et principalement à l'intérieur du B.V. La modération des précipitations semble résulter ici de l'absence des facteurs d'exaltation pluviométrique comme ceux évoqués dans les cas précédents. La plupart des facteurs pluviogènes s'exercent ici avec une intensité modérée.

#### **c)- Les secteurs faiblement arrosés**

- les dépressions intramontagnardes de l'Est de la RDC : dans ces secteurs généralement orientés nord - sud, les précipitations sont réduites (Goma 1234 mm, Bukavu 1374 mm, Baraka 931 mm, Uvira 935 mm). La situation d'abri par rapport au flux humide d'alizé atlantique est responsable de l'indigence pluviométrique constatée ici ;
- la côte méridionale : à l'embouchure du fleuve Congo et sur une assez étroite et basse frange côtière, les précipitations sont inférieures à 1000 mm (Boma 875 mm, Banana 825). Les faibles précipitations sont ici la conséquence de l'influence prolongée des hautes pressions subtropicales australes et du courant froid de Benguela.

### 3- Les régimes pluviométriques

Sur un territoire aussi vaste et présentant des conditions topographiques diverses, les régimes pluviométriques sont nécessairement nombreux et variés. Mais ils peuvent être regroupés en deux grandes familles : les régimes monomodaux et les régimes bimodaux.

#### a)- Les régimes monomodaux

Ils se caractérisent par un maximum unique centré sur l'été et un minimum pluviométrique axé sur l'hiver de l'hémisphère d'implantation. Ce sont de rythmes propres aux latitudes tropicales mais en raison de la position latitudinale relativement faible, la période sèche n'est pas très rigoureuse et longue. Suivant l'hémisphère, on distingue deux sous-types.

- **Le rythme tropical nord**

Il présente un maximum de pluies en été boréal et un minimum en hiver boréal. Le paroxysme pluviométrique se produit suivant les cas entre Juillet et Octobre et le minimum en Décembre ou Janvier. ce type est représenté de manière disséminée au nord de la RDC (Ango, ARU, Doruma).

- **Le rythme tropical sud**

Ce sous-type est l'inverse du précédent avec des pluies concentrées sur l'été et une période sèche placée en hiver de l'hémisphère sud. Le paroxysme a lieu en Avril ou en Novembre-Décembre et le minimum en Juillet. Ce sous-type très peu répandu est représenté par 2 stations de la RDC : Dibaya et Dekese.

#### b)- les régimes bimodaux

Très majoritaires, ils se distinguent par deux maxima équinoxiaux et deux minima correspondant aux solstices. Selon l'importance des minima ils se repartissent en sous-types équatoriaux et en sous-types subséquatoriaux.

- **le rythme équatorial**

Il se singularise par deux maxima qui ont lieu l'un en Avril ou Mai et l'autre en Octobre ou Novembre et deux minima se produisant l'un en Janvier ou Février et l'autre en Juin ou Juillet. En outre, les contrastes pluvieux saisonniers sont peu ou assez faiblement accusés de sorte que dans la plupart des cas, c'est un régime constamment humide, on le rencontre surtout dans le voisinage immédiat de l'équateur entre 4°N environ et 3°S. De très nombreuses stations de la Cuvette centrale congolaise appartiennent à ce régime : Ingende, Lisala, Impfondo, Yahuma Boendé, Opienge, Walikale etc...).

- **le rythme subéquatorial**

Il a deux maxima se produisant comme dans le sous type équatorial l'un en Avril ou Mai et l'autre en Octobre ou Novembre et deux minima se creusant l'un en Janvier ou Février et l'autre en Juin ou Juillet. Mais les minima sont ici plus accusés, en particulier le principal qui est plus sévère et plus long au fur et à mesure que l'on s'élève en latitude. Durant ce minimum principal on peut relever jusqu'à 3 mois consécutifs totalement secs et même davantage ; tel est le cas du littoral congolais.

Dans l'hémisphère nord, le minimum principal se manifeste en Janvier - Février et le minimum secondaire en Juin - Juillet, tandis que dans l'hémisphère sud, c'est l'inverse que l'on observe. Il est suffisamment représenté de part et d'autre de la zone à rythme équatorial où il assure la transition entre ce dernier et le rythme tropical. On peut citer pour exemple comme sous type du nord : Djugu et Benganisa (RDC) ; comme sous type du sud : Brazzaville (Congo) ; Kindu et Kikwit (RDC).

### 3 GRANDS TRAIT MORPHOLOGIQUES

La morphologie du bassin versant du fleuve Congo a été décrite par de nombreux géographes de l'Université Marien Ngouabi de Brazzaville. Notamment, PETIT (1992) a publié une importante compilation de travaux dans la revue « Paysages quaternaires » qui a servi de document de référence dans la rédaction de cette synthèse.

#### 3.1 LES GRANDS ASPECTS DU MODELÉ

##### 3.1.1 LE BÂTI STRUCTURAL

Le bassin versant du fleuve Congo constitue au sein du craton congolais une vaste zone au bâti structural diversifié en relation avec les différentes phases d'accrétion. L'hétérogénéité pétrographique d'une part, les différents types tectoniques d'autre part, sont le gage des conditions favorables au développement de l'érosion différentielle et à la diversification des paysages (PETIT, 1992).

- Les bordures, façonnées dans le socle Archéen et Protérozoïque ainsi que dans la couverture Paléozoïque, s'opposent ainsi radicalement aux immenses « atterrissements » de la Cuvette centrale. Cette Cuvette, subsidente du Paléozoïque jusqu'à nos jours, explique à la fois la faible diversification pétrographique des séries continentales par rapport aux bassins ayant connu de longs épisodes marins, et le façonnement, puis la déformation des aplanissements cycliques d'érosion sur les bordures. Apparemment, chaque épisode d'activité tectonique se matérialise par des apports nouveaux, mais également par une ablation latérale, d'où la multiplication des cycles successifs si l'on en croit les différents auteurs (RUHE, 1954 ; CAHEN, 1948 ; BOULVERT, 1982.).

- Les paysages de la cuvette proprement dite s'opposent à ceux des bordures, l'opposition tenant essentiellement à la structure, et la monotonie de la zone centrale faisant écho à la diversité paysagique des marges. Ainsi, au sein de la zone centrale, les plaines et plateaux centraux (Figure 1.4) couvrent environ 700.000 km<sup>2</sup>. Ils sont façonnés dans plusieurs centaines de mètres d'accumulations fluviales, de formations d'origine sédimentaire et d'atterrissements fluvio-lacustres. Il en résulte une hétérogénéité du matériau (sables purs, sables argileux, argiles) qui se traduit par des nuances paysagiques, pédologiques, ou biogéographiques. Les zones d'inondation actuelles ou subactuelles constituent de vastes aires marécageuses.

- Par opposition, on distingue au sein des marges, plus riches en matériaux de dureté inégale, et tectoniquement plus actives :

- Au nord-ouest, les étendues de socle, essentiellement granitique, qui se développent du massif du Chaillu jusqu'au Cameroun et qui forment des paysages collinaires multiconvexes relativement émoussés, sans grande énergie, sauf en cas de remobilisation tectonique, ou de brusques différenciations pétrographiques du bâti lesquelles s'expriment alors par des crêtes dissymétriques et des dômes altièrs.

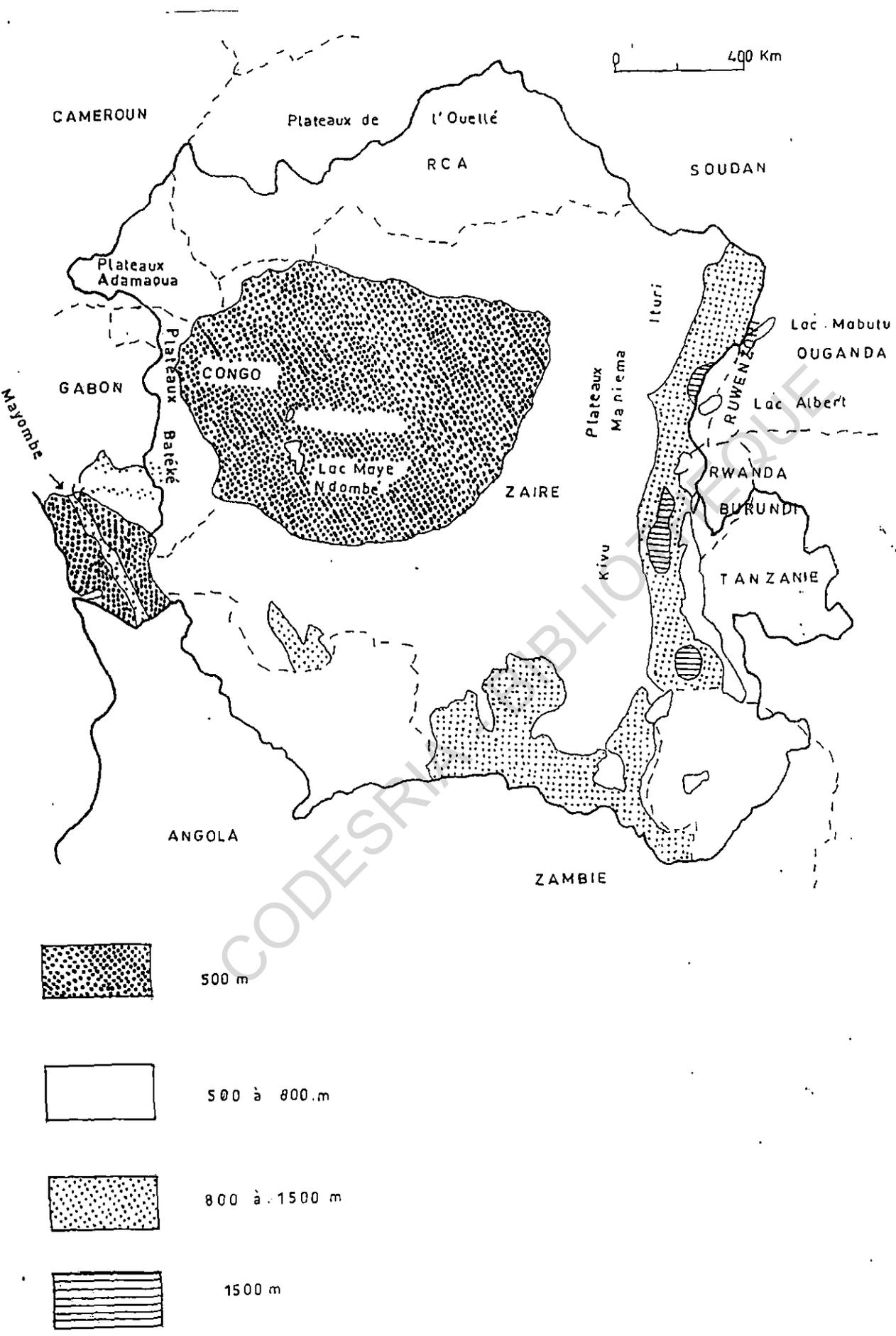


Figure 1.5: Esquisse morphologique du bassin du Congo (KINGA MOUZEO, 1986)

- Les chaînes de montagne, comme le Mayombe, qui associent fréquemment schistes et quartzites, matériaux très contrastés au plan de la résistance à l'érosion. Ces chaînes ont subi une longue évolution morphologique, atteignant le nivellement total. Les phases de soulèvement postérieures ont suscité des reprises d'érosion, d'où le dégagement, par mise en valeur des différences de dureté entre les divers matériaux métamorphiques, d'une série de chaînons plus ou moins parallèles, d'altitudes sensiblement équivalentes, et séparés par de larges vallées encaissées et adaptées à la structure d'ensemble. Ce relief, qualifié d'appalachien, est bien représenté au sud-ouest et au nord de la zone considérée.
- Les structures tabulaires de plate-forme grésocalcaire Cénozoïque ou Protérozoïque, de type Ouadda ou Carnot en RCA, qui constituent des unités rigides, massives, de plateaux surélevés, aux bordures abruptes, ou encore des plaines bosselées au drainage indécis, ou même discontinu. Le modelé karstique en est un élément d'importance variable selon les caractères du matériau.

### 3.1.2 LES UNITÉS MORPHOLOGIQUES

#### a)- Zone centrale de la Cuvette

A l'intérieur de la grande boucle du Congo, sur 1700 km, de l'avant de Kisangani jusqu'au Stanley Pool, les altitudes s'abaissent insensiblement de 400 m (à l'est) à 270 m (à l'ouest). Le drainage, d'une extrême lenteur, s'effectue par un chenal d'une dizaine de kilomètres de large, au dessin en plan « tressé » ; le flot se subdivise en bras qui enserrrent des îlots, ou même des îles plus ou moins mobiles comme l'île Sumba de 60 km de longueur. Le fond plat de la Cuvette occupe environ 30% de la surface du bassin versant, soit environ un million de km<sup>2</sup> ; la zone ombilicale, la plus déprimée, inondable, s'étend du lac Tumba au sud du fleuve jusqu'aux bords de Liranga sur l'Oubangui au nord, remontant la basse Sangha et bien d'autres affluents de la rive droite. Ces terres marécageuses, inondées saisonnièrement, couvrent une surface d'environ 100.000 km<sup>2</sup> et jouent un rôle régulateur sur l'écoulement local des eaux. Tout comme dans la Varzea, vaste zone de battement des inondations au Brésil, on peut définir différentes aires en fonction de l'engorgement :

- terrains inondés en permanence ou inondables saisonnièrement ;
- terres seulement atteintes par les plus fortes crues ;
- et enfin, terre ferme des interfluves échappant aux inondations, couverte par la forêt sempervirente.

Cette terre ferme, essentiellement sableuse, entaillée par de larges vallées à fond plat, aux versants abrupts en falaises, laisse apparaître un fort épandage gravillonnaire ferrugineux, comme autour du lac Tumba ; elle peut encore révéler une évolution plus complexe, comme dans les affleurements des falaises à l'amont de Yangambi : sur 40 m d'épaisseur, les séchements révèlent une mise en place sous conditions climatiques arides, avec sables éoliens à stratification entre croisée ou torrentielle. Ces interfluves subissent un soutirage actif sous l'influence d'un fort drainage climatique, d'où la formation de dépressions génétiquement liées à la suffosion, modelé si commun en Afrique, de la Casamance au veld sud-africain (CHAUVEL, 1977).

#### b)- Les marges de la Cuvette

Le fond de la Cuvette est dominé : au sud comme à l'ouest par des étendues planes, plaines ou plateaux, quasiment en continu depuis le Lualaba, à l'est, jusqu'au delà du Kwango, à l'ouest, en Angola oriental ; ce croissant de hautes terres se poursuit au nord, par delà le fleuve, pour

disparaître au niveau de la bordure septentrionale. Ces hautes terres, en pente insensible d'est en ouest, s'abaissent de 1000 à 700 m sur la rive gauche du Kwango et s'interrompent uniquement au niveau du bassin du Kasai, puis du Congo, qui y ont affouillé de larges brèches.

Ces vastes horizons, au drainage superficiel, armés par les grès polymorphes, s'avancent massivement jusqu'à 2° de latitude sud. La surface africaine se confond souvent avec l'aplanissement post-Gondwana, couvert par le crétacé supérieur du Kwango, surface qui est exhumée au Kwango-Kasai, et dont la pente N-NO atteint la faible valeur de 1,6%. Là encore, il paraît illusoire de vouloir distinguer topographiquement la part respective due aux deux cycles anciens ; bien souvent une discordance angulaire constitue le seul repère probant. La dalle de grès polymorphe donne une certaine rigidité au paysage, mais crée aussi quelques contrastes locaux sous forme de modelé de type karstique, en fait essentiellement sur la bordure nord, là où elle est déblayée de son recouvrement sableux et où le soutirage de bordure s'avère le plus actif. La surface mi-Tertiaire, sous ses sables ocres souvent cuirassées, se distingue peu de l'africaine, et possède une continuité comparable induite par l'existence sous jacente des niveaux du Bal (elle s'en affranchit cependant plus au nord, dans la région de Ouessou au Congo).

Cette bordure méridionale présente avec les cycles ultérieurs un fort bel étagement de niveaux. En contre bas de la double surface africaine et mi-Tertiaire s'encoche la surface fini-Tertiaire qui vient buter contre les précédentes en dégageant un beau talus d'érosion que sautent les affluents méridionaux du fleuve Congo. Ce talus, armé par des grès polymorphes, donne naissance à une série de chutes de 100 à 200 m de commandement depuis le Kwango jusqu'au Kasai. Ce talus, qui est considéré comme étant exclusivement d'érosion, pourrait néanmoins correspondre à une déformation tectonique souple contre laquelle la remontée de l'érosion viendrait mourir.

Au nord, le cycle fini-Tertiaire recoupe les formations Jurassico-Crétacées, argilitiques et gréseuses, rouges, ainsi que le socle schisteux. Le drainage s'y encaisse plus énergiquement. Cette dissection profonde a créé un paysage collinaire de transition entre la platitude des hautes et basses terres sableuses, pays qui se tient à des altitudes inférieures à 500 m, localement dominés par quelques résidus de sables ocres du Néogène, terrain au delà de 600 m d'altitude de la surface mi-Tertiaire.

En contrebas, et en transition avec les formations alluviales de la Cuvette, se développe une série de 3 à 7 niveaux selon les auteurs et la région considérée (EGOROFF, 1955) ; il s'agit de niveaux Plio-Pleistocènes localisés essentiellement le long des cours d'eau majeurs dans leur section médiane. Ces esquisses d'aplanissements sont toujours d'extension réduite. La région de Thysville, à l'ouest de Kinshasa conserve les jalons de cette évolution. Le massif Schisto-Gréseux de Bangui porte un témoin de surface africaine au sommet du mont Bia (870 m), une banquette constituant un reste de la surface mi-Tertiaire en contrebas, qui domine à son tour les niveaux fini-Tertiaire recouverts de sables argileux rouges (vallée de la Nsélé, Inkisi). On reconnaît également trois groupes de formes cycliques s'élevant à 550-450 m à l'ouest de Bangu, à 375-350 m, puis 275-225 m le long de l'Inkisi.

Enfin, le drainage sud se distingue par le parallélisme des grands affluents. On l'explique par la réutilisation d'anciens axes, ou encore par des ondulations. En aval, on invoque plutôt l'existence d'un ancien lac qui aurait entraîné avec lui les écoulements en relation avec la flexure majeure du Sankuru et aurait infléchi l'ensemble du tracé vers le nord-est. La grande flexure du Sankuru est un linéament structural majeur de la Cuvette, et bien qu'enfouie sous un manteau sédimentaire épais, elle a dû et doit toujours jouer un rôle indirect sur le drainage et son tracé convergent. Pour sa part, le fleuve Congo franchit le croissant sableux Batéké par

un couloir de 800 à 1200 m de large (alors que la largeur du fleuve est de 35 km au confluent avec l'Oubangui), et de 200 m d'encaissement entre les reliefs avoisinants. Ce véritable canyon, où la lame d'eau atteint 50 m d'épaisseur, s'ouvre brusquement sur le bassin du Stanley Pool après avoir traversé entre des falaises vives, les séries Ba1-Ba2 superposées.

### 3.2 HISTORIQUE DU FLEUVE

Une réflexion sur la compréhension de l'organisation du drainage de la Cuvette congolaise, est menée par plusieurs scientifiques (VEATCH, 1935 ; CAHEN, 1954 ; MASSENGO, 1970 ; GIRESSE, 1981 ; PETIT., 1993). Les avis sont divergeants entre les différents chercheurs.

- Pour certains, le fleuve coulait S/N en empruntant l'actuel seuil oubanguien, ce que confirmerait la boucle de l'Oubangui entre Bangui et Mobaye, les chutes de Possel à l'amont et les terres basses de Sibut à Dekoa (CAHEN, 1954). La liaison Congo-Tchad se serait interrompue après le Pliocène sous l'effet conjugué de la tectonique et de la capture d'un petit tributaire du Stanley Pool par un drain atlantique qui aurait provoqué le déversement E-W. Pour VEATCH (1935), cette capture serait très récente, moins de 10.000 ans. Il semble cependant que dans ce cas, on devrait en observer des témoins facilement identifiables.
- Pour d'autres, le phénomène serait dû à la régression concomitante de la mise en place de la série Plio-Pleistocène des Cirques (MASSENGO, 1970), à la reprise d'érosion corrélative se seraient ajoutés des courants de turbidité qui auraient amplifié le rajeunissement de la vallée où la formation d'un canyon sous marin de 230 km de long dont 44 en territoire continental, affecté d'une pente de l'ordre de 1% et atteignant 2300 m de profondeur. Dès lors se pose un problème de cohérence : si la capture est récente et la Cuvette possédant un exutoire septentrional, le seuil oubanguien a subi une ablation importante jusqu'à une époque récente, et de ce fait la surface centrafricaine ne peut être vieillie au delà d'un Mio-Pliocène. Ce seuil étant cuirassé, son façonnement ne peut être qu'anté-induration, ce qui exclut une phase récente de déblaiement. Enfin, avec GIRESSE et al (1981) on peut envisager une cuvette endoreique dont la vidange se serait effectuée par capture fini-Pleistocène. Dans ce cas, on devrait retrouver une large extension de dépôts variés attestant de cette longue phase d'évolution en milieu fermé.

## 4 CADRE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

La constitution géologique de cette région (Figure 1.5), même si elle demeure encore inégalement connue, a fait l'objet de travaux multiples de prospection et de cartographie (NICKLES et HOURCQ, 1952; GÉRARD, 1958; MESTRAND, 1971; Direction du Service Géologique de la RDC, 1976).

La conception ancienne d'un vaste bouclier pérenne pendant toute l'histoire des temps Précambriens a été remplacée par celle de cratons multiples séparés par des ceintures orogéniques plissées qualifiées de ceintures mobiles. Le schéma proposé (ROCCI, 1965 et CLIFFORD, 1970) inclut quatre cratons, qui sont ceux de l'ouest africain, du Congo, du Kalahari et du Nil (figure 1.6). La succession des orogénèses a eu pour effet d'aboutir à une cratonisation progressive du continent à partir de noyaux primitifs. Ces noyaux primitifs résultent eux-mêmes d'origine d'âge archéen (1500 - 2800 millions d'années) et catarchéen (3000 millions d'années). Les études ultérieures, et en particulier les mesures de géochronologie, ont conduit à insister sur l'importance de "l'événement thermotectonique panafricain" de KENNEDY (1964) qui allait très vite être considéré comme un véritable cycle orogénique avec sédimentarisation, métamorphisme et granitisation (BLACK, 1966 et 1967) aboutissant à une véritable chaîne panafricaine.

Dans le bassin versant du Congo, on distinguera schématiquement une zone mobile de l'Afrique centrale au nord (entre le craton ouest-africain et le craton du Congo) et le craton du Congo au sud. Cette zone mobile se confond à l'est avec celle de l'Afrique de l'est, alors que le craton est bordé à l'ouest par la zone mobile qui entoure au nord le craton du Kalahari (BESSELES et TROMPETTE, 1980). Dans ce document, nous situerons les grands ensembles définis lors des cartographies successives avant de considérer quelques idées récentes relatives à la géodynamique des structures du bassin.

### 4.1 LES ENSEMBLES GEOLOGIQUES

Les formations géologiques sont de nature et d'origine très diverses. Cependant, MOUKOLO, (1992 b) les regroupe en quatre grands ensembles géologiques suivants:

- a) le **Sédimentaire côtier** représenté par les grès et les calcaires d'âge Crétacé ;
- b) les **terrains continentaux de la Cuvette congolaise** constituent le colmatage Secondaire et Tertiaire de la Cuvette congolaise. On a de haut en bas :
  - les alluvions quaternaires du fleuve Congo ;
  - les formations des sables et grès batéké et les grès de Carnot.
- c) les **séries du Sédimentaire ancien (Précambrien supérieur)** : on trouve :
  - le Schisto-Gréseux au sommet ;
  - le Schisto-Calcaire à la base .
- d) les **roches cristallines et cristallophylliennes du Précambrien moyen et inférieur.**

#### 4.1.1 LE BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER

Le Sédimentaire côtier du bassin du fleuve Congo fait partie du vaste ensemble des bassins sédimentaires délimitant la bordure occidentale du continent africain, depuis le Maroc jusqu'en Angola. Ces bassins ont fait l'objet de nombreux travaux (MBORO, 1981 ; MICHAUD, 1984 ; LY, 1985).

Ces dépôts ont un grand intérêt économique relatif aux variétés de minerais qu'ils recèlent (hydrocarbures, phosphates, potasses, etc.....)

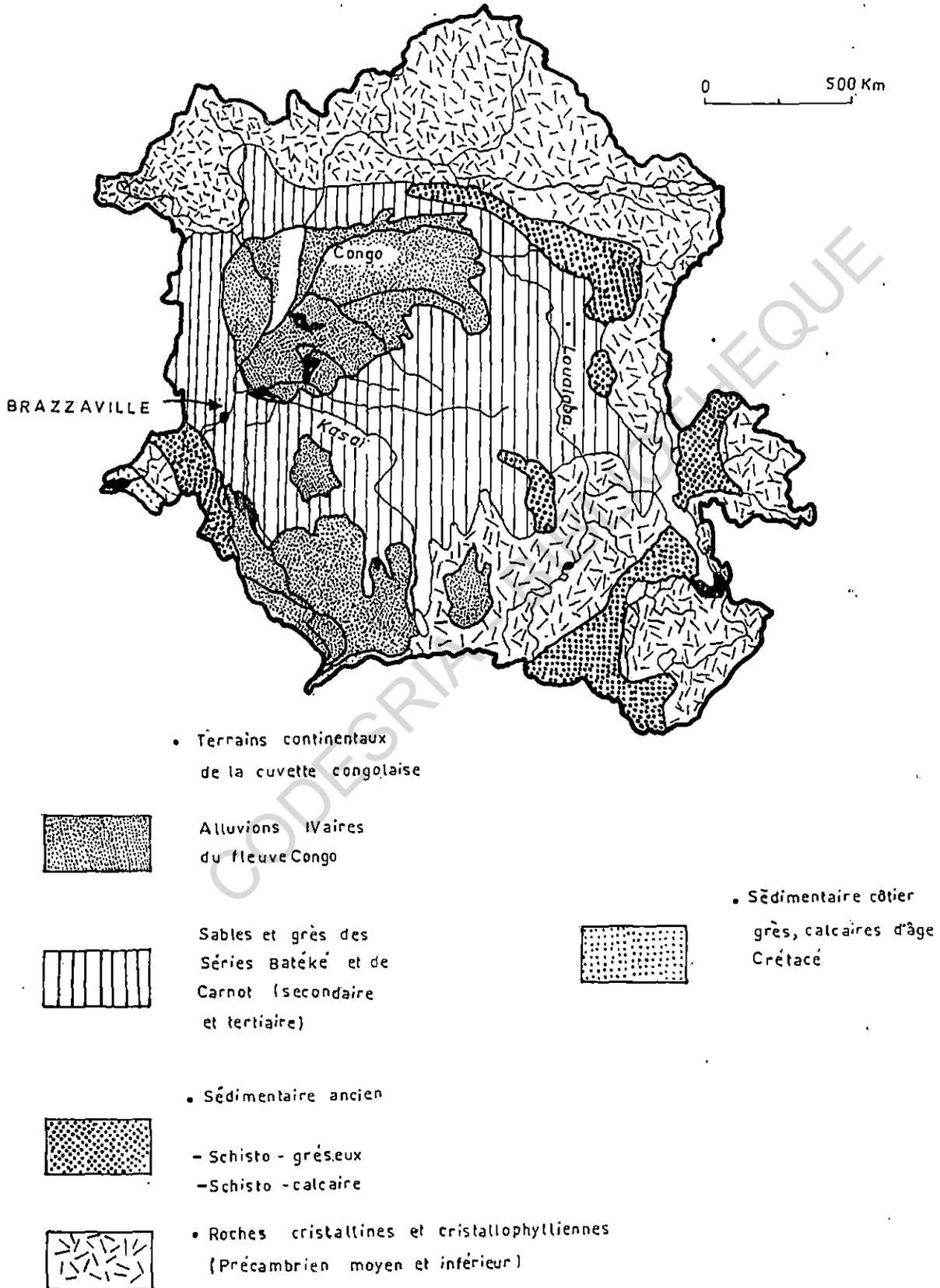


Figure 1.6 : Esquisse géologique du bassin du Congo d'après FURON (1950), modifiée par MOUKOLO (1992 b)

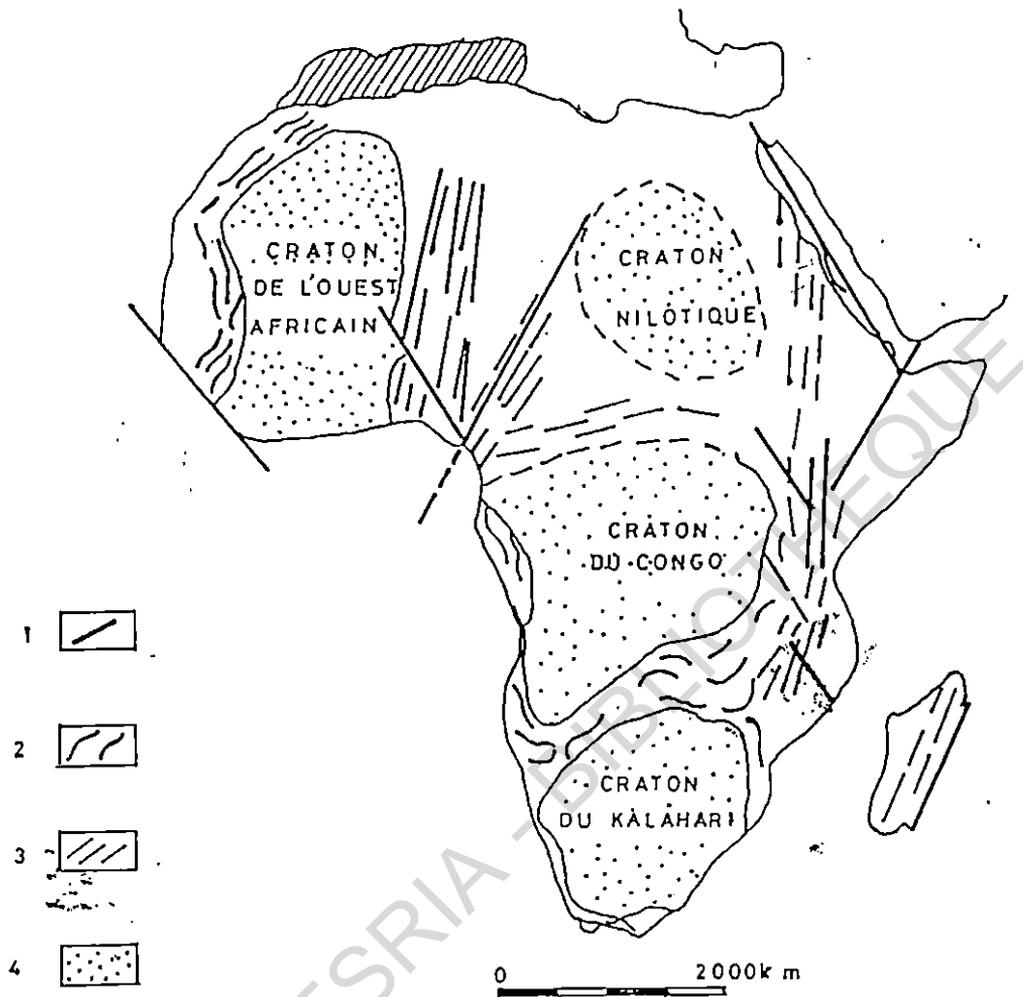


Fig. 1.7: Structure d'ensemble de l'Afrique (ROCCI, 1965)

- Légende :** 1: fractures profondes (linéaments) ;  
 2: zones de plissements (fin Antécambrien – Paléozoïque) ;  
 3: zones de rajeunissement ;  
 4: zones stables (crâtons)

**Remarque:** les zones 2 et 3 forment les zones mobiles.

#### **4.1.1.1 STRATIGRAPHIE (FIGURE 1.8)**

Les synthèses géologiques réalisées par les Géologues pétroliers (1990), font le point des connaissances stratigraphiques actuelles des dépôts post-salifères. On a de haut en bas :

- **la série Plio-Quaternaire des sables de Diosso** (série des Cirques) : cette série affleure très largement dans la région de Pointe Noire où elle occupe environ 6.000 km<sup>2</sup>. Les autres affleurements sont représentés par les alluvions récentes (Loémé, Bas-Kouilou, etc...). L'épaisseur de cette série le long de la côte peut atteindre 200 m. C'est une formation faite de graviers, de sables grossiers et d'argiles multicolores.

- **la formation argilo-sableuse de Paloukou** (Miocène) repose en discordance sur toutes les formations post-salifères. Son épaisseur varie de 100 mètres sur la plateforme continentale à plus de 1 000 mètres dans la zone du talus. C'est une puissante série argileuse à intercalations sableuses et calcaires.

- **les marnes de Madingo** (Sénonien à Eocène) peuvent atteindre 600 mètres d'épaisseur. Il s'agit de marnes silteuses ou sableuses avec des intercalations de calcaires argileux et crayeux, d'argiles fossilifères silteuses riches en substances organiques.

- **la formation dolomitique de Loango** (Turonien), d'une épaisseur généralement constante d'environ 100 mètres, est constituée de :

- . dolomie gréseuse grise à beige, microcristalline, vacuolaire.
- . silstone à ciment argilo-carbonaté passant parfois à des grès fins.
- . argiles silteuses.

- **les grès de Tchala** (Cénomaniens) sont l'équivalent latéral des silts de Likouala, concentrés essentiellement dans la partie orientale du bassin. L'épaisseur peut atteindre 500 mètres. Cette formation est constituée de sables très peu consolidés alternant avec des grès hétérométriques fins à grossiers à ciment siliceux, avec des intercalations d'argiles, d'anhydrites, d'argiles bariolées et de calcaires argileux.

- **la formation silto-argileuse de Likouala** (Albien supérieur, Cénomaniens, Turonien). Elle est en continuité de sédimentation sur les carbonates de Sendji. Son épaisseur moyenne est de 300 mètres. Cette formation est constituée de grès fins à très fins, de silstones argilo-carbonatés, de minces niveaux de calcaires bioclastiques et d'argiles silteuses gris verdâtres.

**les carbonates de Sendji** (Albien) surmontent la série salifère de Loémé. L'épaisseur de cette formation varie de 50 à 1700 mètres. Elle est constituée par une alternance de dolomies calcaires, de calcaires dolomitiques avec, dans la partie sommitale, de nombreuses intercalations de grès, de silstones, d'argiles silteuses et de rares niveaux anhydritiques.

#### **4.1.1.2 STRUCTURE ET TECTONIQUE**

La structure du bassin est en gros monoclinale. Si l'on suit la série carbonatée plus régulière, on note une pente très faible inférieure à 1 % entre Holle et Pointe-Noire.

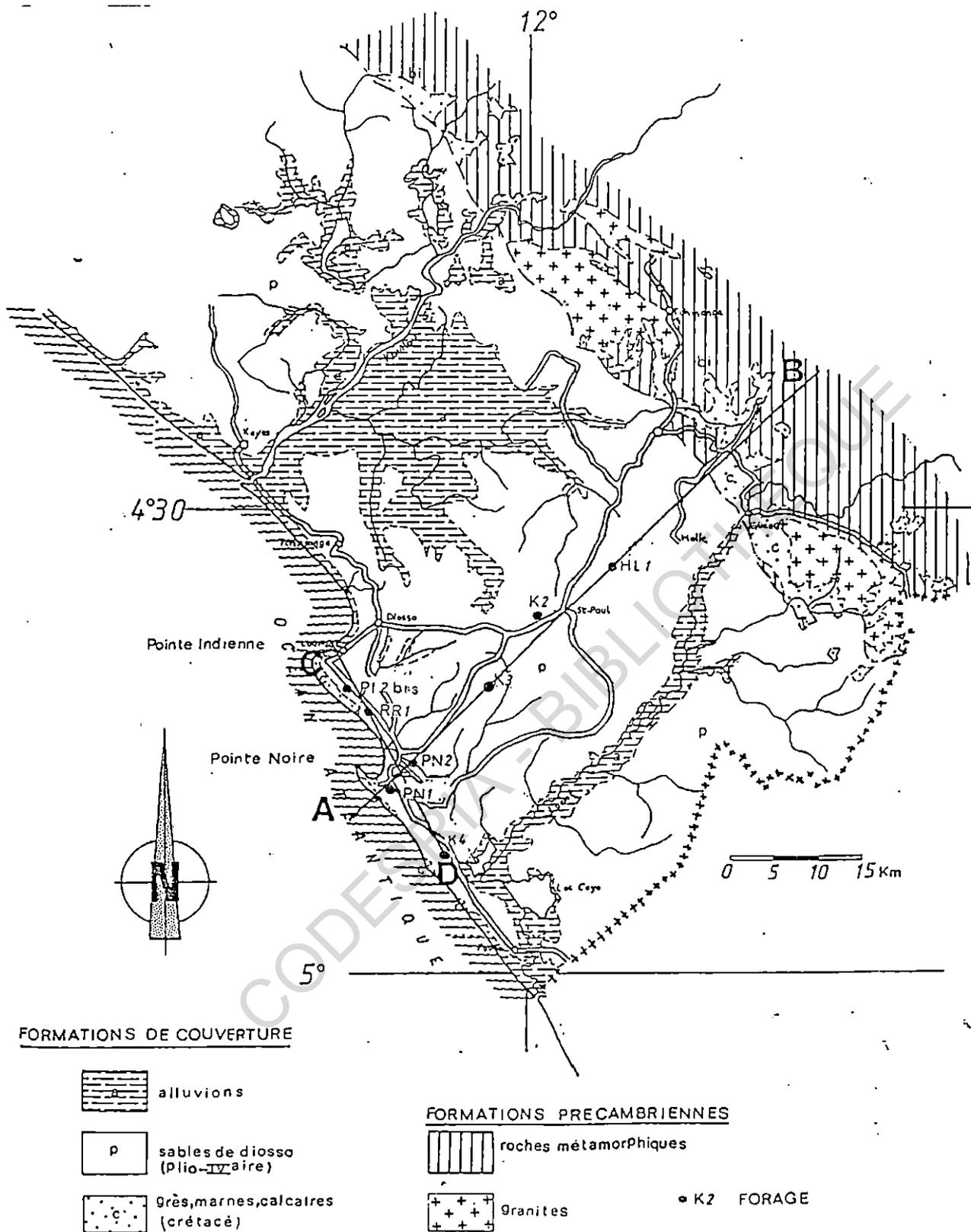


Figure 1.8 : Carte géologique du sédimentaire côtier dans la région de Pointe Noire (DADET, 1969)

L'approfondissement très rapide du socle que l'on rencontre déjà à 2 000 mètres à Holle, distant d'une dizaine de kilomètres seulement des affleurements du Mayombe, serait dû, selon les Géologues du BRGM à un accident tectonique longitudinal, faille ou flexure.

La structuration des formations postsalifères est directement liée aux phénomènes halocinétiques. Deux grandes phases halocinétiques sont généralement reconnues : la première à l'Albien supérieur, la seconde au début du Tertiaire. Cette tectonique a engendré des structures diverses qui peuvent être réparties de l'ouest vers l'est en quatre grandes zones :

- La zone de grands diapirs et dômes de sels dans le grand offshore;
- La zone à carapaces de tortue et structures dissymétriques;
- La zone à diapirs et intumescences;
- La zone à sel calme (partie onshore du bassin). Ici les formations n'ont pas été perturbées, d'où l'absence de structures.

#### 4.1.2 LES TERRAINS CONTINENTAUX DE LA CUVETTE CONGOLAISE

Les terrains continentaux de la Cuvette congolaise sont représentés par les alluvions Ivaires du fleuve Congo et les formations grés-sableuses des séries Batéké et des grès de Carnot. Ils sont le site de podzolisations tropicales. Ces terrains couvrent une forte proportion de la superficie des versants inférieurs des affluents du fleuve Congo situés au sud de l'équateur.

##### 4.1.2.1 RECONNAISSANCE STRATIGRAPHIQUE DANS LA REGION DE BRAZZAVILLE

La carte géologique de DADET, 1969 (voir figure 1.9) fait ressortir les différents affleurements reconnus dans la région de Brazzaville. On distingue la succession stratigraphique suivante :

##### - le Plio-Pleistocène :

Il est constitué de formations de couverture comprenant :

- . une série argilo-sableuse constituée d'argiles sableuses de teinte rouge.
- . des alluvions de nature argileuse, sableuse et limoneuse ou moins jaunes, des minéraux à gravillons ferrugineux et de niveaux de roches altérées. Ces formations portent l'appellation de "complexe de Stone-line".

L'épaisseur de ces formations de couverture est mal connue mais elle est d'au moins de plusieurs dizaines de mètres.

##### - le Tertiaire :

Il comprend deux séries :

- . la série des Plateaux Batéké constituée de formations continentales essentiellement gréseuses et sableuses qui s'étendent en de vastes plateaux à aspect semi-désertique caractéristiques, au nord de Brazzaville, entre les alluvions du fleuve Congo à l'est et les séries anciennes qu'elles transgressent à l'ouest.

Les couches supérieures dites de limons sableux, Néogène (Ba1) ont une puissance totale estimée à 300 ou 400 mètres.

- . la série des Plateaux de Bambio borde au nord les alluvions de la cuvette congolaise. Il s'agit de grès silicifiés, de sables beiges et de limons sableux. L'épaisseur de cette série n'est pas connue.

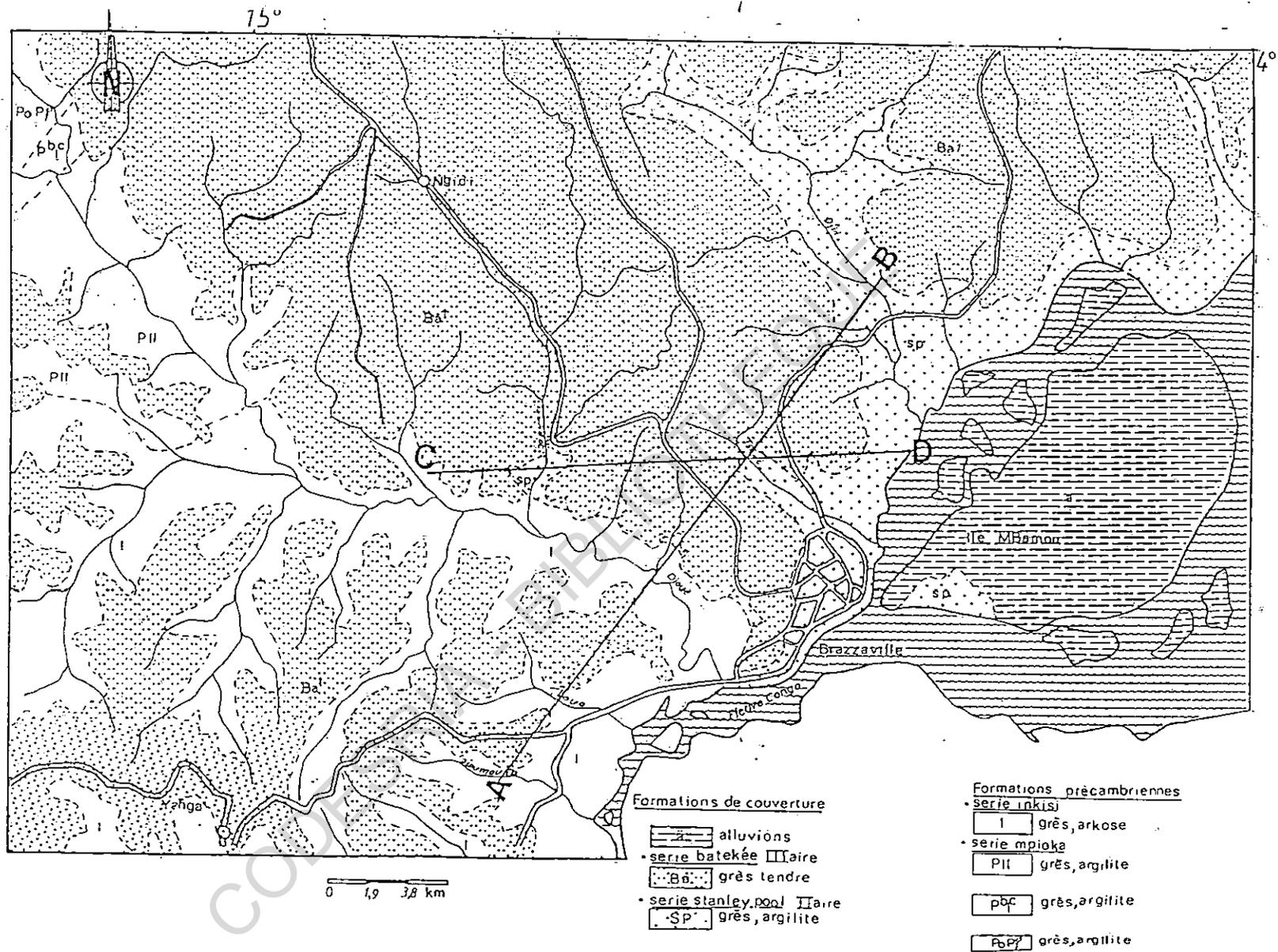


Fig. 1.9 : Carte géologique du bassin dans la région de Brazzaville  
(DADET, 1969)

### - le Secondaire

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble que les formations secondaires surmontent directement le précambrien. Le Secondaire est représenté ici par la série du Stanley-Pool qui comprend :

- . au **Jurassique supérieur**, des argilites à passés gréseux ;
- . au **Crétacé moyen et inférieur**, des grès compacts blancs localement indurés et des grès kaoliniques tendres à stratifications entrecroisées.

Cette série n'affleure que dans le fond des vallées et elle est relayée selon des modalités imprécises en bordure septentrionale par la série de Carnot, formé d'un ensemble grésoconglomeratique au sommet et d'un ensemble fluvio-glaciaire à la base (argilites, tillites). Cependant, certains travaux récents sur la série de Carnot lui attribuent un âge Paléozoïque (communication orale de Guiraud, 1990).

#### 4.1.2.2 STRUCTURE ET TECTONIQUE

Les synthèses structurales réalisées par les géologues pétroliers font état de plusieurs ensembles tectoniques distinctes dans les formations du bassin du fleuve Congo.

- **au nord-ouest de la région**, un anticlinorium d'orientation générale N20, fait affleurer les formations les plus profondes de la série Sembé-Ouessou. De part et d'autre, deux synclinaux font apparaître à l'est et l'ouest les formations du Précambrien moyen. L'anticlinorium s'ennoie au nord et au sud, faisant disparaître au sud les niveaux anciens. Les directions tectoniques générales sont N20 à N30. De nombreuses venues doléritiques jalonnant les directions tectoniques et leur localisation préférentielle suivant des axes de flexures montrent le caractère cassant de la tectonique. Les formations de cette série sont dans l'ensemble fortement plissées et schistosées.

- **le centre et le sud-ouest de la région de la Cuvette** occupé par la série tertiaire des grès Batéké ont des caractéristiques identiques aux formations de la région des plateaux. Les directions tectoniques générales appartiennent au système Combien (N40) et sont bien marquées par le tracé des cours d'eau de cette région (Alima, Mpama, Ngoko, Leketi, Vouma).

- **la moitié est de la région de la Cuvette** formerait une vaste dépression, assimilable à une zone de subsidence où l'épaisseur totale des séries sédimentaires atteindrait 6 000 m au dessus du socle Précambrien.

- le lever aéromagnétique effectué en 1980 par la CGG pour Hydro-Congo a permis de suivre sous les couvertures récentes, un certain nombre de fractures profondes (prolongement probable de la faille de Mont-Comba, fractures parallèles au linéament " Lali-Bouenza" à l'extrémité est du massif du Chaillu, etc) et de définir un certain nombre de bassins où l'épaisseur des sédiments au-dessus du socle magnétique peut atteindre 1 000 m du nord au sud :

- bassin d'Impfondo;
- bassin de Liranga;
- bassin d'Owando-Gamboma;
- bassin de Mbé-Odziba

Certaines données en provenance de l'Airmag viennent parfois confirmer l'observation du réseau hydrographique : les tracés rectilignes des cours d'eau traduisent vraisemblablement une néotectonique en relation avec des structures profondes.

### 4.1.3 LE SEDIMENTAIRE ANCIEN (Précambrien moyen et supérieur)

Ces formations se situent entre le socle cristallin et les sables Batéké au nord-est du bassin et les dépôts du Stanley –Pool, au sud-ouest, ainsi qu'au milieu du socle cristallin dans le sud-est du bassin.

Il s'agit de formations sédimentaires Précambriennes associées à leur produits d'altération qui les masquent en grande partie. On rencontre :

- les formations **Schisto-Calcaires** à dominante calcaire et dolomitique;
- les formations **Schisto-Gréseuses** essentiellement constituées de schistes argileux, de grès et d'arkoses.

#### 4.1.3.1 LA SÉRIE SCHISTO- CALCAIRE

##### 4.1.3.1.1 Stratigraphie (figure 1.10)

Ces formations sont largement représentées dans la vallée du Niari (sud-ouest du Congo) où les affleurements Schisto-Calcaires occupent environ 22 900 km<sup>2</sup>. Les Géologues (COSSON, 1955 et DADET, 1969) qui ont étudié la région ont distingué trois ou cinq étages en se basant sur des critères lithologiques. on a de haut en bas :

- le **SCIII ou C5** : essentiellement dolomitique, sa puissance atteint 300 m. L'accord des auteurs semble s'être fait pour distinguer trois niveaux :
- les **niveaux supérieurs** seraient constitués de dolomies massives ;
- la **partie moyenne de dolomies moins massives**, parfois schisteuses à niveaux marneux ;
- tandis que la **base** se caractérise par une alternance d'argilites et de niveaux dolomitiques ou calcaires.
- le **SCII ou C4** : il est essentiellement calcaire. Aucune subdivision de cet étage dont la puissance est de 200 à 250 m n'a été faite.
- le **SCI** : cet étage est calcaire et marneux. Sa puissance s'établit entre 400 et 450 mètres. Il est toujours divisé en trois niveaux qui sont des étages pour certains auteurs. Ce sont :
  - . le **niveau supérieur ou C3** qui est constitué d'un banc épais et massif de calcaire oolithique très pur ;
  - . la **partie moyenne ou C2** plus importante est marneuse ;
  - . à la **base le C1** est un niveau épais de dolomie.

La série Schisto- Calcaire constitue les aquifères les plus importants de cette région. C'est particulièrement le SCII qui constitue le substratum de la plaine au sud de la rivière du Niari. Le SCII est généralement aquifère, quant au SCI il affleure partout au nord du Niari. Un système aquifère semble se constituer dans sa partie supérieure généralement très karstifiée.

##### 4.1.3.1.2 Tectonique cassante

Les failles et fractures affectant le schisto-calcaire sont très nombreuses. Leurs directions sont soit parallèles à celles des plissements, soit plus ou moins perpendiculaires à ces directions. Il existe ainsi quatre directions principales de fractures puisqu'il y a deux directions de plissements.

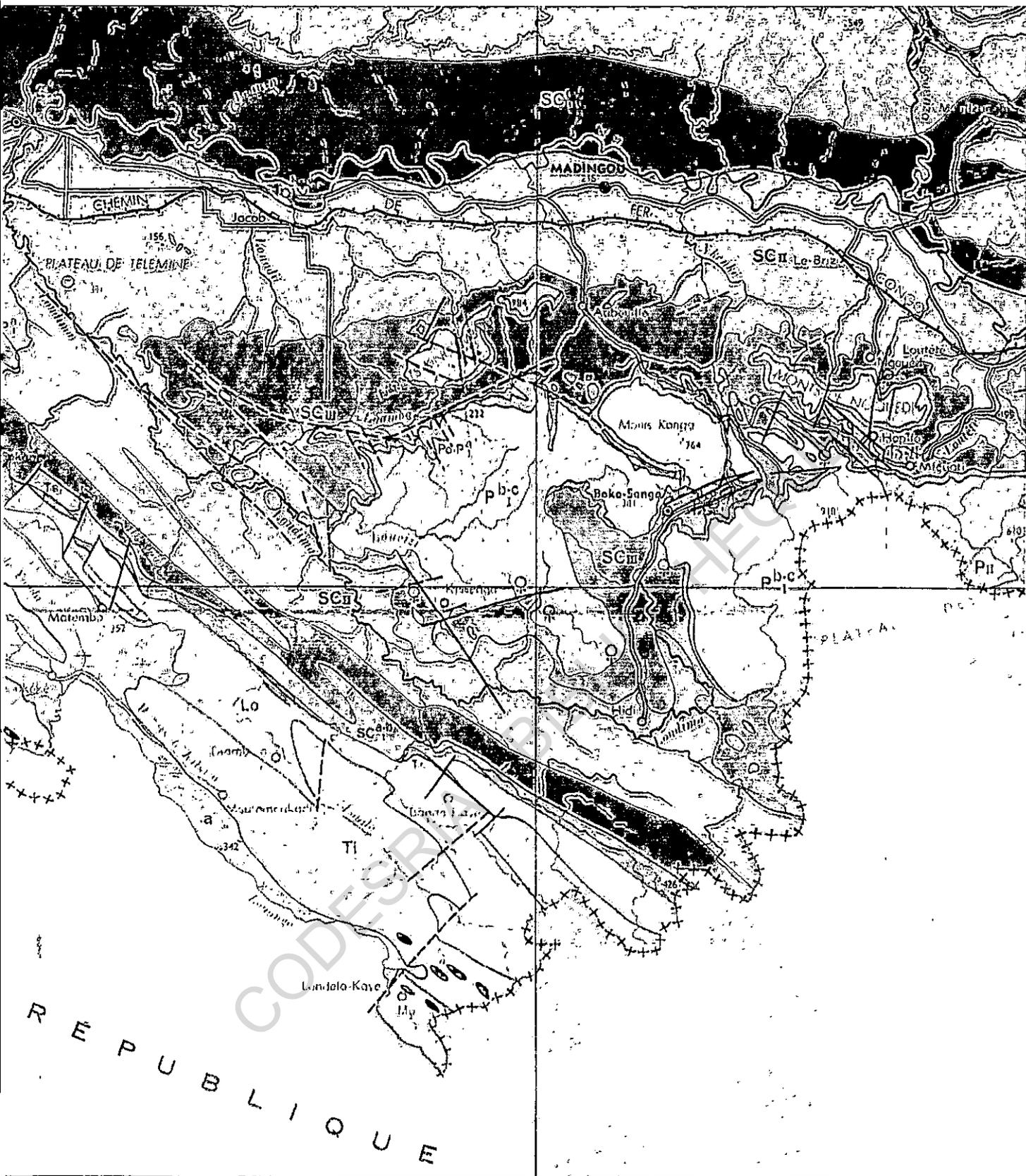


Figure 1.10 : Carte géologique du sédimentaire ancien dans la région du Niari (extrémité sud-ouest du bassin). Extrait de DADET, 1969.

-  Argilites et grès  
Grès feldspathiques
-  Argilites et grès  
Grès feldspathiques
-  Grès et argilites, (conglomérats)  
"Brèche du Niari"

au NW :

-  Grès feldspathiques,  
argilites, (conglomérats)

**Discontinuité**

**Série Schisto-calcaire**

-  Grès feldspathiques et argilites, (conglomérats), récurrences calcaires
-  Dolomies, calcaires dolomitiques, oolithes, stromatholithes  
"Oolithe de Kisantu", dolomies et marnes, stromatholithes, conglomérats bréchoïdes
-  Marnes, grès (SE) et calcaires (NW), silicifications, calcaires à calcite en aiguilles
-  Calcaires oolithiques, cristallins (Mayombe)
-  Calcaires marneux et marnes, calcschistes et cipolins (Mayombe)  
Dolomies roses, cristallines (Mayombe)

**Série de la tillite supérieure du Bas-Congo**

-  Conglomérats glaciaires et périglaciaires, schistes

**Discontinuité ou faible discordance**

MAYOMBE

CHAILLU

**Série de la Louila**

-  Calcaires, (marnes et grès)  
Marnes schistosees, (argilites et grès)  
intercalations tillitiques  
Argilites schistosees, (grès et marnes)

**Série de la Bouenza**

-  Grès calcaireux
-  Argilites marneuses
-  Grès feldspathiques, (conglomérats)
-  Argilites schistosees, (conglomérats)

**Série de la tillite inférieure du Bas-Congo**

-  Conglomérats glaciaires et périglaciaires, schistes et grès quartzites

**Discontinuité ou faible discordance**

**Série de la Mossouva**

-  Grès feldspathiques calcaireux, schistes, oolithes silicifiées, jaspes,  
grès quartzites feldspathiques, niveaux conglomératiques

**Série de Mvouti**

-  Schistes sériciteux parfois carbonatés, quartzites et grès quartzites  
parfois feldspathiques, niveaux conglomératiques

**Série de la Loukoula**

-  Séricite et chloritoschistes, schistes graphiteux, grauwackes, schistes tufacés,  
quartzites micacés, niveaux conglomératiques

**Série de la Bikossi - Loémé**

-  Micaschistes quartziteux feldspathiques, à chlorite,  
micaschistes à muscovite, localement à biolite, quartzites à muscovite

**Roches cristallines associées**

-  Dolérites
-  Granites à tendance alcaline :  $i_{1-II}^D$  potassique,  $i_{1-II}^S$  sodique
-  Zone injectée de filons-couches granitiques et pegmatitiques
-  Diorite quartzique à biolite
-  Microgranites, rhyolites
-  Roches vertes (orthoamphibolites, épidotites...)

**Discordance majeure.**

Les fractures semblent être particulièrement nombreuses dans la zone de transition entre structures tabulaires et structures plissées, dans la zone plissée ou bon nombre de structures plissées semblent délimitées par des failles qui les accentuent et enfin dans la zone centrale où se superposent les deux directions de plissements, ce qui provoque l'existence des zones disloquées et confuses.

Une partie des failles et fractures affectent la série de la Mpioka. Ce qui prouve l'existence d'une tectonique cassante postérieure à la tectonique de plissements.

En ce qui concerne l'importance du jeu des failles ou fractures, il est généralement difficile de l'évaluer, les failles étant la plupart du temps supposées ou masquées que réellement visibles sur le terrain. Le rejet est probablement très variable depuis la fracture où il est nul à la faille correspondant à une dénivellation de plus de 100 mètres. Il existe aussi indubitablement des décrochements horizontaux ou obliques.

#### **4.1.3.2 SERIES DU SCHISTO-GRESEUX**

Les formations Schisto-Gréseuses (figure 1.11) ont été particulièrement décrites au Congo Brazzaville . Il s'agit :

- des affleurements des séries de l'Inkisi, de la Mpioka, de la Louila et de la Bouenza. On a essentiellement des grès (grès argileux, grès feldspathiques et micacés), d'arkoses (Inkisi, Schisto-Gréseux au Congo Brazzaville), des brèches formées de galets de quartzites.
- la série de Sembé-Ouessou est constituée par des grès, des schistes et des arkoses.

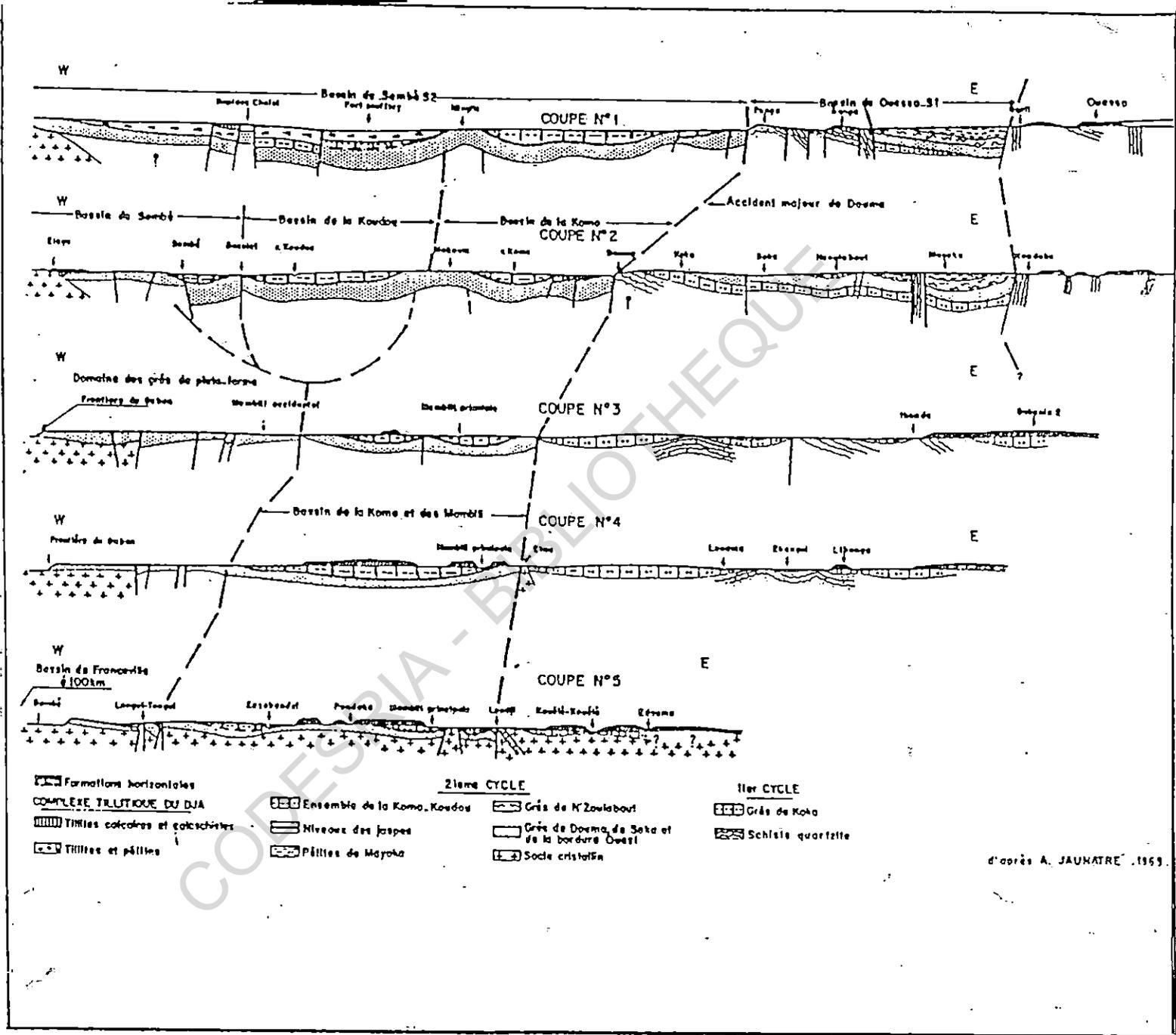
L'étude structurale des bassins de Ouessou et de Sembé (Figure 1.11) fait allusion à l'existence d'une tectonique cassante responsable de nombreuses déformations. Il s'agit surtout des failles d'effondrement et de horsts qui compartimentent les bassins des différents cours d'eau de cette zone (Mkomo, Mambili, etc...). Les études géophysiques exécutées par la Direction de l'Hydraulique en 1986 dans le district de Ouessou (1°37 N - 16°03 E) ont établi la présence d'accidents N 30 et N 105 conformes aux directions tectoniques régionales.

D'autre part, l'abondance des injections doléritiques témoignent également de fractures au sein des formations constitutives de la Sembé-Ouessou.

#### **4.1.4 ROCHES CRISTALLINES ET CRISTALLOPHYLIENNES (PRÉCAMBRIEN INFÉRIEUR).**

Ces terrains forment le soubassement géologique du bassin du Congo et délimitent la Cuvette dont ils constituent les marges nord, est, sud-est et sud-ouest. Ces terrains sont formés de roches métamorphiques et éruptives très variées.. Le métamorphisme est plus prononcé dans les horizons inférieurs ainsi que la cristallinité. Il s'agit de quartzites métamorphiques, de quartzites durs et hyalins, de quartzites feldspathiques, de quartzites à muscovites et oxydes de fer. Les quartzites sont souvent associés aux gneiss, migmatites et amphibolites. Les amphibolites sont assez rares et sont représentées par des amphibolites feldspathiques ou des amphibolites à épidote, à trémolite et chlorite. On observe aussi des charnockites, des migmatites, des gneiss à deux micas, des gneiss ocellés, des gneiss quartzofeldspathiques, des schistes et micaschistes; il s'agit surtout de schistes amphibolitiques, des schistes microbréchiques ainsi que des schistes quartzitiques. Les affleurements de roches éruptives correspondent à des granites intrusifs, à des basaltes, à des gabbros et des dolérites. Les granites intrusifs sont plus fréquemment représentés dans le complexe de base où ils sont fortement gneissifiés et parfois associés à des micaschistes et à des quartzites. On rencontre aussi des granites du type calco-alkalin à biotite et à amphibole (type dominant).

Figure 1.11 : Coupes interprétatives dans le bassin de Sembé Ouesso d'après JAUNATRE, 1969.



Certaines minéralisations ainsi que les granodiorites et les monzonites sont liés aux intrusions (étain, or).

#### **4.1.4.1 Reconnaissance stratigraphique dans la région du Mayombe (extrémité sud-ouest du bassin)**

Il s'agit essentiellement de formations cristallines et cristallophylliennes (figure 1.12), qui supposent l'existence d'une stratigraphie complexe avec une grande variété de roches. Ces formations sont toujours masquées par une épaisse couche d'altérites qui les recouvrent. On peut distinguer du point de vue stratigraphique :

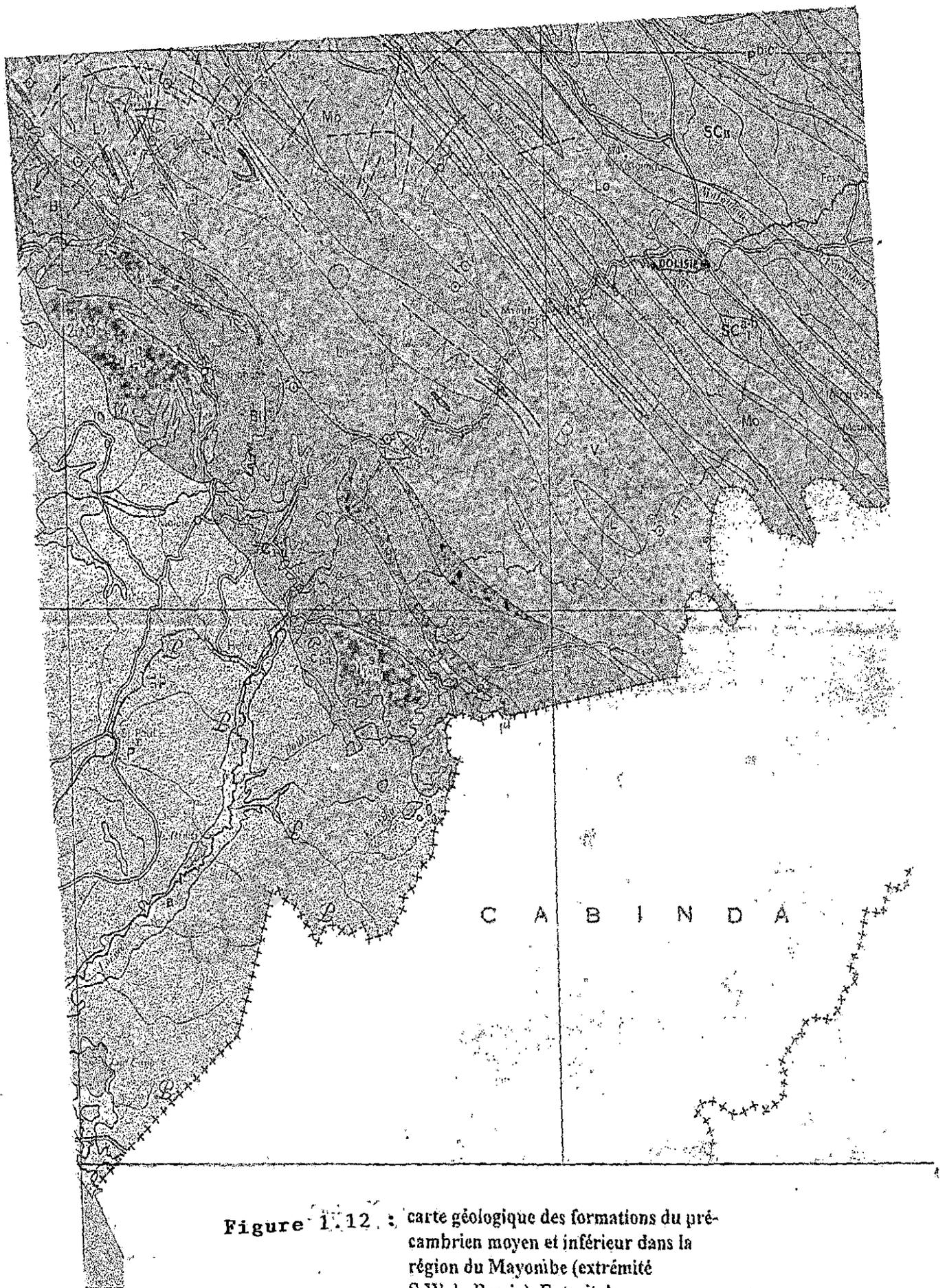
##### **4.1.4.1.1 Les Formations superficielles**

- Les alluvions qui forment des terrasses de montagne dans la zone d'affleurement de la série de Mvouti.
- Les éluvions résultant de la décomposition sur place de diverses roches. Elles présentent tous les intermédiaires entre la roche mère à peine désagrégée et un produit sableux, argilo-sableux ou argileux suivant la nature de cette roche mère.

##### **4.1.4.1.2 Les formations plissées**

Ces formations ont été reconnues et décrites par Dadet, P. (1969):

- **Série de Mvouti** : ce sont des schistes à séricite et à chlorite, des grès quartzites et des arkoses ;
- **série de la Loukoula** : avec des schistes graphiteux, des quartzites sombres feldspathiques, etc... ;
- **série de la Bikossi** : on a des épidotites, des schistes verts calciques, des quartzites clairs, etc...
- **série de la Loémé** : ce sont essentiellement des micaschistes, des paragneiss et des amphibolites.



**Figure 1.12 :** carte géologique des formations du précambrien moyen et inférieur dans la région du Mayombe (extrémité S-W du Bassin). Extrait de DADET, 1969.

## 4.2 STRUCTURE ET TECTONIQUE D'ENSEMBLE DU BASSIN

D'un point de vue structural (Figure 1.13 et 1.14) le bassin du Congo présente des fossés et des zones d'effondrement avec une série de horsts et de grabens qui sont généralement orientés nord-sud mais aussi N-S ou NE-SW. Ces structures sont dans le prolongement, à l'ouest, des effondrements des Rift-Valleys; Au sud-ouest du bassin on a des plis dont la direction aux abords de la chaîne du Mayombe est NW-SE (direction mayombienne). Elle devient NE-SW aux environs de la ville de Comba (direction combienne). Ces plis sont attribués à une orogène Ouest-congolienne.

Au nord du bassin, POIDEVIN (1985) note deux épisodes tectoniques dans la région de Bakouma au sud de la République centrafricaine: la première tectonique (la principale) est-ouest, déverse au sud et engendre la schistosité et les grands plis isoclinaux remarquables à Bakouma.

La deuxième déverse à l'est et fait apparaître des chevauchements, celle-ci est remarquée à l'extrémité orientale de la Dialinga.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

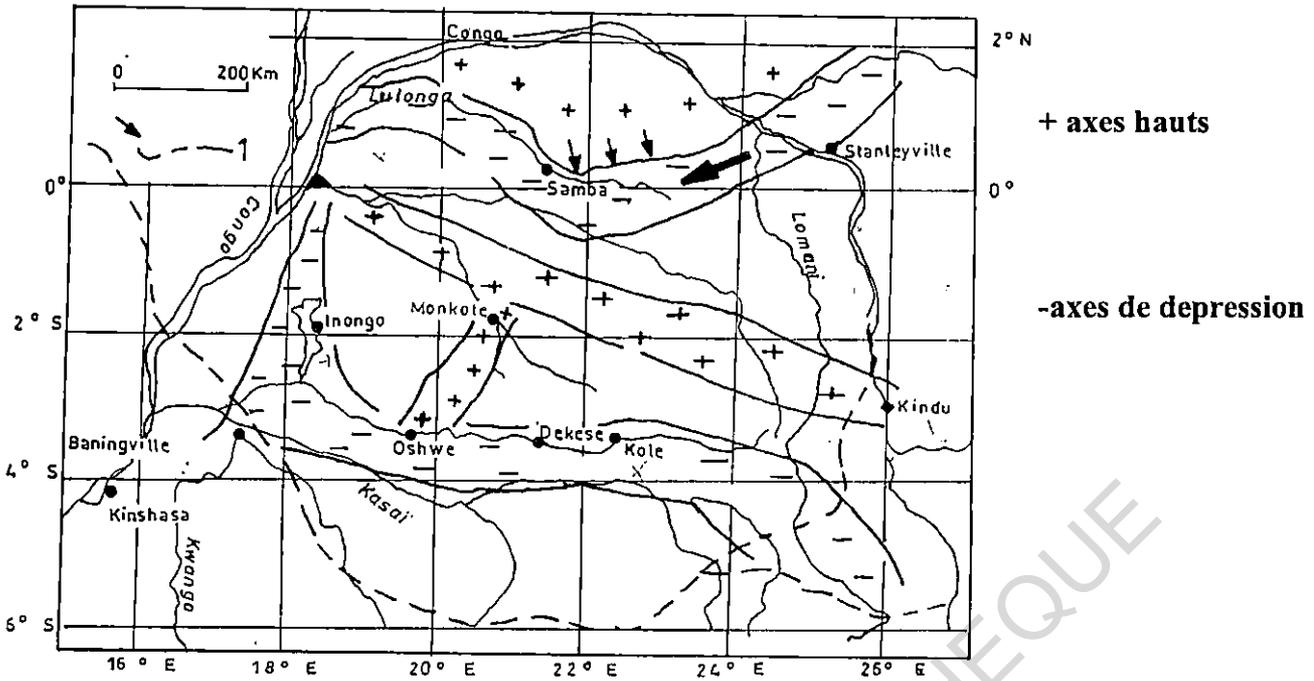


Fig. 1.13 : Carte de la morphologie du soubassement de la Cuvette congolaise (EVRARD, 1957)

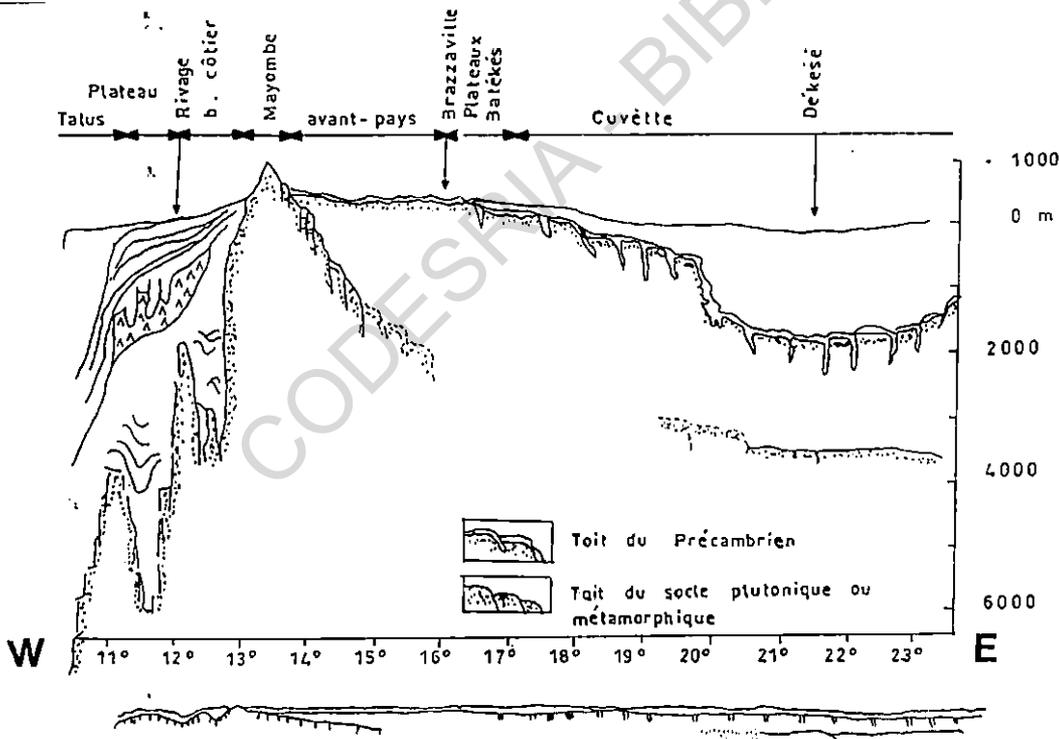


Fig. 1.14: Coupe schématique d'ensemble des soubassements des bassins marins et continentaux (GIRESSSE, 1982)

## 5 LES SOLS

Dans le cadre de son travail de thèse, KINGA MOUZEO (1986) s'était largement inspiré des travaux de CYS (1960) pour présenter une synthèse suffisamment exhaustive des phénomènes d'altération sur le bassin du Congo. L'essentiel des résultats exposés dans ce paragraphe est tiré de cette thèse.

Selon CYS (1960), dans le bassin versant du Congo, la topographie ne constitue pas le facteur dominant de la pédogenèse. Son rôle n'est pas primordial dans le processus d'érosion des sols. Par contre les facteurs climatiques, édaphiques et géologiques sont prépondérants pour différencier les types de sols, leur évolution et leur répartition géographique.

La carte des sols que nous présentons en figure 1.15 est tirée de quelques rares travaux prospectifs de CYS (1960), au Congo Belge et au Rwanda et de BOCQUIER (1959) au Congo Brazzaville.

Dans l'ensemble, l'altération du type ferralitique est prédominante, ces sols occupent près de 95 % du bassin versant où l'on observe aussi les sols hydromorphes et les podzols.

En fonction du degré d'altération des matériaux originels, CYS (1960) classe les sols du bassin versant du Congo en de grands groupes caractérisés par la prédominance d'un type d'argile:

- . **Les sols récents**, riches en argile de type 2/1 notamment dans la partie méridionale du bassin ;

- . **Les sols riches en kaolinite** (sols ferralitiques ou kaolisol) suivant les types de roches du substratum, on distinguera plusieurs types de pédogenèses :

- roches cristallines et métamorphiques: les sols sont généralement argileux-sableux, leur richesse chimique dépend de la richesse des roches mères;

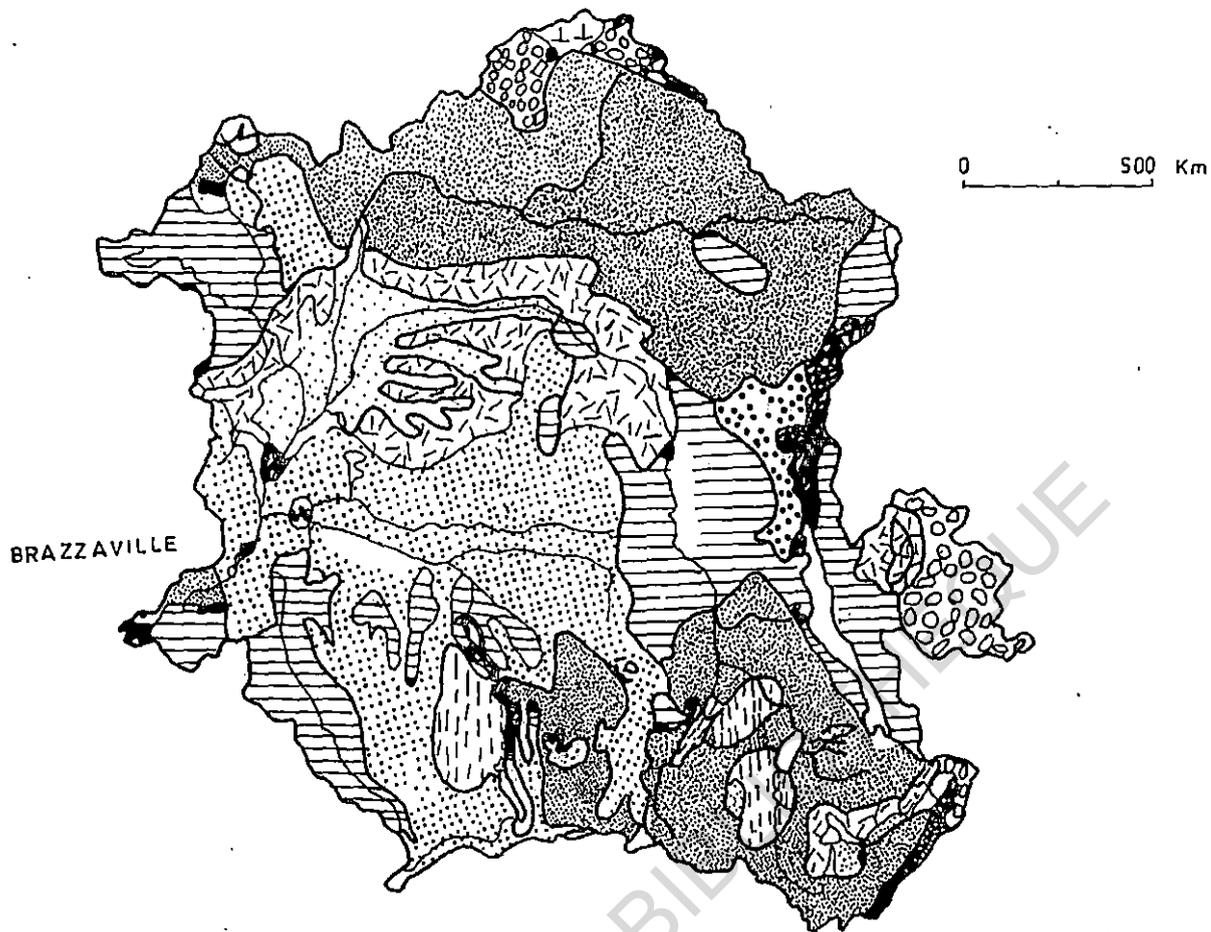
- roches Schisto-Calcaires: les sols seront argileux, on distingue vers le sud du bassin les rendzines et les verticales à composante argileux smectistique;

- sables et grès : les sols formés sont les sols sableux voisins du type podzol tropical.

- . **Les sols ferralitiques** les plus fréquents, avec ou sans cuirasse, sont presque toujours fortement désaturés et très pauvres en bases échangeables. Le départ lors de l'hydrolyse des éléments les plus solubles conduit à un enrichissement relatif en Fe et Al. Ces sols souvent caractérisés par une grande épaisseur sont observés aussi bien dans la savane que dans la forêt.

Suivant la végétation, la nature de la roche, on distinguera dans le bassin, plusieurs types de sols ferralitiques:

- . **sols ferralitiques forestiers** sur roches granitiques: les sols sont acides, très pauvres en base la matière organique se décompose rapidement et il y a très peu de réserve minérales;



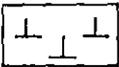
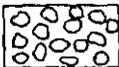
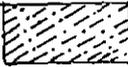
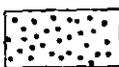
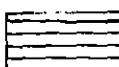
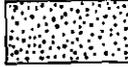
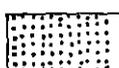
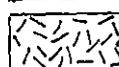
- |  |  |
|--|--|
| 1- Sols bruts minéraux   | 5- Kaolisols   |
|  Lithosols et sols lithiques                                       |  Lithosols et sols lithiques<br>Sols ferrugineux tropicaux  |
| 2- Sols tropicaux récents  |  Sols ferrugineux tropicaux<br>et sols ferralitiques        |
|  Sols jeunes sur matériaux<br>d'apport récent et sols hydromorphes |  Terrisols  |
| 3- Terres noires tropicales  |  Id et sols ferralitiques                                   |
|  Sols à argiles foncées<br>des dépressions                         |  Sols ferralitiques sur matériaux<br>sableux                |
|  Id. et sols bruns des régions<br>arides et subarides              |  Id et sols ferralitiques sur<br>sur roches diverses        |
| 4- Sols bruns tropicaux  |  Sols ferralitiques sur matériaux<br>plus ou moins argileux |
|  Sols sur matériaux<br>volcaniques récents                         |  Sols ferralitiques sur roches diverses                     |

Figure 1.15 : Carte des sols du bassin du Congo (CYS, 1960).

- . **sols ferrallitiques en savane** sur roches calcaires: ce sont des sols désaturés, très argileux. Vers le sommet du profil, la teneur en base diminue rapidement, l'acidité augmente et le manganèse solubilisé peut atteindre des teneurs élevées vers la surface;
- . **sols ferrallitiques forestiers**, sur roches métamorphiques, les sols ont une capacité d'échange supérieure à celle des sols sur granite, mais ce sont des sols acides pauvres en bases;
- . **sols ferrallitiques en savane** sur les sables et les grès: ce sont des sols fortement désaturés, appauvris et dépourvus d'horizon grossier en profondeur. La silice est le composé chimique qui domine dans ces sols qui sont généralement en haut de pente de certains versants, alors que les podzols tropicaux sont en bas de pente.

**Les sols hydromorphes** sont trouvés surtout dans la partie centrale du bassin ainsi que sur les terrains sableux inondés, les plaines alluviales et, en général, au fond des dépressions mal drainées.

## 6 VEGETATION

Cette synthèse s'appuie sur les travaux de KINGA MOUZEO (1986), qui distingue deux principaux types de végétations sur le bassin versant du fleuve Congo : la forêt et la savane.

### 6.1 LA FORÊT

D'après MARLIER (1973), la forêt couvre moins de 34 % de la superficie du bassin. Elle est représentée par différents types qui sont liés aux zones climatiques.

Dans la partie centrale du bassin et à la périphérie, on observe la forêt sempervirente dont l'humidité varie en fonction de l'éloignement de l'équateur, cette forêt est souvent sur terre inondée.

Dans le bassin du haut Lualaba et dans les zones inondées, les papyrus prennent racine dans la vase du fond du lac pendant l'étiage.

On trouve aussi des forêts sempervirentes sur terre ferme, avec des arbres géants de 40 à 60 m.

L'estuaire du fleuve Congo présente une forêt de mangrove inondée par les eaux saumâtres où se produit une importante accumulation de matières organiques.

### 6.2 LA SAVANE

Elle couvre la plus grande partie des zones méridionales et septentrionales du bassin. Elle est généralement herbeuse, mais des arbustes et des forêts galeries lui sont associés dans les fonds de vallées. Suivant les terrains et le relief, on observe des savanes hautes et denses ou basses et clairsemées.

## CHAPITRE II. *MATERIEL ET METHODES*

### 1. MESURES DES ÉCOULEMENTS DE SURFACE.

La mesure périodique des suspensions a été réalisée dans 11 sites de prélèvements choisis aux stations hydrométriques suffisamment connues, afin de pouvoir définir les régimes hydrologiques facteurs déterminants du régime des exportations de matières. . La station principale est celle de Brazzaville sur le fleuve Congo. Le protocole établi pour cette station prévoit une mesure mensuelle dans le couloir sur l'ensemble de la verticale déterminée à 400 m de la rive droite du fleuve dans le couloir de Maluku (figure 2.1) à l'amont de Brazzaville et des prélèvements hebdomadaires de surface sur une section plus accessible en aval de Brazzaville ; les concentrations ponctuelles devant être valorisées par corrélations avec les mesures mensuelles.

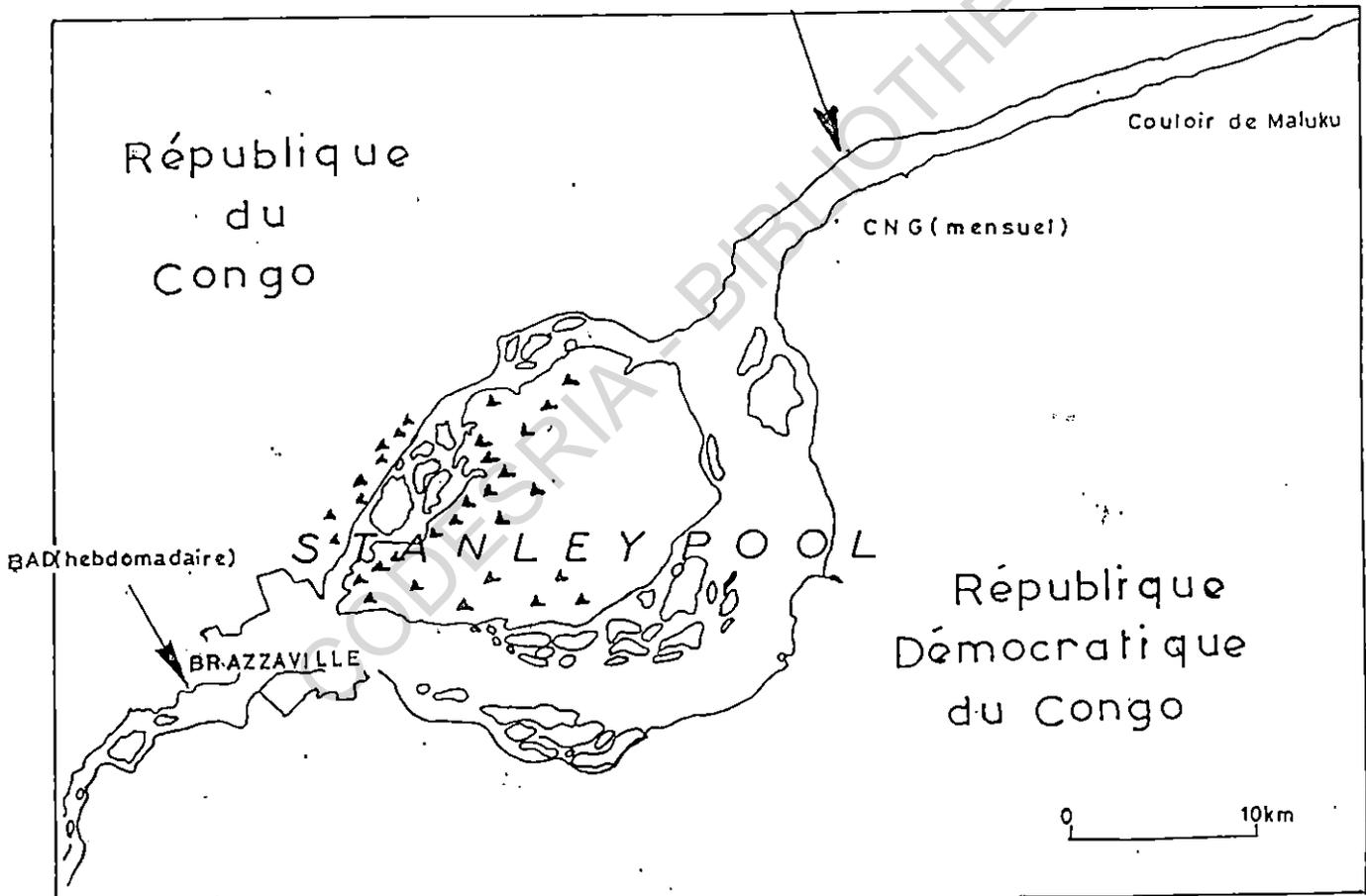


Figure 2.1 : Site de prélèvement sur le fleuve Congo à Brazzaville.

Les autres sites de prélèvements (Figure 2.2) sont :

- 1) stations de Ouesso et de Tsotsolo sur la Sangha ;
- 2) station de Yengo sur la Mambili ;

- 3) station de Makoua sur la Likouala Mossaka ;
- 4) station de Linengué sur le Kouyou ;
- 5) station de Tchikapika sur l'Alima ;
- 6) station d'Ollombo sur la Nkomo ;
- 7) station de Gamboma sur la Nkéné ;
- 8) station de Mbouambé sur la Léfini ;
- 9) station du pont de la RN2 sur la Djiri ;
- 10) station de Botouali sur la Likouala aux Herbes.

Pour ces derniers sites, les prélèvements ont été effectués en surface avec une fréquence trimestrielle (stations accessibles par la route), ou en fonction des opportunités des déplacements et sans périodicité fixe (stations de Ouessou, Tsotsolo et Botouali).

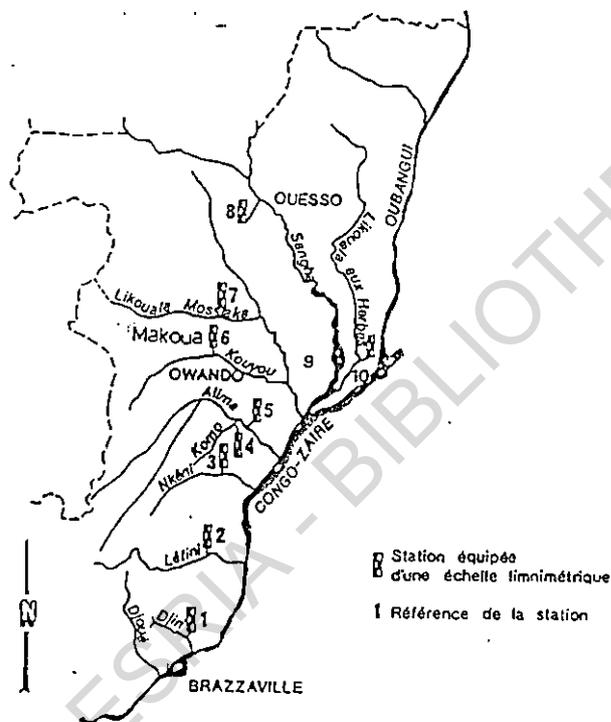


Figure 2.2 : Carte de situation des stations secondaires de mesure

Il est utile de mentionner que les résultats proposés auparavant sur le Congo ne correspondaient pas à des mesures précises des suspensions. Les concentrations avaient été le plus souvent déterminées à partir de simples prélèvements de surface. Elles ont été souvent extrapolées dans le temps sans qu'une fréquence des prélèvements n'ait été précisée au niveau de la saison ou de l'année. Ceci explique la forte dispersion des résultats publiés.

La méthode la plus rigoureuse pour obtenir une estimation du débit de la charge solide consiste à évaluer par prélèvement la concentration  $C$  des matières en suspension et la vitesse  $V$  du courant en  $N$  points de  $X$  verticales sur la section transversale du cours d'eau. Par double intégration du produit  $CV$  (sur les verticales et sur la largeur de la section), on obtient le débit solide :

$$Q_s = \int_0^l \int_0^p C_i \cdot V_i \cdot dl \cdot dp$$

équation dans laquelle  $C_i$  et  $V_i$  sont les données de concentration et de vitesse au point  $i$ ,  $l$  est l'abscisse de la section,  $p$  la profondeur totale d'une verticale donnée. Le débit solide  $Q_s$  permet d'obtenir à partir du débit liquide  $Q$ , la concentration moyenne dans la section.

$$C_m = Q_s / Q$$

La difficulté de la méthode des « jaugeages complets de débits solides » tient dans la longueur des opérations de terrain puis de laboratoire surtout sur une section comme celle du Congo à Brazzaville qui fait 3 km de largeur et jusqu'à 25 m de profondeur (Figure 2.3).

Les mesures effectuées par MOLINIER (1979) ont montré une stratification certaine des suspensions sur chaque verticale. Les concentrations étant plus fortes près du fond mais peu de variations sur la largeur en dehors de la proximité immédiate des rives. Sur la base de ces mesures, le protocole retenu pour la station principale de Brazzaville, a consisté à définir une verticale unique dans la section, celle-ci étant considérée comme représentative de ce qui se passe entre la surface et le fond sur l'ensemble de la section.

Cela signifie que la concentration moyenne mesurée sur la verticale constitue une bonne approximation de la concentration moyenne vraie de la section.

La charge solide est obtenue par la formule suivante :

$$Q_s = C_m \times Q$$

$Q$  étant connu par la relation hauteur-débit de la station. Le dispositif de mesure (planche n°1) permet de multiplier les mesures sans charge excessive de travail et en limitant les difficultés inhérentes à des mesures sur des fleuves frontaliers. Sur la verticale retenue, on effectue des prélèvements en cinq points pour lesquels on aura mesuré la vitesse du courant (OLIVRY, 1986). La concentration moyenne des suspensions est obtenue :

a) par la moyenne arithmétique des concentrations (Figure 2.4) ponctuelles, lesquelles sont pondérées par le rapport  $K$  (vitesse ponctuelle au point  $i$  par la vitesse moyenne de la verticale) :

$$C_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 K_i \cdot C_i$$

b) par intégration de la parabole des  $K \cdot C_i$ . (figure 2.4) la vitesse moyenne étant calculée par intégration de la parabole des vitesses mesurées sur la verticale.



## Planche Photographique n° 1

## Mesures sur le terrain

1            5  
2            5  
3            6  
4            6

- 1 : Appareillage de prélèvement utilisé sur le Congo à partir de la Vedette "Bambou" des Voies Navigables. On reconnaît près de l'appareil MM. PERRET et BERAULT.
2. 3. 5 : Même type de préleveur en version plus légère avec mesure simultanée des vitesses sur embarcation légère utilisée par J.P. THIEBAUX sur l'Oubangui.
- 4 : J.P. BRICQUET et J.C. OLIVRY sur le Congo.
- 6 : J. KONG confronté à une panne du moteur hors-bord sur le Congo.

Extrait du rapport PEGI/GBF : Mission Brazza – Bangui, 1989.

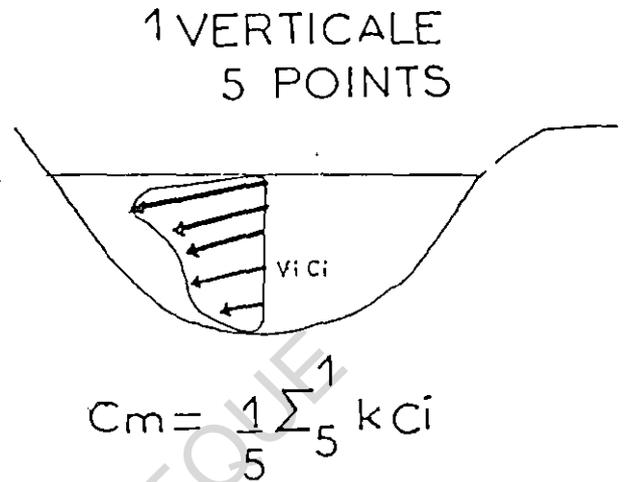
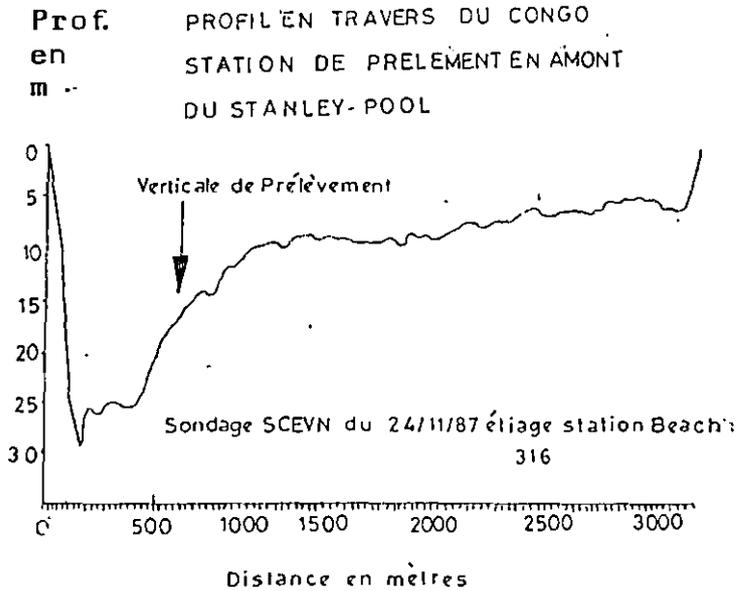


Fig. 2.3 : Profil en travers du Congo à Maluku

Fig. 2.4 : Méthode d'échantillonnage

Une fois les prélèvements effectués et rapportés au laboratoire, il faut traiter les échantillons de façon à séparer la phase solide de la phase dissoute. Nous avons mis au point divers protocoles de traitement selon qu'il s'agit de prélèvements mensuels ou hebdomadaires. Mais la base des traitements est identique dans tous les cas : tamisage de l'échantillon à 50 mm, filtration sur filtre acétate de 0,45 micron, centrifugation à 0,1 micron et résidu sec à 105°C.

## 2. MESURES DES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS

Le bassin du Congo dispose de nombreux points de mesures pour les écoulements souterrains:

En RDC on a inventorié plus de 3.000 forages profonds tandis qu'au Congo Brazzaville nous contrôlons 268 points d'eau constituant le réseau de mesures piézométriques. Les caractéristiques principales des ouvrages figurent au tableau n°2.1.

Tableau 2.1 : Données recueillies sur les forages – valeurs moyennes

Bassin versant Numéro identification	Caractéristiques géologiques principales	Nombre total de forages	Profondeur moyenne (m)	Niveau piézomé- trique (m)	Production initiale m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
1					
A	Socle cristallin	12	63	14	7,1
B	Socle cristallin	82	70	18	3,1
C	Roche volcanique	88	71	15	3,5
D	Socle cristallin	11	86	8	6,5

E	Socle cristallin	9	95	17	7,4
F	Roche volcanique	16	133	23	3,5
G	Roche volcanique	82	123	38	9,5
H	Roche volcanique	63	96	18	11,7
J	Roche volcanique	26	160	46	4,4
K	Roche volcanique	22	111	23	6,8
L	Roche volcanique	24	158	71	5,4
2					
A	Aucun	5	41	8	0,5
B	Socle	31	44	16	3,7
C	R. volcaniques	17	80	28	4,2
D	R. volcaniques	13	130	53	4,6
E	R. volcaniques	226	151	67	7,9
F	R. volcaniques	163	149	85	7,4
G	R. volcaniques	231	113	62	14,8
H	R. volcaniques	62	182	140	5,1
K	R. volcaniques	20	163	80	5,4
3					
A	R. volcaniques	443	127	50	6,1
B	R. volcaniques	932	132	47	8,2
C	Socle	40	145	47	9,4
D	Socle	22	109	26	6,2
E	Socle	101	103	24	6,2
F	Socle	239	107	36	5,4
G	Socle	12	149	59	4,7
H	R. sédimentaires	24	93	41	4,6
J	R. volcaniques	5	55	28	17,0
K	R. sédimentaires	21	81	21	13,0
L	R. sédimentaires	121	51	19	4,1
M	R. sédimentaires	126	99	24	12,8
N	R. volcaniques	22	106	42	9,4

Aquifères	Caractéristiques géologiques principales	Nombre de forage.	Profondeur moyenne en m.	Niveau piézométrique en m.	Production initiale en $m^3.h^{-1}$
- Sédimentaire côtier	Sable fin à moyen	14	130	Nappe artésienne	48
- Sables batékés	Sables fins, limons Sableux et grès	56	28 à 300	0 à 250	13
- Schisto Gréseux	Grès arkosiques	14	17 à 50	13 à 20	20
-Schisto Calcaire	Calcaire et Dolomie	175	50 à 70	20 à 50	2700
-Alluvuions quaternaires du fleuve Congo	Alluvions récents	9	30	10	20

## 2.1 CALCUL DES PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES

Plusieurs essais de nappe ont été effectués en vue de calculer les paramètres hydrodynamiques des différents aquifères (cf. planche n°2):

T (transmissivité) et S (coefficient d'emménagement) ont été évalués à partir de la relation de Jacob.

$$s = 0,183 / T \cdot Q \log 2,25 Tt/r^2 S \quad (\text{relation de Jacob en régime transitoire})$$

où  $s$  = rabattement de la nappe en fonction du temps en m.

$t$  = temps du pompage en seconde

$T$  = transmissivité en  $m^2 \cdot s^{-1}$

$S$  = coefficient d'emménagement.

Planche n°2



- Vue d'ensemble du matériel de l'unité de forage (village DJIRI).



- Exécution d'un essai par pompage. (forage de MIKALOU).

## 2.2 EVALUATION DES RÉSERVES DE LA NAPPE

La réserve en eau souterraine ( $W$ ) est évaluée par traitement d'un couple de données:

- le volume ( $V$ ) de la tranche d'aquifère considéré (réservoir saturé)
- la porosité efficace des aquifères à nappe libre ( $m_e$ ) ou le coefficient d'emménagement ( $S$ ) pour les aquifères à nappe captive.

$$W = V \cdot m_e \text{ ou } V \cdot S$$

## 2.3 MESURES DES DÉBITS DES NAPPES

Les données piézométriques ont été obtenues à partir des relevés journaliers effectués sur les puits. L'établissement des cartes piézométriques en régime non influencé est réalisé pendant la saison sèche.

L'altitude du plan d'eau a été estimée avec un altimètre. Les données obtenues sont reportées sur une carte topographique au 1/50.000. Le traçage des courbes hydroisohypses a été réalisé suivant la méthode d'interpolation du triangle.

Le débit d'écoulement de la nappe est obtenu en appliquant la relation de DARCY :

$$Q = K \cdot i \cdot l \cdot h$$

Avec : -  $Q$  = débit d'écoulement en  $m^3 \cdot s^{-1}$   
 $K$  = coefficient de DARCY en  $m \cdot s^{-1}$   
 $i$  = gradient hydraulique en m.  
 $l$  = longueur du front de la nappe en m.  
 $h$  = épaisseur moyenne de la nappe en m.

## 3 MESURES DES MATIÈRES DISSOUTES

Les mesures pour les paramètres susceptibles d'être modifiés pendant le transport, tels que le pH, la température, la conductivité, l'alcalinité et l'oxygène dissous ont été faites directement sur le terrain lorsque les conditions le permettent (planche n°3). Autrement, elles ont été effectuées immédiatement dès réception des échantillons au laboratoire. Le protocole n'avait pas prévu de conditionnement spécial pour les échantillons d'eau destinés aux analyses chimiques. Les dosages des autres éléments sont réalisés en laboratoire sur l'eau recueillie après centrifugation (coupure à 0,1 micron).

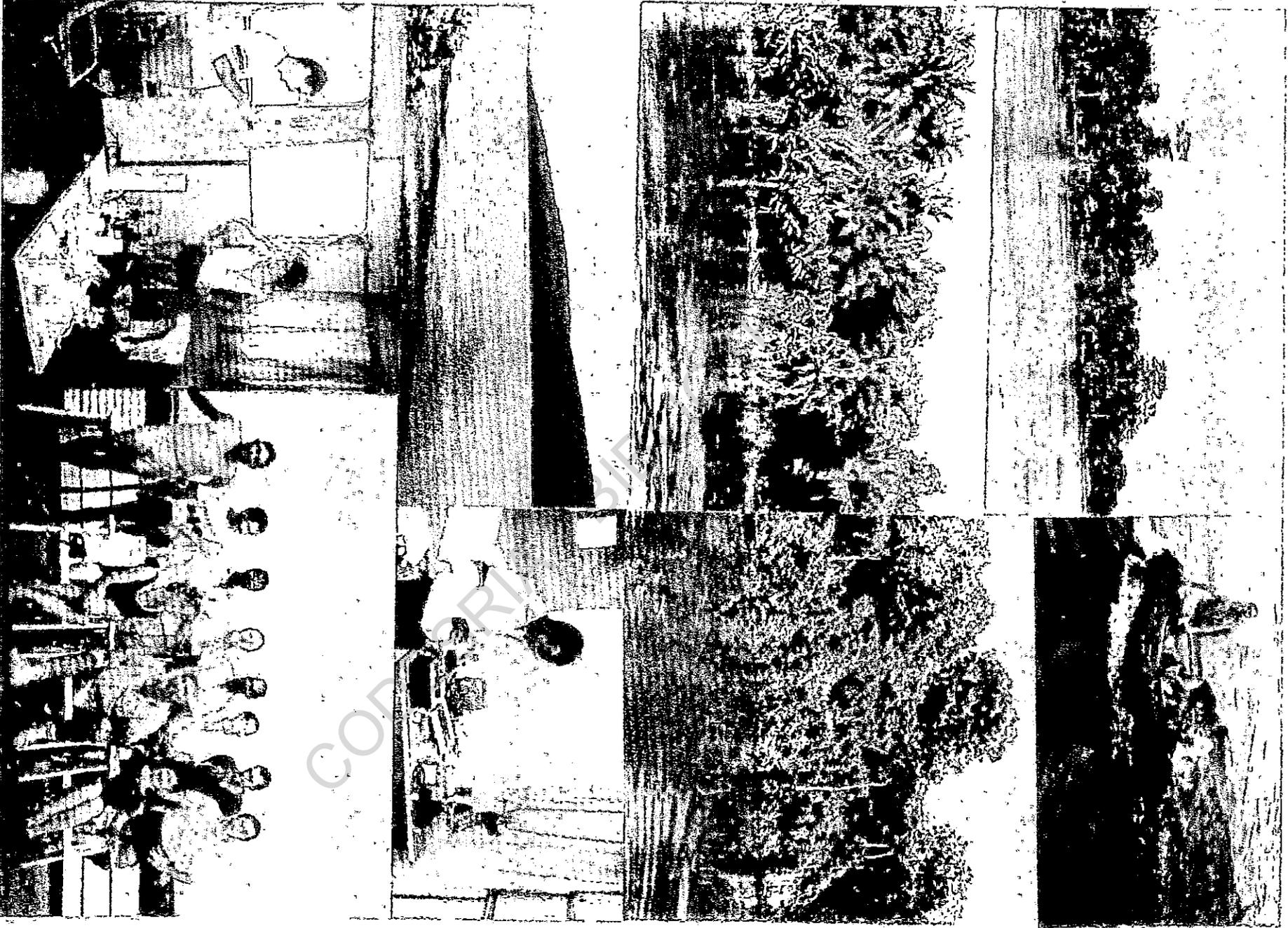
Trois techniques d'analyse ont été utilisées :

### a) Titrimétrie:

on a utilisé des « Kits individuels » pour le dosage des bicarbonates. Le titrage a été fait manuellement au virage d'un indicateur coloré contenu dans le réactif.

### b) Colorimétrie :

les ions suivants :  $Cl^-$  ;  $SO_4^{2-}$ ,  $SiO_4^{4-}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $NH_4^+$  et fer total ont été déterminés à l'aide d'un photomètre à filtre permettant des mesures en transmission et en densité optique. Échantillons et étalons sont mélangés à des réactifs formant un complexe spécifique de l'élément dosé. L'absorption de lumière provoquée par le complexe, à une certaine



## Planche photographique n° 3

1	2
3	4
5	6
7	8

- 1 Le Congo près de Mossaka
- 2 Retour d'un prélèvement en Zodiac
- 3 La Sangha près de Mossaka
- 4 L'Oubangui dans la cuvette congolaise
- 5 Le Congo-Zaïre dans le couloir de Maluku
- 6-7 Laboratoires improvisés dans le carré de "Ville d'Impfondo"
- 8 L'équipe scientifique, debout de g. à dr. Joseph Kong, Jean-Pierre Thiébaux, Noël Moukolo, Jean-Yves Gac, Raphaël Ouetteningue, Yvon Lapaquellerie, Jean-Pierre Bricquet, Philippe Negrel ; et assis Françoise Gasse, Jean-Claude Olivry et Michèle Thiébaux.

**Extrait du rapport PEGI/GBF : Mission Brazza – Bangui, 1989.**

longueur d'onde est transformée en potentiel électrique linéaire par rapport à la concentration.

**c) Spectrophotométrie:**

absorption atomique pour les ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  et spectrométrie de flamme pour  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .

**N.B.** Les échantillons analysés étant généralement très peu minéralisés, cela impose des techniques d'analyse très fiables. Des résultats satisfaisants ont été obtenus par la méthode photométrique. Le colorimètre a donné également de bons résultats, sauf dans le cas des ions tels que  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{AL}^{+++}$  et  $\text{SO}_4^{--}$  pour lesquels les trop faibles concentrations ont été souvent en dehors de la gamme de sensibilité de l'appareil. Dans tous les cas, les analyses jugées non fiables (déséquilibre ionique supérieur à 5%) ont été systématiquement reprises ou écartées.

## 4 MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DES MATIÈRES EN SUSPENSION

Les déterminations sur les matières en suspension ont été réalisées au laboratoire de Bondy par DUGAS et DELAUNE (1989) qui ont utilisé les méthodologies suivantes :

**a) Minéralisation**

Les minéraux ont été déterminés par diffractométrie X sur les échantillons de fond et de berge et sur les matières en suspension. En ce qui concerne les sédiments, DUGAS et DELAUNE (1989) ont utilisé une méthode de préparation spécifique au laboratoire de Bondy. La détermination s'effectue à partir des trois diagrammes classiques : normal, glycol et four (550°C). Dans le cas de MES (matières en suspension), la quantité de matière est trop faible pour appliquer la méthode ci-dessus. Les MES, remises en suspension après dispersion aux ultra-sons sont rédéposées sur filtre argent de porosité 0,45micron et de diamètre 25mm. La diffraction X s'effectue directement sur le filtre argent.

**b) Analyses chimiques**

L'analyse chimique sur sédiment de fond et de berge s'effectue par spectrométrie de fluorescence x directement sur poudre séchée et broyée. L'appareillage de type séquentiel automatisé permet l'analyse multi-élémentaire. La méthode utilisée par le laboratoire de Bondy permet de réduire les effets inter-éléments. DUGAS et DELAUNE (1989) ont affiné leur modèle en corrigeant l'absorption différentielle par la diffusion COMPTON. La détermination sur les MES s'effectue directement sur filtre argent préparé pour la diffraction. Une correction supplémentaire a lieu en fonction de la charge sur le filtre qui varie de 20 à 40 mg. Les résultats sont obtenus à partir d'une calibration externe sur standards synthétiques et internationaux de l'USGS et de l'ANRT.

## 5 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

### 5.1 DÉMARCHE

#### Etape n°1 : vérification et validation des données brutes.

- a) Pour les mesures physiques et physico-chimiques, nous avons réalisé les histogrammes pour chaque variable et nous avons construit des graphiques plans.
- b) Pour les analyses chimiques, nous avons retenu celles dont le déséquilibre ionique est inférieur à 5%.

#### Etape n°2 : Choix de méthodes d'analyses des données.

Nous avons des données métriques à échelle proportionnelle. Les méthodes applicables à ce type de données sont les suivantes :

- a) **Méthode descriptive** : l'analyse en composantes principales est celle que nous avons utilisée.
- b) **Méthode explicative** : nous avons utilisé la méthode canonique, les variables à expliquer étant métriques.

### 5.2 DIFFÉRENTES PHASES DU TRAITEMENT.

**.Phase n°1** : nous avons réalisé les courbes de variation de chaque paramètre en fonction du temps.

**.Phase n°2** : une analyse unidimensionnelle des variables a été réalisée en vue de mesurer la tendance centrale et la dispersion des valeurs.

**.Phase n°3** : L'analyse bidimensionnelle a été faite pour étudier d'éventuelles relations entre les paramètres suivants pris deux à deux :

Qjour / Csable ; Qjour / Cmes ; Qjour / Cdissous ; Qjour / pH ; Qjour / Conductivité ;  
 Qjour / Température ; Cdissous / pH ; Cdissous / Conductivité ; Cdissous / Température ;  
 Na+ / Cl- ; K+ / Cl- ; Ca++ / HCO3- ; Mg++ / HCO3- ; pH / Silice ; pH / Fer total ;  
 pH / HCO3-.

Enfin, une représentation graphique et un calcul du coefficient de corrélation linéaire ont été effectuées pour les couples de variables.

**. Phase n°4** : une ACP a été réalisée dans le but d'étudier les ressemblances entre les échantillons et les liaisons entre variables. En d'autres termes, l'objectif de l'ACP était simplement de décrire les individus et mettre en évidence l'existence éventuelle des sous populations. Nous avons utilisé le logiciel STAT-ITCF de l'Institut Technique de Céréales et des Fourrages, grâce auquel nous avons réalisé la plupart de traitements de données. Notamment, le logiciel sur l'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode descriptive dont l'objectif est de présenter sous forme de graphique le maximum de l'information contenue dans les tableaux de données.

**DEUXIEME PARTIE**

**RESULTATS - DISCUSSIONS**

CODESRIA BIBLIOTHEQUE

## **CHAPITRE I**

### **MODALITES DES ECOULEMENTS DE SURFACE . HYDROLOGIE - BILANS ET VARIATIONS DES EXPORTATIONS DE MATIERES**

#### **I. REGIMES ET BILANS HYDROLOGIQUES**

##### **1.1. HYDROGRAPHIE GÉNÉRALE DU BASSIN**

La description de l'hydrographie du bassin du Congo s'appuie sur les travaux publiés par de nombreux auteurs (KINGA MOUZELO, 1986 ; BRICQUET, 1987 et PETIT, 1992). Le bassin couvre une superficie de 3 684 000 km<sup>2</sup> et il se situe de part et d'autre de l'Equateur. Un tiers du bassin se trouve dans l'hémisphère nord et deux tiers dans l'hémisphère sud. Le Congo est le cinquième fleuve du monde par sa longueur (4 374 km), mais le second par son débit moyen : 41 000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> et par la superficie de son bassin hydrographique. Il se caractérise par un débit très régulier dû à la répartition de ses affluents de part et d'autre de l'Equateur.

##### **- Le Congo supérieur ou Lualaba**

De sa source jusqu'à Kisangani, le Congo s'appelle Lualaba (Figure 3.1). Né dans les plateaux du Shaba à 1 400 m d'altitude (Figure 3.2), le Lualaba torrentueux s'apaise en pénétrant dans la dépression de l'Opemba. Son cours de direction sud-nord se présente comme une succession de biefs calmes et de rapides dont les plus connus sont les « portes d'Enfer » en aval de Kongolo, et les chutes Tshungu à Kiongani. Le coefficient d'écoulement des cours d'eau issus du bourrelet montagneux (Lomani, Lindi, Lowa) est de 41 % alors qu'il n'est que de 22 % pour l'ensemble du bassin. Ceci explique la brutale augmentation de débit entre Kindu (2 300 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) et Lowa (5 740 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), localités distantes de 180 kilomètres seulement.

##### **- Le cours moyen**

A Kisangani, le cours change de direction et s'infléchit vers l'Ouest; il s'élargit, recevant de longs affluents : Lomani, Aruwini, et surtout l'Oubangui. Large de 10 km, le lit du fleuve Congo est encombré d'îles et de bancs de sable sur un tiers de son parcours. A partir du confluent avec la Kwa, réunion du Kasai et de la Fimi, le cours se resserre et forme le « couloir ».

En amont de Brazzaville, le fleuve pénètre dans le Pool Malebo ou Stanley-Pool, vaste dépression coupée d'îles et barrée à l'Ouest par des rapides que le fleuve franchit par un goulot de 1 700 m de large.

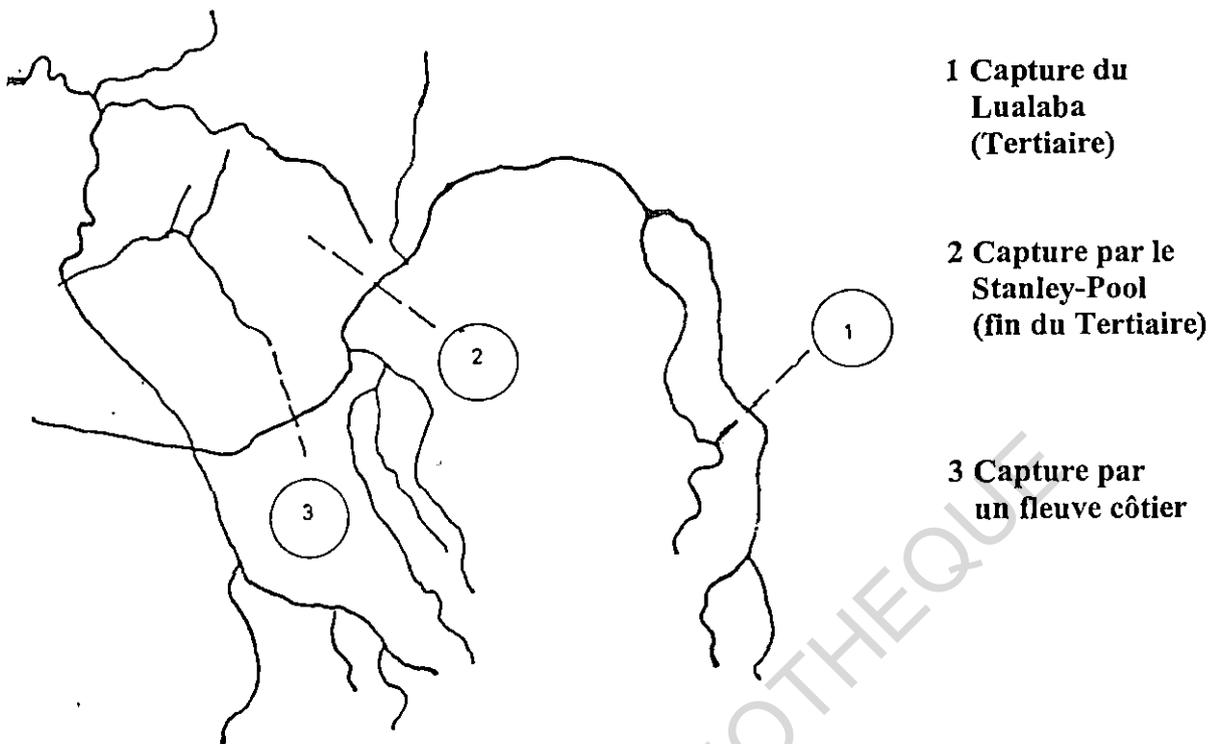


Figure 3.1 : Historique du fleuve Congo (KINGA MOUZE, 1986)

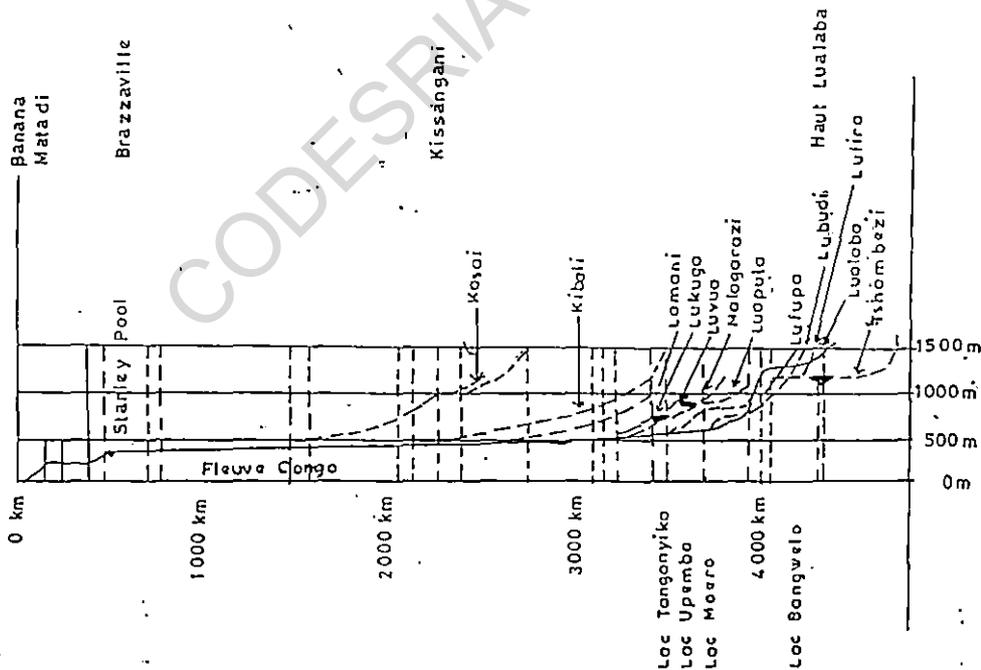


Figure 3.2 : Profil longitudinal du fleuve et de ses principaux affluents (KINGA MOUZE, 1986)

### - Les rapides et le bief maritime

De Kinshasa à Matadi, le fleuve Congo franchit 32 cataractes sur un parcours de 300 km avec une dénivellation de 265 m. En traversant le Mayombe, il change plusieurs fois brutalement de direction. Au delà de Matadi, il s'épanouit de nouveau avec 4 600 m de large à Boma et près de 10 km à son estuaire où s'amorce un canyon sous marin dont le courant d'eau douce est visible à plusieurs kilomètres au large de Banana.

## 1.2. CARACTERISTIQUES DE L'ÉCOULEMENT

Le bassin du Congo dispose de plus d'une centaine de points de mesures hydrométriques. 53 d'entre elles sont considérées comme des stations maîtresses. La plupart des stations sont équipées d'une échelle limnimétrique. Les stations plus importantes disposent d'une échelle couplée à un appareil à enregistrement automatique (limnigraphe). Les observations sont faites par des lecteurs d'échelles recrutés sur place.

Nous donnons au tableau 3.1, la liste exhaustive des principales stations limnimétriques situées sur le fleuve et ses affluents majeurs.

Tableau 3.1 : Liste des stations de mesure

Cours d'eau	Station	Coordonnées géographiques			Bassin versant Km <sup>2</sup>	Début Des observations	Débit moyen M <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
		Longitude	Latitude	altitude			
<b>Fleuve</b>							
1. Congo	Bukama	20°51'35 E	9°11'35 S			1933	322
2. Congo	Kindu	25°55'45 E	2°57'10 S			1912	2213
3. Congo	Kisangani	25°11'30 E	0°30'20 N			1907	6378
4. Congo	Brazzaville	15°19'00 E	4°16'00 S	314	3500000	1902	42250
5. Congo	Boma	13°03'00 E	5°51'30 S			1915	40684
<b>Affluents RD</b>							
6. Oubangui	Bangui	18°35'00 E	4°22'00 N	345	488500	1911	4024
7. Sangha	Ouesso	16°03'00 E	1°35'00 N	326	158350	1948	1763
8. Likouala H.	Botouali	17°27'00 E	0°33'00 N		24800	1949	285
9. Mambili	Yengo	15°29'00 E	0°23'00 N	335	11700	1961	190
10. Likouala M.	Makoua	15°40'00 E	0°01'00 S	317	14060	1952	218
11. Kouyou	Linnengué	15°56'00 E	0°30'00 S	296	10700	1952	215
12. Alima	Tchikapika	16°10'00 E	1°18'00 S	310	20070	1952	584
13. Nkéné	Gamboma	15°51'00 E	1°54'00 S	304	6200	1952	200
14. Léfini	Mbouambé	15°37'51 E	2°55'00 S	307	13500	1952	414
15. Djiri	Pont RN2				853	1983	24.4
16. Djoué	Kibossi	15°00'00 E	4°13'00 S	300	5365	1953	717
17. Foulakary	Kimpanzou	14°56'00 E	4°36'00 S	340	2980	1947	56.9
<b>Affluents RG</b>							
18. Kasai	Ilebo	20°34'55 E	4°20'00 S			1922	2240
19. Kasai	Kutumoké	17°20'45 E	3°11'50 S			1932	8790
20. Kasai	Lediba	16°33'25 E	3°03'25 S			1932	11318
21. Kwango	Bandundu	17°22'17 E	3°17'55 S			1929	3299
22. Inkisi	Inkisi au pont	15°04'05 E	5°07'45 S			1949	
23. Itimbiri	Aketi	23°50'20 E	2°42'45 N			1928	356
24. Shari	Budana	30°09'35 E	1°35'55 N			1937	33
25. Lomani	Opala	24°21'10 E	0°36'10 S			1917	2.9
26. Lukunga	Kalemie	28°12'10 E	5°54'40 S			1952	
27. Ruzizi	Bukavu	28°53'32 E	2°29'25 S			1950	
28. Luvua	Kiambi	28°00'45 E	7°20'15 S			1935	669
29. Luapula	Kasenga	28°36'55 E	10°21'35 S			1934	616
30. Lufira	Kopolowe	26°57'40 E	11°02'40 S			1920	49

Dans ce document nous ne mentionnons que les données provenant des stations situées sur le territoire du Congo Brazzaville, dont la gestion est assurée par le service hydrologique national de ce pays. Il faut dire que l'absence de collaboration entre les différents services concernés de part et d'autre du fleuve, rend pratiquement impossible l'accès aux données des affluents de la rive gauche situés en RDC.

Les relevés des hauteurs d'eau sont effectués deux par jour et transmises au service hydrologique à Brazzaville à la fin de chaque mois. Deux campagnes annuelles de jaugeage sont organisées pour parfaire les courbes d'étalonnage des rivières. Dès la réception des données, elles sont traitées avant d'être stockées dans une banque de données informatisée. Le service est équipé du logiciel HYDROMS mis au point par l'ORSTOM. Le traitement consiste à vérifier la cohérence des données. On procède à un travail de correction systématique et d'homogénéisation des données: BRICQUET (1987). a établi la cohérence entre les débits obtenus en rive droite (chronique 1947-1995 à Brazzaville) et en rive gauche (chronique 1902-1983 à Kinshasa). Par ailleurs, un travail de critique systématique de la banque des données a été entrepris par LARAQUE et MAZIEZOULA (1995). Ce travail a surtout concerné les stations suivantes :

. **Stations de la cuvette centrale** : - Mambili à Yengo ; Likouala Mossaka à Makoua et à Itoumbi ; - Kouyou à Linnengue.

. **Stations des Plateaux Batéké** : - Alima à Tchikapika et à Okoyo ; Léfini à Mbouambé ; Nkéni à Gamboma.

Les données de ces stations représentent un volume de près de 85 000 valeurs de débits journaliers. La critique systématique des données de base opérée par LARAQUE et al., 1995 (hauteurs, étalonnages) a entraîné la modification d'environ 25 000 de ces valeurs, auxquelles ils ont ajouté quelques valeurs de débits obtenues par interpolation linéaire sur de courtes périodes. Selon LARAQUE et al (1995), certains débits préexistants avant cette critique étaient erronés de plus de 50 %.

Au niveau mensuel, les 2 800 valeurs de débits existants ont été complétées par 420 valeurs reconstituées, par corrélation entre stations du même cours d'eau ou à partir de documents d'archives.

Les débits corrigés des stations gérées par le service hydrologique du Congo Brazzaville figurent en annexe 1. Les caractéristiques principales des stations sont données dans le tableau 3.2 et la figure 3.3 en donne une représentation pour la station principale de Brazzaville.

L'analyse de l'hydrogramme de Brazzaville considéré comme la station de référence qui contrôle 95 % de la superficie du bassin et dont les chroniques des débits remontent à 1947, montre que le régime du fleuve Congo est particulièrement régulier (figure 3.4).. Le débit du Congo à cet endroit est le résultat du mélange de ses affluents d'origine australe et boréale et aucun apport notable ne vient plus modifier le régime. Cette hydrogramme présente deux périodes de hautes eaux, elles aussi de valeurs différentes. Le maximum principal, courant Décembre, et le secondaire en Mai encadrent l'étiage majeur du mois d'Août et un autre moins prononcé en Mars (OLIVRY, 1986 et 1987). D'après BRICQUET (1987), cet hydrogramme n'est pas la simple transposition du régime climatique, car les mécanismes hydrologiques assignent une origine tout à fait différente aux hautes eaux que l'on observe à Brazzaville. Celles-ci proviennent des précipitations solsticiales arrosant, durant l'été boréal, la partie nord du bassin drainé principalement par l'Oubangui et la Sangha, et durant l'été austral, la partie sud tribulaire du Lualaba et du haut Kasai. Compte tenu du temps que les hautes eaux de l'une ou l'autre portion du bassin mettent à gagner l'aval, ce régime dépend en réalité de deux crues d'origine géographique différente, se surimposant aux apports plus réguliers issus de la bande équatoriale. Si par hasard ce mécanisme se dérègle (pluies tombant

en avance ou en retard par rapport à leur calendrier habituel) dans une quelconque partie du bassin (BRICQUET, 1993), des apports normalement déphasés vont alors se conjuguer à leur arrivée dans le collecteur principal, tant à la hausse qu'à la baisse du débit. Le plus fort débit enregistré en 1961 avec  $76\,500\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  correspond à ce type de conjonction d'apports de crues d'origines différentes.

**Tableau 3.2 : Caractéristiques des stations hydrométriques**

Caractéristiques	Station princi- Pale de Brazzaville	Plateaux Batéké				Cuvette centrale			Plateaux des cataractes		Plateaux du Nord- Ouest
	Beach	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>HYDROLOGIE</b>											
Superficie Km2	3475000	853	13500	6200	20070	24800	10750	14060	2980	5740	158350
Pluviométrie mm	1550	1800	1917	1855	1878	1630	1754	1739	1439	1351	1600
	(56 ans)	25ans	49/82	52/82	52/82	48/82	52/82	52/82		55/80	47/71
Écoulement mm	383	850	999	1053	931	372	692	514	602	723	365.8
Déficit d'écoulement en mm	1167	968	918	802	947	1258	1059	1225	837	818	1234.2
Débit spécifique en $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^2$	12.2	27	31.7	33.4	29.5	11.8	22	16.3	19.1	22.9	10.6
Coefficient d'écoulement	24.7%	47%	52.1%	56.8%	49.6%	22.8%	39.6%	29.6%	41.8%	46.9%	22.8%
Débit moyen en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	41700	24.4	414	209	537	285	215	218	56.9	123	1698
		75/80									
<b>GEOLOGIE</b>											
	Sables et grès Batéké grès du Stanley Pool arkose de l'Inkisi (Pierre DADET, 1969)	Limosons sableux du Ba2 sables et grès du Ba1 et Sp3/2 argilites du SP1 (P. DADET, 1969)				alluvions quaternaires (carte géologique du Congo, 1977)			Grès arkosique de l'Inkisi (J. COSSON, 1955)		roches cristallines et cristallophylliennes de la série Sembé - Ouesso. (Sonet, 55)
<b>PEDOLOGIE</b>											
	sols jaunes sur matériaux sableux sols sur schisto-gréseux (Atlas du Congo, 1977)	sols ferrallitiques appauvris avec prédominance de sols jaunes sur matériaux sableux. (Atlas du Congo, 1977)				sols ferrallitiques et sols hydromorphes alluviaux  sols hydromorphes tourbeux sous forêt inondée.			sols jaunes sur matériaux sableux. sols jaunes sur schisto-gréseux. (Atlas du Congo, 1977)		sols rouges sur roches métamorphiques sols ferrallitiques Sols hydromorphes alluviaux (Atlas du Congo, 77)
<b>VEGETATION</b>											
	Savane à Loudetia demeusii ; Forêt mésophile (Atlas du Congo 1977)	savane à Loudetia demeusii savane à Trachypogea et à Hyperhenia. (Atlas du Congo, 1977)				forêt ombrophile forêt inondée marais à prairie flottante			savane à Loudetia demeusii savane à Trachypogon et Hyperhenia (Atlas du Congo, 1977)		forêt ombrophile (Atlas du Congo, 1977)

1. Djiri au pont RN2
2. Léfini à Mbouambé
3. Nkéni à Gamboma
4. Alima à Tchicapika
5. Likouala aux herbes à Botouali
6. Kouyou à Linnengué
7. Likouala Mossaka à Makoua
8. Foulakari à Kimpanzou
9. Djoué à Goma Tsé -Tsé
10. Sangha à Ouesso

L'hydrogramme de Makoua est représentative du régime équatorial avec une grande période des hautes eaux qui débute au mois de Septembre et une secondaire à partir du mois d'Avril. Entre les deux saisons, on a deux étiages très limités.

L'hydrogramme de Mbouambé est caractéristique des rivières Batéké qui se singularisent par un régime extrêmement régulier avec un coefficient d'irrégularité interannuel voisin de un. Cette spécificité est due à l'alimentation de ces cours d'eaux qui s'opère essentiellement à travers la nappe souterraine qui sert de régulateur de leur régime.

Le régime tropical nord est représenté par l'hydrogramme de Ouesso. Elle comporte une période de hautes eaux de Mai à Janvier et une période de basses eaux de Février à Avril.

La figure 3.4 présente les différents régimes hydrologiques du bassin.

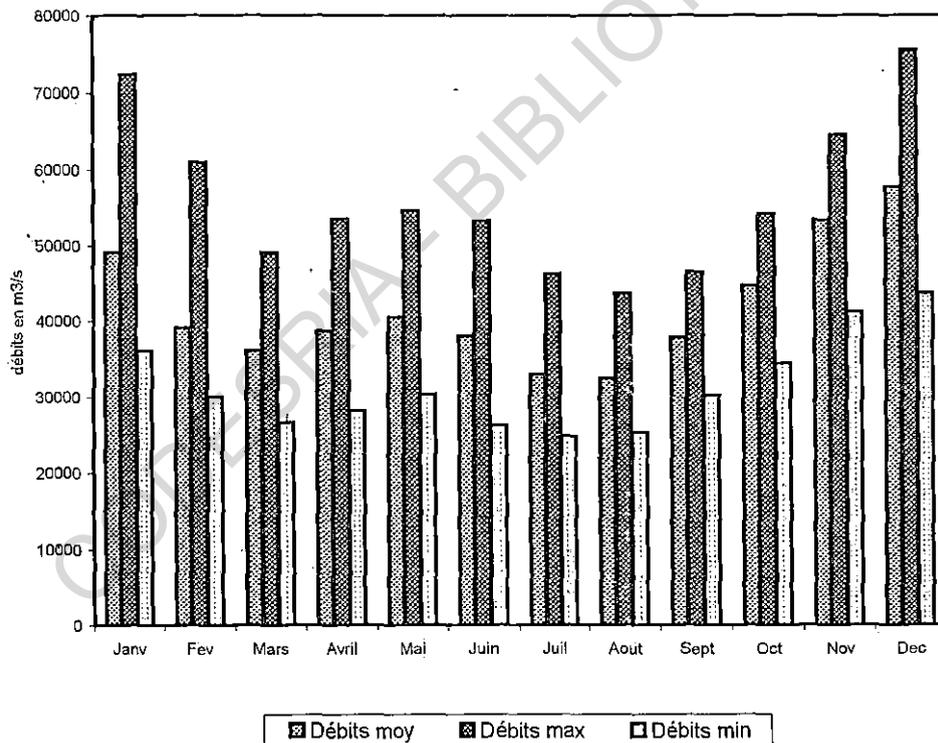


Figure 3.3 : Hydrogrammes caractéristiques du Congo à Brazzaville

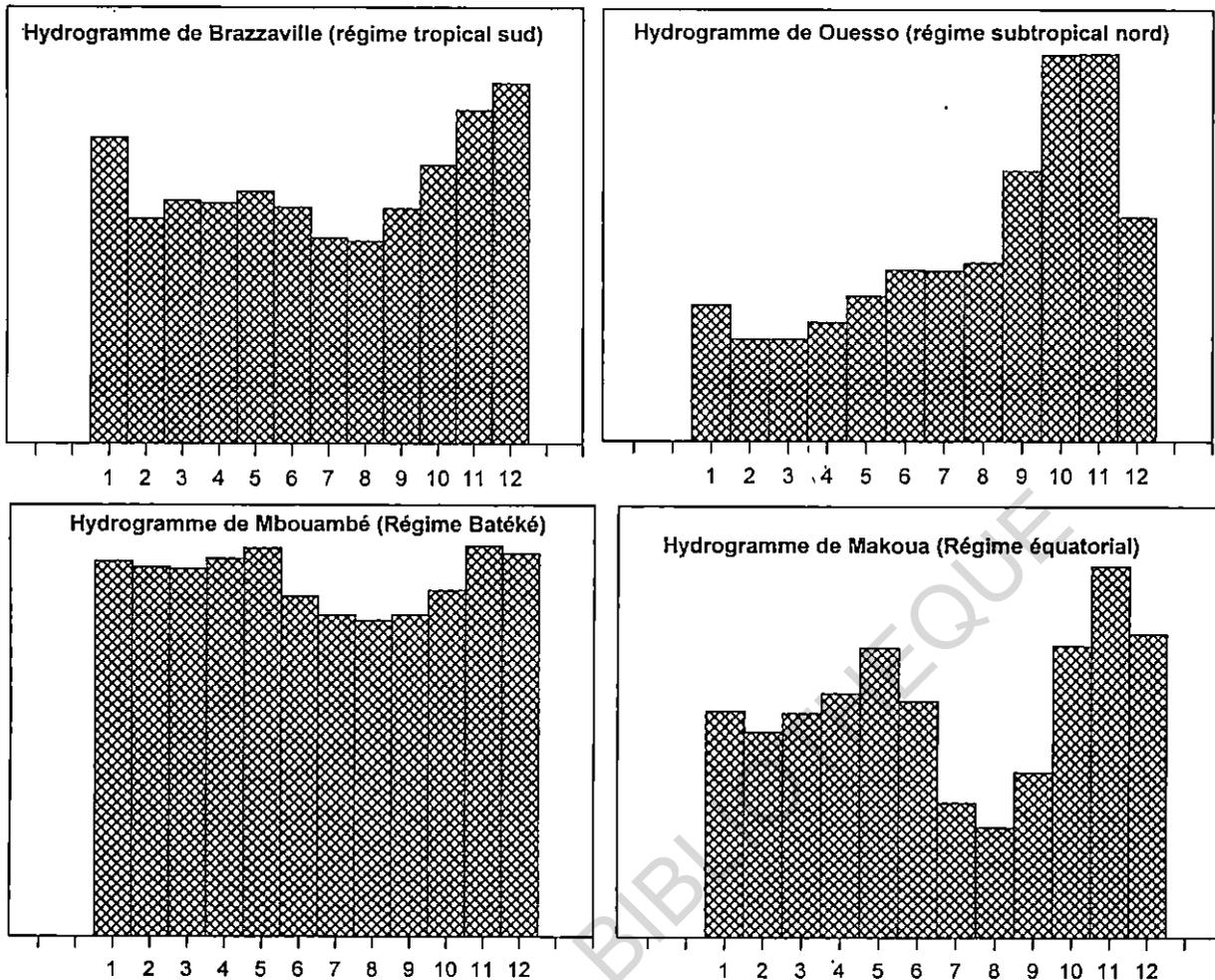


Figure 3.4 : Principaux types de régimes hydrologiques sur le bassin du Congo

### 1.3 HYDROLOGIE DU BASSIN PENDANT LA PÉRIODE D'ÉTUDE

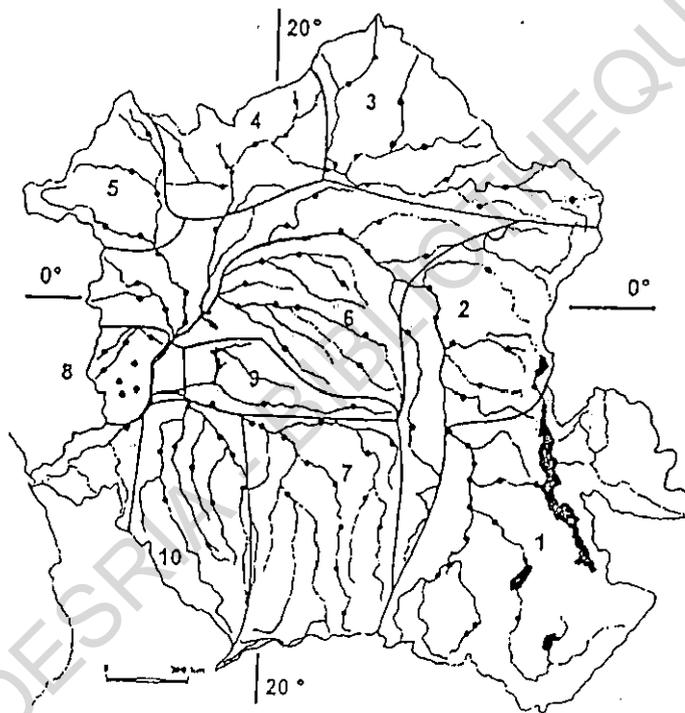
Les études hydrologiques réalisées sur le bassin du Congo pendant la période du programme PEGI/GBF, ont fait l'objet de nombreuses publications (OLIVRY et al (1986; 1987; 1993a et 1993b), BRICQUET (1987 et 1993), THIEBAUX (1987), MOUKOLO et al (1990 et 1993), SONDAG et al. (1993)). Ce paragraphe, synthétise ces travaux et singulièrement ceux publiés par BRICQUET (1993).

BRICQUET (1993), explique les faibles écoulements du fleuve observés pendant les six années du projet (1987-1992) par le fait que les études ont été menées dans un contexte déficitaire qu'a connu l'Afrique depuis de nombreuses années. Ainsi, le module des 6 ans est de  $37\,700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  pour une valeur moyenne de  $40\,600\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  calculée sur la période 1902/1992. On observe que pour chaque année, les valeurs d'écoulements sont inférieures aux valeurs moyennes calculées depuis 1903. L'année 1992 a été marquée par un niveau particulièrement bas des eaux avec un module de  $34\,200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ .

Les débits extrêmes de la période d'étude ont été enregistrés le 27/07/1990 avec  $22\,700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , valeur très proche du minimum absolu de 1905 et le 05/12/1988 avec  $59\,900\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ .

Une tentative de modélisation des écoulements de l'hydrosystème a été opérée par BRICQUET (1993). A partir des données soit observées, soit collectées (essentiellement en rive droite du Congo), l'auteur a essayé de préciser le fonctionnement hydrologique du bassin.

Une première ébauche de ce travail avait été faite en 1991 et BRICQUET (1993) a pu aller plus loin dans l'analyse de ces données. Ainsi, il a rassemblé les données mensuelles pour plus de 100 stations hydrologiques, inégalement réparties sur le bassin (problème identique soulevé par MAHÉ pour la pluviométrie, op.cité). On a plus d'informations récentes sur la partie rive droite du bassin (Oubangui, Sangha et rivières congolaises) que sur la partie du Congo démocratique. Néanmoins, quelques travaux récents tels LEMPICKA (1973), SAVAT (1973), ou VAN FRACHEN (1980), ont fourni à l'auteur une information importante. A partir de ces stations, BRICQUET.(1993) a défini 10 zones d'alimentation du Congo (Figure 3.5). Les caractéristiques de ces zones sont rassemblées dans le tableau 3.3.



**Figure 3.5: Situation des 10 zones hydrologiques du bassin du Congo.  
Chaque point représente une station hydrométrique (BRICQUET, 1993)**

Pour chaque zone, à partir des vitesses mesurées lors des jaugeages, il a estimé les temps de transport des masses d'eau jusqu'à Brazzaville.

**Tableau 3.3 : Caractéristiques des 10 zones d'alimentation du Congo  
(BRICQUET, 1993)**

N°	Région Hydrologique	Superficie en km <sup>2</sup>	Temps de transfert
01	Lualaba	800 000	2 mois
02	Congo	280 000	1 mois
03	Haut Oubangui	400 000	15 jours
04	Oubangui	260 000	15 jours
05	Sangha	158 000	15 jours
06	Cuvette	560 000	15 jours
07	Kasai	735 000	15 jours
08	Batéké	45 000	Immédiat
09	Fimi	130 000	Immédiat
10	Kwango	260 000	Immédiat

Par la suite, BRICQUET.(1993) a reconstitué les apports mensuels et annuels pour chaque zone afin d'effectuer le découpage de l'hydrogramme de Brazzaville. Les données étant d'origines diverses et les durées d'observation n'étant pas partout identiques, l'auteur n'a pas procédé à une homogénéisation systématique de ces données. Néanmoins, il précise que les périodes sèches et humides ont été prises en compte. Les résultats peuvent donc être dans certains cas légèrement approximatifs.

Enfin ces valeurs de débit sont comparées au débit de Brazzaville en considérant le décalage de propagation. Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau 3.4. On peut ainsi identifier les zones productives à un instant  $t$  de l'année. A partir de ces situations hydrologiques, on note la constance des apports depuis les zones Batéké mais également l'importance hydrologique de la Cuvette qui constitue en quelque sorte le bruit de fond de l'écoulement de Brazzaville (BRICQUET, 1993).

## CONCLUSION

Dans cette étude des écoulements de surface du bassin du Congo, on a surtout fait référence au travail réalisé dans le cadre du programme PEGI (Programme sur l'environnement de la géosphère Intertropicale) qui a surtout concerné 25 % des apports constitués par les affluents de la rive droite (Oubangui, Sangha et rivières des Plateaux Batéké). Les difficultés d'accès en RDC (République Démocratique du Congo) ayant empêché toute coopération avec ce pays.

Cependant, par la spatialisation réalisée et les mises à jour des débits mensuels effectué par BRICQUET (1993), il semble maintenant envisageable de déterminer la part revenant à chaque grande région hydrologique dans les exportations des matières du bassin congolais.

**Tableau 3.4. Ecoulement mensuel en milliers de  $m^3 \cdot s^{-1}$  de chaque région hydrologique, décalé du temps de propagation, et comparaison à l'hydrogramme de Brazzaville. (BRICQUET, 1993)**

Réf.	Janv	Fevr	Ma.	Avr	Mai	Juin	Juill	A	Sept	Oct	Nov	Dec	AN
01	1,50	1,95	2,42	2,48	2,89	3,65	3,72	2,82	2,47	1,91	1,65	1,52	2,42
02	8,20	6,50	5,25	5,39	6,52	6,48	4,60	3,52	4,55	5,61	6,40	8,50	5,95
03	2,91	1,60	1,07	0,88	1,09	1,63	2,43	3,30	4,87	6,75	7,46	6,42	3,34
04	12,6	7,89	6,36	7,70	8,75	8,72	7,71	7,90	9,40	9,35	12,6	13,8	9,45
05	1,76	0,89	0,60	0,48	0,51	0,73	1,12	1,62	2,65	3,35	3,82	3,58	1,76
06	1,48	0,99	0,85	0,91	1,09	1,31	1,40	1,46	1,83	2,67	3,15	2,59	1,64
07	2,35	2,18	2,20	2,12	2,14	2,09	1,35	1,00	0,80	0,92	1,54	2,24	1,74
08	4,25	3,90	3,90	4,64	4,11	3,60	3,00	2,90	3,05	3,60	3,98	4,95	3,82
09	11,5	10,8	11,1	12,1	11,2	7,50	5,90	6,30	6,30	7,62	8,95	12,4	9,31
10	1,45	1,40	1,35	1,40	1,40	1,49	1,27	1,25	1,28	1,42	1,45	1,50	1,39
11	48,0	38,1	35,1	38,1	39,7	37,2	32,5	32,1	37,2	43,8	51,0	57,2	40,8
12	48,0	38,1	35,1	38,1	39,7	37,2	32,5	32,1	37,2	43,8	51,0	57,2	40,8
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

#### Référence

01	Lualaba	08	Fimi
02	CONGO	09	Kwango
03	Mbomou	10	Batéké
04	Cuvette	11	Total
05	Oubangui	12	Brazza
06	Sangha	13	Ratio
07	Kasai		

## **2 FLUX DE MATIERES DISSOUTES ET PARTICULAIRES BILAN DE L'ALTERATION CHIMIQUE ET DE L'EROSION MECANIQUE**

- L'évaluation des exportations de matières par le fleuve Congo a été l'objet de nombreux travaux. SPRONCK (1941) fut le premier à donner une valeur des matières en solution ( $82 \text{ mg l}^{-1}$ ) soit une exportation de  $106 \cdot 10^6 \text{ t}$  en 1980. SYMOENS (1968), chiffre l'exportation annuelle des substances minérales dissoutes à  $46,5 \cdot 10^6 \text{ t}$  en 1968, puis  $35,5 \cdot 10^6 \text{ t}$  en 1980. GRONDIN et GAC, (1980) indiquent une concentration de  $31 \text{ mg.l}^{-1}$  soit  $40 \cdot 10^6 \text{ t}$ .

- Toutes les évaluations faites sur le fleuve Congo à la hauteur du Stanley-Pool, ont été effectuées de façon globale et sporadique.

Ainsi, l'on ne disposait d'aucune série qui permettait d'établir des bilans saisonniers et annuels précis de flux de matières.

- GIRESE (1982), a tenté de réaliser pour la première fois une série de mesures périodiques sur le fleuve Congo à Brazzaville de 1971 à 1976. Ses résultats seront repris et complétés par KINGA MOUZÉO (1986), qui chiffre le tonnage annuel moyen des exportations en suspension à  $40,56 \cdot 10^6$  tonnes.

- MOLINIER (1979), a réalisé sur la période de Janvier 1978 à Février 1979 une série de prélèvements mensuels. Il essaye en même temps de diversifier les points de prélèvements sur les sections de mesure. Les résultats de ses travaux sont très intéressants puisqu'ils vont révéler que les valeurs des apports en suspension varient de façon importante entre la surface et le fond contrairement aux apports dissous qui sont à peu près identiques le long d'une verticale.

- En RDC, DERODE et SYMOENS (1980) donnent des résultats représentatifs de la composition chimique moyenne des eaux du fleuve Congo, obtenue sur 12 échantillons mensuels prélevés à Kinshasa de Décembre 1976 à Novembre 1977.

- OLIVRY (1986), et BRICQUET (1987), mettent en œuvre un programme de mesures systématiques des exportations de matières particulaires et dissoutes sur le bassin du fleuve Congo. Sur ce thème, l'ORSTOM et la DGRST (MOUKOLO) collaborent avec l'Institut des Sciences de l'Univers (INSU) et d'autres laboratoires associés dans le cadre du programme PEGI-GBF. Ce programme concerne plusieurs stations de mesures au Congo; la principale étant celle de Brazzaville. Il permet de faire le point sur les variations saisonnières et interannuelles et le bilan annuel des transports de matières. L'originalité du programme tient d'une part dans le protocole de mesures et les équipements mis en œuvre, permettant une approche plus rigoureuse des concentrations des matières en suspension par rapport aux prélèvements antérieurs, d'autre part dans un suivi de la variabilité saisonnière et interannuelle suffisamment long pour corrélérer le régime des transports solides aux régimes hydrologiques.

### **2.1. RESULTATS DES MESURES EFFECTUEES A LA STATION PRINCIPALE DE BRAZZAVILLE**

Dans ce document, une large place est faite aux résultats obtenus dans le cadre du programme PEGI-GBF pour les raisons évoquées plus haut.

#### **2.1.1 BILAN DES MATIERES**

Le bilan établi dans le cadre du programme PEGI-GBF est basé sur un échantillonnage mensuel prélevé sur une verticale représentative des variations mises en évidence par

MOLINIER (1979), entre la surface et le fond. Cette verticale est à 400 m. de la rive droite du fleuve Congo, dans le couloir de Maluku en amont de Brazzaville.  
Le tableau n°3.5 regroupe les résultats obtenus pendant les 6 années d'observations.

**Tableau 3.5 : Résultats des mesures physiques et physico-chimiques  
(station principale de Brazzaville)**

Réf.	Date	T°	Cond. à 25° * mhos	PH	Qjour en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	C.sabl en mg.l <sup>-1</sup>	C.mes en mg.l <sup>-1</sup>	C.dis en mg.l <sup>-1</sup>	Solide en Kg.s <sup>-1</sup>	Dissous en Kg.s <sup>-1</sup>
2 CNG	14/01/87	29.8	26.0	5.0	45700	3.30	16.59	60	908.9	2742.0
3 CNG	13/02/87	29.1	28.7	6.1	37000	4.70	29.15	35	1252.3	1995.0
4 CNG	14/03/87	30.0	32.4	6.8	38400	3.19	24.36	25	1058.1	2150.4
5 CNG	14/04/87	29.6	37.7	6.9	39800	2.90	17.95	49	829.9	1950.2
6 CNG	16/05/87	30.1	33.7	7.0	38100	5.39	15.33	61	789.5	2324.1
7 CNG	16/06/87	28.5	36.5	6.8	35000	3.40	25.14	53	998.8	1855.0
8 CNG	27/07/87	27.3	35.6	7.6	26600	3.41	22.33	56	634.7	1489.9
9 CNG	20/08/87	28.0	43.1	7.5	25400	1.99	15.92	85	455.1	2159.0
10CNG	15/09/87	28.8	39.8	5.3	33400	3.20	26.07	64	977.3	2137.6
11CNG	13/10/87	29.3	30.1	6.0	40600	2.59	27.95	55	1240.2	2233.0
12 CNG	15/11/87	28.7	32.5	5.4	50400	4.10	23.66	50	1399.0	2520.0
13 CNG	16/12/87	28.5	36.8	5.2	54400	2.29	21.54	87	1296.4	4732.8
14 CNG	16/01/88	29.3	29.7	6.3	45800	5.41	21.27	32	1222.2	1465.6
15 CNG	16/02/88		19.8	7.2	33500	4.30	22.92	46	911.9	1541.6
16 CNG	16/03/88		35.0	6.6	32100	7.02	30.38	47	1200.6	1508.7
17 CNG	15/04/88		38.4	7.0	34700	6.02	35.18	50	1429.3	1735.0
18 CNG	16/05/88		20.2	6.7	37100	5.66	25.58	40	1159.0	1484.0
19 CNG	14/06/88		35.7	6.8	35000	4.41	20.46	46	870.5	1610.0
20 CNG	15/07/88		36.6	7.5	27800	3.30	19.21	41	625.7	1139.8
21 CNG	18/08/88		39.6	7.6	28100	5.09	27.26	42	909.2	1180.2
22 CNG	15/09/88		34.6	7.0	36700	4.91	26.46	51	1151.4	1871.7
23 CNG	14/10/88		29.7	6.9	43500	9.38	21.14	52	1327.7	2262.0
24 CNG	17/11/88		29.7	5.7	54900	7.29	19.61	55	1476.6	3019.5
25 CNG	15/12/88		22.8	6.6	59900	9.75	17.85	60	1653.0	3594.0
26 CNG	13/01/89		24.0	6.3	58000	9.55	13.21	58	1320.1	3364.0
27 CNG	10/02/89		27.4	6.6	40900	10.17	14.43	49	1006.1	2004.1
28 CNG	17/03/89		33.3	7.0	31900	8.17	19.70	48	889.0	1531.2
29 CNG	14/04/89		29.1	7.0	37800	6.45	18.08	45	927.2	1701.0
30 CNG	16/05/89		37.2	7.4	37000	6.34	21.12	55	1016.0	2035.0
31 CNG	14/06/89		37.4	7.2	32700	5.54	17.37	51	749.1	1661.2
32 CNG	15/07/89		36.4	7.2	25100	7.66	13.81	49	538.9	1237.4
33 CNG	17/08/89		42.0	7.3	26000	6.06	15.60	39	563.2	1014.0
34 CNG	18/09/89		35.7	7.0	33500	9.75	14.76	41	821.1	1373.5
35 CNG	17/10/89		43.9	6.6	37000	12.01	17.55	51	1093.7	1887.0
36 CNG	17/11/89		29.3	7.3	47100	9.0	15.52	56	1159.1	2637.6
37 CNG	15/12/89		28.6	7.3	50800	10.24	15.41	56	1303.0	2844.8
38 CNG	19/01/90		38.6	7.3	44900	7.49	19.88	53	1233.4	2379.7
39 CNG	14/02/90		38.0	6.8	34700	6.29	20.45	46	927.8	1596.2
40 CNG	19/03/90		36.3	7.4	34100	4.45	20.49	47	850.4	1602.7
41 CNG	18/04/90		39.0	7.1	34900	7.83	19.89	45	967.4	1570.5
42 CNG	16/05/90		43.9	7.2	32500	7.08	17.17	43	788.1	1397.5
43 CNG	19/06/90		41.9	7.6	31000	4.34	19.33	47	733.7	1457.0
44 CNG	16/07/90		43.0	7.6	24000	3.73	16.59	43	487.6	1032.0
45 CNG	17/08/90		45.7	7.4	24900	7.74	14.45	42	552.5	1045.8
46 CNG	20/09/90		40.8	7.2	33700	5.20	20.80	50.8	876.2	1698.5
47 CNG	18/10/90	27.0	35.0	7.1	40600	5.68	22.54	49	1145.7	1989.4
48 CNG	15/11/90	26.5	31.5	6.9	45400	5.74	15.69	51	972.9	2315.4
49 CNG	19/12/90	27.0	30.0	6.3	51300	5.76	17.08	52	1171.6	2667.6

Réf.	Date		Cond. à 25° *mhos	PH	Qjour En m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	C.sable en mg.l <sup>-1</sup>	C.mes en mg.l <sup>-1</sup>	C.dis en mg.l <sup>-1</sup>	Solide en Kg.s <sup>-1</sup>	Dissous En Kg.s <sup>-1</sup>
50 CNG	16/01/91	27.5	29.0	7.0	50790	4.70	14.70	50	985.3	2539.5
51 CNG	15/02/91	25.0	17.0	6.5	39814	3.99	18.03	49	876.7	1950.8
52 CNG	15/03/91	26.0	35.0	6.5	33854	4.77	21.87	47	901.8	1591.1
53 CNG	14/04/91	26.0	35.0	6.5	37771	6.71	16.86	47	890.2	1775.2
54 CNG	20/05/91	24.0	32.0	7.1	39203	6.86	16.25	43	905.9	1685.7
55 CNG	13/06/91	24.0	32.0	7.0	40585	4.76	18.84	42	957.8	1704.5
56 CNG	15/07/91	23.8	32.0	6.7	37325	7.05	12.79	52.4	740.5	1940.9
58 CNG	18/09/91	27.0	34.0	6.9	37473	10.44	16.02			
59 CNG	21/10/91		37.1	7.1	38800					
60 CNG	15/11/91		35.0	6.7	46600					
61 CNG	19/12/91		30.4	6.2	51800					
62 CNG	20/01/92		36.35	7.3						
63 CNG	20/02/92		36.73	7.5						
64 CNG	26/03/92		43.50	7.4						
65 CNG	23/04/92		61.19	7.6						
66 CNG	20/05/92		45.89	7.5						
67 CNG	30/06/92		42.83	7.3						
68 CNG	15/07/92		48.46	7.4						

La figure 3.6 donne en parallèle les débits et volumes liquides, les quantités de matières solides et dissoutes.

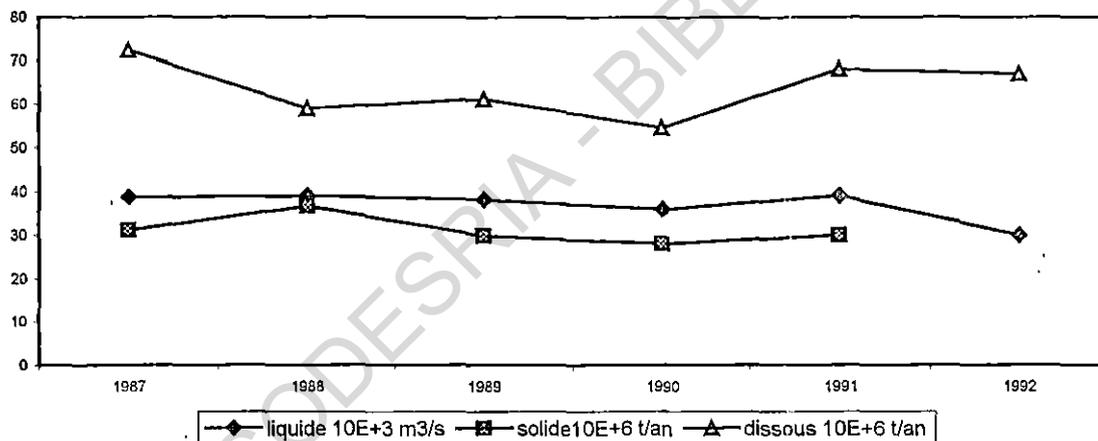


Figure 3.6 : Bilan annuel des exportations du fleuve Congo à Brazzaville.

La valeur maximale du transport solide (tableau 3.6) a été enregistrée en 1988 avec  $36,7 \cdot 10^6$  tonnes par an. Cela correspond à une érosion spécifique de  $10,5 \text{ t. an}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ . La plus faible valeur est enregistrée en 1990 avec  $28,1 \cdot 10^6$  tonnes par an soit une érosion spécifique de  $8,02 \text{ t. an}^{-1} \cdot \text{Km}^{-2}$ .

La quantité de matières dissoutes semble évoluer dans le sens inverse de celle des matières solides. Si l'on compare les exportations de deux années consécutives 1987 et 1988.. Contrairement à l'augmentation observée pour le transport solide, on note ici une baisse des exportations en solution de l'ordre de 22%. Par ailleurs, le bilan fait ressortir une

prépondérance du transport dissous (environ deux fois plus), conséquence d'une dynamique des bassins aplanis protégés par un couvert végétal dense.

**Remarque :** les valeurs des matières dissoutes peuvent être plus élevées car elles sont le résultat de la détermination d'un résidu sec à 105° C d'une eau ultracentrifugée intégrant donc la matière organique dissoute.

**Tableau 3.6 : Bilan annuel des exportations du fleuve Congo à Brazzaville**

Année	Liquide		Matières solides		Matières dissoutes	
	Qmoyen en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	Volume annuel en: 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	Tonnage annuel en: 10 <sup>6</sup> t.an <sup>-1</sup>	Erosion spécifique t.an <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>	Tonnage Annuel en :10 <sup>6</sup> t.an <sup>-1</sup>	Erosion spécifique t.an <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>
1987	38.700	1,221	31,2	8,9	72,4	20,6
1988	39.100	1,232	36,7	10,5	59,0	16,8
1989	38.150	1,203	29,9	8,5	61,2	17,4
1990	36.000	1,135	28,1	8,02	54,5	15,6
1991	39.105	1,233	30,1	8,6	68,1	19,5
1992	30.028	1,062			67,0	17,7
Moyennes	36.847	1,181	31,2	8,9	63,7	17,9

Le récapitulatif des résultats proposés par les différents auteurs à la station de Brazzaville (tableau 3.7), montre que le programme PEGI-GBF obtient des valeurs nettement inférieures à la moyenne des mesures.

**Tableau 3.7 : Transport en suspension du fleuve Congo à Brazzaville selon les auteurs.**

Tonnage annuel en 10 <sup>6</sup> t.	Transport spécifique en t. km <sup>2</sup> . an <sup>-1</sup>	Auteurs
47.0	13.16	Devroey, 1941
50.0	13.60	Spronck, 1941
70.0	19.6	NEDECO, 1959
31.2	9.0	Gibbs, 1967
71.3	19.90	Holleman, 1968
50.5	15.40	Leeden, 1975
43.0	12.04	Eisma et al., 1978
50.0	14.00	Peters, 1978
	17.50	Corbel, 1964
	13.20	Meybeck, 1976
	14.50	Holland, 1978
	18.00	Jansen et al., 1974
35 à 40	10 à 11.42	Molinier, 1979
40.56	11.35	Kinga M., 1986
34	9.7	Moukolo, 1990

• VARIATION DES PARAMÈTRES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES

**a) examen du coefficient de variation**

La température de l'eau, relevée au cours de l'année 1987 est restée pratiquement constante durant la période des observations, voisine de 28°C. Toutefois, on a observé un léger

fléchissement de Juin à Septembre consécutif nous semble-t-il au rafraîchissement de l'air à cette période de l'année.

Les variations du pH (tableau 3.8) sont plus prononcées (coefficient de variation égal à 9%). Les valeurs extrêmes enregistrées sont 5,00 le 14/01/87 et 7,62 le 23/04/92. Naturellement, on passe des pH neutres ou légèrement basiques pendant l'étiage, aux pH acides en période des hautes eaux. Le pH traduit fidèlement l'évolution des faciès hydrochimiques puisque ces variations sont assez bien corrélées avec celles des bicarbonates (coefficient de corrélation égal à 0,61): Il semble que le pH soit un bon indicateur de l'origine des eaux. La conductivité moyenne (33,9 micro-siemens) indique que les eaux du Congo sont très pauvres en sels minéraux dissous. Les variations sont faibles (CV = 21 %) et elles sont en fonction inverse du débit liquide.

**Tableau 3.8 : Statistiques élémentaires**

Variabes	Moyennes	Ecart types	Coefficients de variation
Température	27.53	1.95	0.07
Cond.	35.09	7.19	0,21
PH	6,88	0,60	0,09
Débit	38605.4	8534.3	0,22
Csable	5,97	2.35	0,39
Cmes	20.35	6.33	0,31
Cdis	49,80	10.04	0,20
Solide	980.5	266.2	0,27
Dissous	1962,4	678.8	0,35

## b) analyse en composantes principales

Nous avons utilisé le logiciel « STAT ITCF » de l'Institut Technique des Céréales et des Fourrages. Dans ce logiciel les paramètres mesurés sont traités comme des questions auxquelles des individus (échantillons) répondent en fournissant des réponses quantitatives. Ces réponses sont les valeurs mesurées des différentes grandeurs.

### I. Codification des individus

Le code des individus en 3 caractères a la signification suivante:

X	Y	Z
---	---	---

#### 1. Le premier caractère est le cours d'eau observé:

- X: Congo
- M: Djiri
- N: Lefini
- O: Nkéné
- P: Nkomo
- Q: Alima
- R: Kouyou

S: Likouala Mossaka  
 T: Mambili  
 U: Sangha à Tsotsolo  
 V: Sangha à Ouesso  
 W: Oubangui

## 2. Le deuxième caractère désigne le mois d'observation:

---

A: Janvier  
 B: Février  
 C: Mars      **saison des pluies**  
 D: Avril

---

E: Mai  
 F: Juin  
 G: Juillet  
 H: Août      **saison sèche**  
 I: Septembre

---

J: Octobre  
 K : Novembre      **saison des pluies**  
 L: Décembre

## 3. Le troisième caractère indique l'année d'observation:

7: 1987  
 8: 1988  
 9: 1989  
 0: 1990  
 1: 1991  
 2: 1992

## 4. Les fichiers pour ACP sur STAT ITCF sont:

BZV1: mesures physiques et physico-chimiques de Brazzaville  
 BZV2: composition chimique des matières dissoutes de B/ville  
 SEC1: mesures physiques et physico-chimiques des stations secondaires  
 SEC2: composition chimique des stations secondaires  
 PHYSALL: mesures physiques et physico-chimiques pour toutes  
           les stations prises ensemble  
 COMPALL: composition chimique de toutes les stations.

## II Discussions des résultats

L'analyse factorielle des résultats conduit essentiellement à séparer deux domaines d'observation: celui des jours de prélèvement (échantillons) et celui des paramètres mesurés.

### 1. ACP de BZV1: mesures physiques

La somme des deux plus grandes valeurs propres est égale à 61,4%; c'est dire que la représentation plane de la distribution spatiale des individus contient 61,4% de l'information totale donnée par les mesures.

L'examen du plan 1 - 2 (figure 3.7) laisse apparaître un regroupement des individus suivant les saisons:

Les observations effectuées pendant la saison sèche sont toutes groupées à l'Est du plan, le long de l'axe des abscisses. Toutes les autres effectuées pendant la saison des pluies sont dispersées dans le reste du plan 1 - 2.

Par ailleurs, le cercle de corrélation plan 1 - 2 (figure 3.8) permet de retrouver les corrélations mises en évidence dans le tableau des corrélations (tableau 3.9). On observe que les transports solides et dissous sont bien corrélés avec les débits du jour du prélèvement. Il est évident que le tonnage des exportations est fonction des débits transités.

**Tableau 3.9: corrélations**

	Cond	PH	Débit	Csabl	Cmes	Cdis	Solid	Disso
Cond	1.000							
Ph	0.350	1.000						
Débit	0.580	-0.550	1.000					
Csabl	0.067	0.146	0.113	1.000				
Cmes	0.014	-0.185	-0.134	-0.157	1.000			
Cdis	-0.043	-0.283	0.286	-0.181	-0.134	1.000		
Solide	0.473	-0.509	0.791	0.151	0.412	0.110	1.000	
Dissous	0.382	-0.580	0.854	-0.046	-0.099	0.658	0.642	1.000

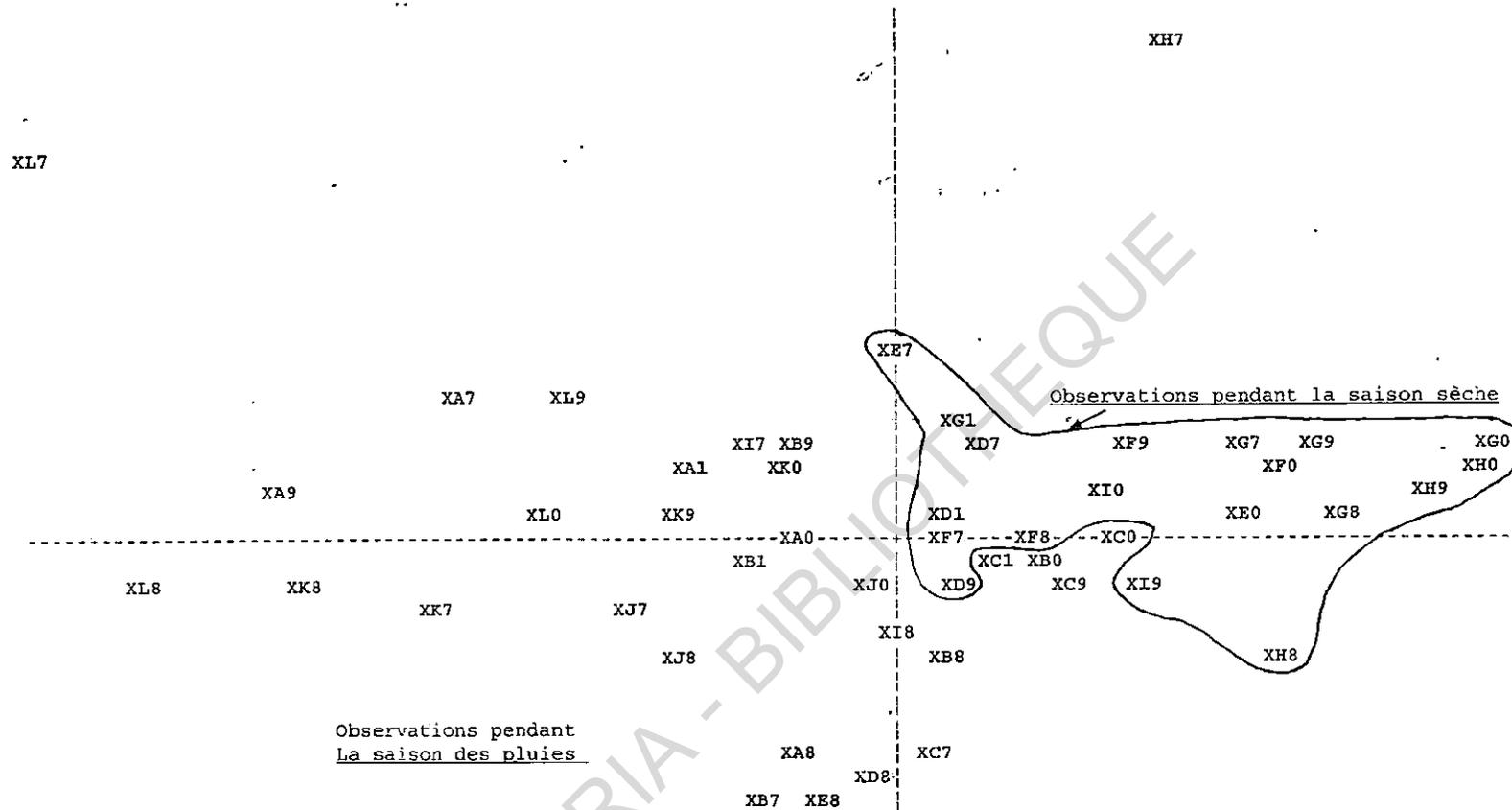


Figure 3.7 : Représentation plane de la distribution spatiale des échantillons (mesures physiques de Brazzaville)

PLAN 1 2 AXE 1 HORIZONTAL .. AXE 2 VERTICAL

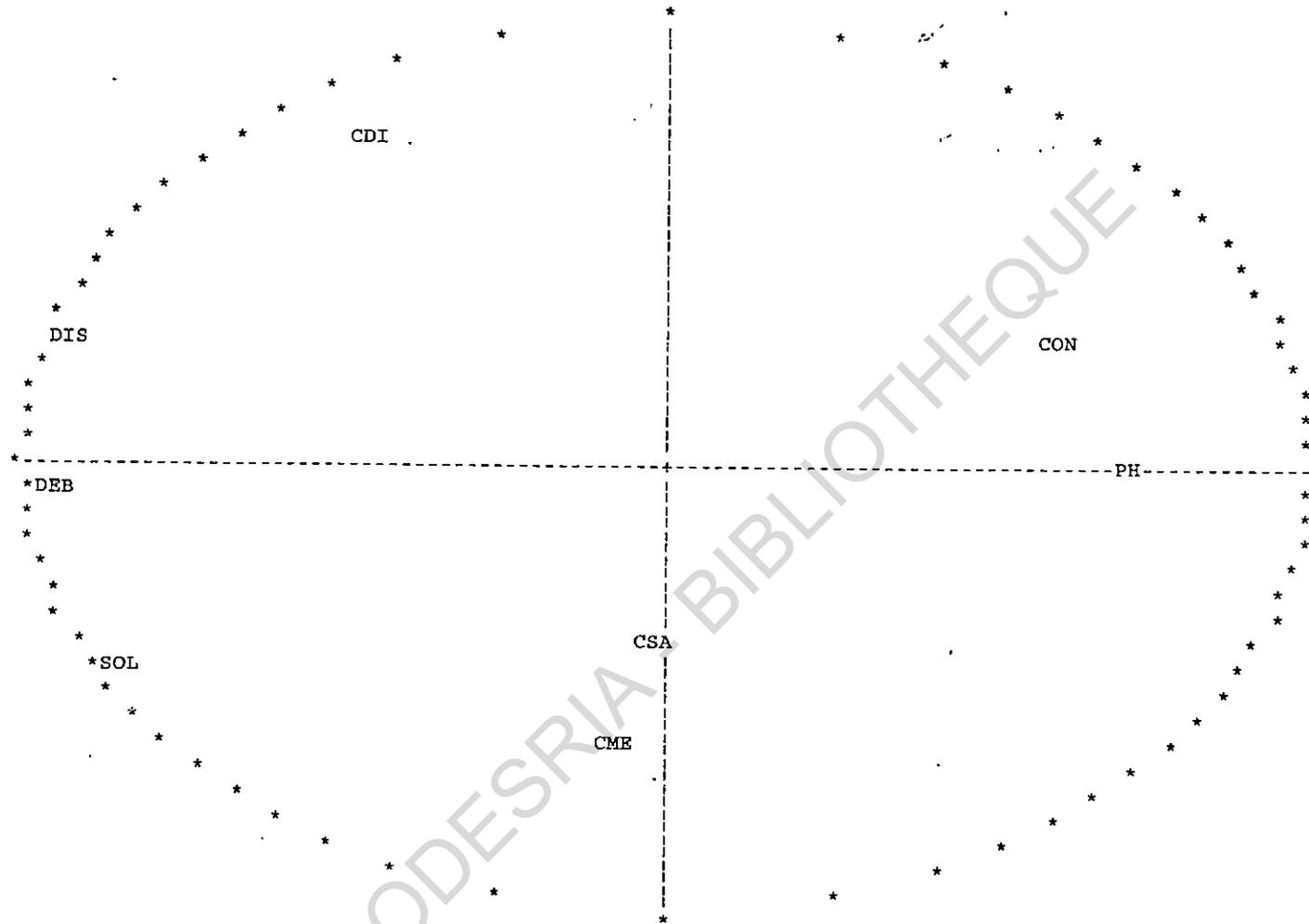


Figure 3.8 : Cercle de corrélations

### 2.1.2 COMPOSITION CHIMIQUE DES MATIÈRES DISSOUTES

550 dosages chimiques (tableau 3.10) ont été effectués de Janvier 1987 à Juillet 1992. Tous les échantillons analysés sont faiblement minéralisés. Les résultats ont été comparés avec ceux obtenus par d'autres auteurs (tableau 3.11) sur la même station du fleuve.

**Tableau 3.10: Composition chimique en mg.l<sup>-1</sup> des eaux du Congo à Brazzaville**

Réf	Silice	fer	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
2 CNG	4.00		2.60	1.36	1.42	0.18	12.20	3.90
3 CNG	5.96		3.60	1.48	2.00	0.62	17.08	4.26
4 CNG	7.60		3.60	1.62	2.34	0.62	15.86	5.32
5 CNG	5.60		3.40	1.20	3.00	2.00	19.52	4.97
6 CNG	4.40		3.30	1.30	3.30	2.00	19.52	4.97
7 CNG	6.00		3.20	2.50	3.65	1.70	19.52	4.97
8 CNG	6.00		4.20	2.60	3.40	1.90	23.79	4.26
9 CNG	8.80		3.80	2.32	2.14	0.62	21.96	4.97
10 CNG	2.24		3.60	2.40	1.76	1.14	21.35	5.32
11 CNG	5.60		1.95	2.50	3.65	1.30	15.25	7.81
12 CNG	5.72	0.15	1.90	2.60	3.30	1.40	16.47	7.10
13 CNG	5.64	0.24	2.00	2.40	2.70	1.45	16.47	7.45
14 CNG	4.92	0.60	2.45	2.70	2.60	1.75	19.52	5.68
15 CNG	4.92	0.35	1.70	1.72	3.15	1.52	17.08	3.55
16 CNG	6.00	0.30	1.96	1.73	1.75	2.58	14.03	4.26
17 CNG	5.60	0.12	3.42	1.78	2.00	2.50	18.30	4.26
18 CNG	6.80	0.10	2.72	1.90	1.51	2.58	18.91	2.84
19 CNG	5.60	0.12	3.42	2.08	1.55	2.82	24.40	3.19
20 CNG	5.60	0.04	3.13	2.34	2.03	1.36	21.35	3.19
21 CNG	4.80	0.03	3.15	2.40	2.06	1.36	23.18	3.55
22 CNG	5.60	0.10	2.82	2.11	1.80	1.30	19.52	3.19
23 CNG	5.80	0.15	2.47	1.68	1.37	1.04	16.47	2.84
24 CNG	5.60	0.24	2.31	0.81	1.64	1.04	10.98	3.90
25 CNG	5.80	0.14	1.94	1.18	1.22	1.04	12.20	3.19
26 CNG	4.40	0.10	1.94	0.78	1.26	1.24	09.76	2.48
27 CNG	3.00	0.05	2.12	1.18	1.90	1.40	15.25	2.48
28 CNG	4.60	0.03	2.49	2.10	3.14	2.00	23.79	2.48
29 CNG	4.80	0.03	2.74	2.26	2.56	2.36	26.23	2.13
30 CNG	5.20	0.04	2.66	2.50	3.46	2.70	29.89	2.13
31 CNG	4.60	0.06	3.28	3.26	3.56	2.30	35.38	2.84
32 CNG	3.80	<0.05	3.17	3.66	9.64	2.36	36.60	2.84
33 CNG	4.72	<0.05	3.12	3.02	2.35	1.56	30.50	1.77
34 CNG	4.80	0.05	2.88	2.43	1.87	1.46	24.40	1.77
35 CNG	4.82	0.08	2.80	2.42	1.71	1.68	22.57	2.84
36 CNG	5.60	0.12	2.88	1.30	1.46	1.60	16.47	2.84
37 CNG	5.40	0.18	2.63	1.27	1.50	1.48	16.47	2.13
38 CNG	5.04	0.28	1.82	1.84	1.60	1.09	18.30	1.77
39 CNG	6.40	0.08	1.38	0.72	0.86	0.70	07.32	2.48
40 CNG	6.10	0.16	1.28	0.80	0.96	0.67	09.15	2.48
41 CNG	7.20	0.07	2.28	2.66	2.40	1.70	23.18	2.48
42 CNG	5.20	0.12	2.44	3.74	2.66	1.56	23.79	2.48
43 CNG	4.40	<0.05	1.45	2.72	1.12	0.83	17.69	2.48
44 CNG	4.10	<0.05	2.72	2.85	1.08	0.60	22.57	1.77
45 CNG	5.76	<0.05	3.14	3.14	1.13	0.60	25.01	2.84
46 CNG	6.16	0.07	3.09	2.05	1.09	0.72	18.91	2.48
47 CNG	6.50	0.09	1.11	1.62	1.14	1.25	12.20	3.90
48 CNG	5.80	0.28	1.01	1.45	1.14	0.86	09.76	4.26
49 CNG	6.00	0.20	0.99	1.35	1.06	0.85	09.15	5.32

Réf	Silice	Fer	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
50 CNG	6.40	0.34	0.97	1.22	1.02	1.52	09.15	4.97
51 CNG	4.40	1.58	0.90	1.62	1.60	0.48	09.15	4.97
52 CNG	5.20	0.04	2.20	1.59	1.80	1.48	16.47	4.90
53 CNG	5.00	0.10	2.20	1.62	2.00	1.72	14.03	4.26
54 CNG	5.68	0.10	2.39	1.57	2.07	2.90	17.08	4.97
55 CNG	5.00	0.10	2.39	1.57	2.00	1.87	15.25	5.32
56 CNG	4.00	0.07	1.07	1.01	1.80	1.32	09.15	7.81
57 CNG	5.20	<0.05	1.48	1.12	1.81	1.21	10.37	7.45
58 CNG	4.80	<0.05	1.19	0.87	1.51	2.29	09.76	3.55
59 CNG	4.60	0.07	2.44	1.09	2.03	3.52	11.59	7.10
60 CNG	4.00	0.05	1.44	0.85	1.81	2.34	09.15	4.97
61 CNG	6.00	0.12	2.08	1.15	1.25	1.50	09.15	4.61
62 CNG	6.00	0.06	0.76	0.59	2.15	1.46	06.71	3.55
63 CNG	4.80	<0.05	2.45	1.50	2.30	2.05	15.25	4.97
64 CNG	4.60	<0.05	2.75	1.75	2.85	3.70	24.40	3.19
65 CNG	4.48	<0.05	2.68	1.65	2.75	2.45	20.74	3.19
66 CNG	4.48	<0.05	2.83	1.75	2.45	2.55	19.52	3.55
67 CNG	4.80	<0.05	3.05	1.75	2.40	1.90	26.84	3.19
68 CNG	4.48	<0.05	3.13	2.00	2.50	2.05	23.18	3.55
69 CNG	4.00	<0.05	2.98	1.75	2.20	2.55	21.35	3.19
70 CNG	5.40	<0.05	2.90	1.65	1.90	2.10	18.30	3.19
71 CNG	5.60	<0.05	2.53	1.66	2.10	2.52	18.31	3.19

On a relevé une concordance des valeurs, excepté la silice pour laquelle on a des teneurs nettement moins élevées. L'explication évidente est l'utilisation de techniques d'analyses différentes. En ce qui nous concerne, nous avons dosé exclusivement la fraction dissoute (acide silicique). Il apparaît que nos valeurs sont plus proches de celles obtenues par DERONDE et SYMOENS en 1980.

**Tableau 3.11 : Composition chimique moyenne en mg.l<sup>-1</sup> des eaux du Congo à Brazzaville selon les auteurs**

Auteurs	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Si O <sub>2</sub>	9,70	9,66	10,74	9,60	9,80	9,80	23,27		5,34
Ca <sup>++</sup>	2,23	4,44	2,71	1,75	2,40	2,40	2,46		2,67
Mg <sup>++</sup>	0,86	1,72	1,81	1,04	1,25	1,30	4,28		2,07
Na <sup>+</sup>	1,99	2,00	3,15	0,96	1,70	1,70	1,84		2,17
K <sup>+</sup>	1,33	1,32	1,72	1,36	1,10	1,10	1,21		1,64
Cl <sup>-</sup>	2,71	2,69	5,32	1,30	2,85	2,85	2,15		4,14
S <sub>04</sub> <sup>--</sup>	2,00	4,03	6,48		2,95	2,95			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,11	7,13	9,45	13,00	11,20	11,20	18,72		17,92
Fe							0,71	0,25	0,21
Al <sup>+++</sup>								0,36	0,15
Mn <sup>++</sup>								0,008	0,25

**Légende:**

1 : Deronde et Symoens (1980), moyenne de 12 échantillons mensuels

2 : Meybeck (1984), valeurs empruntées à Deronde et Symoens (1980)

3 ; Symoens (1968) (inédit), Cadet (inédit)

4 : Meybeck (1978), valeurs empruntées à Van Bennekom et al (1978), Van Rossum (inédit)

- 5 : Meybeck (1978), synthèse des valeurs de Van Bennekom et al (1978), Van Rossum (inédit), Symoens (1968), Hubert et Martin (inédit)  
 6 : Meybeck (1979)  
 7 : Molinier (1979), moyenne de 12 échantillons  
 8 : Fe<sup>++</sup> par Figueres (inédit), Martin et Meybeck (1978); AL<sup>+++</sup> par Van Bennekom et Jager (1978), Mn<sup>++</sup> par Figueres (inédit).  
 9 : Programme PEGI-GBF, moyenne de 67 dosages mensuels de Janvier 1987 à Juillet 1992.

### Analyse statistique des données

#### a) examen du coefficient de variation

Une analyse statistique des données (tableau 3. 12) a été faite en vue d'étudier la dispersion des valeurs, également de dégager des corrélations entre différents paramètres. De cette analyse il ressort que l'amplitude des variations des différents paramètres est faible (CV toujours inférieur à 50%) sauf dans les cas du fer total (CV>100%) et Na<sup>+</sup> (CV = 54%). Ces faibles variations sont à relier à la régularité des exportations du fleuve qui draine des reliefs anciens. Les fluctuations se font autour de valeurs de concentration à peu près constantes. Cela indique une production quasi permanente du collecteur principal. Les collecteurs de second ordre (Kasaï, Oubangui, etc...) induisent des variations périodiques liées à la prépondérance des apports de l'un ou de l'autre. Les coefficients de corrélation ont été calculés pour un grand nombre de paramètres pris deux à deux (tableau 3.13)

**Tableau 3.12 : Statistiques élémentaires**

Variables	Moyennes	Ecart type	Coef. De variation
Fer total	0.12	0.22	1.80
Silice	5.26	1	0.19
Ca <sup>++</sup>	2.45	0.79	0.32
Mg <sup>++</sup>	1.85	0.71	0.38
K <sup>+</sup>	1.64	0.74	0.45
Na <sup>+</sup>	2.15	1.16	0.54
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	17.92	6.46	0.36
Cl <sup>-</sup>	3.89	1.52	0.39

**Tableau 3.13 : Corrélations**

	Silice	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Silice	1.000					
Ca <sup>++</sup>	-0.008	1.000				
Mg <sup>++</sup>	-0.060	0.461	1.000			
Na <sup>+</sup>	-0.194	0.392	0.482	1.000		
K <sup>+</sup>	-0.206	0.215	0.039	0.360	1.000	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.172	0.709	0.805	0.578	0.334	1.000

### b) analyse en composantes principales : ACP Brazzaville composition chimique

Le plan 1-2 (figure 3.9) montre un regroupement des individus en fonction des saisons. Les observations en saison sèche occupent la partie Ouest du plan 1-2, tandis que le reste des individus (observations en période de pluies) est dispersé dans le reste du plan.

Le cercle de corrélation (figure 3.10) montre clairement les corrélations observées sur le tableau 3.13.  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  sont bien corrélés avec  $HCO_3^-$  et occupent le quart S-W du plan.

### 2.1.3 MINÉRALOGIE ET GEOCHIMIE DES MATIÈRES EN SUSPENSION

La minéralogie des matières en suspension d'un fleuve reflète la nature des résidus d'altération des roches du bassin versant. Le fleuve Congo étant situé en zone intertropicale, ses suspensions seront donc essentiellement composées de kaolinite, quartz et produits amorphes.

Le tableau 3.14 donne quelques valeurs obtenues à la station de Brazzaville.

**Tableau 3.14 : Composition minéralogique des suspensions du Congo  
(en pourcentage)**

	Micas	Albite	Kaolinite	Quartz	Illite	Gibbsite	Chlorite	Montmori-llonite	Smectite	Inter-stratifies
01	8	2-3	44	36		2-3		2	7	
02			82		9	1-2				
03			48		18		11		14	9

01 Nkounkou et Probst, 1998; 02 Kinga Mounzé, 1986 et PEGI-GBF (DELAUNE et al, 1993)

L'analyse chimique des suspensions effectuée par la laboratoire de chimie de Bondy, par calcination des résidus de filtres des particules inférieurs à 50  $\mu m$  et calculée en  $mg.l^{-1}$ , montre une élévation des teneurs en éléments parallèle et corrélative des teneurs en suspension durant l'année 1988 (tableau 3.15). Les valeurs en  $FeO_3$  sont par rapport aux valeurs de  $Al_2O_3$  relativement élevées. Elles indiquent la présence d'oxyde de fer qui sont généralement peu importantes en solution et sont préférentiellement transportés en suspension (DUGAS et DELAUNE, 1989).

**Tableau 3.15: Composition chimique moyenne des suspensions du Congo  
(en pourcentage d'oxydes)**

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
1	63,98	20,97	0,90	1,27	9,25	0,23	0,05	1,15	0,49	0,8
2	53,72	19,92	0,51	0,76	15,05	-	-	-	0,85	9,16
3	50,70	30	1,20	0,80	13,60	0,15	-	0,82	-	1,10
4	57,50	24,81	0,19	1,31	11,38	0,20	-	1,57	1,07	0,31

1) Kinga Mounzé (1986) moyenne de 13 analyses

2) Dugas et Delaune (1989) moyenne de 12 analyses mensuelles de Janvier à Décembre 1988

3) Sholkolovitz (1978) et 4) Meybeck (1978)



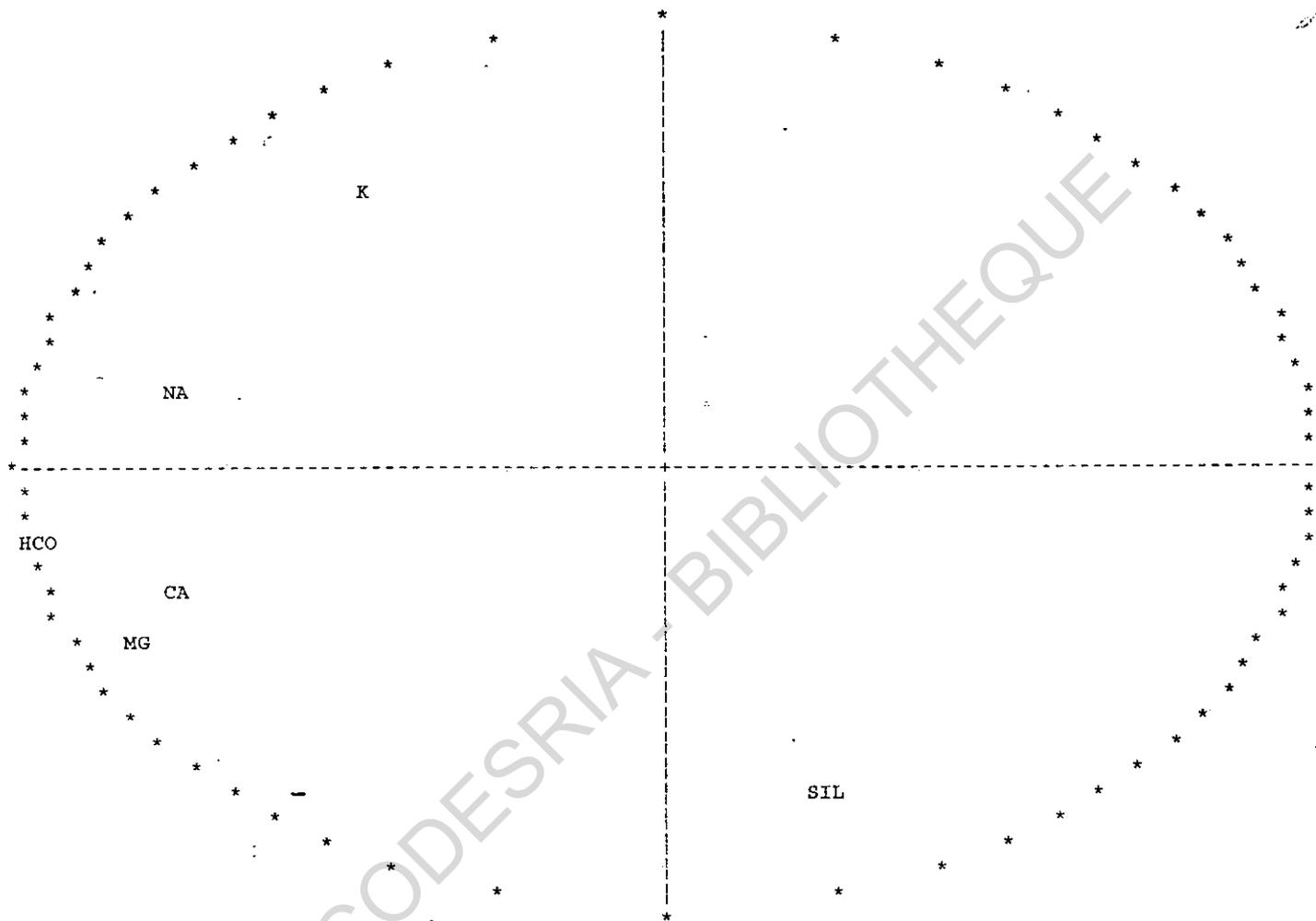


Figure 3.10 : Cercle de corrélations

Les teneurs en éléments traces dans la matière en suspension du fleuve Congo sont comparables avec les moyennes mondiales (tableau 3.16).

**Tableau 3.16 : Teneurs en éléments traces des suspensions du Congo en ppm de l'échantillon sec.**

	S2	Ba	V	Ni	Co	Cr	Zn	Cu	Se	Y	Zr
1	75,6	438,6	135,6	71,5	23,7	108,7	384,8	94,1	15,9	24,8	264,7
2	61	790	163	74	25	175	400	-	12	-	264
3	74	434,6	134	69	23	91	-	93	15,8	24,6	-
4	-	-	-	-	29,6	211	600	-	18,4	-	-

1) Martin et Meybeck, 1979

2) Martin et Meybeck, 1978

3) Kinga Mounzé (1986) moyenne de 8 analyses

4) Martin et al (1978) valeurs obtenues à l'estuaire

## 2.2. VALEURS OBTENUES SUR LES PRINCIPAUX AFFLUENTS DE LA RIVE DROITE

En plus des mesures à Brazzaville, une évaluation du transport des matières a été effectuée sur le fleuve Oubangui à la station de Bangui depuis 1987.

Par ailleurs, on a démarré en 1988, une opération complémentaire concernant les affluents se trouvant sur le territoire du Congo Brazzaville. Ces différentes évaluations avaient comme objectif de préciser le fonctionnement de quelques grands bassins en amont (roches mères et écosystèmes homogènes) et de définir leur contribution saisonnière et annuelle aux bilans globaux.

Ces évaluations s'appuient sur le suivi hydrologique déjà ancien de ces affluents, ce qui bien entendu permet de définir les régimes hydrologiques, facteurs déterminant du régime des exportations de matières.

### 2.2.1 BILAN DES MATIÈRES (FIGURE 3.11)

A la station de Bangui, le bilan est fait sur la base d'un échantillonnage mensuel. En ce qui concerne les autres affluents, les premiers essais de bilan en 1989 avaient été établis sur la base d'un échantillonnage trimestriel. Le souci de favoriser une approche affinée du bilan a conduit en Juillet 1990 à réviser la fréquence des prélèvements (pas de temps mensuel) pour les rivières facilement accessibles par la route : Djiri, Léfini, Nkéni, Nkomo, Alima, Kouyou, Likouala Mossaka et Mambili.

Le bilan chiffré du transport en solution et en suspension est donné au tableau 3.17. On trouvera en annexe 2, l'ensemble des résultats obtenus sur les affluents de la rive droite.

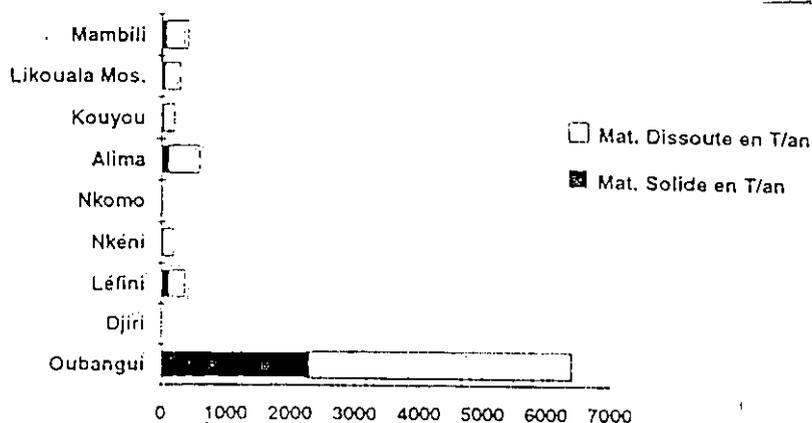


Figure 3.11 : Transports solide et dissous par les principaux affluents de la rive droite du fleuve Congo en t. an<sup>-1</sup>.

Tableau 3.17 : Valeurs moyennes des mesures effectuées sur les principaux affluents de rive droite

Rivières	T°C.	Cond à 25°.	pH	Qmoyen m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup>	Csable Mg. l <sup>-1</sup>	Cmes mg. l <sup>-1</sup>	Cdissous mg. l <sup>-1</sup>	Solide kg. s <sup>-1</sup>	Dissous Kg. s <sup>-1</sup>
Oubangui (1)	-	40.8		2889	-	24.6	47.3	104.7	136.8
Djiri	25.5	9.5	4.8	19.6	4.9	2.5	21.3	0.13	0.40
Léfini	26.9	8.8	5.2	382.1	5.0	3.6	20.4	3.44	8.18
Nkényi	25.9	9.5	4.9	244.4	3.4	2.4	21.2	1.27	5.17
Nkomo	25.3	19.8	4.4	21.9	2.45	2.6	40.0	0.09	0.95
Alima	26.9	12.1	4.9	586.3	3.52	2.9	27.4	3.39	15.64
Kouyou	26.3	11.6	5.2	182.4	3.17	2.6	28.3	1.07	5.36
Likouala M.	25.4	22.3	6.8	164.1	4.4	8.5	44.8	1.75	7.75
Mambili	25.7	45.6	6.7	164.2	3.58	10.6	47.5	2.03	8.02
Sangha à Tso	25.3	38.7	7.3	-	6.96	26.6	46.3	-	-
Sangha à Oue	-	68.2	7.5	-	-	36.5	51.4	-	-

(1) extrait de THIEBAUX (1987)

• variations des paramètres physiques et physico-chimiques

a) examen du coefficient de corrélation (tableau 3.18)

On note une forte dispersion des valeurs obtenues (CV presque toujours supérieur à 50%). Cette dispersion est à rattacher au mode d'alimentation directe par les précipitations qui est prépondérante en particulier pour les rivières drainant les formations peu perméables du socle.

Tableau 3.18: statistiques élémentaires

Variables	Moyennes	Ecarts – types	Coef. de variation
Cond	26.08	12.1286	0.46
PH	5.7	0.7411	0.13
Débit	517.1	183.3249	0.35
Csable	4.15	2.2398	0.53
Cmes	11.21	3.9750	0.35
Cdissous	35.9	13.4112	0.37
Solide	13.09	1.5276	0.01
Dissous	20.91	5.5389	0.26

## b) analyse en composantes principales : ACP de SEC1 mesures physiques

L'examen du plan 1-2 (figure 3.12) révèle deux catégories d'eau :

- les eaux faiblement minéralisées des rivières batéké qui drainent les formations constituées essentiellement de sable siliceux ( $12,7 < \text{résidu} < 462 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Cette catégorie occupe les quarts N-E, N-W et S-W du plan ;
- les eaux relativement plus chargées ( $218,2 < \text{résidu sec} < 4000 \text{ mg.l}^{-1}$ ) des rivières drainant les plateaux du Nord Ouest (roches métamorphiques et cristallines). Cette seconde catégorie est représentée dans le quart S-E du plan.

L'étude des corrélations (tableau 3. 19) entre les différents paramètres physiques et physico-chimiques fait ressortir des paramètres qui sont bien corrélés entre eux. Notamment,

- a) CDIS et la conductivité, paramètres qui évoluent toujours en phase. La charge électrique étant fonction de la concentration des ions en solution.
- b) Tsolide et Tdissous sont également bien corrélés et évoluent en phase avec le débit liquide. Il est démontré que la quantité des matières transportées varie en fonction des quantités d'eau transitées.

**Tableau 3.19: Corrélations**

	Cond	PH	Débit	Csable	Cmes	Cdissous	Solide	Dissous
Cond	1.000							
PH	0.537	1.000						
Débit	-0.138	-0.057	1.000					
Csable	-0.125	0.124	0.027	1.000				
Cmes	0.552	0.658	-0.082	0.062	1.000			
Cdissous	0.781	0.342	-0.195	-0.197	0.425	1.000		
Solide	0.043	0.182	0.763	0.264	0.303	-0.071	1.000	
Dissous	0.185	0.127	0.826	-0.054	0.108	0.233	0.675	1.000

L'examen du cercle de corrélation (figure 3.13) fait apparaître ces regroupements dans les quarts N-E et S-E .

### 2.2.2 COMPOSITION CHIMIQUE DES MATIÈRES DISSOUTES

730 dosages ont été réalisés par le Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM à Brazzaville. Le tableau 3.20 donne les concentrations moyennes en ions majeurs. Tous les échantillons analysés sont faiblement minéralisés.

Les résultats obtenus ont été reportés sur le diagramme semi-logarithmique (Figures 3.12 et 3.13) qui compare la moyenne des différents affluents à celle du fleuve Congo pendant la même période. L'analyse de cette représentation fait ressortir deux grandes catégories d'eau :

- a) les eaux très peu minéralisées des rivières Batéké drainant les sables et les grès siliceux (Djiri, Léfini, Nkéni, Alima et Kouyou).

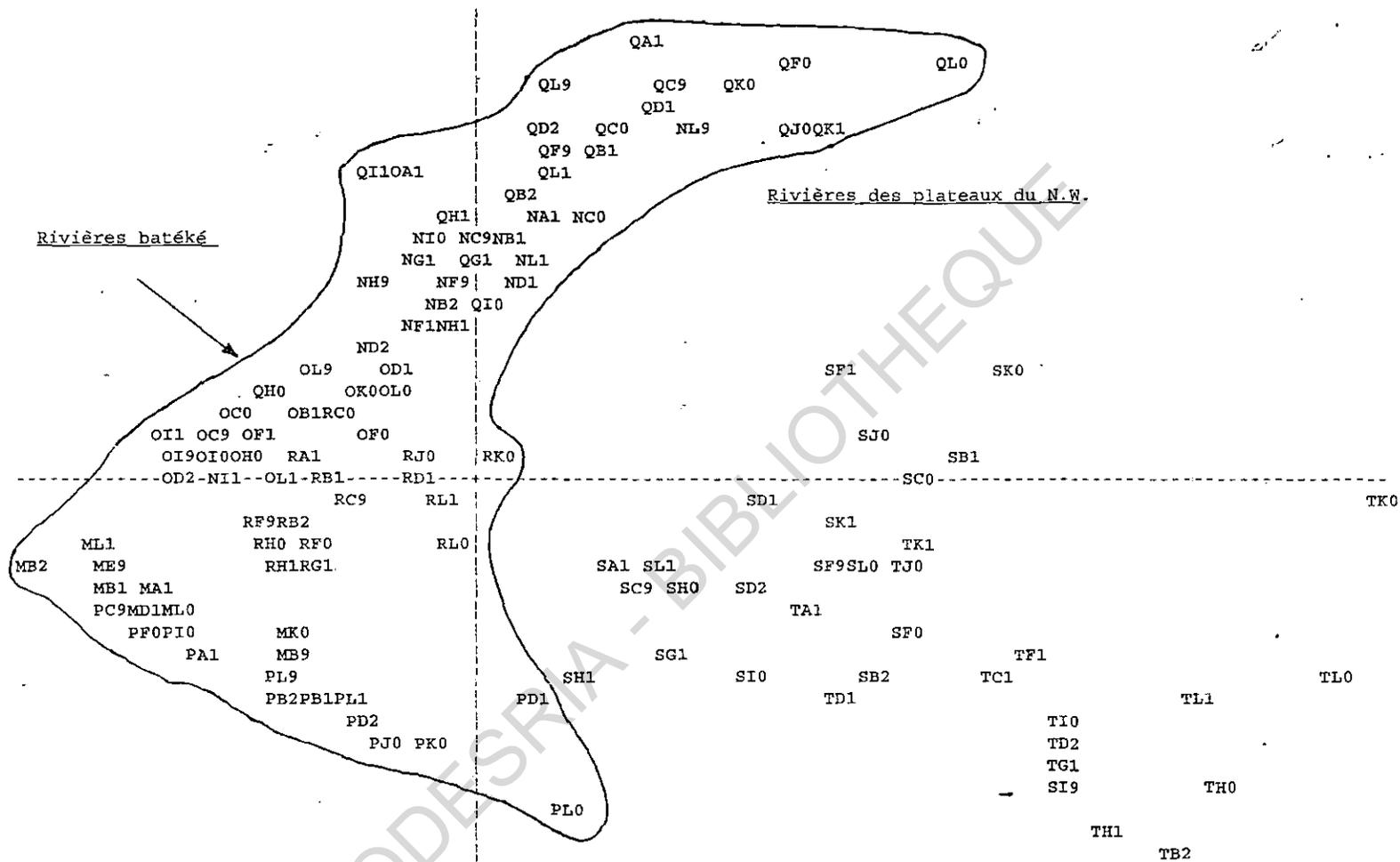


Figure 3.12 : Représentation plane de la distribution spatiale des échantillons (mesures physiques des eaux des stations secondaires)

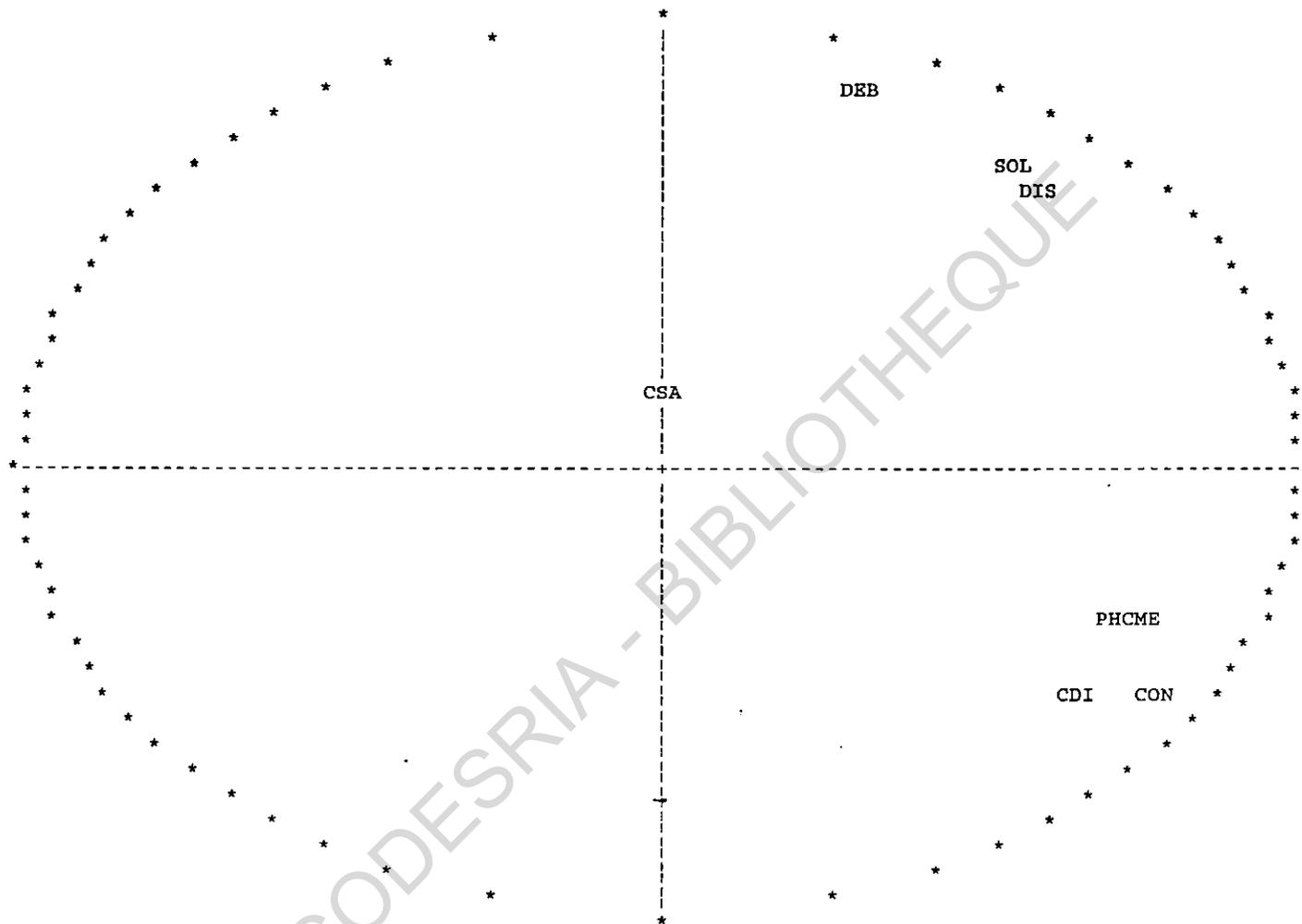


Figure 3.13 : Cercle de corrélations

D'un point de vue physique et physico-chimique, ces eaux se caractérisent par :

- . un pH acide toujours voisin de 5 ;
- . un résidu sec inférieur à 30 mg.l<sup>-1</sup> et
- . une conductivité très faible ne dépassant pas 20 micro-siemens.

b) les eaux relativement chargées des rivières des plateaux du Nord-Ouest sur socle cristallin et cristallophyllien ;

- . PH voisin de 7
- . résidu sec supérieur à 30 mg.l<sup>-1</sup> et
- . conductivité relativement plus élevée de l'ordre de 40 à 70 micro-siemens.

**Tableau 3.20: Composition chimique moyenne des matières dissoutes en mg.l<sup>-1</sup>**

Rivière	PH	Cond	Silice	Fer	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Djiri	4,98	17,40	5,18	0,06	0,35	0,09	0,13	0,36	4,03	0,68
Léfini	5,33	8,70	5,16	0,05	0,44	0,10	0,10	0,18	4,19	0,66
Nkéni	5,03	8,68	5,07	20,0	0,38	0,10	0,07	0,25	3,63	0,62
Nkomo	4,50	18,28	5,11	0,14	0,72	0,17	0,12	0,33	3,22	2,31
Alima	5,13	12,57	3,25	0,09	0,41	0,18	0,07	0,27	3,15	0,87
Kouyou	5,31	11	4,97	0,12	0,68	0,20	0,07	0,26	4,11	1,10
Likouala Mossaka.	6,19	19,55	5,54	0,16	1,41	0,48	0,69	0,70	10,32	1,65
Mambili	6,58	45,42	5,69	0,16	3,45	2,42	0,39	0,37	19,58	2,36
Sangha Tsotsolo	7,44	42,0	6,03	0,16	2,64	1,33	0,85	1,30	19,01	2,10
Sangha Ouessou	7,44	68,23	6,59	0,05	4,24	2,29	0,96	0,81	32,05	1,72

La composition chimique moyenne des eaux du Congo à Brazzaville s'apparente à la deuxième catégorie. L'on pourrait penser que le chimisme de l'eau du fleuve Congo à Brazzaville soit un héritage exclusif des cours d'eau qui drainent le socle cristallophyllien.

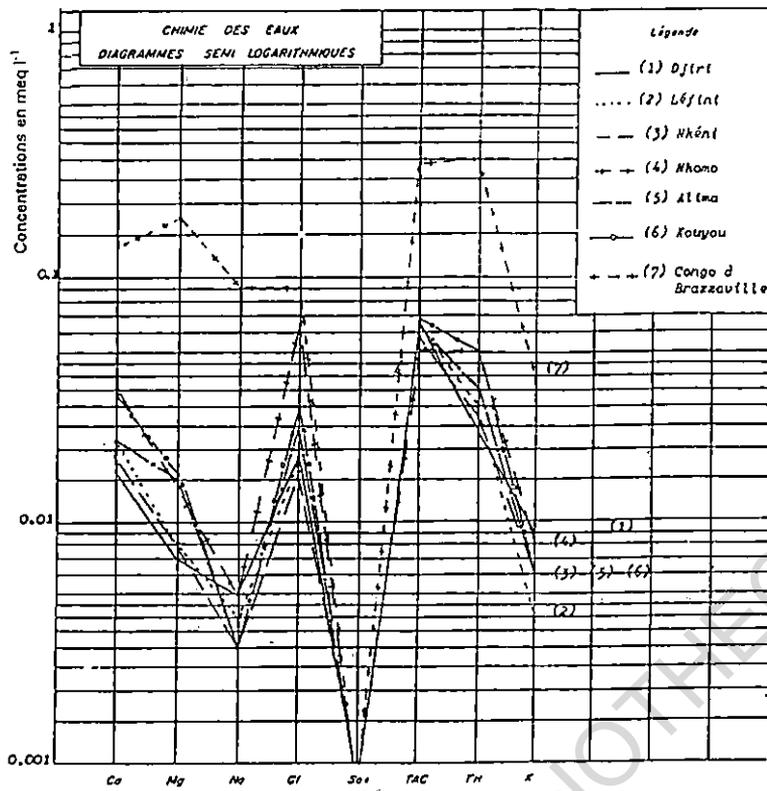


Figure 3.14 : Composition chimique des rivières batéké et du Congo à Brazzaville

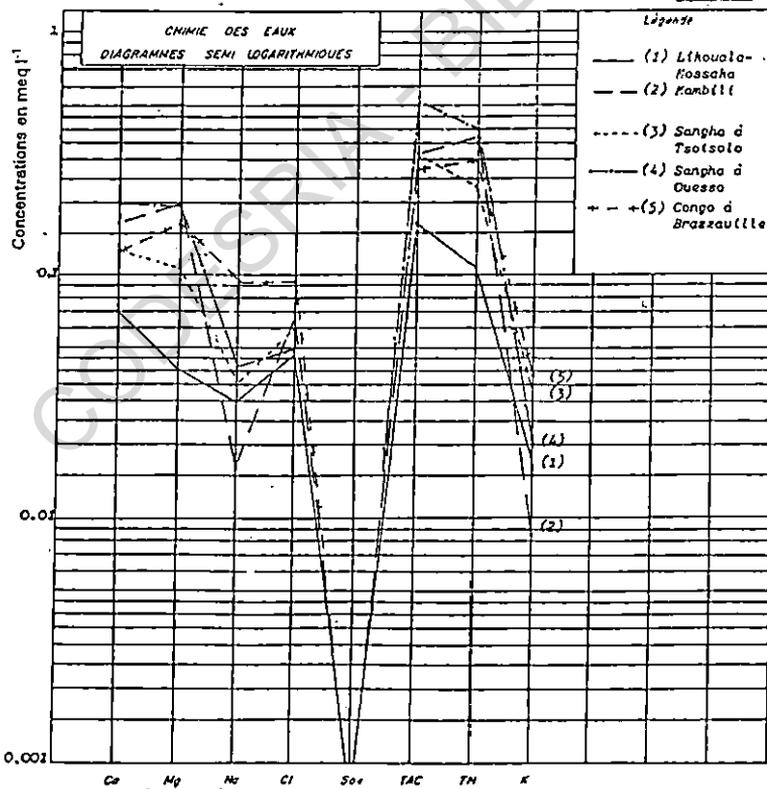


Figure 3.15 : Composition chimique des rivières des plateaux du N-W et du Congo à Brazzaville

*. variation des paramètres physiques et de la composition chimique*

**a) examen du coefficient de variation**

Les statistiques élémentaires effectuées sur les données (tableau 3.21) font ressortir une grande dispersion des valeurs. Cette dispersion est liée à l'hétérogénéité des échantillons d'origines très diversifiées.

**Tableau 3.21 : Statistiques élémentaires**

Variabes	Moyennes	Ecart types	Coef. de variation
Fer	2.10	6.63	
Silice	5.26	0.92	0.18
Ca <sup>++</sup>	1.47	1.47	1.00
Mg <sup>++</sup>	0.74	0.96	
K <sup>+</sup>	0.48	0.37	0.77
Na <sup>+</sup>	0.35	0.37	1.07
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.33	10.32	1.00

**b) Analyse en composantes principales : Stations secondaires (composition chimique)**

L'étude des individus laisse apparaître des regroupements dans le plan 1-2 (figure 3.16). Les échantillons provenant des rivières batéké se trouvent groupés à gauche de l'axe vertical du plan. Ceux prélevés dans les rivières des plateaux du N-W (roches métamorphiques) sont dispersés dans le reste du plan. Ces observations confirment les résultats obtenus sur les représentations de Schoeller (figures 3.14 et 3.15).

Une étude statistique des données a été faite afin de dégager des corrélations entre les différents paramètres pris deux à deux (tableau 3.22). Il ressort de cette étude que certains paramètres tels que Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> sont bien corrélés avec les bicarbonates (R= 95% à 97%). De façon générale ces ions sont toujours liés et leur évolution se fait dans le même sens. On note également une bonne corrélation de ces deux cations avec d'une part le sodium et d'autre part le potassium qui sont eux aussi bien corrélés avec les bicarbonates.

**Tableau 3.22: Corrélations**

	Silice	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Silice	1.000					
Ca <sup>++</sup>	0.231	1.000				
Mg <sup>++</sup>	0.212	0.913	1.000			
K <sup>+</sup>	0.055	0.602	0.523	1.000		
Na <sup>+</sup>	0.326	0.692	0.682	0.724	1.000	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.241	0.959	0.976	0.609	0.758	1.000

L'examen du cercle de corrélation (figure 3.21) montre nettement ces regroupements dans les quarts N-W et S-W.

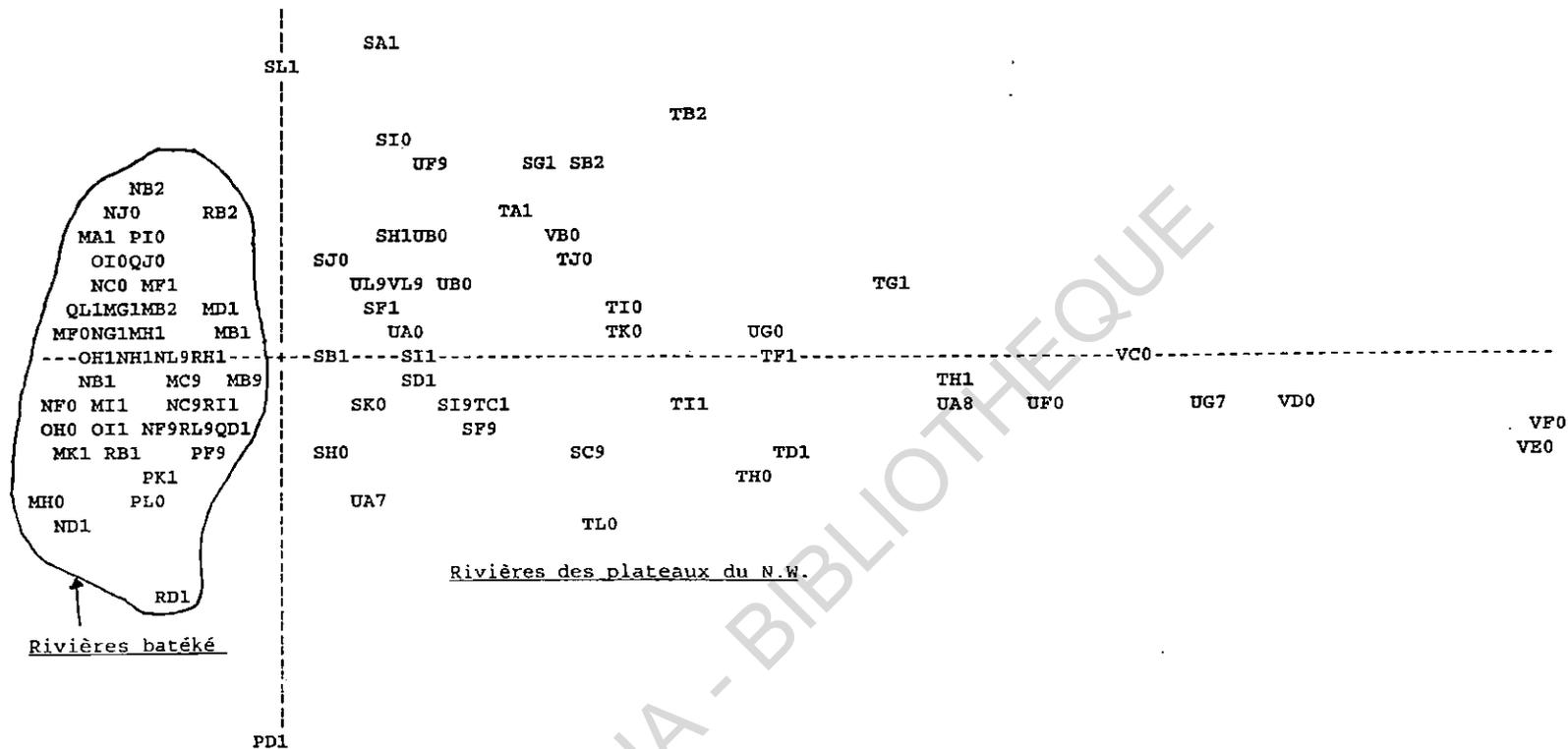


Figure 3.16 : Représentation plane de la distribution spatiale des échantillons (composition chimique des stations secondaires)

STATION SECONDAIRES: COMPOSITION CHIMIQUE

PLAN 1 2      AXE 1 HORIZONTAL      AXE 2 VERTICAL

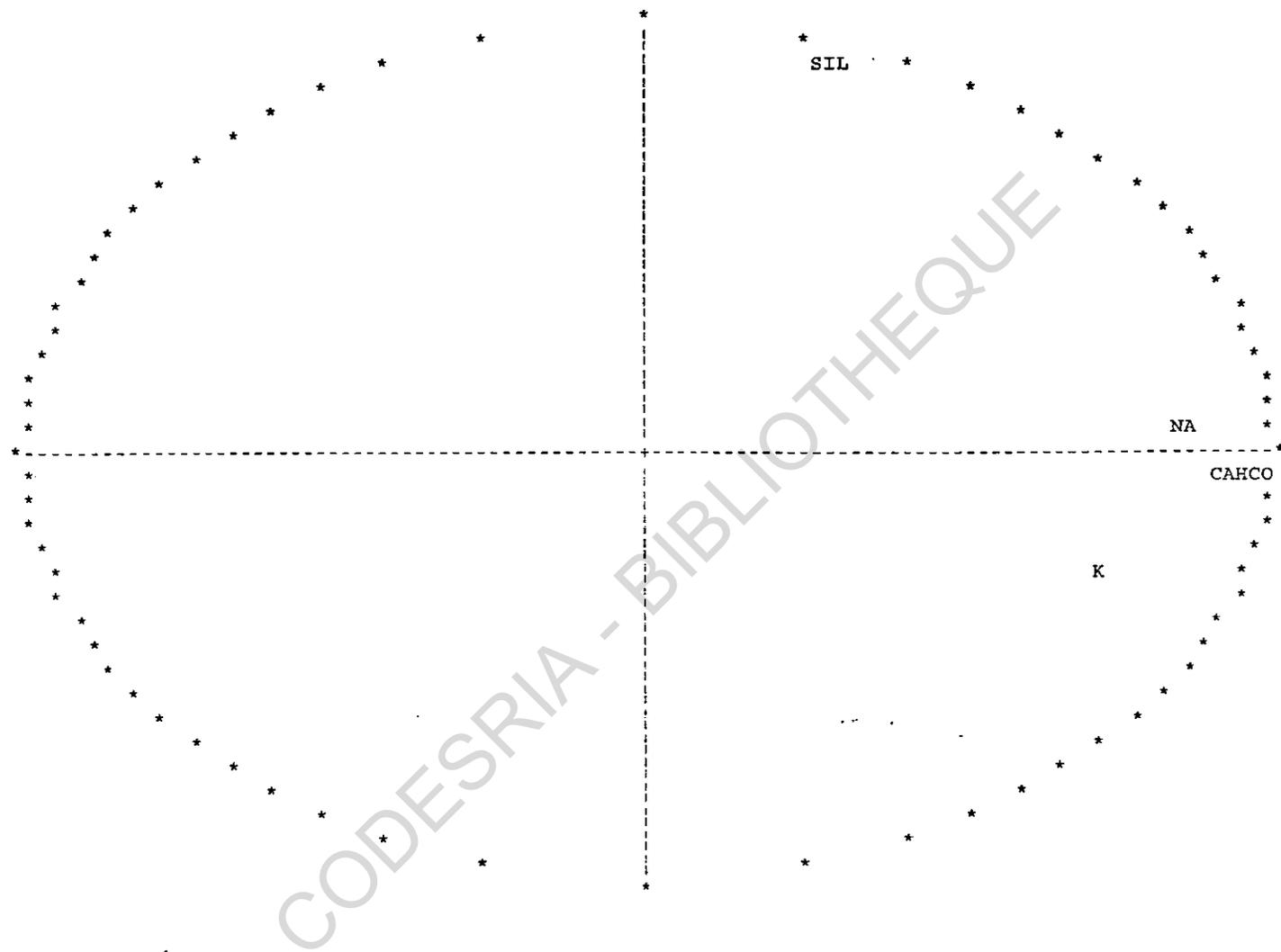


Figure 3.17 : Cercle de corrélations

## 2.3 ETUDE DES FACIES CHIMIQUES

L'interprétation de l'analyse factorielle et du diagramme semi logarithmique de Schoeller fait ressortir trois familles d'eau :

- 1) les eaux du fleuve Congo à Brazzaville ;
- 2) les eaux des rivières des plateaux Batéké ;
- 3) les eaux des rivières des plateaux du nord-ouest.

Dans ce paragraphe, nous essayons en utilisant la représentation de Piper, d'identifier les différents faciès chimiques des trois catégories d'eau et d'étudier leur variabilité.

### 2.3.1 CHIMISME DES EAUX DU FLEUVE CONGO A BRAZZAVILLE

Les échantillons d'eau prélevés sur le fleuve Congo à Brazzaville ( 71 échantillons) ont été reportés sur le diagramme triangulaire. Cette représentation (figure 3.18) permet de qualifier la composition chimique de ces eaux de bicarbonatée calcique et magnésienne. Elle fait ressortir une certaine stabilité du faciès chimique. Les concentrations en éléments majeurs sont également assez stables. Néanmoins, on note pour les bicarbonates que les proportions varient en fonction du régime hydrologique puisqu'ils passent de 30% environ pendant les hautes eaux à plus de 45% pendant les basses eaux. Les teneurs en silice évoluent en sens inverse et passent de 40% à 20%. Ces valeurs sont confirmées par SONDAĞ et al (1993).

### 2.3.2 CHIMISME DES EAUX DES RIVIERES BATEKE

Le diagramme de Piper (figure 3.19) indique une grande instabilité des faciès chimiques. Ils varient d'une rivière à une autre d'une part et d' autre part d'une saison à une autre au sein de la même rivière. Ce comportement n'a pas été identifié sur le diagramme semi logarithmique et sur la représentation plane dans l'analyse factorielle. Une analyse discriminante en fonction des saisons et des origines des prélèvements est envisagée pour affiner ces interprétations.

### 2.3.3 CHIMISME DES EAUX DES RIVIÈRES DES PLATEAUX DU NORD OUEST.

Le diagramme de Piper des eaux des rivières des plateaux du nord ouest (figure 3.20) indique un faciès bicarbonaté calcique et magnésien pour ces eaux. On retrouve ici les mêmes regroupements que pour les eaux du Congo à Brazzaville. Le diagramme triangulaire confirme les résultats de la représentation plane de la distribution spatiale des échantillons. Le chimisme des eaux du fleuve à Brazzaville serait donc, nous semble-t-il, un héritage de celui de ses affluents qui drainent les formations du Précambrien, essentiellement constituées de roches cristallines et cristallophylliennes. Ces formations sont largement représentées sur le bassin où elles occupent plus des deux tiers de la superficie.

### 2.3.4 FACIÈS CHIMIQUES DOMINANTS

Les compositions chimiques moyennes des eaux du fleuve Congo à Brazzaville et de ses principaux affluents de la rive droite ont été reportées sur un diagramme triangulaire (figure 3.21). Cette représentation montre un regroupement dans le pôle bicarbonaté calcique magnésien qui paraît être le faciès dominant des eaux de ces rivières. Seule la Mkomo se

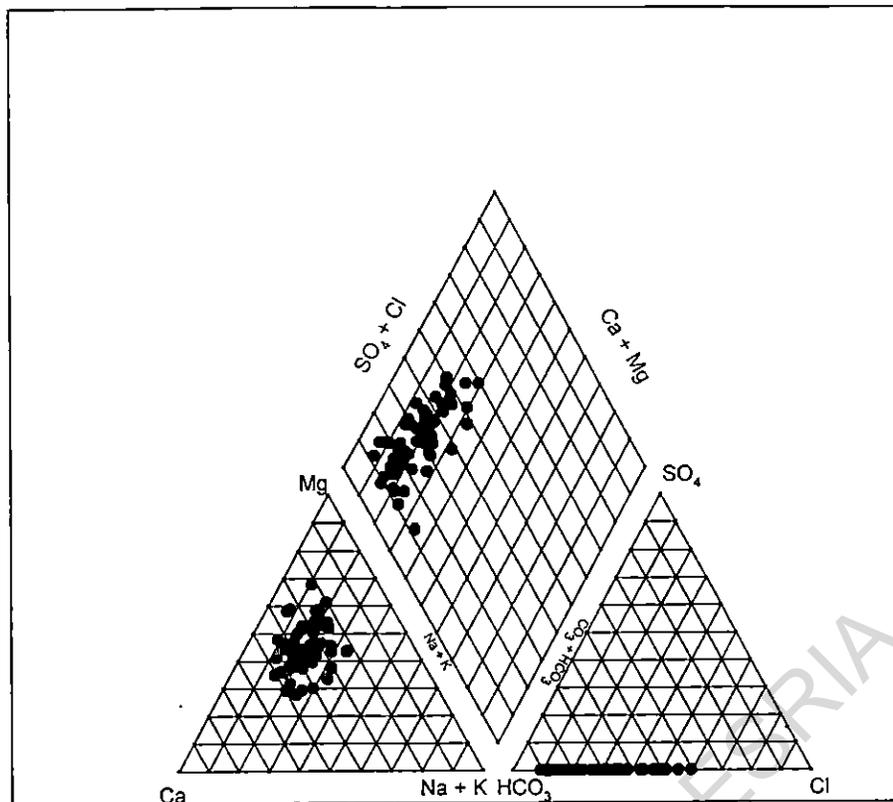


Figure 3.18 : Diagramme montrant l'évolution des faciès chimiques des eaux du Congo à Brazzaville

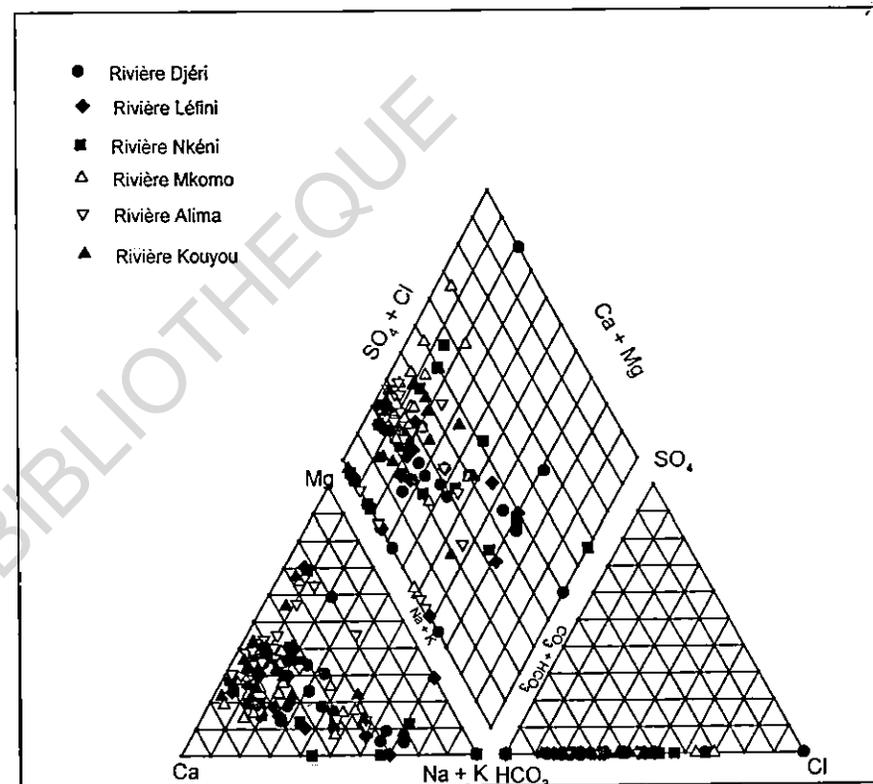
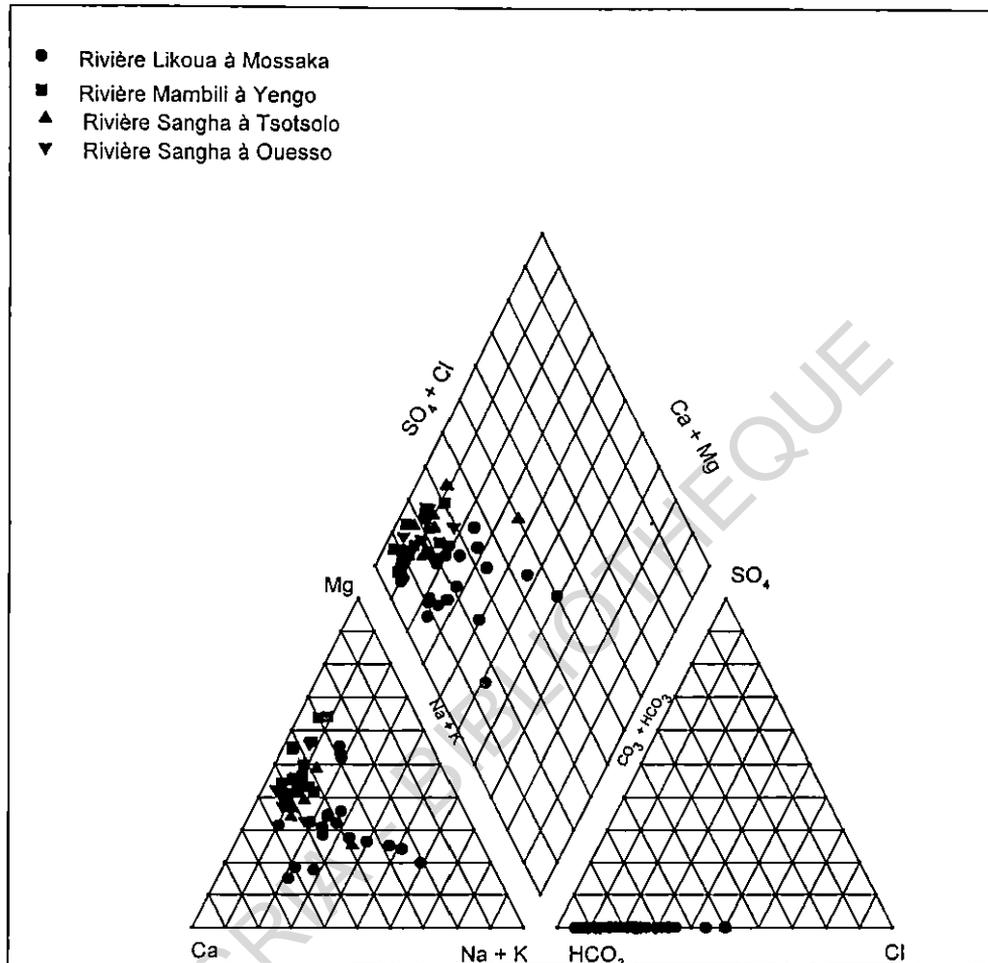


Figure 3.19 : Diagramme montrant l'évolution des faciès chimiques des eaux des rivières Batéké



**Figure 3.20 : Diagramme montrant l'évolution des faciès chimiques des eaux des rivières des plateaux du Nord-Ouest**

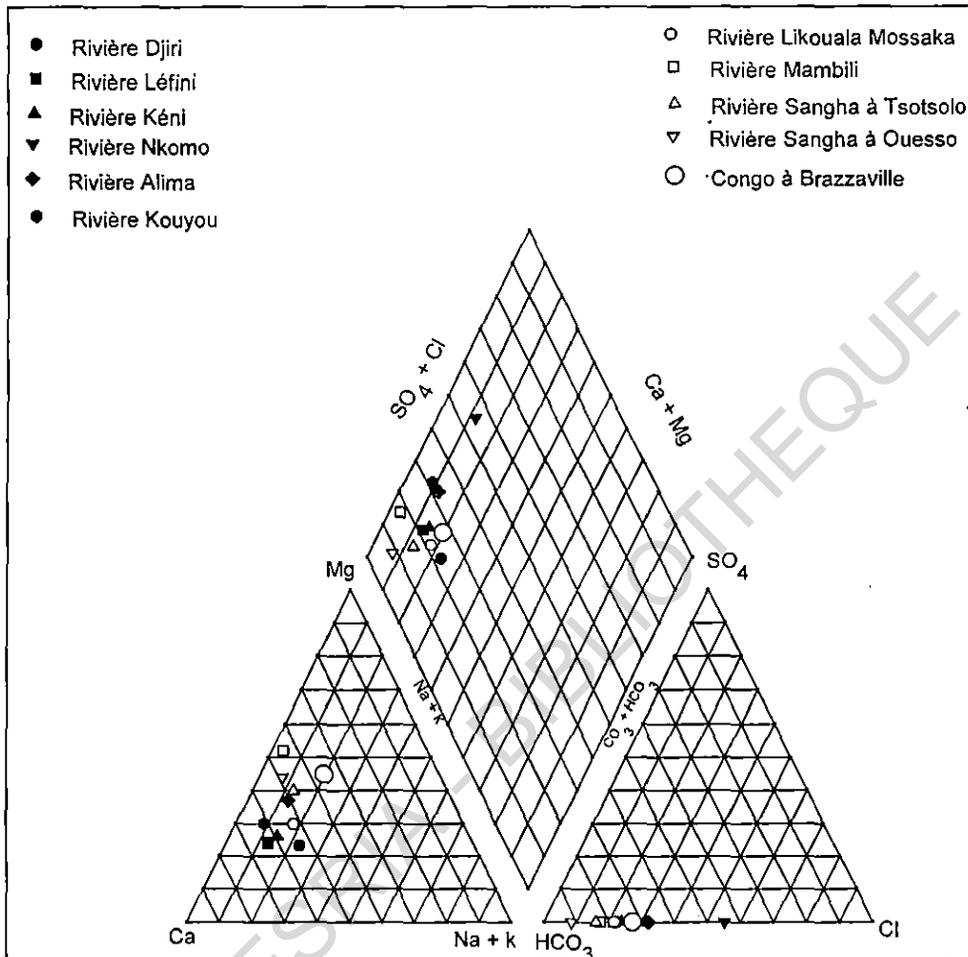


Figure 3.21 : Faciès chimiques dominants des eaux du Congo à Brazzaville et de ses principaux affluents de la rive droite

singularise par sa concentration en anion Cl<sup>-</sup> relativement plus élevée par rapport aux autres cours d'eau. Les eaux du bassin se caractérisent par une minéralisation extrêmement faible. Le bassin étant situé en zone équatoriale humide où le phénomène de lessivage est très important, les eaux de surface sont très diluées. Le faciès chimique des eaux est donc hérité de celui des eaux des précipitations. Plusieurs auteurs (SONDAG et al, 1993) s'accordent pour reconnaître que le faciès dominant (bicarbonaté calcique et magnésien) proviendrait essentiellement de la dissolution du gaz carbonique contenu dans l'eau de pluie.

### **3. VALEURS OBTENUES SUR D'AUTRES GRANDS BASSINS FLUVIAUX MONDIAUX**

Depuis 1986, des recherches sur la géodynamique intertropicale sont menées sur les grands bassins fluviaux intertropicaux, associant les chercheurs du CNRS et l'INSU d'une part et l'ORSTOM avec des laboratoires associés d'autre part.

A titre de comparaison, nous donnons dans ce paragraphe un aperçu des valeurs obtenues sur d'autres hydrosystèmes intertropicaux. Les principaux résultats ont été extraits des actes du colloque (PEGI-GBF) tenu sur ce thème à Paris en novembre 1993.

#### **3.1 RIO MADEIRA (sous bassin de l'Amazone).**

Ce sous bassin de l'Amazone a fait l'objet d'études dans le cadre du programme PHICAB (Programme Climatologique et Hydrologique du Bassin Versant Amazonien), initié par l'ORSTOM et le « SENAMHI/UMSA ». Les résultats publiés dans cette synthèse correspondent aux données acquises de 1983 à 1989 aux stations de Cachuela Esperanza sur le Rio Beni et Guayaramerin sur le Rio Mamoré, situées respectivement à 30 et 55 km à l'amont de leur confluence (Villabella), où ils forment alors le Rio Madeira.

Les teneurs en matières dissoutes minérales des Rio Beni et Mamore varient respectivement de 53 à 122 mg.l<sup>-1</sup> et de 44 à 176 mg.l<sup>-1</sup> (OLIVRY, 1993), avec une valeur moyenne estimée à 78 mg.l<sup>-1</sup> pour le Rio Madeira à Villabella.

La variabilité des débits étant plus grande que celle des matières en solution (CV= 0,17), le régime du flux de matières dissoutes est comparable au régime hydrologique, avec un rapport entre flux moyens mensuels extrêmes de 4,48 (184.000 t. jour<sup>-1</sup> en mars et 41.000 t. jour<sup>-1</sup> en septembre).

Les flux de matières dissoutes minérales exportés par le Congo à Brazzaville et le Rio Madeira à Villabella sont respectivement de 42 et 39 10<sup>6</sup> t. an<sup>-1</sup> (rapport de 1,1), alors que le rapport de superficie de leur bassins et voisin de 4.

En ce qui concerne les matières particulaires, les résultats publiés par OLIVRY (1993), montrent que les teneurs des Rio Beni et Mamore varient fortement au cours du cycle hydrologique. Les valeurs extrêmes observées sont respectivement de 2.460 mgg.l<sup>-1</sup> pour le Rio Beni et de 0,5 à 1.470 mg.l<sup>-1</sup> pour le Rio Mamore, pour une valeur moyenne annuelle estimée à 350 mg.l<sup>-1</sup> pour le Rio Madeira à Villabella. Le flux de matières particulaires à Villabella est de 223 10<sup>6</sup> t. an<sup>-1</sup> dont 72 % proviennent du Rio Beni et 28% du Rio Mamore. Selon OLIVRY (1993), la présence du domaine andin dans le bassin du Rio Madeira marque très nettement le flux de matières particulaires, qui est 7 fois plus fort que celui du Congo. Le taux de production de matières solides est 30 fois supérieur pour le Rio Madeira à Villabella, avec une moyenne de 250 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>.

### 3.2 NIGER (bassin amont)

Les résultats exposés dans cette synthèse proviennent des évaluations faites par l'ORSTOM dans le cadre du projet sur l'environnement et la qualité des apports du Niger au sahel (EQUANIS).

L'étude des matières en suspension dans les eaux du bassin amont réalisée par OLIVRY et al (1993), montre des variations saisonnières des concentrations caractéristiques des fleuves tropicaux. Les concentrations les plus élevées correspondent au début de la saison des pluies. Elles dépassent rarement 100 mg. l<sup>-1</sup> pour le Niger et 200 à 250 mg. l<sup>-1</sup> pour le Bani (OLIVRY, 1993). Elles tombent en saison de basses eaux jusqu'à 5 mg.l<sup>-1</sup> et compte tenu des débits, le transport de matières devient alors pratiquement négligeable. Selon les mêmes auteurs, les flux spécifiques de matières dissoutes sont également très modestes variant de 10 à 12 t. km<sup>-2</sup>. an<sup>-1</sup> sur le Niger, à 2,5 t. km<sup>-2</sup>. an<sup>-1</sup> sur le Bani.

### 3.3 SENEGAL (à l'estuaire)

Des études ont été entreprises sur le bassin du fleuve Sénégal, en vue d'apprécier l'impact des barrages érigés dans sa vallée sur le régime hydrologique et celui des flux de matières. Les évaluations faites par KANE (1997), chiffrent les exportations du fleuve de la façon suivante :

- .Transport en suspension : 2.025.574 T. an<sup>-1</sup> (moyenne de 1981 – 1983) et  
1.296.750 T. an<sup>-1</sup> (moyenne de 1989 – 1993).
- .Transport en solution : 730.012 T.an<sup>-1</sup> (moyenne de 1989 - 1992).

Contrairement au fleuve Congo, on remarque ici que l'érosion mécanique est largement prépondérante, c'est le cas également pour le fleuve Niger (dynamique des bassins non protégés des zones sahéliennes semi-arides).

## CONCLUSION

Cette étude montre que l'évaluation des matières transportées par le fleuve et les rivières tributaires du Congo constitue une grande préoccupation pour les chercheurs œuvrant dans le domaine de l'eau au Congo.

On peut dire que des résultats importants ont été acquis au cours de l'exécution de ce programme. Certains d'entre eux suscitent un certain nombre d'interrogations, notamment l'étude hydrochimique des prélèvements effectués à Brazzaville montre qu'en ce qui concerne les matières dissoutes, il n'existe pas de corrélation évidente entre les teneurs des éléments dosés et les débits liquides. Et pourtant, il est certain que l'importance des apports est liée à la quantité d'eau transitée. Cette absence de relation précise entre teneurs et débits serait à rattacher nous semble-t-il au mode d'alimentation très complexe du fleuve à la station de Brazzaville. La diversification, dans un deuxième temps des points de mesures sur des collecteurs secondaire a apporté quelques réponses à ces interrogations.

Enfin des informations assez précises sont actuellement disponibles sur le fleuve Congo à Brazzaville et il résulte de toutes ces évaluations qu'à l'échelle du continent africain le fleuve Congo représente 38 % des apports hydriques, 40 % de la charge dissoute et 7 % de la charge en suspension . .

En ce qui concerne les contributions annuelles des affluents de la rive droite du fleuve Congo aux transports globaux, elles représentent :

- apports hydriques environ 9% du volume annuel ;
- matières en suspension 8 % de la charge totale ; et
- matières dissoutes 7 % de la charge totale.

Cependant , il est nécessaire de préciser que :

a) les stations de mesures se trouvant souvent très en amont des bassins (exemple de Ouesso qui est à 500 km du confluent avec le Congo), les résultats fournis ne représentent donc qu'une estimation minorée des contributions de ces affluents ;

b) seule une partie des affluents de la rive droite du fleuve a été prise en compte. L'influence de l'extrémité amont du bassin est probablement très faible.

Enfin, les résultats des analyses hydrochimiques ont montré une faible minéralisation des eaux du fleuve (régime biostatique en zone équatoriale humide).

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

## CHAPITRE II

### **MODALITES DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS HYDRODYNAMIQUE – HYDROCHIMIE - BILAN D'EAU**

#### 1 INTRODUCTION

L'analyse des données géologiques rassemblées au chapitre 1 de la première partie de ce mémoire permet d'identifier quatre ensembles aquifères sur le bassin versant du fleuve Congo. Ces ensembles se répartissent approximativement de la façon suivante :

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1) Aquifères du bassin sédimentaire côtier<br>(Secondaire, Tertiaire et Quaternaire) :                      | 0,01. 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> |
| 2) Aquifères des terrains continentaux de la Cuvette congolaise<br>(Secondaire, Tertiaire et Quaternaire) : | 1,54. 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> |
| 3) Aquifères des séries du sédimentaire ancien : <sup>2</sup><br>(Précambrien supérieur) :                  | 0,35 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>  |
| 4) Aquifères des roches cristallines et cristalloyphylles<br>(Précambrien moyen et inférieur) :             | 1,78. 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> |

Les ensembles 1 et 2 ( 42% de la superficie du bassin) sont formés essentiellement de roches sédimentaires meubles, très peu ou pas consolidés ayant une porosité d'interstice. Ces ensembles constituent des aquifères généralisés.

Les aquifères discontinus sont représentés par les deux derniers ensembles. Il s'agit de roches sédimentaires compactes et indurées, de roches granitiques et métamorphiques. Dans ces ensembles la porosité de fissure domine.

#### 2 LES AQUIFERES GENERALISES

##### 2.1 AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER

Les corrélations géologiques entre forages pétroliers (figure 4.1) réalisée par MOUKOLO. (1984), définissent de façon grossière la structure des différents aquifères. On peut établir la succession hydrogéologique suivante :

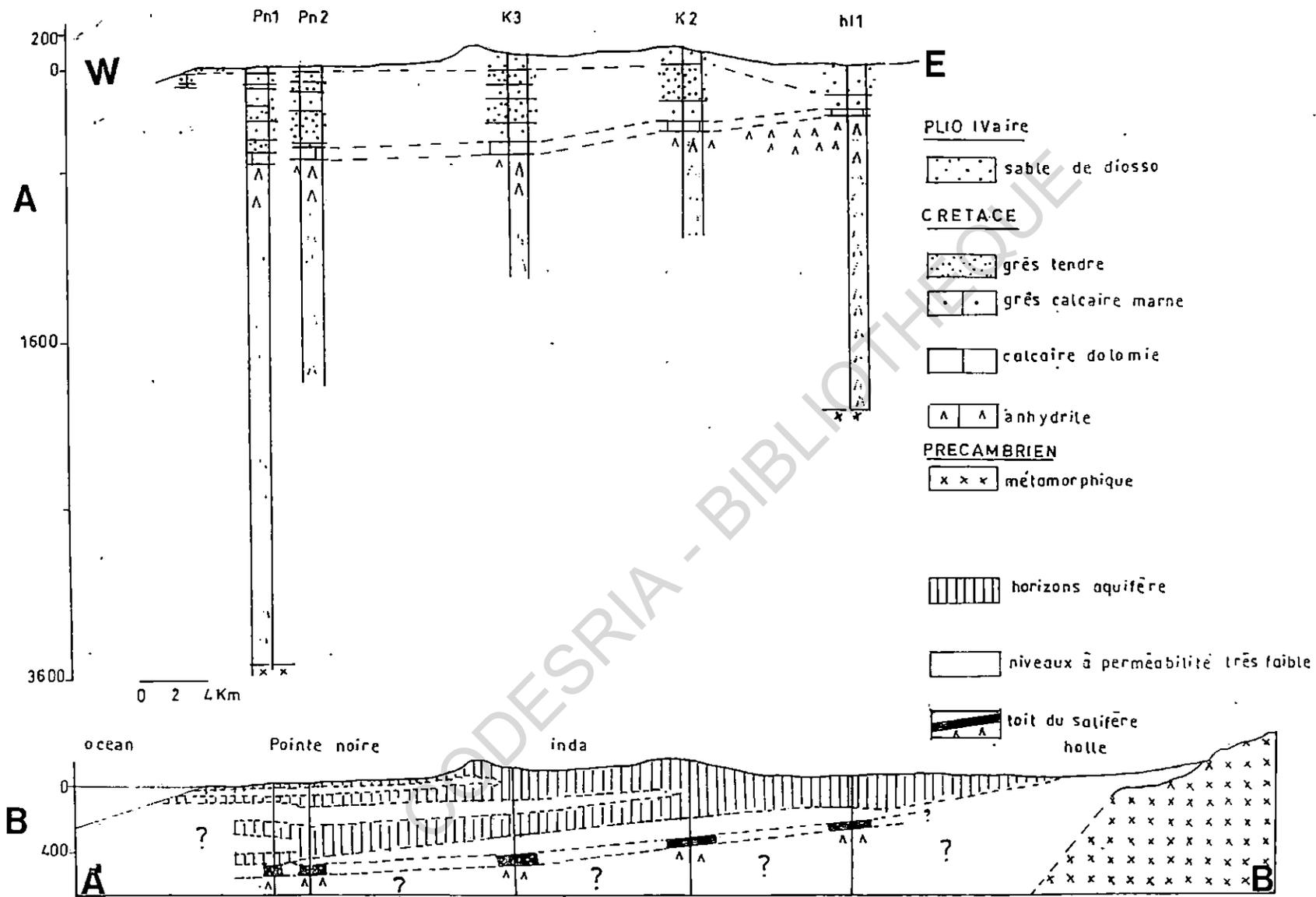


Figure 4.1 : Corrélations géologiques entre forages pétroliers (A) et interprétation hydrogéologique (B) (MOUKOLO, 1984)

### - niveaux reconnus ou considérés comme perméables

Ces niveaux sont constitués par les sables argileux de la série argilo-sableuse superficielle et par les sables et grès tendres du crétacé. Le tableau 4.1, donne les isobathes auxquelles les différents niveaux aquifères ont été reconnus ainsi que les coefficients de Darcy respectifs.

### - zone à perméabilité très faible ou nulle

De 10 m à 400 m de profondeur à Pointe-Noire et de 70 m à 150 m à Pointe-Indienne, les niveaux aquifères sont séparés par des intercalations d'un matériau très composite (calcaire marneux, grès consolidés, argile, etc...) de la série argilo-gréseuse rougeâtres du grésodolomitique.

### - les calcaires marneux suprasalifères

Très probablement imperméables selon les géologues de l'ancienne SPAEF, ont été reconnus à partir de 480 m (Pointe-Noire) et 400 m (Pointe-Indienne).

**Tableau 4.1 : Profondeur des différents aquifères**

Pointe Noire		Pointe Indienne	
Isobathes (m)	Perméabilité ( $m.s^{-1}$ )	Isobathes (m)	Perméabilité ( $m.s^{-1}$ )
0 à 10	Ktp ( $10^{-8}$ à $10^{-5}$ )	0 à 70	Ktp ( $10^{-8}$ à $10^{-5}$ )
110 à 140	Kessai ( $7.10^{-5}$ )	150 à 275	Kpétroliers ( $5.10^{-7}$ à $10^{-5}$ )
200 à 280	Kpétroliers ( $5.10^{-7}$ à $10^{-5}$ )	280 à 400	Kpétrolier, ( $5.10^{-7}$ à $10^{-5}$ )
400 à 480	Kinconnu		

#### Remarque :

Les coefficients de DARCY en  $m.s^{-1}$  ont été obtenus soit par essai par pompage (Kessai), soit estimés par les pétroliers (Kpétroliers) qui reconnaissent les avoir sous-estimés, soit communiqués par le Laboratoire des Travaux Publics (Ktp).

#### Conclusion:

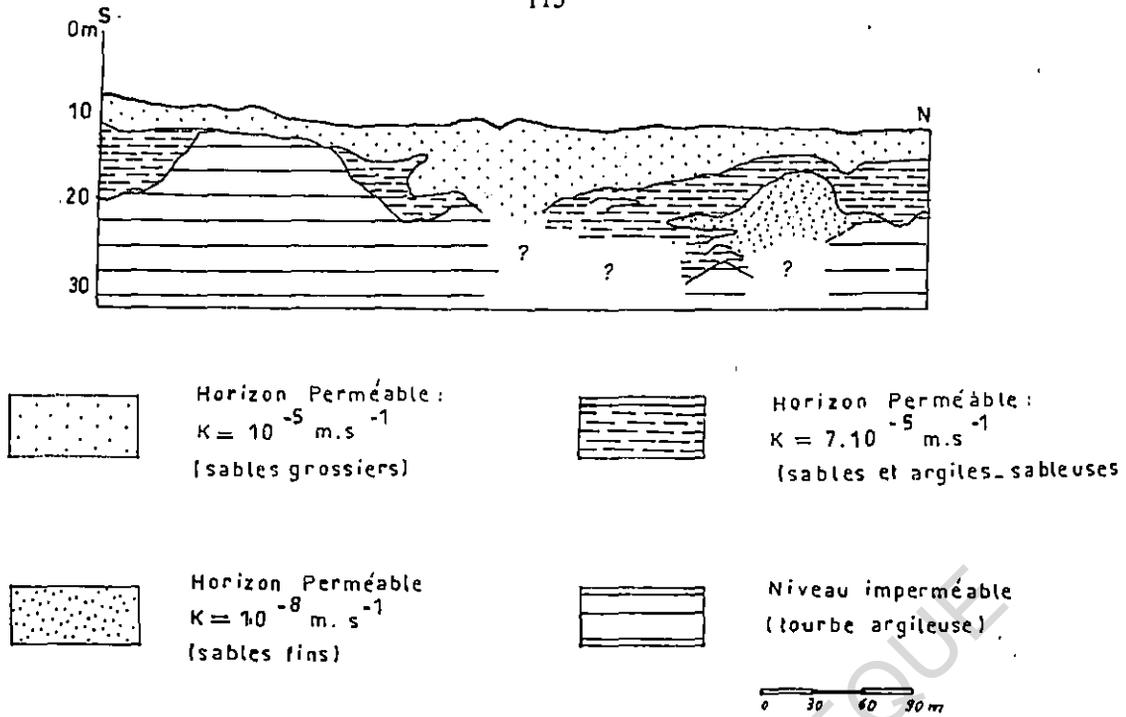
Le bassin sédimentaire côtier du Congo est un complexe hydrogéologique à aquifères multicouches. Compte tenu de l'information disponible, nous n'avons étudié que les deux aquifères les plus proches de la surface du sol :

- l'aquifère à nappe libre superficielle ;
- l'aquifère à nappe sémi-captive inférieure.

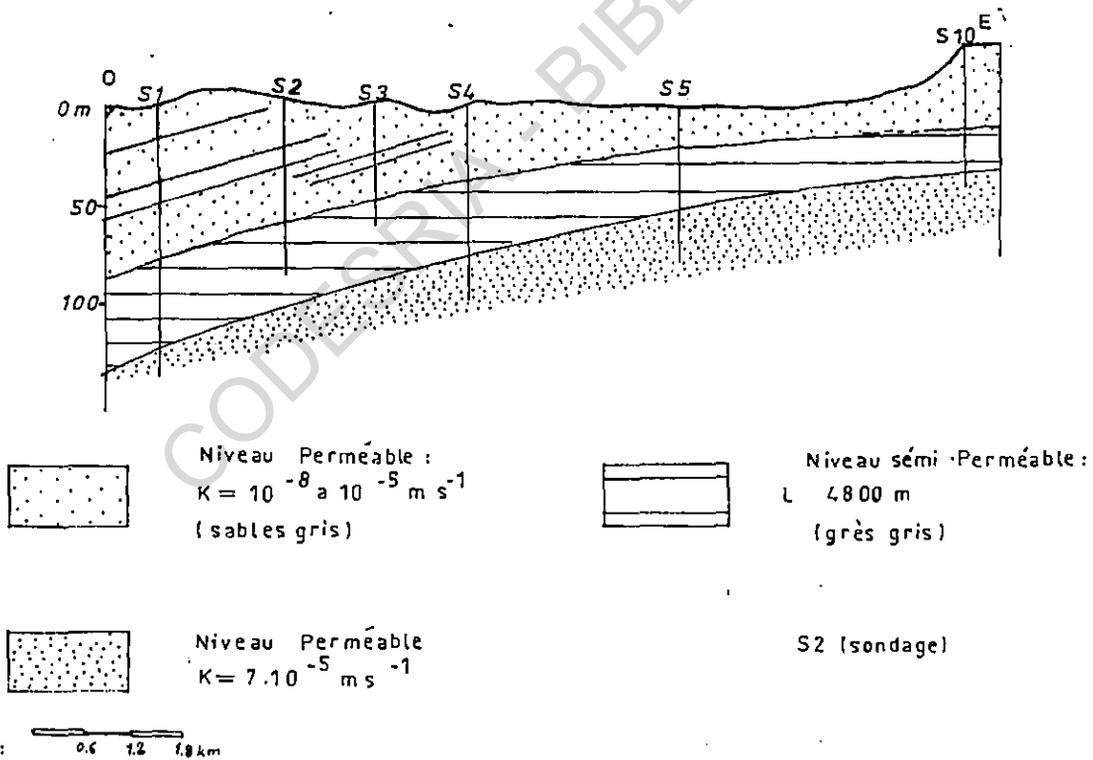
#### 2.1.1 AQUIFERE A NAPPE LIBRE SUPERFICIELLE DANS LA REGION DE POINTE-NOIRE

La limite supérieure de la nappe est constituée par la surface piézométrique (nappe libre). Le substratum est formé par un matériau composite de la série argilo-gréseuse rougeâtre.

La nature très variable des sédiments sablo-argileux qui constituent les niveaux aquifères (Figures 4.2 et 4.3) laisse plutôt penser à une juxtaposition de nappes très localisées.



**Fig. 4.2 : Coupe du port de Pointe Noire (GIRESE, 1971) complétée par MOUKOLO (1992a)**



**Fig. 4.3 : Coupe de la ville de Pointe Noire (Service des Mines) (complétée par MOUKOLO, 1992a)**

Il est possible que certaines soient captives sous des dépôts à forte composante argileuse. L'épaisseur de l'aquifère est de ce fait très variable, aussi bien au niveau très local qu'à l'échelle régionale. Toutefois, le comportement général est celui d'une nappe libre. L'exploitation de cette nappe pourrait être limitée par les intrusions d'eaux saumâtres. En effet, La carte des résistivités apparentes (Figure 4.4) montre une zone de faible résistivité près de la côte. On peut l'interpréter comme des sédiments contenant de l'eau saumâtre. Un suivi de la conductivité de l'eau de la nappe, en particulier dans la zone de contamination supposée, permettrait de compléter les résultats de l'étude géo-électrique.

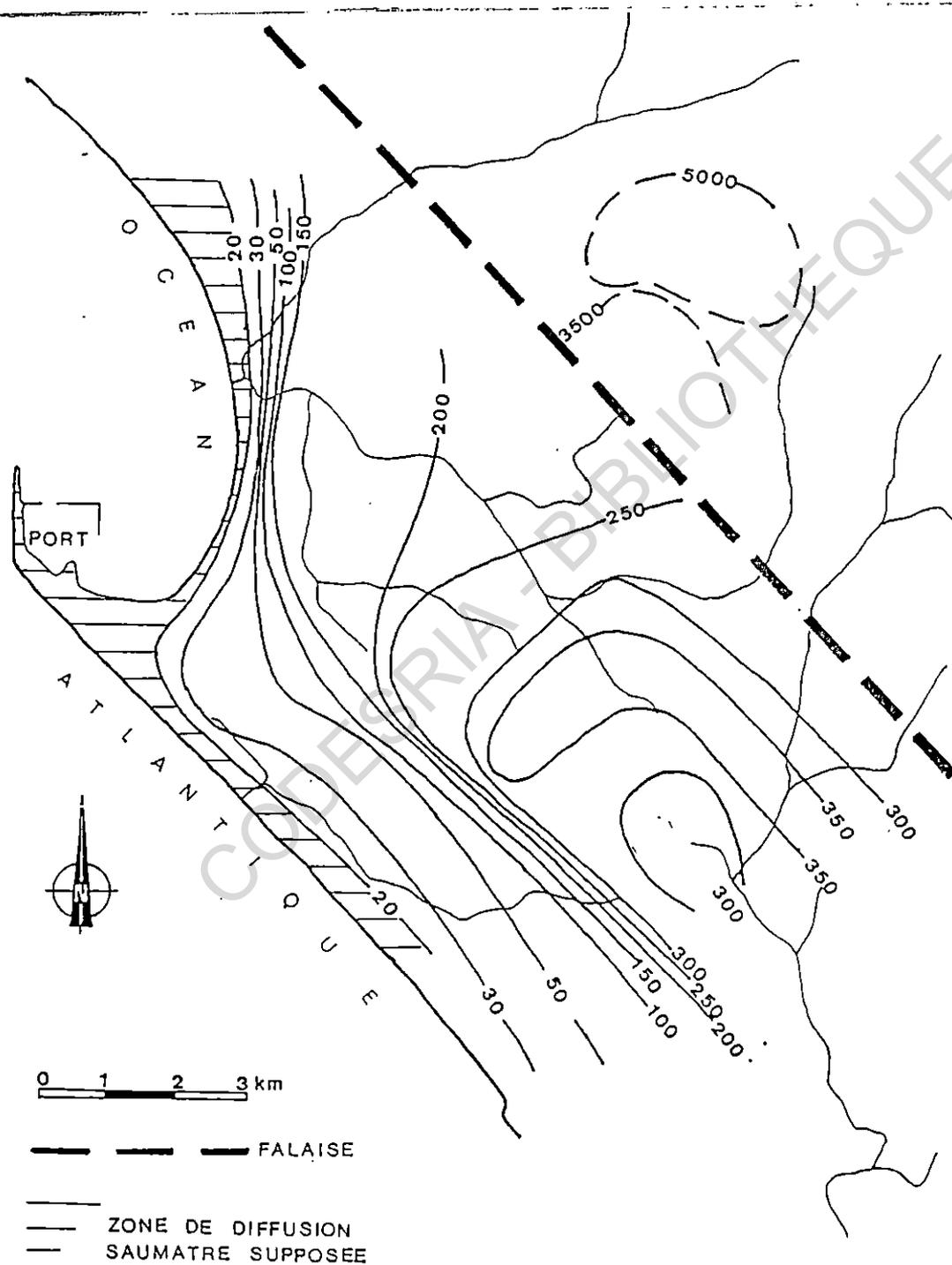


Fig. 4.4: Carte des résistivités apparentes à  $L/2 = 100$  m. (IWACO, 1982)

## 2.1.2. AQUIFERE A NAPPE SEMI CAPTIVE INFERIEURE DANS LA RÉGION DE POINTE NOIRE.

• La couche aquifère ne présente pas un profil régulier. Elle a été reconnue entre les isobathes -100 m et -150 m. dans les forages d'eau.(figure 4.5) L'épaisseur moyenne à Pointe Noire dépasse rarement 30 m. Les sables et les grès tendres aquifères sont pris en sandwich entre deux formations reconnues très peu perméables.

La nappe est artésienne et fait l'objet d'une exploitation. La production comptabilisée en 1981 était de  $2.10^6 \text{ m}^3$  sur 5 forages, soit un débit moyen de  $48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  par ouvrage.

Les études hydrogéologiques réalisées par l'Entreprise IWACO/BV en 1981 avaient abouti à l'évaluation des paramètres suivants :

$$\text{Transmissivité (T)} = 2.10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Coefficient de Darcy (K)} = 10^{-4} \text{ à } 1,5.10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Coefficient d'emmagasinement (S)} = 10^{-4} \text{ à } 2,5.10^{-5}$$

$$\text{Facteur de drainance (L)} = 4800 \text{ m}$$

En 1970, le Service Géologique d'Alsace et Lorraine avait trouvé :

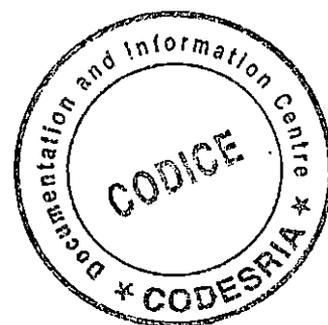
$$\text{Transmissivité} = 2.10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

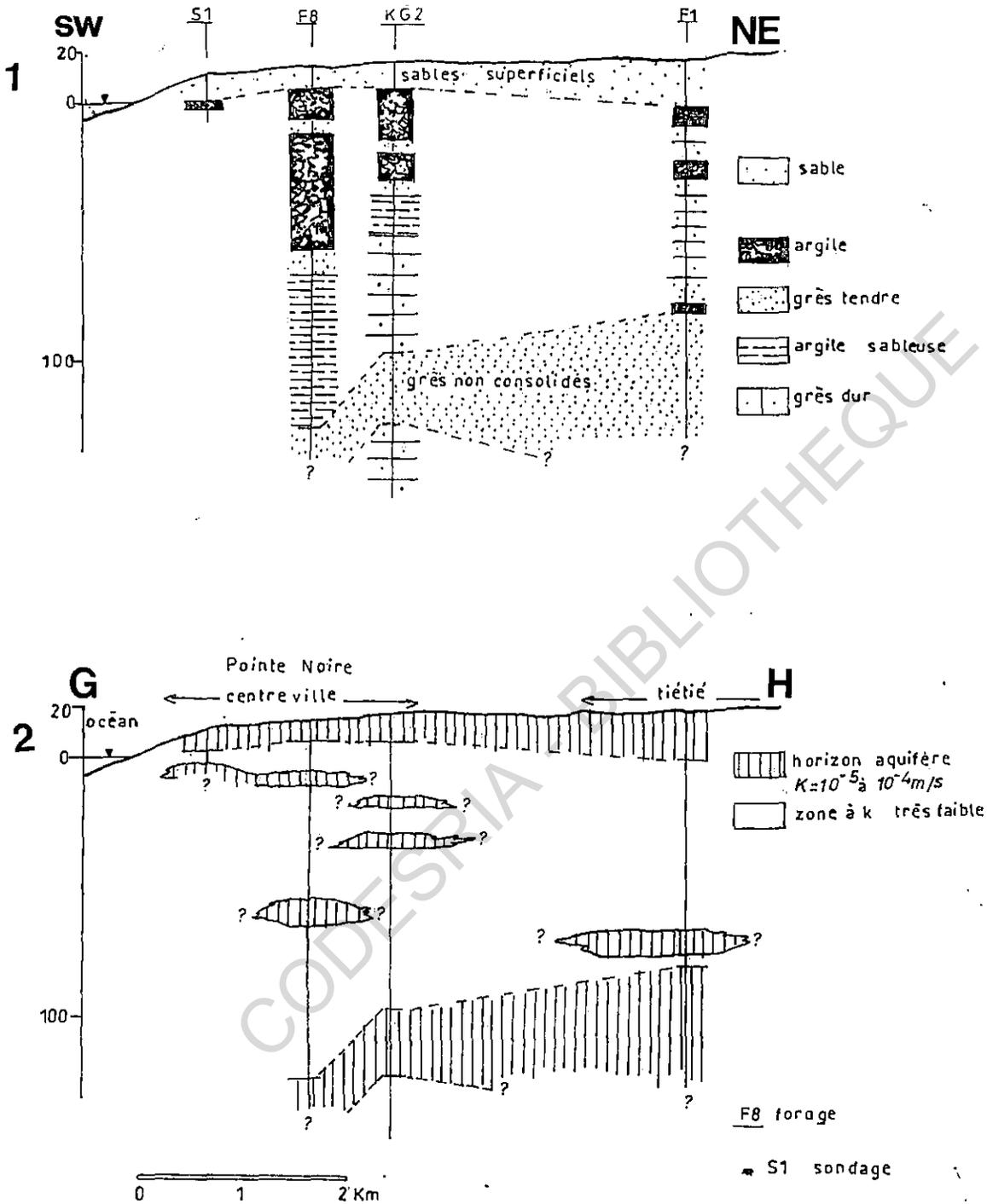
$$\text{Coefficient de Darcy} = 6.10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Coefficient d'emmagasinement} = 3.10^{-4}$$

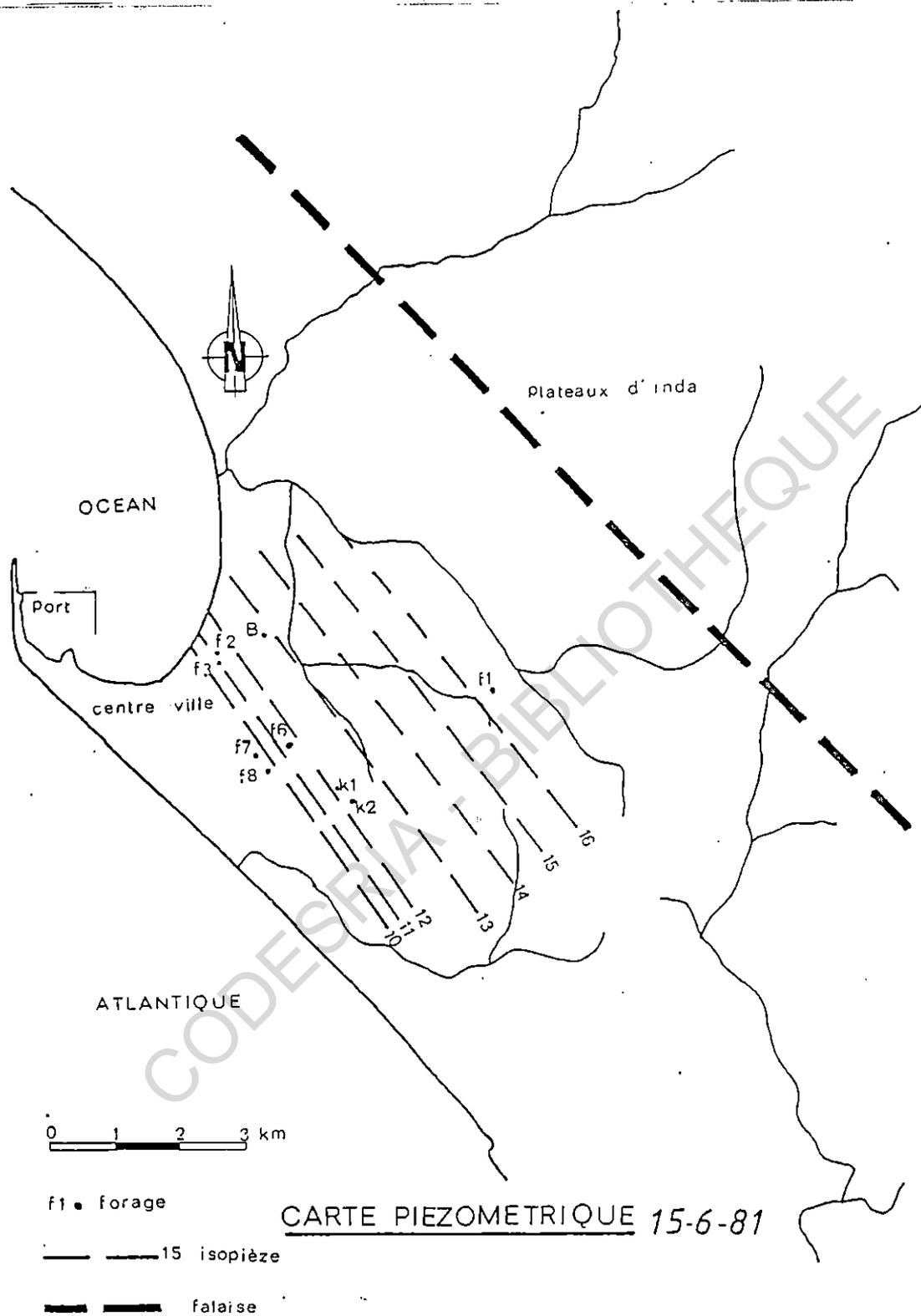
• L'alimentation directe se fait sur les Plateaux d'Inda. Elle doit être considérable du fait de l'importance des affleurements des sédiments perméables qui communiquent avec l'aquifère (Figures 4.1).

L'infiltration efficace moyenne dans la région est de l'ordre de 350 mm par an (MOUKOLO, 1984). Le facteur de drainance  $L = T \cdot D'/K'$  est assez élevé ( avec  $T$  = transmissivité de la couche sémi-captive ;  $D'$  = épaisseur de la couche sémi-perméable et  $K'$  = perméabilité de la couche sémi perméable). Cela indique une assez grande résistance à l'écoulement dans la couche semi-perméable. Toutefois, les phénomènes d'échanges avec la nappe libre superficielle sont envisageables. L'interprétation de la carte piézométrique (Figure 4.6) en Août 1981, avait abouti à un débit d'écoulement unitaire de  $6.10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  Ce qui correspond à un écoulement naturel de l'ordre de  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  pour le front de la nappe étudiée soit 28 kilomètres.





**Figure 4.5 : Corrélations géologiques entre forages d'eau (1) et interprétation hydrogéologique (2) (MOUKOLO, 1984)**



**Fig. 4.6 : Esquisse piézométrique de la nappe profonde  
(IWACO B.V., 1982)**

• L'eau de la nappe est très peu minéralisée. Cependant, elle fait apparaître des variations saisonnières de faciès chimiques. C'est ainsi qu'on a relevé un faciès bicarbonaté calcique en saison sèche (période de forte concentration minérale) devenant chloruré sodique pendant la saison des pluies (période de dilution). Les prélèvements réalisés à des époques différentes montrent des teneurs en sels minéraux dissous très variées. Il est probable que le faciès chloruré sodique soit à rattacher à la proximité de l'océan.

L'eau de la nappe profonde est légèrement plus chargée que celle de la nappe superficielle.

Cet enrichissement s'explique par un temps de séjour plus prolongé dans la formation aquifère. Le faciès chimique bicarbonaté calcique reste invariant quelle que soit la saison.

**Tableau 4.2 : Qualité de l'eau de la nappe profonde de Pointe Noire**

	F1	F2	F3	F7	Plasco	KG1	KG2
PH	6,7	7,3	7,4	7,7	7,8	7,7	7,8
Cond.	250,0	320,0	310,0	280,0	-	298,0	286,0
Temp.	29,0	30,0	31	28,5	31,5	29,0	29
Oxygène cédé par KMO4	5,1	10,9	2,5	6,3	-	-	-
Fer total	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	-
Ca <sup>++</sup>	1,6	2,2	2,1	1,8	1,8	1,9	1,8
Mg <sup>++</sup>	1,4	2,0	1,7	1,7	1,7	1,6	0,8
Na <sup>+</sup>	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace
K <sup>+</sup>	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3
<b>Cations</b>	3,25	4,45	4,05	3,85	3,7	3,7	2,9
Cl <sup>-</sup>	0,3	0,3	0,30	0,6	0,2	0,3	0,3
SO4 <sup>—</sup>	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
HCO3 <sup>-</sup>	2,7	3,8	3,4	3,3	3,1	3,4	3,2
<b>Anions</b>	3,2	4,2	3,9	4,1	3,4	3,8	3,6

**Remarque :** - oxygène et fer total en mg. l<sup>-1</sup>  
 - conductivité en micro siemens  
 - ions majeurs en mé. l<sup>-1</sup>

## 2.2 AQUIFERES DES TERRAINS CONTINENTAUX DE LA CUVETTE CONGOLAISE

L'étude stratigraphique laisse entrevoir une succession hydrogéologique d'ensemble assez simple où les aquifères non confinés (nappes libres) sont principalement constitués des alluvions quaternaires, de sables et grès tendres des séries Batéké et grès continentaux du Stanley-pool.

### - Terrains reconnus comme perméables

Plusieurs mesures de perméabilité (mesures au perméamètre et par pompage d'essai) ont été effectuées sur des sondages de recherche ou des ouvrages d'exploitation principalement dans la région de Brazzaville. Les coefficients de Darcy figurant sur les coupes (Fig.4.9) correspondent à une moyenne des valeurs obtenues. Ces valeurs sont comprises entre

$10^{-4} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  (alluvions anciennes du fleuve Congo) et  $10^{-7} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  (limons sableux du Ba2),

Les niveaux caillouteux alluviaux ( $k_{\text{moy}} = 10^{-4} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) sont très circonscrits. Leur épaisseur est très faible et très irrégulière (0,3 à .1 m). Ces dépôts n'ont que peu d'intérêt hydrogéologique.

Les grès tendres et les sables du Ba1 et du Stanley-Pool sont beaucoup plus étendus et ont une épaisseur importante pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres.

Malgré les coefficients de DARCY relativement faibles ( $k_{\text{moy}} = 10^{-5} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), Ces terrains constituent à notre avis les niveaux les plus intéressants du point de vue hydrogéologique.

### Les niveaux considérés comme très peu perméables:

#### - la fraction argileuse des grès et limons sableux

L'inventaire sur la fraction argileuse des grès effectués par MASSENGO (1986) montre une prédominance de kaolinite dans les grès polymorphes et les grès du Stanley-pool. Cette kaolinite est dispersée dans ces grès, mais forme aussi des lentilles dans les grès du SP. L'importance hydrogéologique de ces sédiments est liée à leur forte capacité de rétention.

#### - les Silicifications

Dans la région de Brazzaville, on observe des silicifications en calcédoine qui se développent dans les niveaux argileux kaoliniques des bas-fonds. Cette silicification se présente généralement sous forme de dalle discontinue, d'épaisseur très souvent inférieure à un mètre. Les grès calcédonieux qui se situent au dessus de la base du SP2 ont donné naissance à de nombreuses sources de contact.

#### - les argilites du SP1 et les terrains durs du socle

Les affleurements des roches dures du socles sont visibles dans la région de Brazzaville où l'on peut facilement observer leur comportement hydrogéologique. Aucune fracturation de nature tectonique n'est visible ou n'a été signalée dans la région, sinon des fentes de décompression qui disparaissent très vite en profondeur. Ces roches constituent la plupart du temps le fond des talwegs des rivières telles que le Djoué et déterminent de nombreuses sources de contact au Sud de Brazzaville.

Du fait de leur position régressive par rapport aux grès du SP2, les argilites du SP1 ne sont presque jamais visibles à l'affleurement, ou plutôt très localisées en bordure du fleuve Congo (village Vouama, source Nkélowatadi).

### 2.2.1. LA NAPPE SOUTERRAINE DE BRAZZAVILLE

Cette nappe fait partie de l'ensemble hydrogéologique des Plateaux Batéké (figure 4.7), véritable château d'eau d'où sont issus les grands cours d'eau du Congo et du Gabon (Djoué, Léfini, Niari, Ogooué, etc...). Les limites de la nappe sont définies par :

a) les conditions à potentiel constant que constituent :

- la rivière Djiri au nord
- la rivière Djouari à l'ouest
- le fleuve Congo à l'est;

b) la condition à flux variable le long de la rivière Djoué au sud.

La superficie de la zone est de 270 km<sup>2</sup>

- la limite supérieure de la nappe est constituée par sa surface piézométrique;
- le substratum est formé par les argilites du SP1 et les grès arkosiques de l'Inkisi
- les niveaux perméables sont constitués de sables fins, graviers et grès tendres.

L'épaisseur très variable des dépôts (figure 4.9) peut atteindre 100 mètres (secteur d'Itatolo). L'aquifère est par endroit interrompu par des lentilles d'argile ou de bancs de grès silicifiés donnant naissance à quelques sources de contact très localisées. Leurs débits sont très faibles (0,03 l.s<sup>-1</sup> à Nkélowatadi et 0,01 l.s<sup>-1</sup> à Zanga dia Bangombé).

Cette nappe alimente plusieurs rivières pérennes et de nombreux puits traditionnels la captent dans les banlieues de Brazzaville. Un forage profond (28m) a été réalisé récemment en vue d'approvisionner en eau potable un quartier périphérique dépourvu de système d'AEP. L'alimentation directe par la pluie se fait sur toute la surface de la nappe. Il faut également souligner l'évidence d'une intercommunication avec le reste de la formation hydrogéologique des Plateaux Batéké qui doit très probablement alimenter la nappe. Cependant, compte tenu de l'orientation générale des rivières dans la zone, les apports seraient dérisoires comparés à l'alimentation directe.

#### 2.2.1.1 EVALUATION DES RÉSERVES DE LA NAPPE

la réserve d'eau souterraine (w) est évaluée par le traitement d'un couple de données :

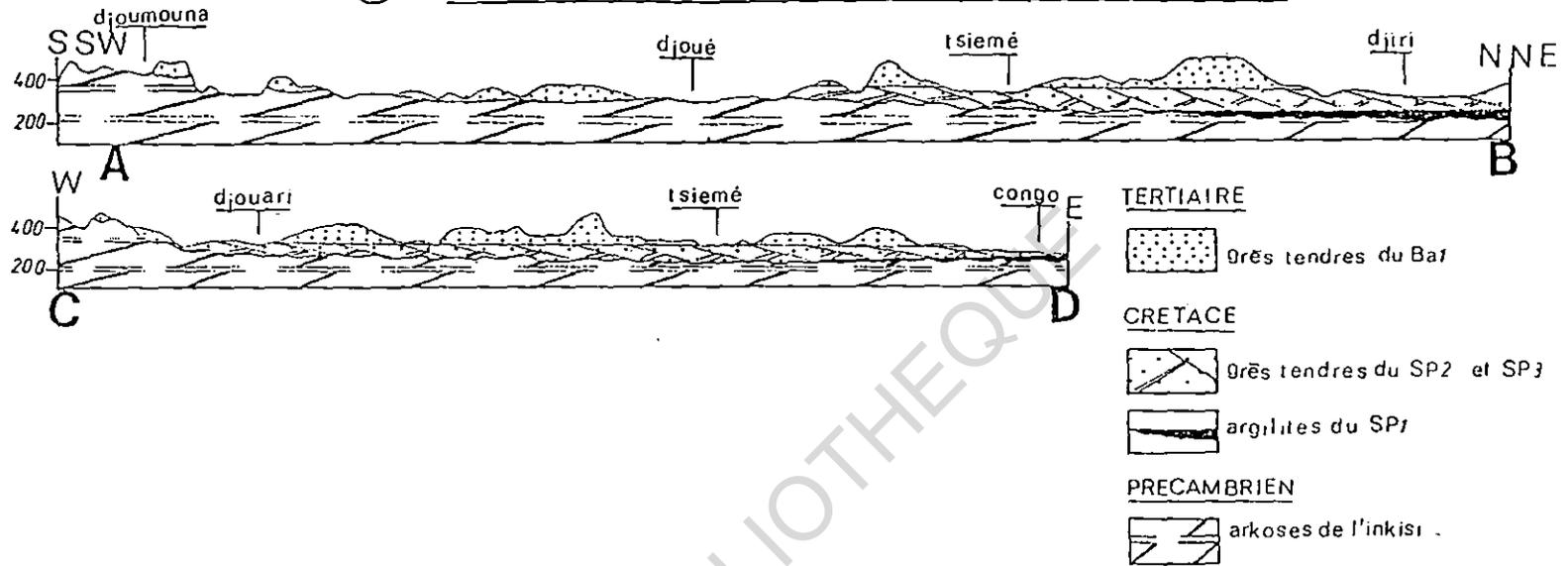
- le volume V de la tranche d'aquifère considérée (réservoir saturé). Elle est évaluée par le
- produit A(superficie de la nappe) et h (épaisseur de l'aquifère);
- la porosité efficace des aquifères à nappe libre (Me) ;

$$W = V \cdot Me$$

Le volume du réservoir saturé a été estimé en considérant l'épaisseur moyenne de la tranche aquifère. En prenant une épaisseur moyenne de 40 mètres et une hauteur moyenne annuelle de fluctuation de 4 mètres, la porosité efficace étant égale à 10 %; on aboutit aux valeurs suivantes :

- réserve totale = 1 100 millions de m<sup>3</sup>;
- réserve régulatrice = 110 millions de m<sup>3</sup> ;
- réserve permanente = 990 millions de m<sup>3</sup> ;
- taux de renouvellement = 10 à 12 %

(A) COUPE GEOLOGIQUE DE SYNTHÈSE DE B-VILLE



(B) INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE

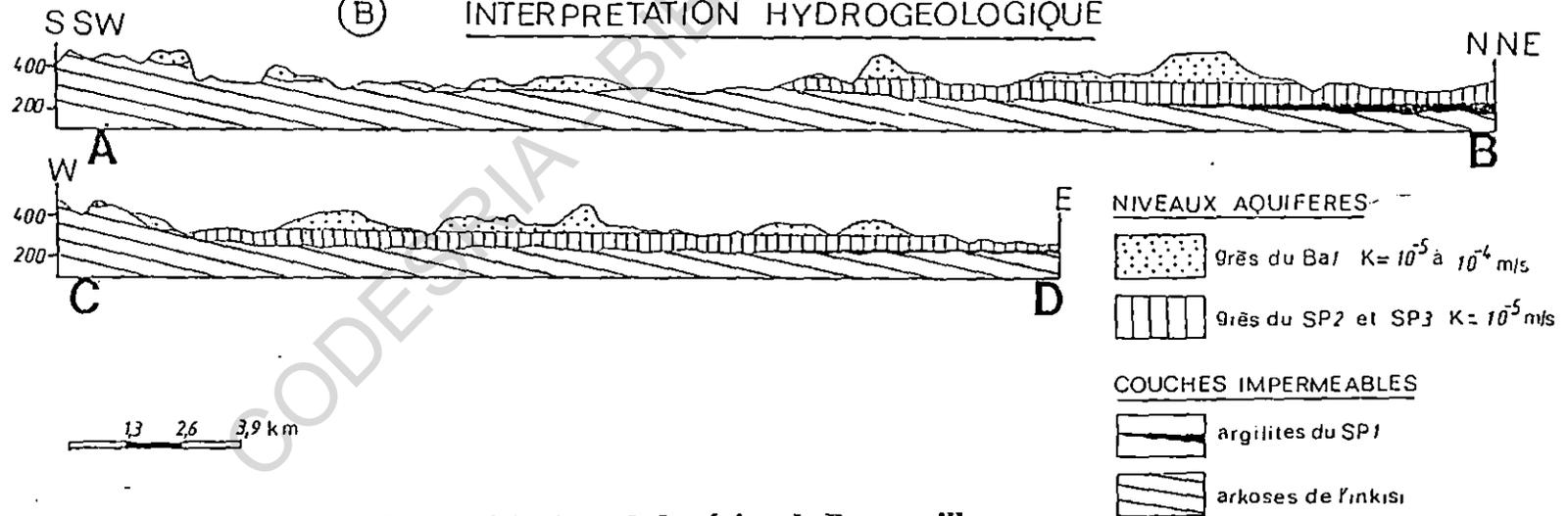


Figure 4.7 : Coupe géologique de la région de Brazzaville et interprétation hydrogéologique (MOUKOLO, 1984)

Le taux de renouvellement voisin de 0,1 indique que la nappe a une réserve importante avec une fonction régulatrice optimale. Ceci est confirmé par le régime très régulier des cours d'eau qui la drainent.

### **2.2.1.2 ECOULEMENT DE LA NAPPE**

Une esquisse piézométrique de la nappe a été réalisée pendant la saison sèche 1998 (figure 4.8). L'examen de la carte montre un écoulement de type radial convergent influencé par les cours d'eau qui drainent la nappe.

Par ailleurs nous avons appliqué la relation de Darcy afin d'évaluer le débit d'écoulement souterrain :

$$Q = K \cdot H \cdot I \cdot L \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} Q = \text{débit d'écoulement en m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \\ K = \text{coefficient de Darcy en m.s}^{-1} \\ H = \text{épaisseur de la nappe en m} \\ I = \text{gradient hydraulique} \\ L = \text{longueur du front de la nappe} \end{array}$$

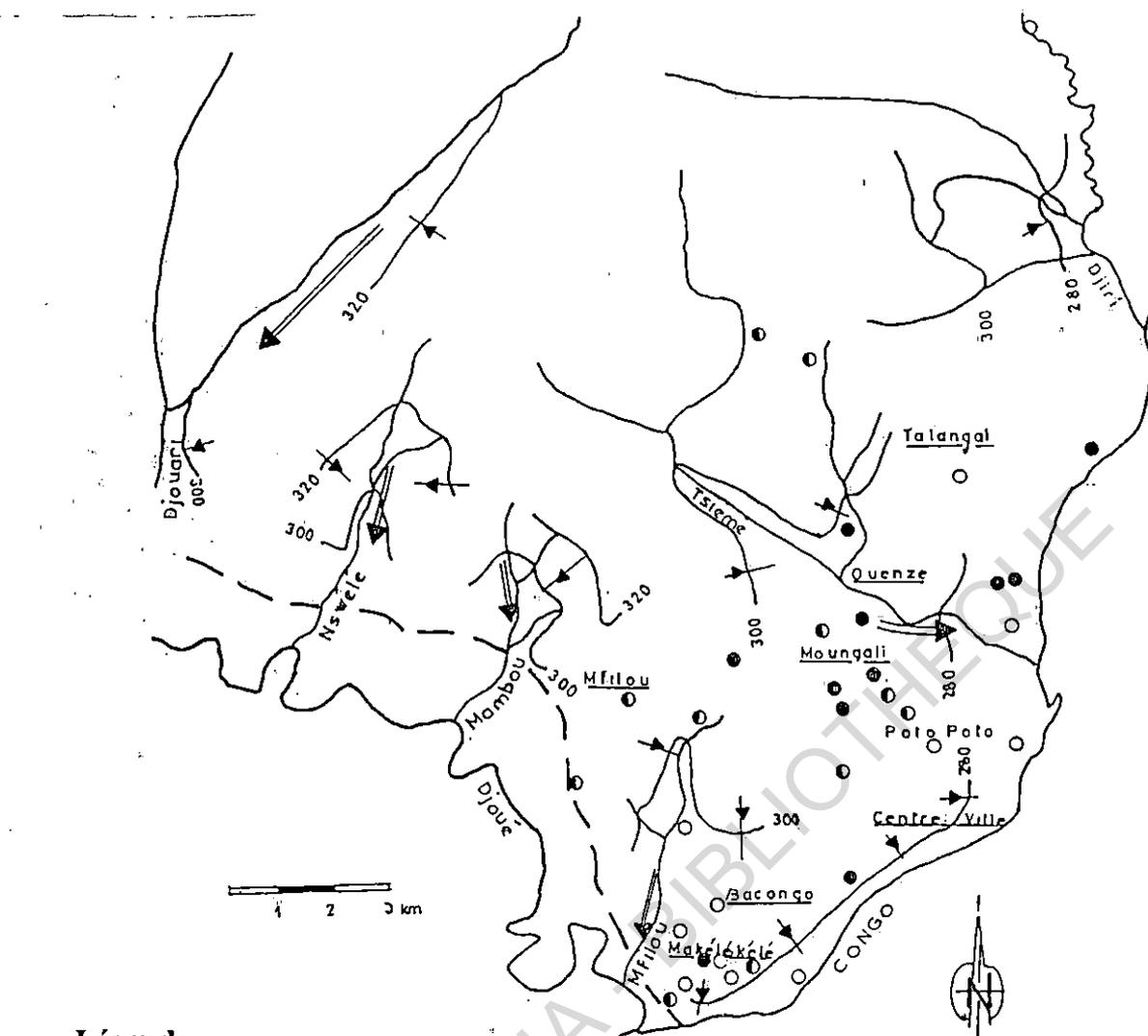
Nous avons abouti à  $Q_{\text{souterrain}} = 0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

En comptabilisant les débits des cours d'eau issus de la nappe, on aboutit à un écoulement total de  $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . La variation des débits étant très faible ( $K3 = 1,1$  pour toutes les rivières batéké), on peut estimer l'écoulement moyen annuel à 110 millions de mètres cube.

### **2.2.1.3. QUALITÉ DE L'EAU DE LA NAPPE DE BRAZZAVILLE**

Au total, ce sont 6.815 dosages chimiques qui ont été réalisés. Les prélèvements ont été effectués à des périodes très contrastées de l'année (saison sèche et saison des pluies).

Les résultats sont groupés dans le tableau synthétique 4.3. Dans ce tableau ne figure que les concentrations maximales relevées pendant toute la période de l'étude. Il en ressort que les teneurs en éléments dissous sont relativement faibles. Notamment, la concentration des nitrates est restée toujours en dessous de  $7 \text{ mg.l}^{-1}$ . Cette faible minéralisation s'explique par le lessivage très prononcé des sols, caractéristique du régime pluviométrique de la zone équatoriale humide.



Légende :

300 Isopièze à +/- 1m.

Axe de drainage

• point d'eau

Direction de l'écoulement

Limite à flux variable

Limites à potentiel imposé avec :

• potentiel variable le long des cours d'eau à pente non négligeable.

• potentiel pratiquement constant dans le temps le long des cours d'eau perennes à pente non négligeable

Figure 4.8 : Esquisse piézométrique de la nappe de Brazzaville (étiage d'août 1998)

**Tableau 4.3 : Tableau synthétique des résultats de mesures physico-chimiques et dosages chimiques (concentrations maximales enregistrées pendant la période de l'étude).**

Points d'eau	Mesures Physiques			ANALYSES CHIMIQUES								
	pH	T°c	RHx 10 <sup>3</sup> Ohm.Cm	O <sub>2</sub> mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l	Fer mg/l	TH mé/l	TAC mé/l	Cl mé/l	SO <sub>4</sub> mé/l	NO <sub>3</sub> mg/l
Puits N°1	4,0	28	6,87	7	40			0,36	0,710	0,025	trace	<7
Puits N°2	3,5	28	6,19	8	45			0,48	0,071	0,025	trace	<7
Puits N°3	4,5	29	271,00	2	50			136,00	0,089	0,028	trace	<7
Source Zangadia												
Bangombé N°4	4,0	29	27,00	7	30		0,03	0,66	0,089	0,025	trace	<7
Puits N°5	4,1	28	3,40	5	75			0,84	0,089	0,025	trace	<7
Source DIATA	5,4	28	21,00	7	40		0,03	0,42	0,710	0,017	trace	<7
Source Nzélélé	3,4	28	4,96	7	35			0,40	0,710	0,025	trace	<7
Puits N°8	6,1	29	0,90	3	190			6,96	6,610	0,027	trace	<7
Puits N°9	5,5	29	0,56	2				6,96	6,610		trace	<7
Puits N°10	5,0	27	1,88	2,5				0,92	0,110		trace	<7
Puits N°11	4,2	29	2,02	4	55			0,33	0,120	0,025	trace	<7
Forage Tour	6,7	28	2,10	0				1,60	2,500		trace	<7
Puits N°13	3,6	28	1,42	3	80			0,96	0,110	0,027	trace	<7
Source Mouanga	3,3	28	1,40	5				0,18	0,089	0,015	trace	<7
Puits N°15	6,0	30	18,90	5	15			0,32	1,960	0,006	trace	<7
Puits N°16	4,0	28	0,091	4	75			24,00	0,071	0,031	trace	<7
Puits N°17	3,8	28	1,21	2	110			1,60	0,071	0,028	trace	<7
Puits N°18	7,0	27	1,56	3				2,04	5,540	0,028	trace	<7
Puits N°19	6,0	29	1,44	3	90			3,32	1,250	0,028	trace	<7
Puits N°20	6,0	27	1,47	2				1,12	0,890		trace	<7
Puits N°21	4,2	27	18,85	5	70			0,32	0,071	0,014	trace	<7
Source												
Nkélowatadi	3,6	30	4,20	9	30			0,80	0,890	0,027	trace	<7
Puits N°23	5,4	29	1,70	4	190			12,40	4,640	0,027	trace	<7
Puits N°24	3,7	29	13,33	6	50			1,00	0,110	0,017	trace	<7
Puits N°25	6,5	29,2	6,93	1				64,00	1,610		trace	<7
Puits N°26	6,7	27	0,78	0,5				23,00	6,970		trace	<7
Puits N°27	6,0	29	4,09	9	40			8,60	2,140	0,025	trace	<7
Puits N°28	4,0	28	0,86	3	70			16,00	0,071	0,031	trace	<7
Rivière												
Ngamakosso	4,9	26	76,70	8	10			0,40	0,110	0,009	trace	<7
Puits N°30	5,7	29	5,05	3	120	Trace		8,80	1,970	0,023	trace	<7
Source Montagne	4,3	29	44,17	7	25				0,180	0,013	trace	<7
Puits N°32	3,7	29	56,69	7	30			0,12	0,071	0,006	trace	<7
Source DH1	3,6	29	12,84	6	30			0,88	0,054	0,014	trace	<7
Puits N°34	4,2	28	3,04	4	20			0,24	0,089	0,028	trace	<7
Puits N°35	4,2	30		6	45			0,16	0,071	0,010	trace	<7
Puits N°36	6,9	28	0,81	5	60			5,68	5,360	0,028	trace	<7
Puits N°37	4,6	29	4,96	6	20			0,44	0,110	0,027	trace	<7

## 2.2.2. COMPLEXE HYDROGÉOLOGIQUE DES PLATEAUX BATÉKÉ

On distingue trois entités hydrogéologiques sur les plateaux Batéké :

- une nappe générale profonde contenue dans les sables et grès polymorphes du Ba1 et du Stanley-pool. Cette nappe est drainée par des rivières aux débits puissants et réguliers ;
- assez exceptionnellement à flanc de falaise, sortent de petites sources dénotant l'existence de petites nappes perchées ;
- enfin, en surface des plateaux, mais aussi au fond des vallées sèches dans la zone des collines, existent des mares, zones plus ou moins marécageuses, assez rarement à surface d'eau libre.

### 2.2.2.1. LA NAPPE GÉNÉRALE PROFONDE DES PLATEAUX BATÉKÉ

#### 2.2.2.1.1 *Caractéristiques de l'aquifère : le forage de Tchoumou (fig. 4.9)*

Cet ouvrage a été réalisé en 1960 par la SASIF au Rotary, procédé ne permettant pas d'établir une coupe détaillée des terrains. Le rapport donne les indications suivantes :

- 0 - 38 m argiles sableuses ;
- 38 - 96 m sable plus ou moins aggloméré ;
- 96 - 115 m perte totale de boue - cimentations successives ;
- 115 - 152 m sable aggloméré légèrement argileux ;
- 152 - 157 m argile sableuse ;
- 157 - 166 m perte totale de boue ;
- 166 - 190 m sable argileux ;
- 190 - 205 m argile sableuse ;
- 205 - 280 m sable très fin légèrement argileux ;
- 280 - 303 m sable tendre non aggloméré.

Les zones situées entre 96m et 115m et entre 157m et 166m, où l'on a enregistré des pertes totales de boue et qui ont nécessité des cimentations successives pourraient correspondre aux grès polymorphes fissurés et diaclasés.

Le niveau statique sur ce forage s'est établi à 250 m de profondeur. Un essai d'absorption fut effectué entre 294 et 300 m de profondeur. Le débit d'absorption fut de  $250 \text{ l.h}^{-1}.\text{m}^{-1}$  de surcharge, ce qui correspondrait pour 6 m de formation testée à une transmissivité de l'ordre de  $6.10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  ou une perméabilité de l'ordre de  $10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$  pour 6 m de formation testée.

#### 2.2.2.1.2 *Surface piézométrique (fig. 4.10)*

Les données piézométriques obtenues par forage situent la surface de la nappe aux différentes côtes suivantes :

- 550 m d'altitude dans le forage de Tchoumou (Plateau Koukouya ;
- 283,56 m d'altitude dans le forage de Djiri (Plateau de Mbé) ;
- 590 m d'altitude dans le forage d'Odziba (Plateau de Mbé) ;
- 284,79 m d'altitude dans le forage de Kintélé (Plateau de Mbé).

A partir de ces données, et compte tenu des niveaux des émergences de la nappe principale autour du plateau Koukouya, on constate que la pente moyenne de la nappe est de l'ordre de 5/1000.

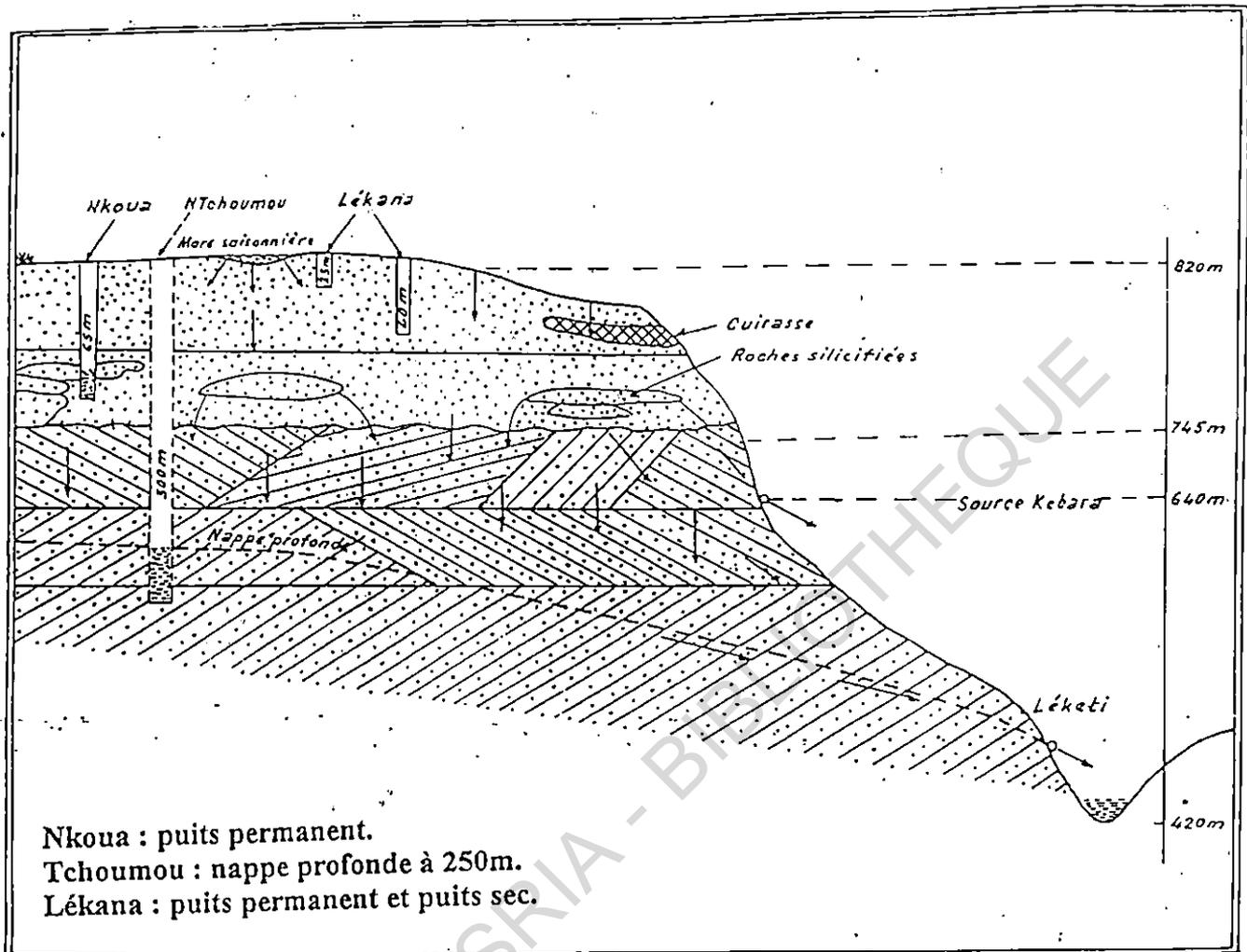


Figure. 4.9 : Coupe schématique montrant le comportement des eaux souterraines du plateau Koukouya (LE MARECHAL, 1966)

### 2.2.2.1.3. Alimentation de la nappe

Les exutoires de cette nappe ne sont pas des sources bien localisées, mais des zones de suintement soit le long des cours d'eau, soit en tête des cours d'eau dans des cirques. Les principales rivières issues des sables Batéké ont des débits spécifiques de l'ordre de  $30 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  pour des pluviométries moyennes sur leurs bassins versants de l'ordre de 1900 mm. Le débit de ces mêmes rivières est très régulier (coefficient d'irrégularité interannuel  $k_3 = 1,1$  à 1,4) et en l'absence de ruissellement notable, le transit se fait en quasi-totalité par la nappe contenue dans les sables et grès.

Le déficit d'écoulement (évapotranspiration) étant de l'ordre de 900 mm et assez peu variable dans toute la zone considérée, on peut admettre que dans les zones où il tombe 1400 mm d'eau par an, soit un débit spécifique de l'ordre de  $16 \text{ l. s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  correspondant à 500 mm d'écoulement moyen annuel.

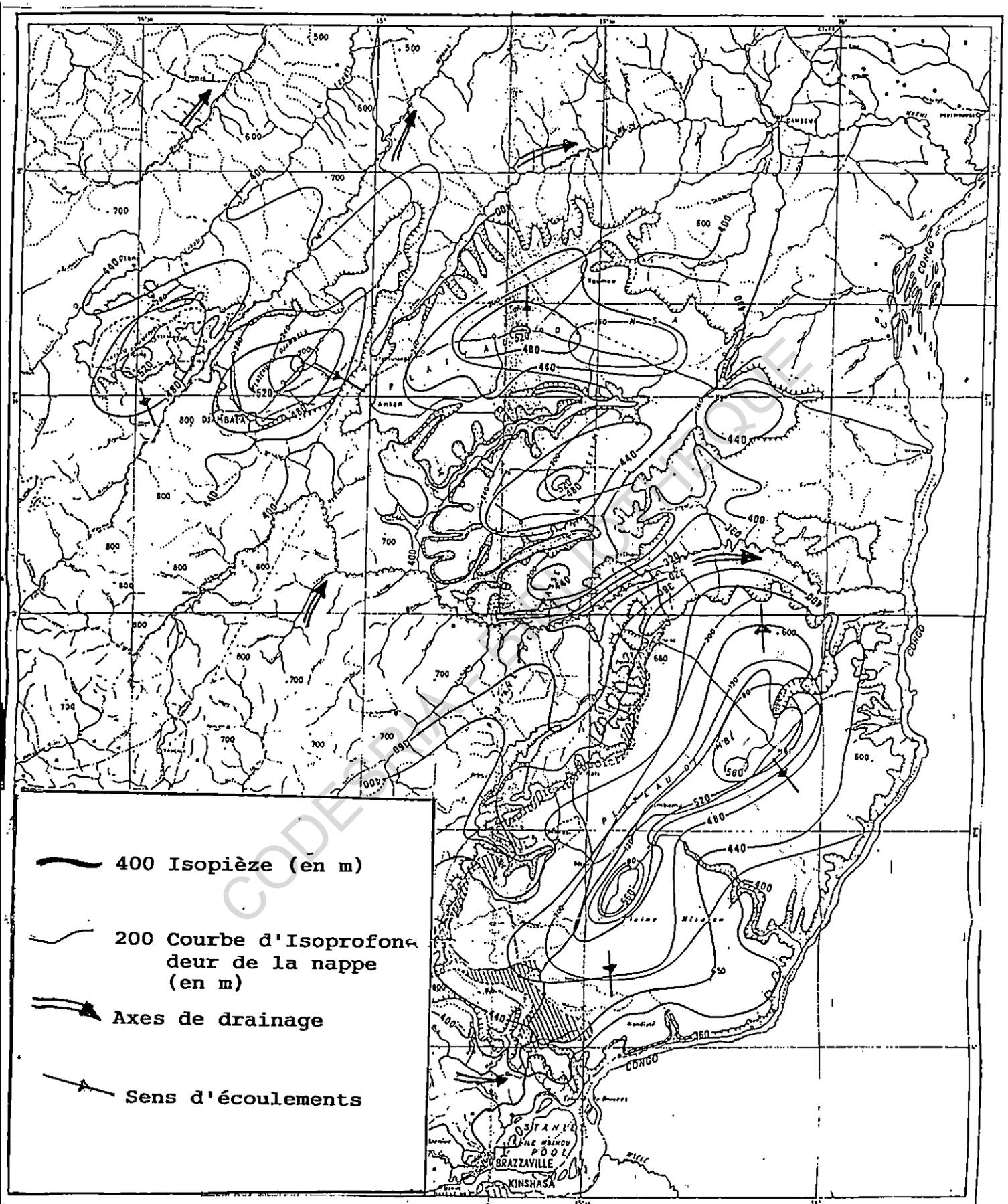


Figure. 4.10: Piézométrie et profondeur de la nappe sous les plateaux Batéké par LE MARECHAL (1966), complétée par MOUKOLO.

Le débit d'alimentation de la nappe doit donc être compris entre  $16 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$  dans les zones à pluviométrie de l'ordre de 1400 mm et  $30 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$  dans les zones à pluviométrie de l'ordre de 2000 mm.

### 2.2.2.2. LES PETITES NAPPES PERCHÉES

On a noté la présence de sources ou groupes de sources à flanc de falaise, au-dessous des plateaux. L'on peut mentionner par exemple les sources suivantes (tableau n°4.4) : source de Djambala ; source de Kébara; sources d'Impfouba.

Toutes ces sources sont liées à la présence de petites couches de kaolinite, retenant de petites nappes perchées qui affleurent au niveau du coteau. Les sources de Djambala et d'Impfouba se situent au niveau des sables et grès du Ba1 tandis que celles de Kébara sont situées dans les limons sableux du Ba2. Toutes ces sources sont liées à la présence de petites couches de kaolinite, retenant de petites nappes perchées qui affleurent au niveau du coteau. Les sources de Djambala et d'Impfouba se situent au niveau des sables et grès du Ba1 tandis que celles de Kébara sont situées dans les limons sableux du Ba2.

**Tableau 4.4 : caractéristiques des sources des nappes perchées**

Sources	Q en l.s <sup>-1</sup>	Dénivelés sous le plateau en m	Coordonnées géographiques de la source
Djambala	0,2 à 0,8	100	X = 472,5 Y = 9719 Djambala au 1/200 000
Kébara	0,1 à 0,2	50	X = 435,5 Y = 9729,5 Djambala au 1/200 000
Impfouba	0,07	80	X = 563 Y = 9632 Mbé au 1/200 000

Au-dessus du niveau des sources, on peut observer des phénomènes de ferruginisation et de cuirassement : les grès et sables sont encroûtés d'oxydes de fer pouvant former un véritable ciment ferrugineux. Ce phénomène pourrait s'expliquer par oxydation de fer contenu dans l'eau de la nappe perchée et dépôt au niveau des exutoires.

Un sondage de reconnaissance réalisé par la SASIF en 1961 sur le plateau à proximité de Kébara, en amont des sources, aurait confirmé l'existence d'une nappe en arrière des sources.

La coupe de ce forage est la suivante :

- 0 - 7,70 m terre argileuse ;
- 7,70 - 36,70 m sable argileux à petits passages gréseux ;
- 36,70 - 45,80 m grès tendres à traces d'argile et passage de sable ;

45,80 - 51,00 m sables avec rognons de grès tendre ;  
 51,00 - 55,00 m argile blanche.

La coupe ne mentionne pas de grès ferrugineux semblables à ceux affleurant au-dessus des sources. L'épaisseur d'argile sableuse blanche signalé dans la coupe en fin de forage et qui correspond à celle observée au niveau des sources, paraît très importante et on peut se demander dans quelle mesure l'ensemble de la couche est constitué d'argile, ou si une partie ne serait pas en fait constituée de grès ou de silts blancs.

### 2.2.2.3. LES MARES

Toutes les observations effectuées dans les mares ou à proximité des mares, à la tarière ou dans les puisards creusés par les habitants montrent l'existence d'un grès brun-noir à grain fin. Les grains de quartz sont liés par un ciment formé de matières humiques. L'origine de ces roches de formation récente est diverse :

- tantôt elles représentent des fonds de cuvette dont la végétation a été recouverte par des apports de sable ;
- dans d'autres cas, elles résultent de la consolidation sur place et à une certaine profondeur par un ciment déposé par les eaux d'infiltrations superficielles. Ces eaux étant chargées de matières humiques, auxquelles peuvent se joindre des sels de fer. Ces grès humiques se rapprochent ainsi par leur origine de l'aliôs des Landes et de la région parisienne.

Ces roches seraient ainsi à l'origine de petites nappes perchées de faible profondeur qui sont dans le fond analogues à celles mentionnées dans le paragraphe D2..

L'exploitation de ce type de nappes est par endroit possible à une certaine distance des mares. Un essai de détermination de caractéristiques hydrodynamiques de ces nappes a été fait à partir des données recueillies sur le site de la mare de GATSON. En effet, on sait d'après les données climatologiques que l'évaporation des trois mois de saison sèche est en moyenne de 250 mm soit environ 2,5 mm par jour.

La mare de GATSON a une superficie de 17 hectares. Elle évapore donc en saison sèche 425 m<sup>3</sup> par jour soit 5 l.s<sup>-1</sup>. On peut essayer d'estimer un ordre de grandeur de la transmissivité de la nappe qui alimente la mare par la formule :

$$Q = 2 Ts / 2,3 \text{ Log } R/Re$$

avec :

Q = débit évaporé par la mare : 5.10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

T = transmissivité (m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>)

s = rabattement : 12 m

R = distance du puits au centre de la mare : 2 000 m

Re = rayon de la mare : 230 m

On trouve T = 1,4.10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>

Si la hauteur mouillée est de 12 m, ceci correspond à une perméabilité de l'ordre de 10<sup>-5</sup> m.s<sup>-1</sup>

**2.2.2.4. CHIMIE DES EAUX (TABLEAUX 4.5 et 4.20)**

Les eaux issues des sables Batéké (sables siliceux extrêmement pauvres en matières solubles) sont remarquables par leur minéralisation très réduite (résidus secs de l'ordre de 30 mg.l<sup>-1</sup>, résistivité de plus de 100.000 Ohm-centimètre). En raison de leur pH acide, leur captage nécessiterait l'emploi de matériaux inoxydables et leur distribution dans un réseau public, un traitement d'équilibrage.

**Tableau 4.5 : Composition chimique des eaux**  
(extrait du rapport CIEH – BURGEAP, 1969)

	pH	Cl- mg.l <sup>-1</sup>	TH °F	TA °F	TAC °F	CO2 Libre mg.l <sup>-1</sup>	CO2 agressif mg.l <sup>-1</sup>	Oxydabilité permanente Mg/O2
Rivière Ndzili (Djambala) nappe profonde	6	-	1	0	1	2,6	17,6	8
Source d'Onianva, source perchée	5,5	3	1	0	0,25	30	28	-
Mare d'Impé	6	10	1	0	0,25	-	12	37
Rivière de Pou-manko (nappe profonde)	6	5	0,5	0	0,5	10	11	1
Mare de Pourmanko	6	3,5	1	0	2	-	-	6,5
Mare d'Inkoubi	5,5	5	3	0	0,5	-	13	4,2
Rivière Gamboma	6	7	0,25		0,5	-	8,8	-
Source Yala À Leconi	5,5	3,5	0,5	0	0,25	4	34	-
Source Yala Laboratoire ville de Paris dans Le rapport (R 145 de BURGEAP1974	Résistivité = 90 000 ohms résidu sec = 3 mg.l <sup>-1</sup>		0,5	Ca : 0,6 mg.l <sup>-1</sup> Na : 01 K : 0,1 Mn : 0,02 Mg : 0,05				

### 3. LES AQUIFERES DISCONTINUS

#### 3.1 AQUIFERES DU SEDIMENTAIRE ANCIEN (PRECAMBRIEN MOYEN ET SUPERIEUR)

Il s'agit comme les a décrites Dadet (1969), de formations sédimentaires précambriennes représentées par des roches compactes et indurées dans lesquelles les circulations d'eau se font à travers les fissures. On rencontre :

- les aquifères du Schisto-Calcaires à dominante calcaire et dolomitique;
- les aquifères du Schisto-Gréseux essentiellement constitués de schistes argileux, de grès et d'arkoses.

##### 3.1.1 LES AQUIFÈRES CARBONATÉS FISSURÉS ET KARSTIQUES DE LA SÉRIE SCHISTO- CALCAIRE

Ces aquifères sont largement représentés dans la vallée du Niari (sud-ouest du Congo) où les affleurements Schisto-Calcaires occupent environ 22 900 km<sup>2</sup>. Les Géologues (COSSON, 1955 et DADET, 1969) qui ont étudié la région ont distingué trois ou cinq étages en se basant sur des critères lithologiques(cf. Paragraphe 4 du chapitre 1 de la première partie).

##### 3.1.1.1. ALTÉRATION ET KARSTIFICATION DU SCHISTO-CALCAIRE

Les dolomies du SCIII sont toujours fortement fissurées. Cette particularité pourrait résulter de l'hétérogénéité de ces formations qui sont constituées d'une succession de bancs qui n'ont pu se plisser de la même façon. Ceci se traduit par le plissement de certains bancs et l'existence de zones de glissements marquées par le développement de talc. Le morcellement de la roche favorise donc la pénétration de l'eau qui est toujours présente au-dessous d'une certaine profondeur, bien que les anciennes fissures soient colmatées par de la calcite. Les forages exécutés pour l'étude du barrage de la Loudima n'ont pas recoupé de grosses cavités ou fissures karstiques.

Il semblerait donc si l'on s'en tient à ces données, que le SCIII ne soit pas soumis à un intense phénomène de dissolution. Ceci est surtout valable pour le niveau essentiellement dolomitique. Mais les niveaux de calcaire dolomitique ou de dolomie calcaire paraissent susceptibles de se transformer en roches poreuses par départ de calcaire ou même encore en des formations pulvérulentes qui sont alors très perméables, Il existe aussi des cas où la SCIII présente des indices de karstification ou au moins de dissolution importante ; ce qui se traduit soit par la présence de dolines comme c'est le cas dans la plaine au sud d'Aubeville, soit par des pertes d'une rivière comme la Loamba qui disparaît entièrement dans une cavité du SCIII pour réapparaître d'ailleurs plus loin, mettant en évidence les phénomènes de karstification dans ces formations. Les argilites du SCIII semblent peu susceptibles d'altération sinon en surface où elles se délitent. Elles devraient donc normalement constituer des écrans peu perméables. Ceci se produit effectivement en de nombreux points, par exemple sur les flancs du mont Kinoumbou, où apparaissent de nombreuses sources à ces niveaux.

Le SCII semble susceptible d'évoluer différemment suivant les secteurs. En ce qui concerne la zone sous-jacente à la plaine du Niari, les résultats des forages, la présence de grosses sources, l'extrême fréquence des dolines montrent que le calcaire est dans ce secteur le siège d'une intense dissolution karstique. Si le système karstique à l'air continue sous la plaine, on ne sait rien de son extension en profondeur, ni de sa prolongation éventuelle vers le sud, au-dessous du SCII.

Les résultats du forage SDA1 sembleraient montrer que la karstification existe sous les argilites de base du SCIII. D'après MOUKOLO (1992b), la karstification des calcaires pourrait être liée à la présence de la pyrite. On sait en effet que l'altération de la pyrite conduit à la formation de l'acide sulfurique qui réagit sur le calcaire pour donner le sulfate de calcium soluble. Or les eaux prélevées en ce point montrent qu'elles sont très chargées en sulfate. En dehors de la plaine du Niari, en particulier dans la vallée de Loudima et au sud de celle-ci, les dolines, dépressions fermées, avens et cavernes sont fréquents dans les régions correspondant au SCII, signe d'une intense dissolution des calcaires. On ne sait pas s'il existe un système karstique continu ou bien des systèmes karstiques locaux sans communication entre eux ou communiquant difficilement. Il semble en tout cas que les cavités et avens correspondent à des zones particulières où les failles et les fractures se rencontrent ou rencontrent des plans de stratification permettant la pénétration de l'eau.

En ce qui concerne le SCI, nous n'avons que peu de renseignements sur les niveaux moyens et inférieurs., la partie supérieure du SCI constituée par un calcaire très pur montre une aptitude très nette à la karstification. Celle-ci est surtout développée au nord du Niari. Au bord du Niari, on observe dans le SCI supérieur de nombreuses cavernes qui pourraient être dues plutôt au travail direct de la rivière. Ces cavernes ne semblent pas être en communication avec le système karstique de la plaine Niari. On ne sait pas si la karstification du SCI se prolonge sous le SCII vers le sud.

### 3.1.1.2 LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES AQUIFÈRES

Dans cette région, on peut distinguer deux systèmes aquifères principaux (Figure 4.11)

- le système aquifère des calcaires SCII ;
- le système aquifère SCIII et formations associées.

#### *3.1.1.2.1 Systèmes aquifères du SCII*

L'aquifère est constitué par la partie karstifiée du calcaire SCII. Sous le recouvrement, la surface d'altération des calcaires est sensiblement horizontale ou légèrement en pente descendante vers le nord, tandis qu'au contraire, les strates et donc sa limite inférieure ont un pendage sud. Ces deux limites convergeant, le SCII réduit progressivement son épaisseur en allant vers le nord et se termine finalement en biseau, immédiatement au sud du Niari. On peut considérer que l'aquifère est limité en profondeur, soit par l'extension de la karstification, soit par les niveaux d'argilites qui marquent la base du SCII, lorsque les calcaires sont essentiellement karstifiés. La limite supérieure de l'aquifère est constituée par le recouvrement argileux surmontant les calcaires, formation qui, étant donné son épaisseur, peut-être considérée comme étanche. Toit et mur forment deux plans qui, comme les limites du SCII se rejoignent en biseau vers le nord de telle sorte que l'aquifère est finalement coincé avant

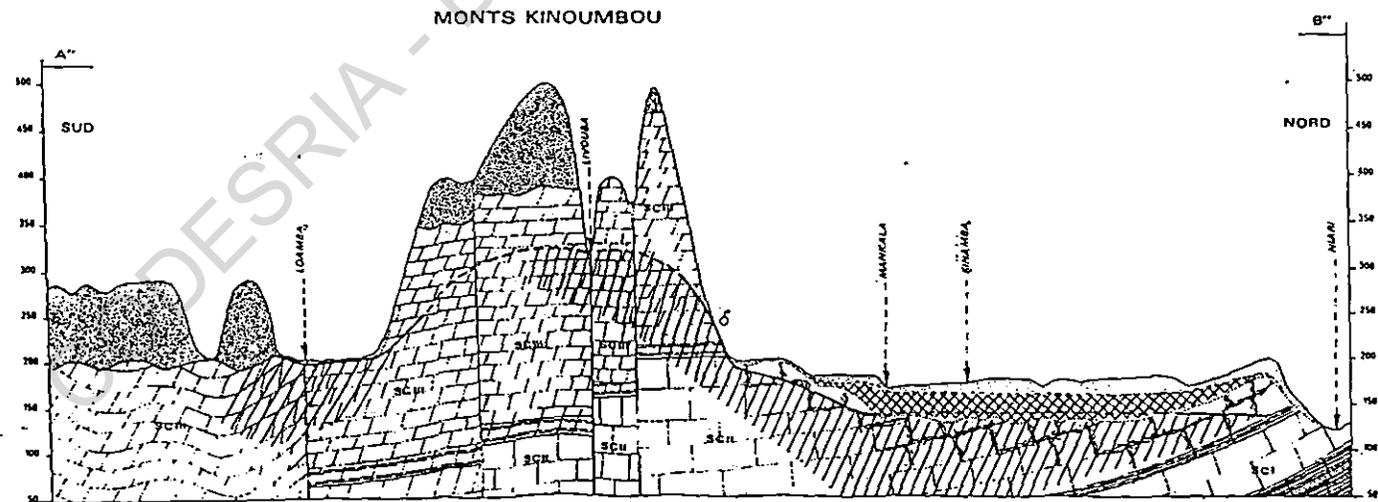
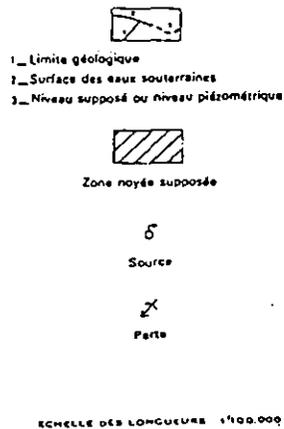
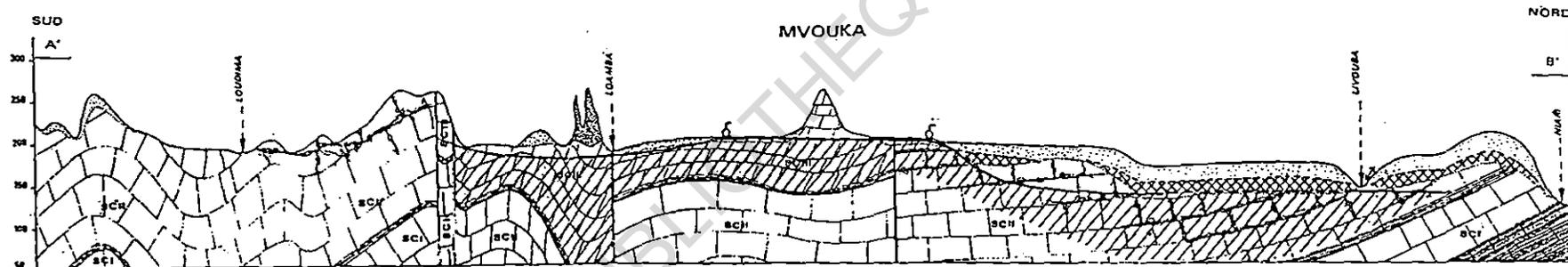
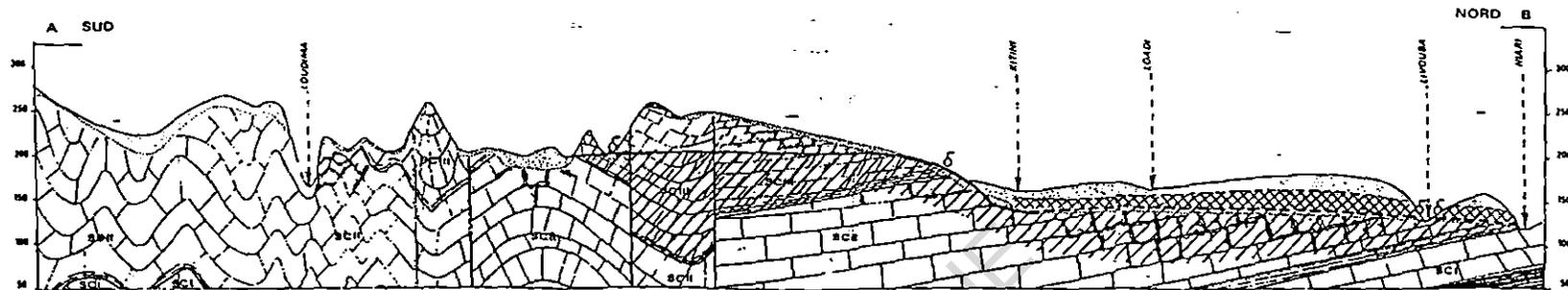
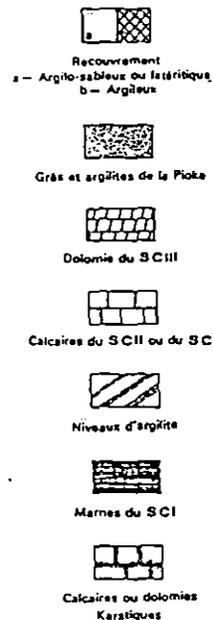


Figure. 4.11 : Fonctionnement des aquifères du Schisto-Calcaire (extrait du rapport FAO, 1967)

d'atteindre le Niari. De cette disposition il résulte que les écoulements doivent être difficiles vers le Niari. Ceci est confirmé par le fait que la nappe présente dans ce secteur une cote piézométrique nettement supérieure à la cote de l'eau dans le Niari (10 à 20 m) et que d'autre part, la nappe est plus ou moins en charge jusqu'à la surface du sol.

Les exutoires de la nappe qui se manifestent dans la basse Loudima et la basse Livouba s'expliquent par le fait que ces rivières se sont profondément enfoncées dans le recouvrement, ce qui leur a permis d'atteindre plus ou moins les calcaires dans les zones où ils sont aquifères et en charge. Lorsque le niveau piézométrique de la nappe est inférieur au niveau du plan d'eau de la rivière, il se produit une alimentation par celle-ci. Tel est le cas pour la Livouba en amont du pont de Dakar où il existe une zone de perte qui, pendant une bonne partie de l'année, absorbe tout le débit de la Livouba.

La pente de la nappe n'est pas constante : 1,15 m pour mille dans la partie s'écoulant vers Livouba par exemple et 0,8 m pour mille sous le plateau de Télémine vers la Loudima. Ces différences de pentes pourraient être liées à des différences de perméabilité de l'aquifère. Ce qui s'explique par exemple que la source de Malela débite  $1500 \text{ l.s}^{-1}$  alors que les émergences de la Livouba n'ont que  $750 \text{ l.s}^{-1}$ .

La profondeur de la surface piézométrique est assez variable d'un point à un autre. La profondeur moyenne étant de 40 m environ.

L'alimentation directe par les précipitations ne doit pas être importante du fait de l'épaisseur du recouvrement argileux (20 à 30 m). L'alimentation doit se faire par déversement souterrain d'autres aquifères, SCIII et aquifère intermédiaire existant dans la zone d'une part et d'autre part par l'infiltration du ruissellement temporaire et de l'écoulement de surface permanent.

### 3.1.1.2.2 *Système aquifère du SCIII*

Les caractéristiques principales de cet aquifère se résume ainsi :

- la pente de la nappe est en moyenne de 6 m pour mille ;
- la ligne de partage des eaux souterraines semble correspondre à celle des eaux de surface.

La profondeur de la nappe est modérée, ce qui explique le grand nombre de points d'émergence ;

- la surface de la nappe tend dans une certaine mesure à suivre sa surface topographique ;
- les écoulements de surface s'échappant de la nappe sont nombreux. Par contre l'importance de chacun est faible en dehors de la saison des pluies où s'ajoute au débit de la nappe le ruissellement de surface. C'est ainsi que la Livouba qui représente l'écoulement le plus important, est réduit à quelques dizaines de litres par seconde en saison sèche.

L'ensemble de ces caractéristiques montrent que la perméabilité du SCIII est plus faible que celle du SCII bien que ces formations présentent une capacité de rétention élevée.

La perméabilité du SCIII semblerait essentiellement due à un réseau de fissures fines et à des niveaux poreux, tandis que celle du SCII proviendrait des larges fissures karstiques. Toute fois les valeurs de transmissivité calculées à partir des essais de nappe (rapport FAO,1967) sont de l'ordre :

$$T = 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

en appliquant la formule de Darcy:

$$Q = TiL$$

où :  $Q$  = débit d'écoulement en  $m^3 \cdot s^{-1}$

$T$  = transmissivité en  $m^2 \cdot s^{-1} = 10^{-3} m^2 \cdot s^{-1}$

$i$  = pente de la nappe égale à 0,006 a été évaluée à partir des niveaux statiques de deux puits distants de 26 kilomètres dans le sens de l'écoulement de la nappe.

$L$  = longueur du front de la nappe.

On voit que le débit s'écoulant vers le Nord, sur une longueur  $L = 20$  kilomètres est  $120 l \cdot s^{-1}$

### ***3.1.11.2.3 Système aquifère de la partie supérieure du recouvrement dans la plaine du Niari***

Le recouvrement épais de la plaine du Niari n'est pas constituée uniquement d'argile. Toute sa partie supérieure (10 à 20 m) est constituée d'argile sableuse et de latérite, formations qui sont susceptibles d'être quelque peu perméables. L'existence de cette nappe est vérifiée en de nombreux points par les puits qui l'exploitent et par certaines sources et émergences. Aucun essai de débit ne permet actuellement de préciser les caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe. L'amplitude des fluctuations annuelles de la nappe est importante (4 à 8 m selon le rapport de la FAO, 1967).

### ***3.1.1.2.4 Système aquifère du SCI***

L'aquifère du SCI ne présenterait un intérêt que si le réseau de cavernes et de cavités que l'on observe en bordure du Niari se prolongeait au Sud de celui-ci sous la plaine, dans la zone où le SCI est recouvert par le SCII. Ce réseau karstique se trouverait là à une cote inférieure au Niari et serait constamment noyé. Cet aquifère pourrait alors fournir de très gros débits. Malheureusement on a aucune information sur l'existence d'une telle formation.

### **3.1.1.3 QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX**

Les eaux de provenance diverses (sources, puits, lacs, rivières...) présentent en commun deux caractères (cf. tableau n°4.6):

- le résidu sec est faible, il dépasse rarement  $350 mg \cdot l^{-1}$  c'est-à-dire que la minéralisation d'ensemble est faible ;
- la teneur en chlorure est toujours très faible.

On peut classer les eaux en deux catégories :

1°) - Les eaux ayant longuement circulé dans les calcaires ou dolomies (sources et puits forés) ;

- résidu sec de  $250$  à  $350 mg \cdot l^{-1}$

- minéralisation due essentiellement aux bicarbonates ;
- teneur en sulfates plus forte que celle en chlorures ;
- dureté assez élevée ;
- degré hydrotimétrique aux environs de  $30^\circ F$ .

- 2°) Les eaux de la nappe superficielle (eaux n'ayant pas circulé dans les calcaires) :
- résidu sec de 10 à 50 mg. l<sup>-1</sup> ;
  - minéralisation extrêmement faible ;
  - teneur en sulfates faible ou nulle et teneur en chlorures relativement plus élevée ;
  - degré hydrotimétrique faible de 1° à 5°F.

**Tableau 4.6 : composition chimique des eaux du schisto-calcaire.**  
(concentrations en mg.l<sup>-1</sup>)  
(extrait du rapport FAO, 1967)

Dénomination	Nature	PH	dH°	Résidu Sec	NO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Sds1	Sondage	7,58	75,0	1034	Néant	3,50	597,4	190,6	185,6	71,5	7,4	25,0
Sds2	Rivière	7,90	27,0	280	Néant	5,30	57,7	259,6	46,4	32,2	15,0	15,1
Rapide Loudima	Rivière	7,75	23,0	218	Néant	3,60	18,5	231,80	48,8	22,6	0,8	1,60
Niari à Kaye	Sondage	6,95	4,0	50	Néant	1,80	Traces	41,20	10,80	2,70	0,4	0,80
S1	Puits	7,75	28,0	280	Néant	2,60	39,0	268,40	59,60	30,80	4,75	3,65
PZ1/S2	Source	7,75	29,5	345	Néant	2,20	73,8	271,50	79,60	23,50	5,2	3,65
Ferme Louamba	Captage	7,50	27,5	251	Néant	1,80	6,0	308,60	50,80	32,40	2,65	1,85
Source Missongo	Rivière	7,65	22,5	240	Néant	2,2	26,6	222,60	56,80	17,00	3,25	2,35
Ferme Boulet	Captage	7,90	32,5	362	Néant	1,80	61,5	314,00	67,20	36,20	3,85	2,35
Rivière Loudima	Rivière	7,80	10,0	148	Néant	2,10	19,2	106,00	24,00	9,60	3,10	1,10
Sondage de Loudima m0112	Sondage	7,80	24,8	496	Néant	2,13	38,4	280,00	54,50	27,00	3,50	2,00
Source Malela	Source	7,70	30,4	372	Néant	2,13	24,0	372,00	73,60	28,80	2,70	2,20
Loudima N°1	Puits	7,60	28,0	318	Néant	0,90	44,2	286,70	74,80	26,0	2,70	2,30
Consort Legrand N°3	Puits	6,80	25,0	342	Traces	1,80	5,1	329,40	86,40	12,10	4,30	13,30
Bru Kioffi N°111	Puits	6,80	13,0	176	13,0	1,80	9,2	152,30	46,00	6,60	2,70	3,65
Lac Konzi	Lac	6,20	5,0	50	6,0	0,90	Traces	39,60	4,40	6,10	0,90	3,00
Yokangassi	Puits	6,00	5,0	72	Traces	1,80	Traces	38,50	9,20	5,60	1,60	1,85
Source Livouba	Source	7,20	29,0	304	12,0	1,80	28,8	298,9	72,80	23,80	1,20	2,33
Domaine St Gabriel	Puits	5,00	1,3	16	Traces	Traces	Traces	9,10	1,60	2,40	1,20	0,60
Source Madingou	Source	6,60	3,0	38	Traces	1,80	2,0	30,30	8,80	3,40	1,60	0,60
Ferme Ordennaise	Puits	6,80	12,0	144	Traces	0,90	Traces	138,60	41,20	8,20	1,20	1,80
Source n Nkenké	Source	7,30	26,0	290	Traces	2,70	33,0	253,15	65,60	21,60	1,65	3,00
Lac Nkénéké	Lac	6,10	4,0	26	Traces	0,90	Traces	24,40	2,80	3,10	0,90	1,30
Mandou	Lac	5,60	1,5	14	Traces	Traces	Traces	9,20	Traces	3,60	0,90	1,30
Le Briz-P	Puits	6,80	8,0	90	3,0	1,80	Traces	85,40	26,00	3,80	1,65	1,30
Loa Source	Source	7,30	27,0	280	Traces	1,80	20,6	271,45	70,00	19,90	2,10	3,60
Lac Kongo	Lac	6,00	3,5	34	1,0	0,90	Traces	21,35	1,60	5,05	0,90	2,30

### 3.1.2. AQUIFERES DES FORMATIONS SCHISTO-GRESEUSES

Les recherches d'eau dans ce type de formations sont peu nombreuses. L'étude structurale des bassins de Ouesso et de Sembé (Figure 1.11) fait allusion à l'existence d'une tectonique assante responsable de nombreuses déformations. L'existence d'une telle tectonique peut être propice à la circulation de l'eau souterraine. Cependant l'exploitation de ces aquifères est très délicate puisqu'elle requiert une implantation très précise des ouvrages de captage dans les zones les plus fracturées. La productivité de l'ouvrage reste liée à la densité de fracturation. Ainsi la difficulté réside dans la localisation depuis la surface des zones fracturées. L'exploitation des eaux souterraines dans ces conditions s'avère plutôt aléatoire d'autant plus que les phénomènes de colmatage des fractures dans ces formations très anciennes et très altérées peuvent ruiner tout espoir. 9 puits forés ont été réalisés dans ces formations en vue de l'alimentation en eau du Complexe Agro-Industriel de Sangha palm à Kandéko (1°30 N - 15°50 E). La profondeur des ouvrages est très variable, de 42 à 63 mètres. Les débits obtenus sont également très variables, de  $0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  à  $20,88 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  pour des rabattements compris entre 13 à 20 m. Quelques essais par pompage ont été effectués ayant abouti aux valeurs de transmissivité de l'ordre de  $6,8 \cdot 10^{-5}$  à  $5,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Il est important de souligner la présence des nappes superficielles dans les niveaux altérés de ces formations. De nombreuses sources pérennes sont issues de ces altérites. Elles sont toutes de type dépression, leur débit est très faible (de l'ordre de  $0,1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Le forage d'Agricongo réalisé dans la série de l'Inkisi (cf. figure 4.7), a permis de définir les caractéristiques de l'aquifère.

Il n'a pas été effectué des prélèvements d'échantillons intacts. Cependant, le suivi du forage à la tarière, puis au tricône a permis de définir la succession lithologique suivante :

0	-	10	m	terre végétale gris foncé
0,10	-	6	m	sable argileux ocre avec quelques graviers
6	-	13,60	m	sable argileux rouge violacé et graviers avec de blocs de grès
13,60	-	17	m	grès très altéré et friable
17	-	30	m	grès durs avec passés d'argilites, les grès sont fracturés.

L'horizon aquifère a été localisé entre 9,30 m et 13,60 m (niveau avec beaucoup de graviers et blocs de grès). Après un début de développement par surpompage, des essais furent effectués en vue de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe (transmissivité, coefficient d'emmagasinement) également d'évaluer les caractéristiques du forage (débit d'exploitation maximal, débit spécifique, rabattement admissible, etc...). Les résultats obtenus ont été les suivants :

Transmissivité :  $6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Coefficient de Darcy :  $2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Coefficient d'emmagasinement :  $2,2 \cdot 10^{-1}$

Débit de la nappe :  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Ce forage réalisé à titre expérimental avait conclu à l'existence de formations aquifères aux possibilités d'utilisation très limitées du fait des caractéristiques hydrodynamiques médiocres.

## . CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

On a très peu de données concernant la qualité des eaux de ces aquifères. Dans le tableau 4.7 nous donnons les caractéristiques des échantillons prélevés dans les forages d'Agri-Congo et Ngangalingolo. D'une manière générale l'eau est très pauvre en sels minéraux dissous. Les valeurs de conductivité dépassent rarement 200 micro-siemens. Le pH de l'eau est toujours inférieur à 7.

**Tableau 4.7 : Composition chimique des eaux du Schisto-Gréseux  
(MOUKOLO, 1987)**

	Forage de Ngangalingolo	Forage d'Agri-Congo
<b>Caractères organiques</b>		
. couleur	5	+150
<b>Caractères physico-chimiques</b>		
. température	-	28
. pH	5,5	5,5
. conductivité en micro siemens à 25°	58	124,5
. turbidité	2 FTU	300 T.E./F
<b>Contrôle chimique de la pollution</b>		
. oxydabilité au K MnO <sub>4</sub> en mg.l <sup>-1</sup>	0,45	0,92
<b>Minéralisation en mé.l<sup>-1</sup></b>		
. fer total		0,13
. nitrite		0
. nitrate		-
. silice		-
<b>Cations :</b>		
.Ca <sup>++</sup>	2	0,13
.Mg <sup>++</sup>	8	0,58
.K <sup>+</sup>	-	-
.Na <sup>+</sup>	-	-
<b>Anions :</b>		
.HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5	0,10
.Cl <sup>-</sup>	0,035	0,24
.SO <sub>4</sub> <sup>—</sup>	-	-
.PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	-	-

## **3.2 AQUIFERES DES ROCHES CRISTALLINES ET CRISTALLOPHYLIENNES (PRÉCAMBRIEN MOYEN ET INFÉRIEUR)**

On a jamais fait état de recherches d'eau à proprement parler dans ce type d'aquifères. Ce n'est que très récemment qu'il a été entrepris, dans le cadre d'un projet de recherche visant la valorisation de la forêt tropicale du Mayombe, un travail d'inventaire des ressources en eau souterraines de ces terrains. Ce travail d'inventaire initié par MOUKOLO (1988) était essentiellement axé vers le suivi des variations spatio-temporelles de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau, en même temps qu'il visait l'établissement d'un bilan hydrique de la zone concernée par l'étendue du projet (bassin de la rivière Loukéné (585 km<sup>2</sup>)).

La reconnaissance hydrogéologique effectuée par MOUKOLO (1988) avait conclu à l'existence de deux types d'aquifères :

### **3.2.1 LES AQUIFÈRES GÉNÉRALISÉS**

Ils sont constitués par les formations superficielles (alluvions et éluvions). Ces aquifères se localisent la plupart du temps dans les vallées creusées dans les roches tendres (schistes et micaschistes). Généralement les nappes qu'ils contiennent sont très productives. On a obtenu des débits spécifiques de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> par mètre de rabattement.

### **3.2.2 LES AQUIFÈRES DISCONTINUS**

La littérature existante montre que la région du Mayombe a connu une tectonique très active. Ceci est confirmé par son aspect montagneux qui se manifeste par une topographie ourmentée. On peut supposer qu'il existe des fractures pouvant favoriser les circulations d'eau souterraine. Il est à noter que pendant l'exécution du tunnel du PKm 80 sur le chemin de fer Congo-Océan, on a rencontré des grandes fissures donnant de très bons débits. Toutefois, la productivité de ce type de réservoirs est souvent moins importante comparée à celle des zones localisées dans les horizons superficiels altérés.

### **3.2.3 LES ESSAIS DE NAPPE**

Neuf essais de nappe ont été effectués dans les aquifères généralisés. Les premières interprétations ont abouti aux valeurs du coefficient de Darcy de l'ordre de 5.10<sup>-4</sup> m.s<sup>-1</sup>. Ces résultats provisoires doivent être confirmés par une interprétation plus fine des essais.

### **3.2.4 QUALITÉ DE L'EAU**

Le tableau n°4.8 donne les résultats des analyses effectuées sur les prélèvements des nappes superficielles. Tous les échantillons ont une minéralisation totale très faible. Par ailleurs les pH de ces eaux sont partout inférieurs à 7.

**Tableau 4.8 : Composition chimique des eaux du Mayombe  
(MOUKOLO, 1988)**

Points d'eau	Mesures physiques			Analyses chimiques							
	pH	T° 0C	Rh 10 <sup>3</sup> Ohm/cm	O2 mg/l	CO2 Mg/l	H2S mg/l	Fer mg/l	TH mé/l	TAC mé/l	Clm mé/l	SO4= mé/l
<b>1. DIMONIKA</b>											
Source Parisangha	4.75	23.5	46.2	8.5	25	0	Trace	0.08	0.10	0.07	Trace
Puits vigoureux	5.15	27	17.3	4.0	60	0	0.85	0.36	0.23	0.44	Trace
<b>2. MPOUNGA</b>											
Puits Likibi	4.51	28	17.0	3.0	75	0	0.05	0.02	0.10	0.12	Trace
Source de la mission	4.43	24.5	41.3	5.0	50	0	trace	0.04	0.08	0.07	Trace
Puits Mboungou	4.75	26	45.5	5.0	30	0	0.05	0.12	0.53	0.11	Trace
<b>3. LES SARAS</b>											
Source de l'auberge	5.89	26	11.3	4.0	65	0	0.02	0.64	0.53	0.17	Trace
Source ta Mpika	6.11	27	06.9	5.0	65	0	trace	0.02	0.71	0.21	Trace
Puits Bitolo	5.38	24	14.1	4.0	100	0	0.02	0.04	0.53	0.10	Trace
<b>4. KIMPESSEI MBOMA</b>											
Source Ntsakoussou	5.30	25	18.0	4.0	45	0	0.02	0.32	0.53	0.09	Trace
Source Kitoukoula	6.05	25	32.2	7.0	15	0	0.05	0.20	0.26	0.06	Trace
<b>5. MALEMBA</b>											
Marigot Mabiala	6.27	25	14.4	5.0	30	0	0.50	0.70	0.89	0.15	Trace
<b>6. BILALA</b>											
Puits Mavoungou	4.56	26.5	09.2	6.0	65	0	trace	0.24	0.09	0.23	Trace
Puits Tchitembo	4.38	28.5	07.3	5.0	50	0	0.02	0.28	0.09	0.27	Trace
Puits Mavoungou V.	4.35	28	09.4	5.0	65	0	0.12	0.20	0.10	0.19	Trace
Source Magnissa	5.19	28	34.0	5.0	35	0	0.06	0.05	0.26	0.09	Trace
<b>7. BILINGA</b>											
Puits Pambou C.	3.86	27	02.7	5.0	125	0	0.02	0.68	0.09	0.49	Trace
Puits Makosso	4.45	26.5	01.3	3.0	95	0	0.02	0.10	0.12	0.71	Trace
Puits Louembe J.B.	5.70	27	27.0	3.0	85	0	0.07	0.10	0.89	0.35	Trace
Puits Ntassa	3.2	28.5	28.5		100	0	0.02	0.08	0.08	0.35	Trace
<b>Pluie les saras 1/12/87</b>	<b>4.6</b>	<b>24.5</b>	<b>90.9</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.04</b>	<b>0.10</b>	<b>0.04</b>	<b>Trace</b>

## 4 ALIMENTATION DES NAPPES SOUTERRAINES

Dans ce travail, une réflexion a été menée sur le calcul du taux de recharge des nappes souterraines. Les valeurs obtenues par la méthode classique du bilan hydrologique proposées ci après ont été comparées à celles données par d'autres méthodologies actuellement considérées comme les plus fiables.

### 4.1 BILAN HYDROLOGIQUE

Ce bilan ne prétend pas donner des chiffres précis et définitifs mais seulement des ordres de grandeur des différents termes, la plupart d'entre eux étant d'ailleurs mal connus. En effet, même la hauteur pluviométrique qui est facilement mesurable a été le plus souvent estimée à partir des données peu nombreuses.

C'est le cas en particulier dans le Nord de la République du Congo – Brazzaville, où la densité des pluviomètres est très faible et les observations souvent fragmentaires et même parfois erronées.

- La pluviométrie moyenne a été calculée sur une période de 29 ans (1951-1980). L'évapotranspiration réelle a été évaluée par la méthode de THORNTHWAITE à partir de la pluie et de l'ETP. Un réservoir simule les réserves en eau du sol. Le "surplus" de THORNTHWAITE, partie de l'excédent dépassant les réserves cumulées du sol à saturation, alimente les écoulements de surface et souterrains. On a estimé l'infiltration efficace en retranchant du "surplus" la partie de l'excédent qui alimente le ruissellement de surface direct. Il est nécessaire de préciser que la validité de cette méthode dépend avant tout de la détermination correcte de l'ETP et de la valeur maximale des réserves du sol.

- La réserve en eau utilisable (RU) exprimée en millimètre, est la hauteur d'eau disponible dans une épaisseur donnée du sol. Elle nécessite de connaître la densité apparente ( $d_a$ ) puisque :

$$RU = H_u \times d_a \times h$$

- L'humidité utile ( $H_u$ ) est la quantité d'eau en pourcentage pondéral, théoriquement à la portée des racines. On l'a évaluée en faisant la différence entre les humidités à PF3 et à PF4,2  $h$  est l'épaisseur moyenne de la couche considérée.

- Le ruissellement alimente l'écoulement direct et rapide à la surface du sol. Il est collecté par le réseau hydrographique. Sa détermination peut faire l'objet d'études complexes et coûteuses, aboutissant à l'établissement des modèles mathématiques.

Dans son rapport intitulé « facteurs et processus de dégradation du site de Brazzaville », PEYROT.(1955) insiste sur le fait qu'en milieu naturel non affecté par une quelconque intervention humaine ; défrichement; sentier ; piste ; village, le coefficient de ruissellement reste inférieur à 2% et ceci aussi bien sur les surfaces planes que sur des pentes même accentuées. Au contraire, le ruissellement est fortement accru dans les agglomérations par l'imperméabilisation des sols, conséquence de l'urbanisation :

- .  $K_r = 3$  à 19% dans les secteurs peu urbanisés du bassin de Makélékélé, pour des précipitations moyennes de 16 à 130 mm.h<sup>-1</sup> d'intensité.

Par contre pour les mêmes pluies, ce coefficient atteint 30% dans le secteur urbanisé, et ce en dépit d'une pente quasi nulle.

D'après d'autres études (GRABOWSKY, 1972), les coefficients moyens suivants peuvent être retenus selon les secteurs urbains considérés:

- . 1% et moins en zone à couvert végétal dense non urbanisée ;
- . 10 à 15% en zone de faible densité de population ;
- . 30 à 40% en zone densément peuplée et fortement urbanisée.

Les travaux réalisés par l'ORSTOM en Afrique de l'Ouest ont donné les valeurs suivantes:

- . 1% pour la forêt à Adiopodomé;
- . 0,3% pour la savane arbustive à Bouaké;
- . 40% sur des sols défrichés à Ouagadougou.

D'autres valeurs ont été obtenues à partir des études sur petits bassins expérimentaux de la Comba, de Leyou et la Bibanga (CASENAVE et CHEVALIER, 1986).

Nous donnons dans le tableau 4.9 les différentes valeurs retenues par zones à peu près homogènes.

**Tableau 4.9 : Coefficient de ruissellement dans six types de zones identifiées**

Kr : coef. de ruissellement	Sous zones	Superficie	Ruissellement moyen annuel (1943 – 1981)
11%	Sols argileux du recouvrement des roches cristallines et cristallophylliennes sous forêt dense.	1,78 10 <sup>6</sup> Km <sup>2</sup>	0,36.10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
8,8%	Sols argilo-sableux du recouvrement latéritique du sédimentaire ancien sous savane boisée.	0,35 10 <sup>6</sup> Km <sup>2</sup>	0,04.10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
5,5%	Sols argilo-sableux du sédimentaire côtier sous savane arbustive.	0,01 10 <sup>6</sup> Km <sup>2</sup>	0,0007.10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
1,2%	Sols grésos-sableux des plateaux batéké sous savane arbustive.	1,54 10 <sup>6</sup> Km <sup>2</sup>	0,032.10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
15%	Zone péri urbaine à faible densité de population.	Négligeable	
35%	Zone urbanisée à forte densité de population.	Négligeable	

Les interprétations faites sur la base de toutes ces données ont abouti aux différents résultats présentés sous forme de tableaux 4.10 a; b; c; d. Il est à noter que les calculs ont été effectués dans quatre zones caractérisées par leur lithologie et leur climat.

**Tableaux 4.10: a ; b ; c ; d : Récapitulatifs des termes du bilan en mm, calculés par la méthode de Thornthwaite (année moyenne 1943-1981) dans quatre zones identifiées.**

<b>Tableau 4.10 a : sols argilo-sableux du recouvrement latéritique du sédimentaire ancien</b>													
Termes du bilan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Etp	83	90	90	89	87	67	58	67	82	87	80	81	961
Précipitations	155	135	180	194	141	6	1	4	37	147	255	178	1433
Réserve utile	120	120	120	120	59	2	0	0	60	120	120	120	
Etr	83	90	90	89	87	67	58	6	37	87	80	81	855
P. efficace	75	60	75	90	72	36	18	9	5	3	58	77	578
<b>Tableau 4.10 b : sols grésos-sableux des plateaux batéké</b>													
Termes du bilan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Etp	83	90	90	89	87	67	58	67	82	87	80	81	961
Précipitations	155	135	180	194	141	6	1	4	37	147	255	178	1433
Réserve utile	60	60	60	60	60	0	0	0	0	60	60	60	
Etr	83	90	89	89	87	66	1	4	37	87	80	81	795
P. efficace	82	64	91	72	72	36	18	9	5	4	88	92	638
<b>Tableau 4.10 c : sols argilo-limoneux du sédimentaire côtier</b>													
Termes du bilan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Etp	91	98	99	97	87	64	55	58	66	81	83	83	962
Précipitations	171	214	226	176	82	1	0	3	14	71	192	135	1285
Réserve utile	270	270	270	270	265	202	147	92	40	30	139	201	
Etr	91	98	99	97	87	64	55	58	66	81	83	83	962
P. efficace	1	58	93	86	43	21	11	5	2	1	1	1	323
<b>Tableau 4.10 d : sols argilo-sableux du sédimentaire côtier</b>													
Termes du bilan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Etp	91	98	99	97	87	64	55	58	66	81	83	83	962
Précipitations	171	214	226	176	82	1	0	3	14	71	192	135	1285
Réserve utile	70	70	70	70	53	0	0	0	0	0	70	70	
Etr	91	98	99	97	87	66	0	3	14	71	83	83	792
P. efficace	58	87	107	93	47	23	12	6	3	2	21	36	493

Une représentation graphique sous forme d'histogrammes de ce bilan est donnée dans les figures 4.12 et 4.13.

ELEMENTS DU BILAN EN mm CALCULES PAR LA METHODE DE THORNTHWAITE

Région Pointe Noire période de 1933 à 1981

ZONE B (sols argilo- sableux de la plaine côtière)

ZONE A (alluvions argilo- limoneuses de la Loémé)

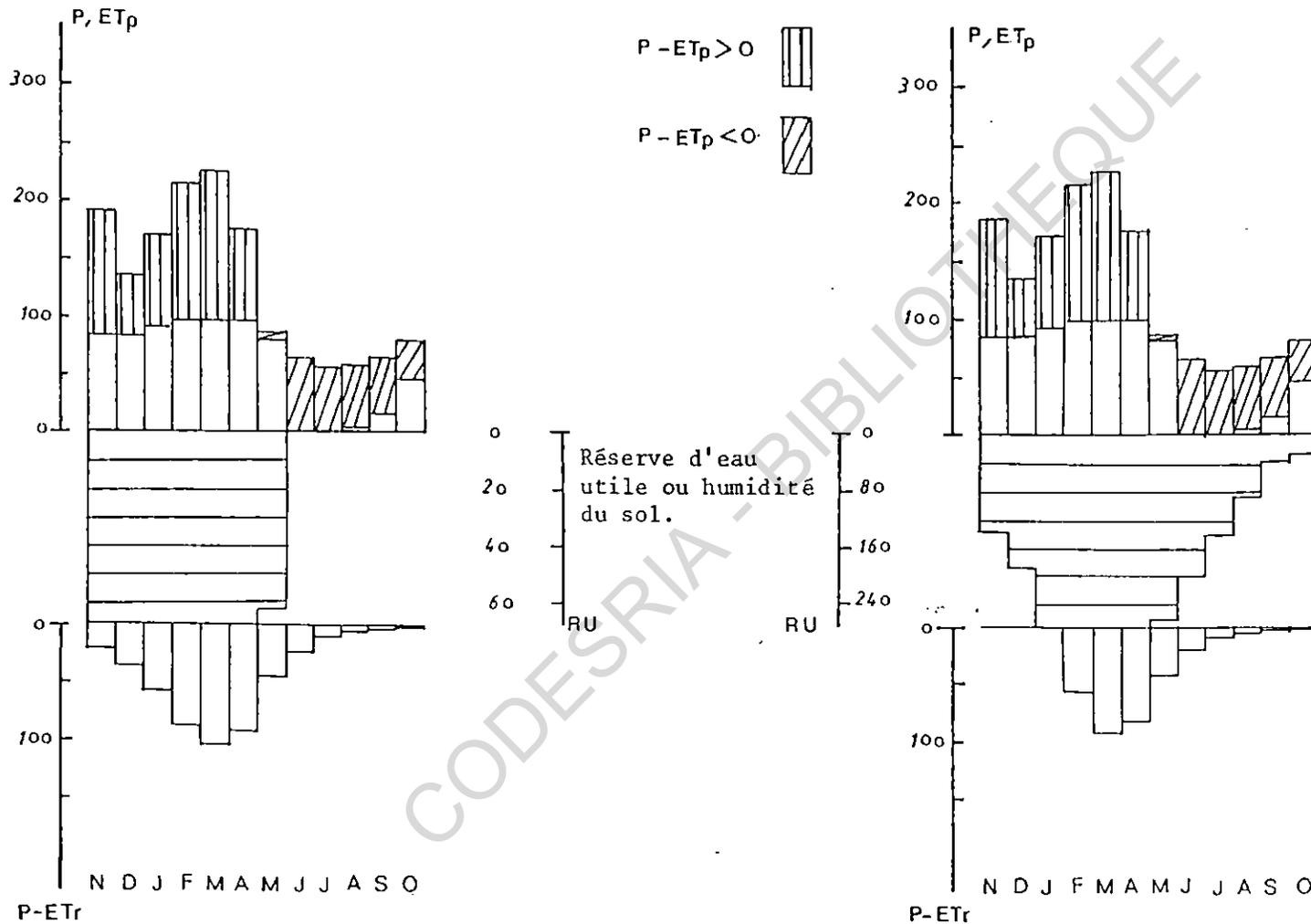


Figure 4.12 : Eléments du bilan en mm dans la région de Pointe Noire.

ELEMENTS DU BILAN EN mm D'APRES LA METHODE DE THORNTHWAITE

Région de Brazzaville période de 1943- 1981

ZONE A (sols argilo- sableux issus des grès inkisi)

ZONE B (sols lessivés de recouvrement sableux batéké)

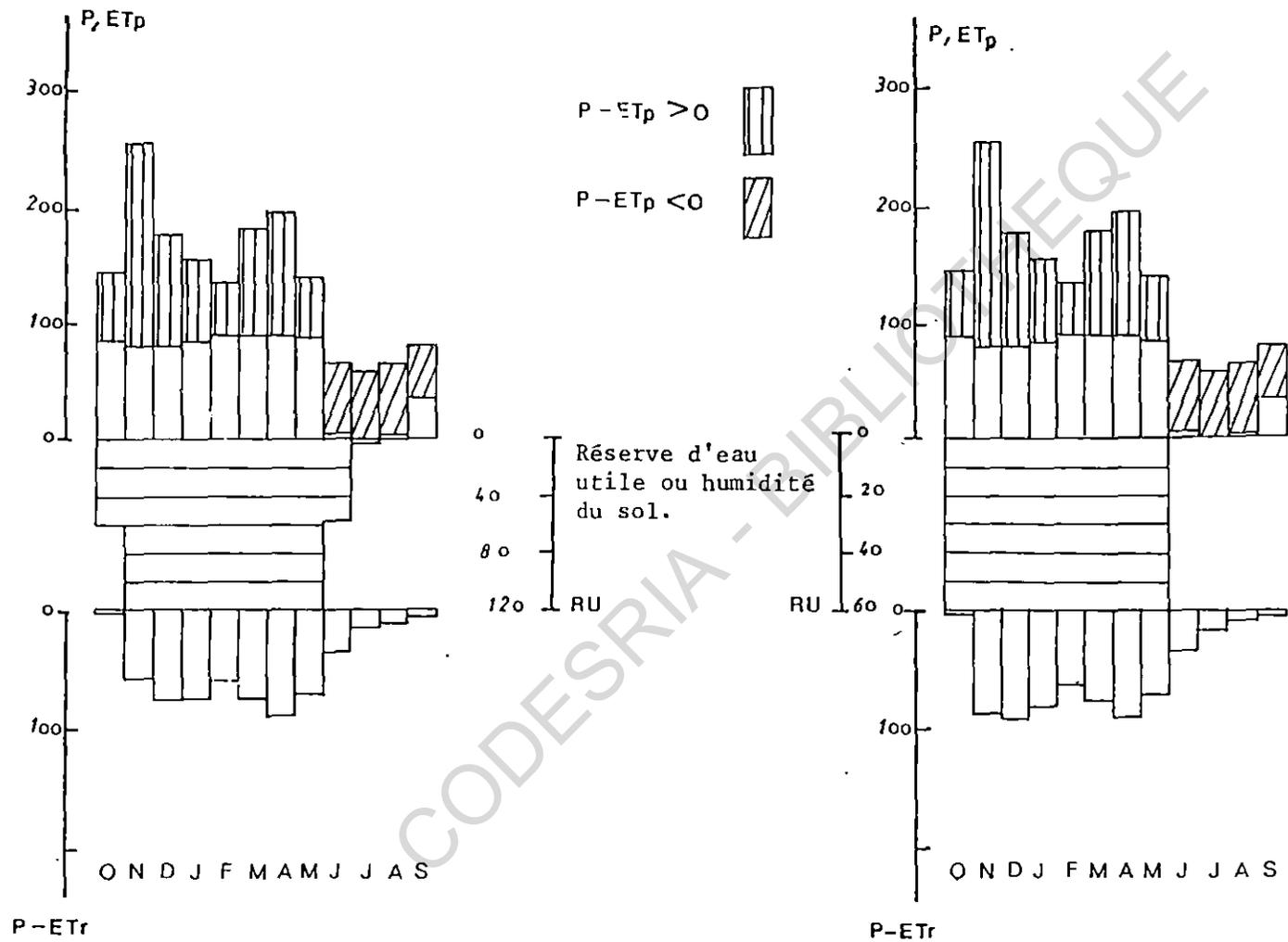


Figure 4.13 : Eléments du bilan en mm dans la région de Brazzaville.

Le tableau n° 4.11 donne un récapitulatif des différents termes du bilan calculés par grands ensembles hydrogéologiques. Les ensembles sont divisés en zones représentant des régions hydrogéologiques ayant des conditions climatiques et physiques voisines.

**Tableau 4.11 : Bilan hydrologique par grands ensembles hydrogéologiques**

Zones	P mm	Etr mm	P-Etr mm	Ie mm	Kr %
<b>Bassin sédimentaire côtier</b>	<b>1280</b>	<b>895</b>	<b>385</b>	<b>367</b>	<b>5,5</b>
1°) alluvions argilo-limoneuses (Loémé et bas Kouilou)	1280	1030	250	225	2
2°) sols argilo-sableux du sédimentaire côtier	1280	850	430	414	1,2
<b>Terrains continentaux de la cuvette congolaise</b>	<b>1764</b>	<b>1102</b>	<b>661</b>	<b>640</b>	<b>1,2</b>
1°) région de Brazzaville	1430	870	560	475	6
2°) plateaux batéké	1800	1095	705	699	0,3
3°) alluvions quaternaire du fleuve Congo	1735	1110	625	590	2
<b>Séries du sédimentaire Ancien</b>	<b>1510</b>	<b>1038</b>	<b>472</b>	<b>339</b>	<b>8,8</b>
1°) aquifères karstiques du schisto-calcaire	1255	1010	245	207	3
2°) aquifères du schisto-gréseux de l'Inkisi	1645	970	675	491	12
3°) aquifères du schisto-gréseux de Sembé Ouessou	1635	1135	500	320	11
<b>Roches cristallines et Cristalphylliennes</b>	<b>1857</b>	<b>956</b>	<b>901</b>	<b>697</b>	<b>11</b>
1°) région du Mayombe	1525	990	535	367	11
2°) région du Chaillu	1920	950	970	759	11

**En conclusion, le bilan hydrologique global moyen se présente de la façon suivante :**

- . Superficie du bassin versant :  $3,7 \cdot 10^6 \text{ km}^2$
- . Pluviométrie moyenne : 1 700 mm
- . Evapotranspiration réelle moyenne : 1 000 mm
- . Précipitation efficace moyenne : 700 mm
- . Infiltration efficace moyenne : 580 mm

- . Ruissellement moyen : 120 mm
- . Ecoulement souterrain :  $2,146 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$
- . Ecoulement total à la sortie (exutoire principal) :  $2,55 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$

Les écoulements souterrains représentent plus de 80% des écoulements totaux à la sortie du bassin. Toutefois ce chiffre est sous-estimé puisqu'il n'a pas été évalué à partir du bassin versant hydrogéologique qui est certainement plus important comparé au bassin versant topographique.

## 4.2 DISCUSSION DES RESULTATS

Les taux d'infiltration efficace obtenus par la méthode du bilan hydrique de THORTHWAITE (environ 20% des précipitations) peuvent paraître surestimés, comparés aux valeurs de 6% à 10% obtenues à partir d'autres méthodes. Quoique mesurées dans des régions ayant des climats différents de celui du bassin du Congo (climat sahelien), ces chiffres constituent une estimation plus approchées des quantités d'eau qui parviennent effectivement à la nappe.

Trois approches méthodologiques sont actuellement considérées comme les plus fiables dans la détermination la plus proche possible du taux de renouvellement (EL FAID, 1999). Il s'agit des méthodes physiques, des techniques lysimétriques et des techniques géochimiques et isotopiques.

Les méthodes physiques reposent essentiellement sur des équations représentant la physique des transferts en milieu non saturé. Deux grandeurs essentielles sont mesurées: la teneur en eau volumique et la pression effective de l'eau (h), qui est la différence entre la pression de l'eau dans le sol et la pression atmosphérique. Elle est exprimée en hauteur d'eau. Les mesures sont effectuées par humidimétrie neutronique et par tensiométrie. Selon EL FAID, 1999 qui cite ARANYOSSY (1991), la précision de cette méthode reste insuffisante pour déterminer les faibles flux qui traversent la zone non saturée sous condition naturelle. En effet, pour les valeurs d'humidité volumique très faible ( inférieure à 0,1), il y a des difficultés à mesurer le pontentiel de succion (h) et la conductivité hydraulique (K). Ce qui rend delicate la precision sur les faibles flux.

Les techniques lysimétriques permettent une évaluation des différentes composantes du bilan hydrique. Elles offrent principalement les valeurs les plus optimistes puisqu'étant limitées aux premiers mètres du sol. Cette méthode consiste à faire infiltrer un volume d'eau connu (V1) à travers un monolithe de sol isolé par des parois étanches, en maintenant autant que possibles les conditions proches de celles du milieu ambiant. Le volume d'eau recueilli à la base du monolithe donne le volume infiltré (V2), tandis que la différence (V1 - V2) exprime l'eau de rétention dans le cas d'un sol nu. Parmi les informations que l'on espère obtenir de la zone non saturée à partir de ces techniques lysimétriques figurent l'estimation du bilan hydrique, l'estimation du temps nécessaire pour le déclenchement du drainage et la hauteur d'eau infiltrée associée à ce temps, ainsi que l'évaluation des débits de drainage et les débits d'infiltration sur les différents sols. Selon ARANYOSSY, (1991), les principales limites des techniques lysimétriques émanent essentiellement de l'impossibilité technique d'atteindre des profondeurs considérables et la difficulté de conserver les propriétés hydrodynamiques originelles du sol.

Les méthodes géochimiques et isotopiques sont les plus fréquemment employées dans les travaux de recherches au niveau de la zone non saturée. Elles permettent une évaluation de la recharge des nappes, en particulier la méthode du tritium et celle du bilan des chlorures.

## **5 APPROCHE DES ECHANGES HYDRIQUES ENTRE LES EAUX DE SURFACE ET LES EAUX SOUTERRAINES EN MILIEU CONTINU**

Dans le cycle de l'eau, et sous la plupart des latitudes, l'acquisition des paramètres régissant les écoulements superficiels est actuellement relativement bien maîtrisée. Résultant d'observations et d'expérimentations hydrologiques sur bassins versants placés dans les contextes climatologiques variés, cette maîtrise débouche de plus en plus fréquemment sur l'élaboration de modèles (déterministes, conceptuels, globaux, distribués) qui sont le complément souvent indispensable à l'interprétation du fonctionnement hydraulique des unités étudiées. Mais on ne sait que l'établissement des bilans sur la quantification et l'étalement dans le temps des débits d'un système. C'est pourquoi, un autre type de modèle dit couplé a été proposé (LEDOUX, 1980), qui résulte de la conjonction de deux autres modèles : l'un hydrologique superficiel (GIRARD, 1972), l'autre hydrogéologique profond de type multicouche (MARSILY, 1978; LEDOUX, 1986).

Cette double conception des écoulements dans un bassin nécessite dès lors l'acquisition des données sur le milieu souterrain. Mais celle-ci n'est pas toujours aisée, et reste dans bien des cas partielle. Concernant par exemple l'hydrodynamique souterraine, les méthodes d'investigation s'appuient sur un équipement hydraulique généralement onéreux (forages, tests de pompages); par ailleurs, le problème de la variabilité spatiale des paramètres acquis (perméabilités, transmissivités, coefficients d'emmagasinement), inhérents aux changements d'échelle d'observations et de mesures, est et reste souvent sous-jacent aux extrapolations nécessaires (passage de données "ponctuelles" à tout un système aquifère).

Une approche récemment effectuée sur les bases de ce double concept, dans un petit bassin versant en domaine de socle altéré (Côte d'Ivoire), illustre bien ces difficultés (CHEVALIER, 1988); le calage d'un modèle couplé sur des paramètres hydrodynamiques de la zone noyée mal évalués (ou simplifiés), par manque de moyens d'investigations adaptés, est en partie responsable d'une inadéquation dans la représentation des transferts d'eau (débit d'étiage surévalués et ceux des hautes eaux sous-estimés). Autrement dit, l'insuffisance des connaissances sur les mécanismes de l'écoulement souterrain, et à fortiori celles des échanges entre surface et profondeur, peut peser défavorablement sur la fiabilité du modèle. Mais la démarche reste prometteuse. C'est pourquoi nous avons abordé l'analyse des écoulements superficiels et souterrains de manière concomitante dans un même bassin. Nous nous proposons ici d'exposer ces résultats et leur interprétation, en mettant l'accent sur les échanges hydriques entre les deux domaines.

### **5.1 EQUIPEMENTS DE MESURES - RÉSULTATS - INTERPRÉTATIONS**

#### **5.1.1 CHOIX DES STATIONS DE MESURES**

Deux stations météorologiques (carte de situation figure 2.2 du chapitre II de la première partie) ont été sélectionnées du fait de la proximité dans leur périmètre de points

d'observations piézométriques et hydrométriques ayant de chroniques de données suffisamment longues. Il s'agit des stations suivantes:

- station synoptique de Brazzaville Maya Maya;
- station météorologique de Makoua;

Les stations de mesures hydrométriques et piézométriques retenues sont les suivantes :

- stations hydrométriques de Djiri - Pont RN2 et Likouala Mossaka à Makoua;
- stations piézométriques (forage Mikalou et village Djiri) et puits n°3 de Makoua

### 5.1.2 CONTEXTE HYDRODYNAMIQUE

Les données hydrodynamiques ont été obtenues à partir du pompage d'essai effectué sur le forage de Mikalou qui est représentatif de la zone d'étude. Ce forage a été réalisé dans le cadre du projet hydraulique humaine dont le Fond d'Aide et de Coopération de la République Française a assuré le financement. La Direction de l'Hydraulique a orienté les travaux de forage vers la reconnaissance de l'aquifère batéké au Nord de Brazzaville. L'implantation a été choisie dans les quartiers pour qu'ensuite les ouvrages qui devraient être équipés de pompe à motricité humaine profitent aux populations.

La foration était exécutée avec un tricône de diamètre 9 5/8. Le rapport technique donne les indications lithologiques suivantes:

- 0 - 5 m sable moyen gris foncé
- 5 - 8 m sable moyen gris
- 8 -10m sable moyen à fin beige foncé
- 10 -28m sable moyen à fin beige clair.

Le forage était essentiellement réalisé à l'eau claire, seuls les premiers mètres en zone non saturée était forés en présence d'un polymère. L'équipement du forage a suivi immédiatement la foration, le nettoyage et le développement à l'air comprimé ont été enchaînés ensuite. Le forage a reçu pour équipement des tubages de diamètre 125 x 140 mm en PVC. Les tubes crépinés disposent d'ouvertures de 0,5 mm offrant des coefficients d'ouvertures de 5,2%. La mise en place des tubages était pratiquée avec utilisation de centreuses garantissant une épaisseur constante de l'espace annulaire destiné à recevoir le massif filtrant mis en place ensuite. Ce massif filtrant composé de graviers siliceux roulés de granulométrie 0,8 -3 mm a une épaisseur de l'ordre de 50 mm. Le forage produit une eau claire. Après développement à l'air comprimé, les premiers essais avaient abouti aux résultats suivants:

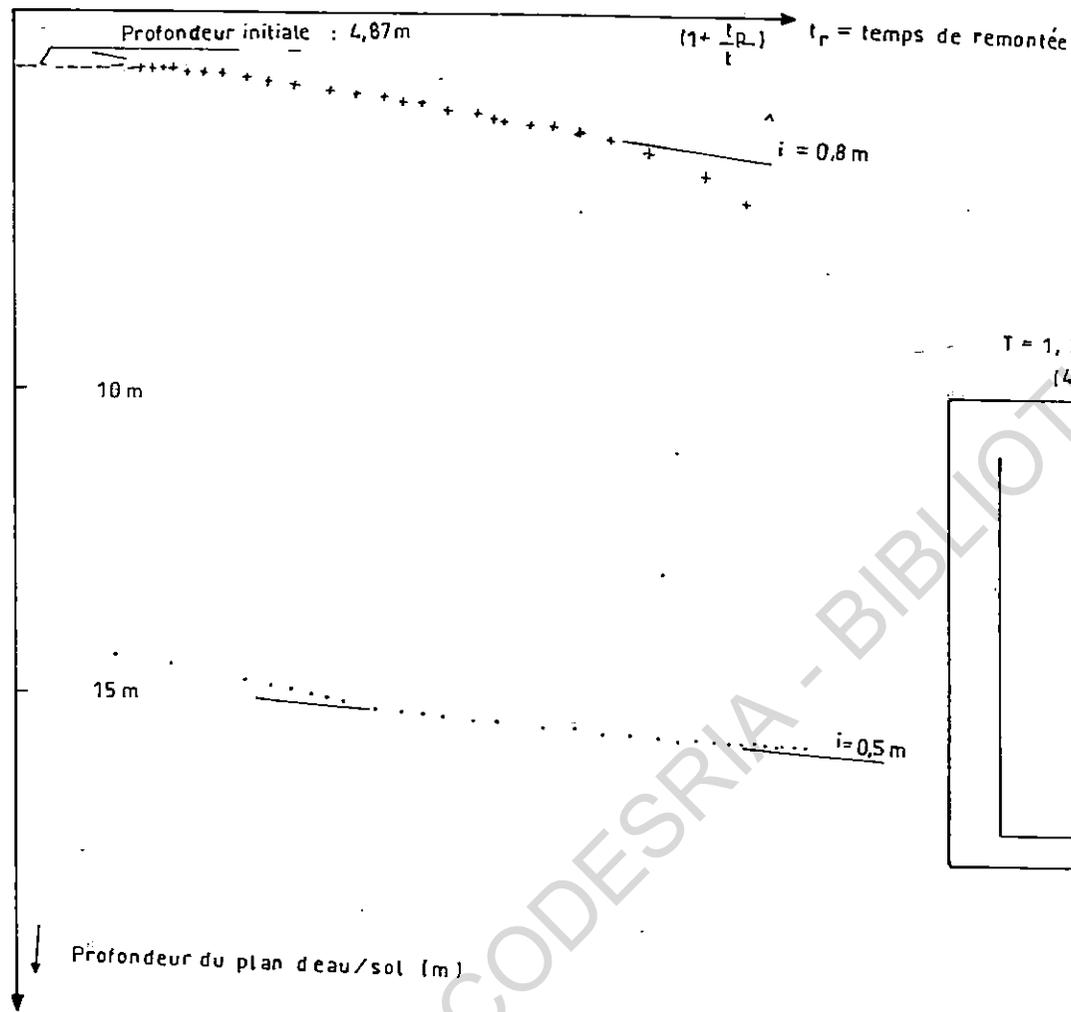
$$Q = 13 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \text{ pour } 10,59 \text{ m de rabattement soit un débit spécifique de } 1,23 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}.$$

Sur le plan du comportement hydrodynamique de la nappe sollicitée, l'influence du pompage s'est étendue dans un milieu d'apparence isotrope. L'influence des limites d'alimentation à potentiel imposé (rivière Tsiémé) pourrait être à l'origine de la stabilisation intervenue dans l'évolution des rabattements. La transmissivité déduite de l'interprétation des pompages d'essais (cf. courbe  $s = f(\log t)$  de la figure 4.15) est de :

$$T = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

**me = 10% (porosité efficace)**

Les résultats des analyses hydrochimiques indiquent une eau très faiblement minéralisée avec un pH acide.

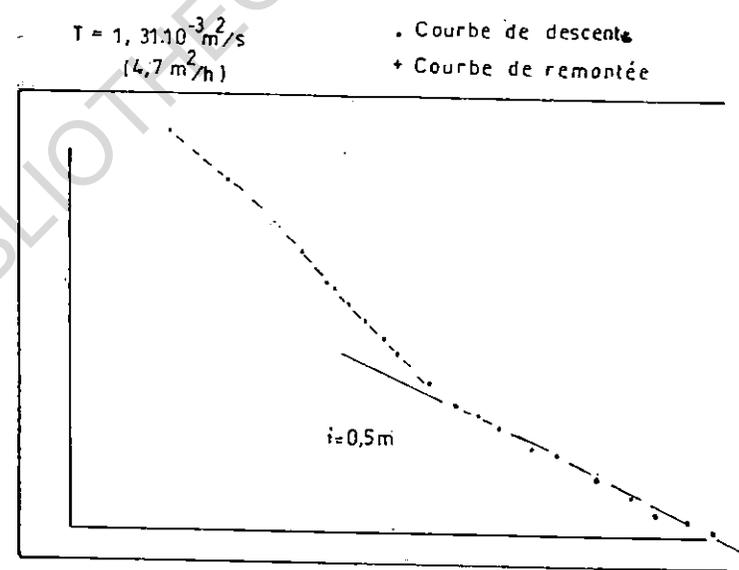


43 -1R - 1039

Forage PIH 3 Mikatou

Pompage d'essai du 18/07/87

Débit moyen de pompage: 12,91 m<sup>3</sup>/h



Pompe à 18,80 m

Sommet crépines à 20 m

→ Temps de pompage TP (mn)

Figure 4.15 : Courbe  $s = f(\log t)$

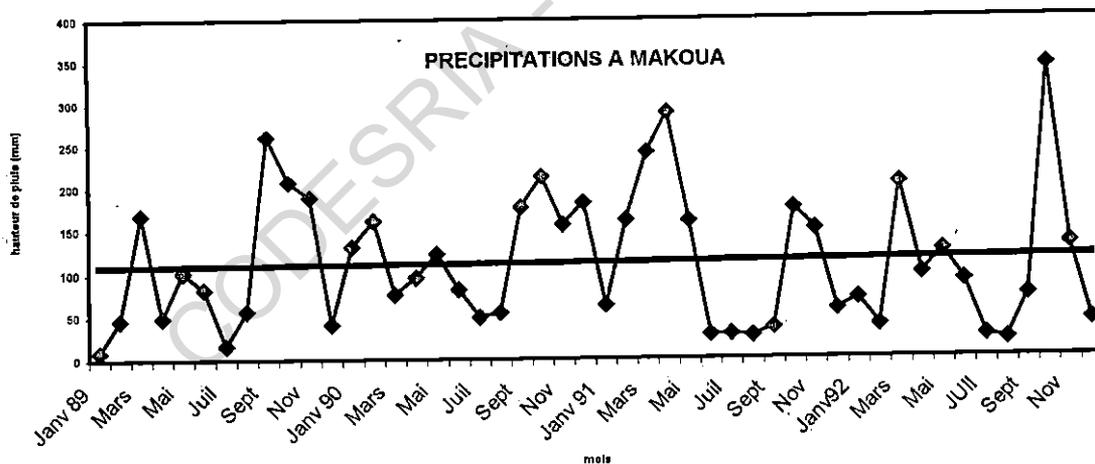
### 5.1.3 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

Les relevés sont effectués trois fois par jour. Les totaux mensuels enregistrés à la station de Makoua sont donnés au tableau.n° 4.12. Le traitement des données a abouti au calcul des moyennes interannuelles, des écarts types et des coefficients de variation. On remarque que pendant la saison des pluies de Septembre à Avril, les variations sont importantes comparées aux mois secs (Juin, Juillet et Août). Cette situation se justifie par l'absence quasi total des perturbations induites par le régime pluviométrique.

**Tableau n° 4.12: Pluviométrie de Makoua en mm**

Année	Janv.	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Totaux
1989	9,30	46,50	167,8	49,90	101,9	82,80	16,80	57,00	261,4	207,0	188,6	41,50	1230
1990	131,3	161,4	76,50	95,90	123,0	81,50	49,60	54,60	176,5	213,3	155,9	181,7	1501
1991	63,10	161,2	241,5	288,7	159,9	27,90	28,20	26,00	35,80	174,5	149,9	57,30	1414
1992	69,80	38,20	204,3	98,20	124,9	90,40	25,50	21,00	73,10	343,1	131,6	43,00	1263
Moy.	71,50	95,30	177,2	156,3	127,8	104,8	48,10	45,30	141,7	239,4	171,3	84,90	
E.type	61,14	68,76	70,77	106,0	24,03	28,77	13,93	18,79	102,2	74,39	23,77	67,59	
C.V.	0,86	0,72	0,40	0,68	0,19	0,27	0,29	0,41	0,72	0,31	0,14	0,80	

L'analyse de la courbe de variation fait ressortir une tendance quasi nulle (Figure 4.15). Celle-ci confirme le retour à la normale observé après la grande période déficitaire des années 1974 - 1982 (SIRCOULON, 1988).



**Figure 4.14 : Courbe de variation de la pluviométrie à la station de Makoua**

### 4.1.4 DONNÉES HYDROMÉTRIQUES

La courbe des hauteurs d'eau mesurées à la station limnimétrique de Makoua sur la Likouala Mossaka révèle une tendance négative (Figure 4.16) qui confirme le contexte déficitaire

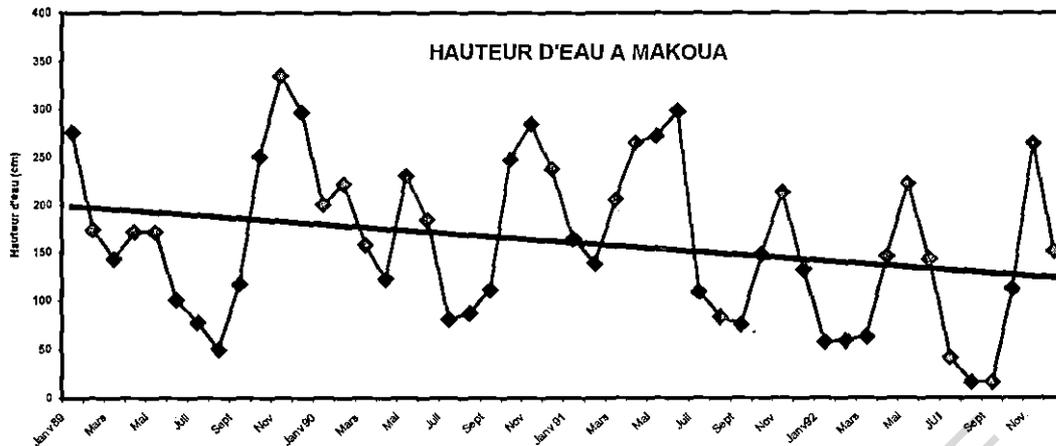


Figure 4.16: Variation des hauteurs d'eau à la station de Makoua

observé depuis les années 80 (OLIVRY, 1987). En effet, depuis plus de vingt ans en Afrique intertropicale, on observe un déficit pluviométrique qui à coup sûr influence l'hydraulicité des fleuves de l'Afrique humide. Cette baisse se poursuit malgré le retour à la normale du régime des pluies qui paraît amorcé.

Un traitement statistique des données a été réalisé. Les résultats sont donnés au tableau.n° 4.13. Les coefficients de variation dépassent rarement 50%. Cela indique que la fluctuation des hauteurs d'eau est modérée (écoulement soutenu par la nappe souterraine). En saison des pluies, on observe des variations occasionnées par le rythme pluviométrique.

Tableau n° 4.13: Hauteur d'eau à la station de Makoua en cm.

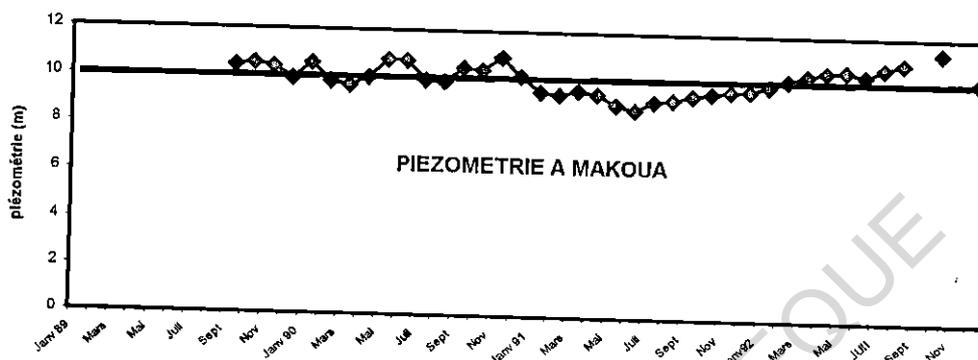
Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
1989	275,7	174,3	143,5	171,3	171,3	100,6	77,60	49,88	117,6	250,5	334,5	296,3	180,3
1990	200,3	221,7	158,3	123,0	230,3	184,0	80,77	86,52	111,8	246,9	284,7	237,2	180,4
1991	165,2	138,8	205,6	265,4	271,6	298,1	109,5	83,55	75,27	149,1	212,9	133,2	175,7
1992	58,06	59,48	63,29	147,1	222,4	143,4	41,93	16,22	16,45	112,0	264,6	151,3	180,4
Moy.	174,3	148,6	142,7	176,7	223,9	181,5	77,49	59,03	80,29	189,7	274,2	204,5	
E. type	90,47	59,28	59,21	62,32	41,16	84,86	27,72	33,07	46,51	69,89	50,35	76,17	
C.V.	0,52	0,41	0,41	0,35	0,18	0,47	0,36	0,56	0,58	0,37	0,18	0,37	

## 5.1.5 DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES

### 5.1.5.1 PIÉZOMÉTRIE DE MAKOUA

Les observations ont été faites au puits n°3 de Makoua. L'évolution du niveau piézométrique (Figure 4.17) fait apparaître une très faible amplitude des variations. La tendance quasi nulle démontre que la nappe est en régime d'équilibre avec une égalité entre ce qui entre et ce qui sort.

Cette situation s'explique par le temps de réponse suffisamment long de sorte que les fluctuations induites par l'alimentation directe de la nappe à partir de la pluie sont considérablement amorties. Ainsi, le régime des écoulements souterrains en milieu continu sont beaucoup moins irréguliers comparés aux régimes pluviométriques et hydrologiques.



**Figure 4.17 : Variation de la surface piézométrique dans le puits de Makoua**

Les données du tableau 4.14 ont été traitées et les coefficients de variation obtenus confirment la tendance observée sur la courbe d'évolution .

**Tableau n° 4.14: Données piézométriques de Makoua en m.**

Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
1989									10,44	10,55	10,43	9,94	10,34
1990	10,57	9,82	9,68	10,03	10,78	10,73	9,93	9,88	10,46	10,40	10,94	10,15	10,28
1991	9,51	9,39	9,58	9,46	9,02	8,82	9,19	9,28	9,45	9,57	9,67	9,69	9,39
1992	9,91	10,19	10,39	10,55	10,60	10,41	10,75	10,96		11,42		10,18	10,54
Moy.	10,00	10,00	9,88	10,01	10,13	9,99	9,96	10,04	10,12	10,49	10,35	9,99	
E. type	0,54	0,40	0,44	0,55	0,97	1,02	0,78	0,85	0,58	0,76	0,64	0,23	
C.V.	0,05	0,04	0,04	0,05	0,10	0,10	0,08	0,08	0,06	0,07	0,06	0,02	

### 5.1.5.2 PIÉZOMÉTRIE DE BRAZZAVILLE

Une étude de la nappe en saison sèche a abouti à l'élaboration de l'esquisse piézométrique (Figure 4.8). Les observations du niveau d'eau ont été faites dans des puits et émergences de la nappe. Le premier travail a donc été de recenser puis de sélectionner un nombre de points d'eau suffisants et accessibles. Il s'agit de 16 puits, 5 sources et 16 plans d'eau libre qui ont été relevés à l'altimètre, puis reportés sur une carte topographique au 1/50.000.

## 5.1.6. ESSAIS DE CORRÉLATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES.

### 5.1.6.1 ETUDE DES PARAMÈTRES PHYSIQUES.

L'examen de l'évolution des différents paramètres physiques montrent que les variations des hauteurs d'eau sont en phase avec celles des précipitations. (cf. les figures 4.18 a, b, c, et d)). Cela indique que l'alimentation de la rivière surtout pendant la saison des pluies est assurée par les précipitations. Les variations de la nappe sont par contre moins prononcées pour des raisons déjà évoquées.

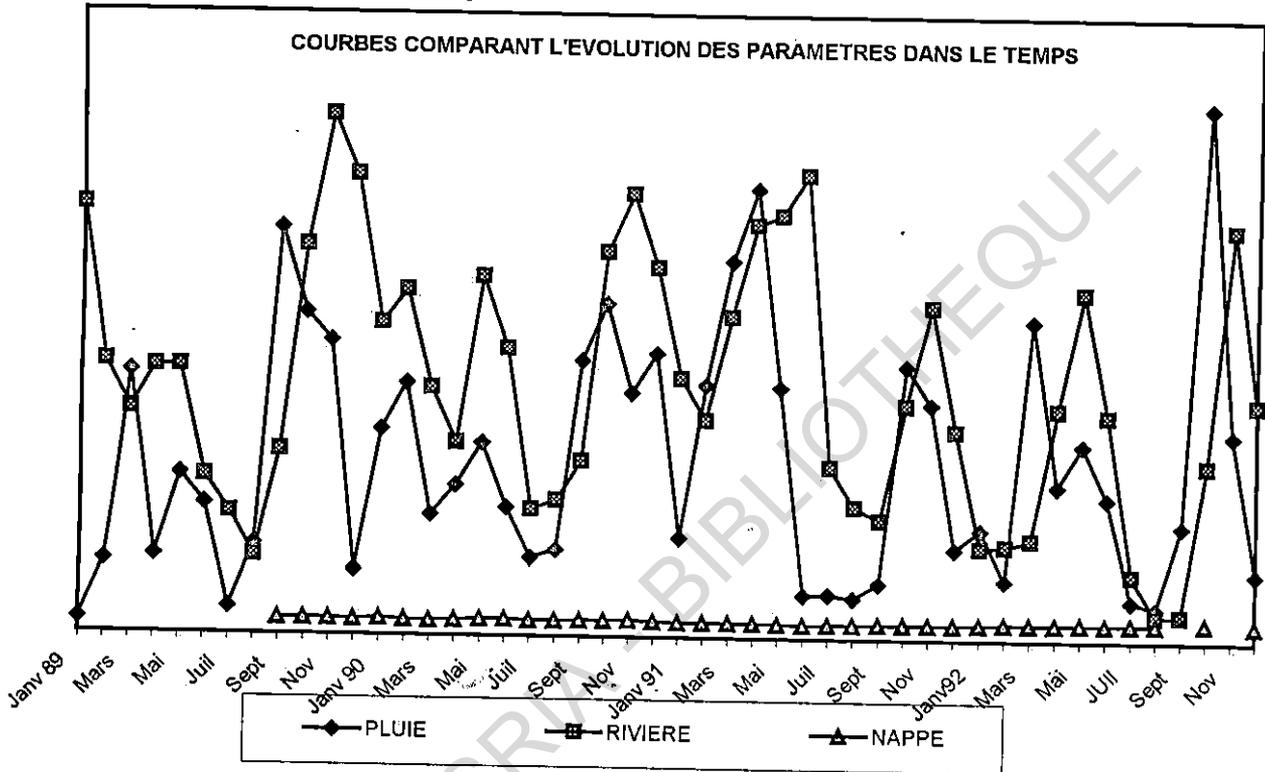


Figure 4.18: Courbes comparant l'évolution des paramètres dans le temps :

### 5.1.6.2 ETUDE DES PARAMÈTRES HYDROCHIMIQUES

#### 5.1.6.2.1 : Caractéristiques des eaux de pluie :

Les échantillons d'eau de pluie ont été recueillis au village de Djiri, des dosages physico-chimiques ont été effectués et ont donné les résultats figurant sur le tableau 4.15

Tableau 4.15: Résultats des analyses chimiques d'eaux de pluie  
(concentrations en  $\text{mg.l}^{-1}$ )

Echantillons	PH	Cond	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Janv 97	4,0	29	0,29	0,04	0,01	0,20	1,03	0,28
Fev. 97	4,8	22,2	0,56	0,09	<0,01	0,31	2,56	0,13
Mars 97	3,6	46,0	0,68	0,10	<0,01	0,28	2,87	0,17
Avril 97	6,0	31,0	1,11	0,13	0,19	0,24	3,83	0,70
Déc. 97	5,7	7,0	0,29	0,03	<0,01	0,14	3,53	0,18
Janv. 98	6,2	28,0	1,38	0,08	<0,01	0,35	5,00	0,19
Avril 98	5,5	4,0	0,06	0,02	<0,01	<0,01	0,09	0,14

Les statistiques élémentaires (Tab.4.16) effectuées sur les données font ressortir une dispersion des valeurs. Cette dispersion est attribuable à l'instabilité des faciès chimiques de l'eau de pluie. Toutefois le pH de l'eau toujours acide est relativement constant (CV= 19%).

**Tableau 4.16: Statistiques élémentaires**

Variabes	Moyennes	Ecart types	Coef. de variation
PH	5.11	0.9929	0.19
Cond.	23.80	11.6419	0.48
Ca <sup>++</sup>	0.62	0.4161	0.66
Mg <sup>++</sup>	0.070	0.0344	0.42
K <sup>+</sup>	0.21	0.0697	0.28
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.70	1.2213	0.45
Cl <sup>-</sup>	0.255	0.1953	0.74

L'étude des corrélations statistiques entre les différents paramètres (tableau 4.17), fait ressortir quelques paramètres bien corrélés entre eux tels que :

- .HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Ca<sup>++</sup> ;
- .HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et le pH ;
- .K<sup>+</sup> et Ca<sup>++</sup> ;
- .Mg<sup>++</sup> et Conductivité.

En effet, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Ca<sup>++</sup> proviennent souvent de la dissociation des sels de calcium par conséquent leurs évolutions sont toujours en phase. En ce qui concerne le pH, ses variations sont liées à celles des ions H<sup>+</sup> présents dans l'eau. Enfin, la conductivité de l'eau traduit la concentration des ions d'une solution.

**Tableau 4.17: Corrélations statistiques**

	PH	Cond	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
PH	1.000						
Cond.	-0.435	1.000					
Ca <sup>++</sup>	0.590	0.438	1.000				
Mg <sup>++</sup>	0.125	0.702	0.677	1.000			
K <sup>+</sup>	0.067	0.567	0.709	0.573	1.000		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.797	0.034	0.809	0.350	0.389	1.000	
Cl <sup>-</sup>	0.367	0.161	0.360	0.553	-0.176	0.140	1.000

#### 5.1.6.2.2 Caractéristiques chimiques des eaux de rivière

Les dosages réalisés sur les échantillons de Djiri ont donné les résultats figurant au tableau 4.18

**Tableau 4.18: Résultats des analyses chimiques d'eaux de rivières  
(concentration en mg.l<sup>-1</sup>)**

Echantillons	PH	Cond	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Janv.97	3,5	41,3	0,23	0,05	<0,01	0,21	1,09	0,40
Fév.97	5,1	19,0	0,47	0,09	<0,01	0,50	2,56	0,19
Mars 97	4,2	16,0	0,29	0,05	<0,01	0,21	1,40	0,11
Avril 97	4,6	17,0	0,31	0,08	<0,01	0,24	0,93	0,54
Mai 97	5,0	6,0	0,10	0,05	<0,01	0,06	0,43	0,16
Avril 98	5,3	9,3	0,06	0,02	<0,01	0,06	0,15	0,16

Les eaux sont très peu minéralisées. La conductivité est toujours inférieure à 50 micro-Siemens, les pH sont dans tous les cas acides. Les coefficients de variation des différents paramètres (tableau 4.19), sont souvent élevés (supérieurs à 50%). On retrouve ici la même dispersion des valeurs que pour l'eau de pluie. Les remarques faites à propos de l'eau de pluie suffisent pour expliquer ces fluctuations.

**Tableau 4.19: Statistiques élémentaires**

Variabes	Moyennes	Ecart types	Coef. de variation
PH	4.617	0.6149	0.13
Cond.	18.100	11.3175	0.62
Ca <sup>++</sup>	0.243	0.1368	0.54
Mg <sup>++</sup>	0.057	0.0229	0.40
K <sup>+</sup>	0.213	0.1472	0.65
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.093	0.8264	0.75
Cl <sup>-</sup>	0.260	0.1557	0.59

#### 5.1.6.2.3 : Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe

6 échantillons d'eau ont été prélevés dans un puits captant la nappe phréatique dans le village de Djiri. Les résultats des analyses effectuées sur ces échantillons sont donnés au tableau 4.20.

**Tableau 4.20: Résultats des analyses d'eaux souterraines  
(concentrations en mg. l<sup>-1</sup>)**

Echantillons	PH	Cond.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Janv.97	4,0	33,1	0,25	0,05	<0,01	0,37	1,32	0,26
Fév.97	5,4	15,4	0,89	0,07	<0,01	0,30	3,14	0,29
Mars 97	4,4	18,3	0,49	0,06	<0,01	0,20	2,00	0,13
Avril 97	4,2	23,0	0,27	0,09	<0,01	0,22	0,30	0,84
Mai 97	4,5	5,0	0,16	0,04	<0,01	0,08	0,51	0,21
Avril 97	4,9	5,0	0,06	0,02	<0,01	<0,01	0,14	0,14

Comme pour les échantillons précédents, on retrouve les mêmes caractéristiques :

- .eau très faiblement minéralisée ;
- .pH toujours inférieur à 7.

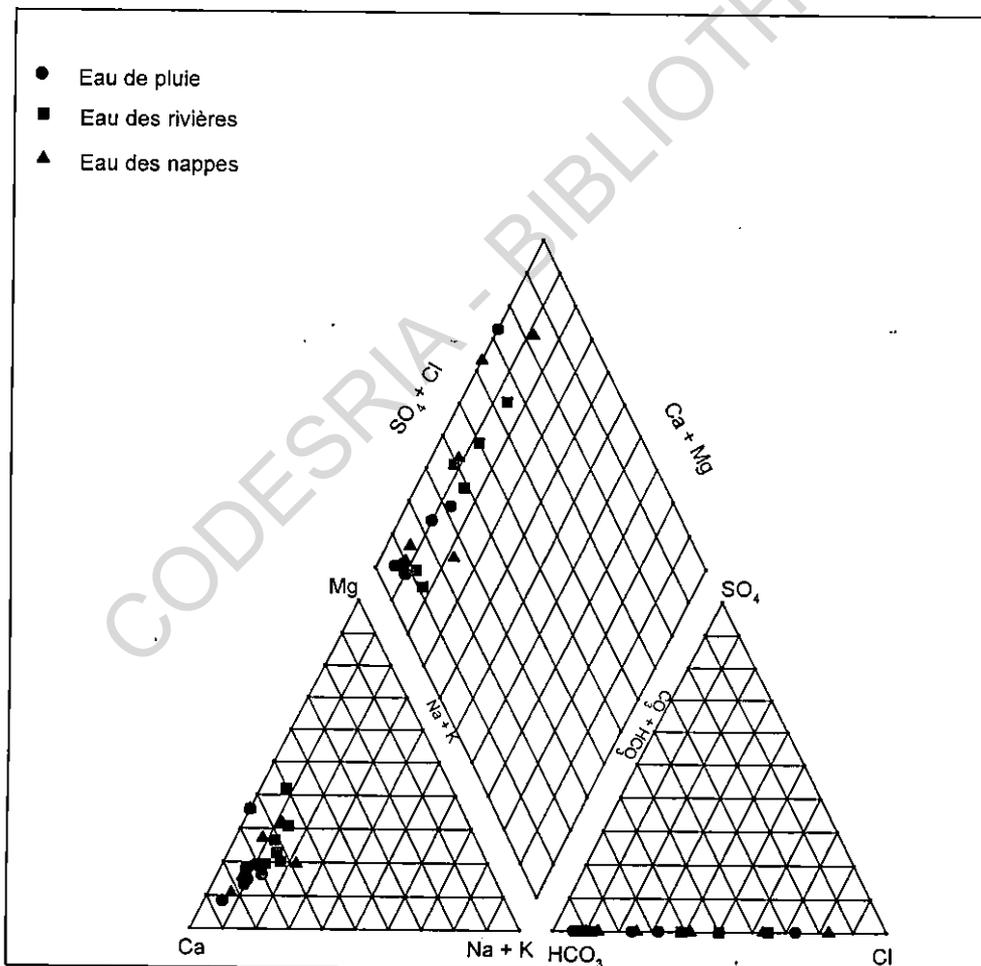
Le tableau 4.21 présente les résultats des statistiques élémentaires effectuées sur les données. On note également une forte dispersion de valeurs comme précédemment évoquée.

**Tableau 4.21: Statistiques élémentaires**

Variables	Moyennes	Ecart types	Coef. de variation
PH	4.560	0.4817	0.10
Cond.	16.63	9.2114	0.55
Ca <sup>++</sup>	0.353	0.2625	0.74
Mg <sup>++</sup>	0.055	0.0172	0.30
K <sup>+</sup>	0.196	0.0979	0.49
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.235	1.0375	0.83
Cl <sup>-</sup>	0.311	0.2529	0.80

#### 5.1.6.2.4 : Représentation de PIPER

Les résultats des analyses chimiques ont été reportés sur le diagramme de PIPER (figure 4.19). Cette représentation ne révèle pas l'existence de plusieurs catégories d'eau. Les échantillons sont dispersés sur le diagramme. Cela indique une très grande instabilité des faciès attribuable nous semble-t-il à l'alimentation directe de la rivière et de la nappe, par l'eau de pluie.

**Figure 4.19: Diagramme de PIPER**

### 5.1.6.2.5: Analyse en composantes principales

Une ACP a été réalisée dans le but d'étudier les ressemblances entre les échantillons et les liaisons entre variables. En d'autres termes, l'objectif de l'ACP était simplement de décrire les individus et mettre en évidence l'existence éventuelle des sous populations. L'analyse des résultats montre que la somme des deux plus grandes valeurs propres est égale à 71,9%, c'est à dire que la représentation plane de la distribution spatiale des individus contient 71,9% de l'information totale donnée par les mesures.

L'examen du plan 1 – 2 (figure 4. 20), ne montre aucun regroupement d'individus pouvant traduire l'existence de sous populations. Cette observation confirme les conclusions de la représentation de PIPER quant à l'absence de plusieurs catégories d'eaux.

## 4.2 ECHANGES EAU DE SURFACE / EAU SOUTERRAINE

### 4.2.1 POINT DE VUE HYDRODYNAMIQUE.

L'analyse des résultats obtenus dans le forage de Mikalou dégage les caractéristiques relatives aux fonctions de transfert hydrique entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Dans une large mesure et selon les saisons, les écoulements de surface peuvent dépendre du régime des eaux souterraines de la nappe libre :

- . des infiltrations s'effectuent à travers la zone non saturée en début de recharge (saison des pluies) et alimentent la nappe phréatique ;

- au cours et en fin de recharge, les écoulements de surface sont soutenus conjointement par le tarissement de l'aquifère. La figure 5.8 indique le sens des écoulements montrant qu'à cette période c'est la nappe qui alimente la rivière.

### 4.2.2 POINT DE VUE HYDROCHIMIQUE

La représentation de PIPER et l'analyse en composantes principales ont conclu l'existence d'une seule catégorie d'eau. Cette conclusion indique que l'eau alimentant la rivière et la nappe phréatique provient essentiellement des précipitations météoriques. Par ailleurs, les échanges d'eau entre la rivière et la nappe souterraine sont envisageables puisque les conclusions des analyses hydrochimiques ne contredisent pas celles des interprétations hydrodynamiques.

## CONCLUSION

Dans le système hydrologique étudié, les fonctions de transfert entre surface et souterrain qui viennent d'être discutées permettent de proposer un modèle physique rendant compte en particulier des échanges hydriques au niveau des bas-fonds. Ces échanges hydriques ont été étudiés en milieu continu dans des formations sédimentaires quasi isotropes à porosité d'interstice. Ils ont été prouvés par l'interprétation des données hydropluviométriques, hydrodynamiques et hydrochimiques.

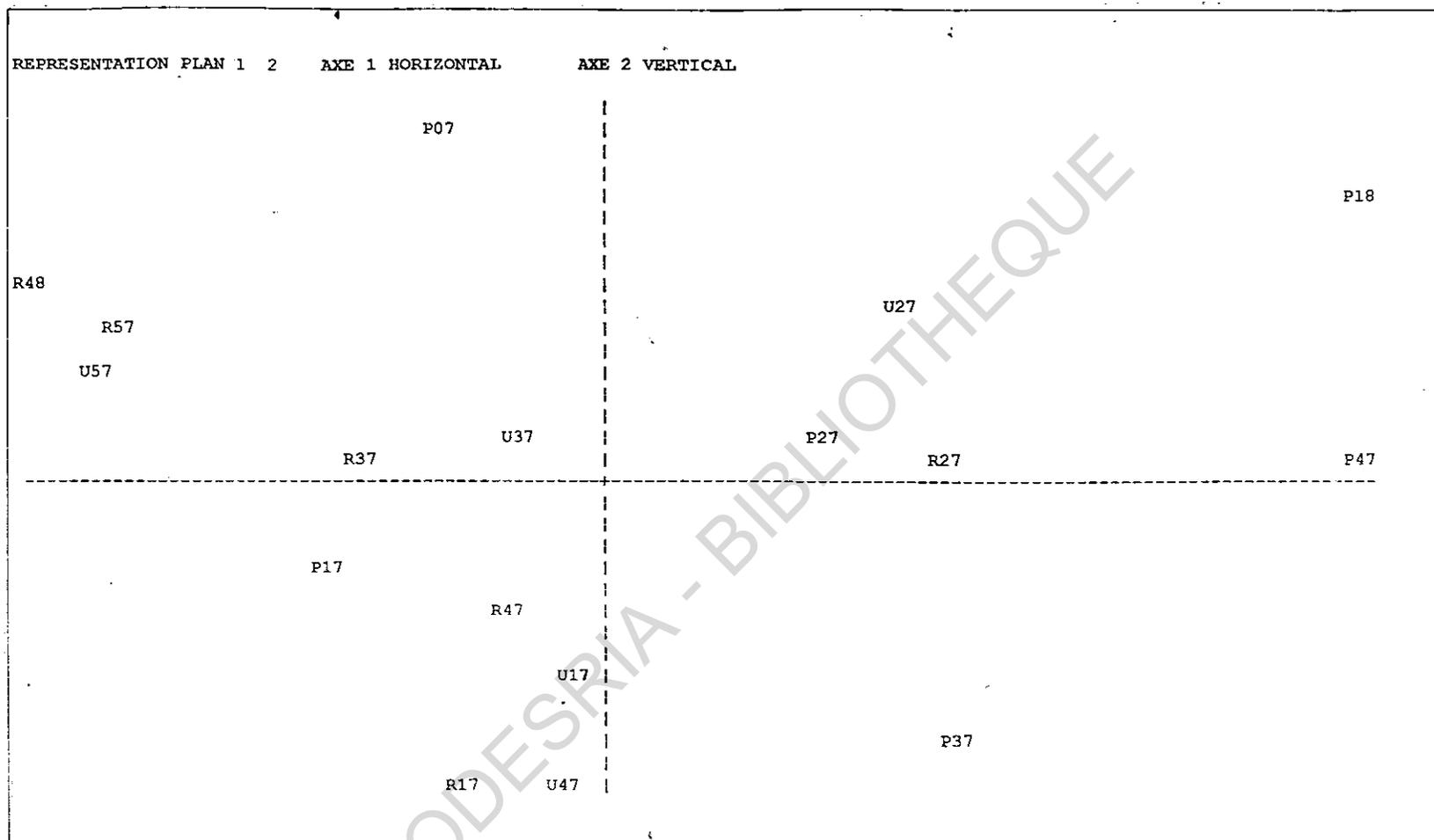


Figure 4.20 : Représentation plane de la distribution spatiale des échantillons

Notamment, l'analyse de la courbe de rabattement a mis en évidence l'existence d'une liaison hydraulique entre la nappe phréatique et les rivières qui la drainent. L'alimentation de la nappe en période de hautes eaux provient des cours d'eau qui constituent ses limites à potentiel imposé. En période d'étiage, cette liaison est inversée. L'interprétation des courbes hydroisohypses montre que les rivières sont alors alimentées par la vidange de la nappe.

L'analyse en composantes principales effectuée sur les données hydrochimiques n'a pas révélé de ségrégation entre les différents paramètres. L'eau des rivières et celle de la nappe proviennent essentiellement de la pluie. Cette conclusion a confirmé les résultats des interprétations hydrodynamiques.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

**CONCLUSIONS GENERALES**

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Au terme de ce travail, un certain nombre de conclusions peuvent être dégagées en ce qui concerne les données naturelles et l'image qu'elles nous donnent de l'importance des ressources en eau du bassin. Il ne nous paraît pas utile de revenir sur tous les points que nous avons traités, et ces conclusions générales prendront plutôt l'aspect de réflexions sur les stratégies à mettre en œuvre dans la gestion de cet écosystème.

Il était possible de se demander avant la réalisation de cette étude, si elle présentait réellement un intérêt en rapport avec le peu de place accordée jusqu'ici aux recherches hydrologiques en zone humide où l'on suppose que la ressource est inépuisable et de ce fait ne mérite pas d'attention particulière.

Les différentes évaluations réalisées dans le cadre de ce travail ont montré que le bassin du Congo dispose d'importantes réserves en eau de surface et souterraine.

Du point de vue hydrologique, avec un module avoisinant  $41.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pour un bassin de  $3,7 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ , le Congo est le deuxième grand bassin hydrologique du monde après celui de l'Amazonie. Son régime, très régulier, montre une forte tendance à la baisse depuis une vingtaine d'années. Les études menées dans le cadre du programme PEGI se situent donc dans un contexte de relativement faibles ressources en eau (déficit de 10% par rapport à la moyenne). L'hydrogramme du Congo à Brazzaville est le résultat du mélange des eaux des hémisphères austral et boréal. On a procédé à un découpage de l'hydrogramme de Brazzaville (exutoire principal) pour déterminer les diverses origines des eaux du bassin. Ainsi, le haut bassin du Congo, incluant le lac Tanganyika représente 6% des apports pour une superficie de  $800.000 \text{ km}^2$ , tandis que la Cuvette congolaise, avec  $560.000 \text{ km}^2$ , participe pour 24% à l'écoulement de Brazzaville. Le Kasai, premier affluent du Congo ( $1.000.000 \text{ km}^2$ ) contribue pour 23% au débit de Brazzaville et est prépondérant dans l'élaboration de l'hydrogramme, ses débits arrivant à contre temps de ceux du Lualaba ou de l'Oubangui. L'étude des transports solides et dissous du fleuve Congo ont permis de les quantifier avec précision et de définir leurs natures. Ce fleuve dont le module interannuel durant cette période d'étude est de  $37.700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a exporté en moyenne interannuelle  $94,9 \cdot 10^6$  tonnes de matières, réparties en  $31,2 \cdot 10^6$  tonnes de matière solide et  $63,7 \cdot 10^6$  tonnes de matière dissoute.

La concentration interannuelle moyenne de ces transports ( $79,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) est faible par rapport à celles des grands fleuves de la planète (dynamique des bassins aplanis). Les variations saisonnières et interannuelles des concentrations de matières et des débits n'excèdent pas 18% et 28%, soulignant ainsi une grande régularité des régimes d'exportations solide et liquide.

Les résultats obtenus en ce qui concerne la caractérisation hydrochimique font ressortir la stabilité de leur composition chimique en éléments majeurs dissous dont les concentrations suivent assez fidèlement le cycle hydrologique. Les eaux du fleuve transportent essentiellement sous forme dissoute de la silice et des bicarbonates issus en grande partie de la dissolution du gaz carbonique atmosphérique. Les eaux sont particulièrement peu chargées en éléments minéraux dissous ; la moyenne des TDS,  $36 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  est largement inférieure à la moyenne mondiale des eaux de rivières, qui est de  $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (BERNER and BERNER, 1987), ainsi qu'à la moyenne des eaux de rivières africaines ( $\pm 60 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Cela est principalement dû aux teneurs relativement faibles en bicarbonates ( $15,7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  contre  $26,9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  pour les autres fleuves d'Afrique, et environ  $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  pour la moyenne mondiale) et en calcium ( $2,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  contre respectivement  $5,7$  et  $13,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Pour la silice par contre, la concentration moyenne ( $9,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) est voisine de la moyenne mondiale ( $10,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ).

Cette faible charge minérale dissoute correspond à une dynamique de bassin aplani, protégé par un couvert forestier dense où l'érosion mécanique est ralentie et l'altération chimique agit sur un substratum déjà en grande partie lessivé.

A l'instar des eaux de surface, le bassin du Congo possède aussi plusieurs aquifères d'importance variable. Les réserves accumulées dans ce bassin représentent plusieurs milliards de mètres cubes. Des études hydrogéologiques ont été entreprises en vue de caractériser les différents aquifères. Ces études ont révélé l'existence de deux types d'aquifères :

- . les aquifères généralisés : ils sont représentés par les formations de la zone du littoral, celles de la Cuvette centrale et les formations récentes des plateaux Batéké. Ces formations sont en grande partie constituées de dépôts meubles ayant une porosité de matrice . Certains paramètres hydrodynamiques ont été calculés et on a abouti aux valeurs moyennes suivantes :
  - 1). aquifère sédimentaire côtier
    - Transmissivité :  $2.10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
    - Coefficient d'enmagasinement :  $10^{-4}$  à  $2,5.10^{-5}$
    - Facteur de drainance : 4.800 m
  - 2) aquifères du bassin sédimentaire intérieur
    - Coefficient de Darcy :  $10^{-5}$  à  $10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
    - Porosité efficace :  $10^{-1}$

Les eaux sont généralement très peu minéralisées. La résistivité est comprise entre 0,5 et  $271.10^3 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$  et le résidu sec toujours inférieur à  $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .

- . Les aquifères discontinus sont représentés par les formations du sédimentaire ancien et les roches cristallines et cristallophylliennes du Précambrien inférieur et moyen. Ce sont des roches compactes et indurées (grès, calcaires, gneiss etc...). Dans ces aquifères, la porosité de fissure domine.

Les caractéristiques hydrodynamiques de ces aquifères ont été évaluées. On a obtenu les différentes valeurs suivantes :

- Transmissivité de l'ordre de  $10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  pour les aquifères du schisto calcaire et  $6.10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  pour ceux du schisto-gréseux ;
- le coefficient de Darcy déterminé dans les altérites des formations cristallines est de  $5.10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Aucun essai de nappe n'a été réalisé dans les formations saines.

Un bilan d'eau chiffré a été établi et a donné les valeurs suivantes :

- Ecoulement souterrain moyen :  $2,146.10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$
- Ecoulement total moyen à l'exutoire principal:  $2,55 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ .

Ces chiffres indiquent que les écoulements souterrains représentent 80% des écoulements totaux à la sortie du bassin. Cependant, ce chiffre est sous-estimé puisque n'ayant pas été évalué à partir du bassin versant hydrogéologique qui est nettement plus important comparé au bassin versant topographique.

Enfin, les échanges hydriques surface/ souterrain ont été étudiés en milieu continu dans les formations sédimentaires quasi-isotropes à porosité d'interstice. Ils ont été prouvés par l'interprétation des données hydrodynamiques et piézométriques. Notamment l'analyse de la courbe de rabattement a mis en évidence l'existence d'une liaison hydraulique entre la nappe phréatique et les rivières qui la drainent. Ainsi, on a une relation hydraulique réversible avec l'alimentation de l'aquifère par les eaux de surface en période de recharge. Le phénomène est inversé en fin de recharge et pendant la vidange de la nappe.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

- ALEKUR, O. A. , BRAZNIKOVA, L. V. (1960) A contribution on runoff of dissolved substances on the world's continental surface in Russian. *Gidrochim* (Mat 32, p 12-24)
- ANONYME (1977) Carte géologique du Congo au 1/1000.000 *Doc. du Ministère des Mines et de la Géologie*, Brazzaville.
- ANONYME (1990) Aperçu géologique et pétrolier des bassins du Congo. *Rapport de l'association des producteurs de pétrole africains. Min. Mines et Energie*, Brazzaville, 38 pages + annexes.
- ARANYOSSI, J.F. (1991) L'apport des techniques isotopiques à l'étude de la recharge des aquifères sous contraintes techniques et climatiques extrêmes. *Diplôme d'habilitation à diriger une recherche en sciences*. Univ. Paris –sud, Orsay, 55p. + annexes
- ATLAS du Congo (1977) Atlas jeune Afrique. *Edition jeune Afrique*, Paris, France.
- BENNEKOM, A. J. VAN & JAGER, J. E. (1978) Dissolved aluminium in the Zaïre river plume. *Netherlands journal of Sea Research*, 12 ( ¾ ) : 358-367.
- BENNEKOM, A. J. , BERGER, G. W. , HELDER, W. & DE VRIES, R.T.P. (1978) Nutrient distribution in the Zaïre estuary and river plume. *Netherlands journal of Sea Research*, 12 ( ¾ ) 296-323.
- BERNER-KAY, E. et BERNER, R.A. (1987) " The global water cycle. *GEO chemistry and environment* ". *Prentice-Hall*. 396p.
- BESSELES, B. & TROMPETTE, R. (1980) Géologie de l'Afrique. La chaîne panafricaine, "Zone mobile d'Afrique centrale (partie sud) et zone mobile soudanaise". *Mémoire n° 92 BRGM*, Orléans, 396 p.
- BLACK, R. (1966) Sur l'existence d'une orogénie riphéenne en Afrique occidentale. *C.R. Acad Sci*. Paris, t. 262.
- BLACK, R. (1967) Sur l'ordonnance des chaînes métamorphiques en Afrique occidentale. *Chron. Min. Rech. Min.* , Paris, 364, 225-238.
- BRICQUET, J. P. (1987) Mesure des matières en suspension. Le Congo à Brazzaville. *Rapp. ORSTOM, Brazzaville*, Congo. Sér. D, 1046-1049.
- BRICQUET, J. P. (1993) Les écoulements du Congo à Brazzaville et la spatialisation des apports. *Rapport ORSTOM*, pp. 27-50, 485 pages, Paris, France.
- BOCQUIER, G. & GUILLEMIN, R. (1959) Aperçu sur les principales formations pédagogiques de la République du Congo. *Rapp. ORSTOM*, 139 p.
- BOULVERT, J. (1982) Notes de géomorphologie régionale de Centrafrique. *ORSTOM*, Bangui, 296 p.
- BULTOT, F. (1959) Sur le régime des rivières du bassin congolais. *Bull. des sciences académiques*. Acad. Roy. Des Sci. Col. Vol 5 1959-2pp 442-456.
- BULTOT, F. & GRIFFITHS (1971) Atlas climatique du bassin du Congo. Deuxième partie ; les composantes du bilan d'eau ; *Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo (INEAC)*. Hors série. 150 p.

- CAHEN L. (1948) Notes sur la géomorphologie du Congo occidental. *Ann. Musée du Congo belge*, Ter vuren, ser.
- CAHEN, L. (1954) La géologie du Congo belge. *H. Veullant Carmanne* Liège, 578 p.
- CASENAVE, A., CHEVALIER, P. (1986) Etude des crues décennales des petits bassins forestiers. Bassin du Leyou et de la Bibanga (Congo). *Rapport ORSTOM*, 23 p + annexes.
- CHAUVEL, A. (1977) Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance (Sénégal). *Travaux et documents n° 62 ORSTOM*, Paris 532 p.
- CIEH-BURGEAP (1979) Données pour l'amélioration de l'alimentation en eau sur les plateaux batékés. *Rapp. CIEH*. Ouagadougou – Burkina Faso – 170 p.
- CHEVALLIER, P. (1988) Complexité hydrogéologique du petit bassin versant. Exemple en savane humide Booro-borotou (Côte d'Ivoire). *Thèse doct., Univ. Montpellier II* 328 p. multigr
- CLIFFORD, T. N. (1970) The structural framework of Africa In : T. N. CLIFFORD et I. G. Gass (éds), *African magmatism and technics. Olives and Boyd, Edinburgh*, p. 1-26. *Sci. Géol.* n°1, 95 p
- CORBEL, J. (1964) L'érosion terrestre. Etude quantitative. *Ann. Géographic* 73 385-412.
- COSSON, J. (1955) Notice explicative sur les feuilles de Pointe Noire et Brazzaville. *Dir. Min. Géol. AEF*, 56 p.
- CYS; C. (1960) Carte des sols du Congo belge et Ruanda-Urundi. *Pédologie*, x, 1, p. 48-116.
- DADET, P. (1969) Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo Brazzaville au 1/500.000. *BRGM*, 103 p. Carte n° 70 Congo-Brazzaville.
- DELAUNE, M., JOUANNEAU, J.M., HARLE, J. (1993) Géochimie et minéralogie des suspensions des fleuves Congo et Oubangui. *Actes du colloques PEGI, 22-24 novembre 1993 Paris*, p 69-95
- DENIS, B. (1974) Notice explicative n° 52 de la carte pédologique du Congo. Feuille Brazzaville – Kinkala au 1/200.000. *ORSTOM ed.*
- DERONDE, L. & SYMOENS, J. J. (1980) L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve Zaïre. Une réévaluation. *Ann. Limnol.* 16 (2), 183-188.
- DEVROEY, E. J. (1941) Observations hydrographiques au Congo belge et au Ruanda-Urundi (1948-1950). *Mém. Inst. Roy. Belge, Sect. Sci. Techn. Coll.* 8, 6.
- DUGAS, F. & DELAUNE, M. (1989) Problèmes rencontrés en sédimentométrie sur les échantillons du Congo. *Note d'information n° 3, PIRAT, ORSTOM*, Montpellier, France, p 12-23.
- EGOROFF, V. (1955) Esquisse géologique provisoire du sous sol de Léopolville. *Ser. Géol. Congo belge et Ruanda-Urundi* 15 p.

- EISMA, D. , KARL, J. & VAN DER GAAST, S. J. (1978) Suspended matter in the Zaïre estuary and the adjacent atlantic ocean. *Netherlands Journal of Sea Research*, 12 ( ¾) 382-406.
- EL FAID, S. (1999) Etude géochimique et isotopique des transferts d'eau et de solutés dans la zone non saturée de la nappe des sables quaternaires de Louga (nord Sénégal). Recharge et paléorecharge. *Thèse de doctorat de 3ème cycle UCAD – Dakar*. 145 p.
- EVARD, P. (1957) Carte de morphologie du soubassement de la cuvette congolaise. *DIR. Min. Géol. AEF*. 56 p.
- FAO (1967) Etude des ressources en eau de la vallée du Niari. *Rapp. FAO : Topographie, hydrologie et hydrogéologie*, 88 p. + annexes.
- FURON, R. (1950) Géologie de l'Afrique. *Payot, éd.* Paris, 350 p.
- GERARD, G. (1958) Carte géologique de l'Afrique équatoriale française au 1/200.000 (4 feuilles) avec notice explicative. *Publ. Dir. Mines et Géol. AEF*, Brazzaville, 198 p.
- GIBBS, R. J. (1967) The geochemistry of the Amazon River systems composition and concentration of the suspended solids. *Bull. Geol. Soc.* 73, 1203-1282.
- GIRARD, C. (1972) Modèle précipitations-débits à discrétisation spatiale. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.* , vol IX, n° 4, 1-10.
- GIRESE, P. (1971) Géologie du sous-sol du port de Pointe Noire et fonds marins voisins. *Univ. Brazzaville*, T 7 pp. 95-107.
- GIRESE, P. (1981) Les terrasses alluviales en R.P. du Congo. *Bull. ASECNA*, 43-66.
- GIRESE, P. (1982) La succession des sédimentations dans les bassins marins et continentaux du Congo depuis le début du Mésozoïque. *Sci Géol. Bull.* Strasbourg 35 (4), 183-206.
- GRABOWSKY, P. (1972) Facteurs et processus de dégradation du site de Brazzaville. *Rapport de l'Univ. de Brazzaville* inédit. 12 pages.
- GRONDIN, J. L. & GAC, J. Y. (1980) Apports des matières aux océans. Bilan des six principaux fleuves d'Afrique ( à paraître).
- HOLLAND, H. D. (1978) The chemistry of the Atmosphere and oceans. *Wiley-Interscience*, New York, USA.
- HOLLEMAN, H. D. (1968) The sediment yield of major rivers of the world. *Wat. Resour. Res.* 4 (4), 737-747.
- IWACO B. V (1982) : approvisionnement en eau potable à Pointe Noire. *Rapport définitif SNDE-Brazzaville*, 25 pages.
- JANSEN, J. H. F. , VAN WEERING, T. C. E. , GIELES, R. & VAN IPEREN, J. (1974) Middle and late quaternary paleoceanography and climatology of the Zaïre fan and adjacent eastern angolan basin. *Netherlands Journal of Sea Research*, 17 (2-4), 201-249.

- JAUNATRE, A. (1969) Rapport de synthèse géologique. *Mission Ouesso 1969. CEA*. Inédit.
- KANE, A. (1997) L'après barrages dans la vallée du fleuve Sénégal : Modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques ; Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles. *Thèse de doctorat d'état de géographie. Univ. C. A. DIOP Dakar*. 551 p. + annexes.
- KENNEDY, W. Q. (1964) The structural differentiation of Africa in the panafrican (+/-500 millions years) tectonic episode. *8 th ann. Rep. Res. Inst. Afr. Geol. Leeds Univ.*, UK, p. 48-49.
- KINGA MOUZEO (1986) Transport particulaire actuel du fleuve Congo et quelques affluents : enregistrement quaternaire dans l'éventail détritique profond (sédimentologie, minéralogie et géochimie). *Thèse Doc. Univ. Perpignan*, 251 p.
- LARAQUE, A. et MAZIEZOULA, B. (1995) Recueil des données hydrologiques des affluents de la rive droite du fleuve Congo. *Rapport ORSTOM Montpellier*. 45 p. multigr.
- LEDOUX, J. (1980) Modélisation intégrée des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un bassin hydrologique. *Thèse Doctorat Ing, Ecole Mines, Paris, Univ. P. et M. Curie* 200 p, multigr.
- LEDOUX, J. (1986) Modèles mathématiques en hydrogéologie, Ecole Mines, Paris, *Rapport LHM/RD/86/12*, 120 p.
- LEEDEN, F. & VAN DER (1975) Water Ressource of the world. Selected statistics. *Water information center*, New York, USA.
- LE MARECHAL, A. (1966) Contribution à l'étude des plateaux batéké ; géologie, géomorphologie hydrogéologie. *Rapp. ORSTOM – Brazzaville Cote M.C.* 137 ; 43 pages.
- LEMPICKA, M. (1973) Bilan hydrique du bassin du fleuve Zaïre 1<sup>ère</sup> partie : écoulement du bassin 1950-1959. *Off. Natio. de la Rech. et du développement*. Kinshasa. 146 p.
- LIVINGSTONE, D. A. (1963) Cheminal composition of rivers and lakes date of chemistry us geological survey. *Prof. Paper* 440 G. p 1-64.
- LY, A. (1985) Le Tertiaire de Casamance (Sénégal). Biostratigraphie (Foraminifères) et Sédimentologie d'après les données de subsurface. *Thèse Univ. Marseille*, 215 p. (inédit).
- MAHE, G. (1993) Modulation annuelle et fluctuations inter-annuelles des précipitations sur le bassin versant du Congo. *Rapport ORSTOM*, pp. 13-26, 485 pages, Paris, France.
- MARLIER, G. (1973) Limnology of the Congo and Amazon river. In : B. J. Meggers, E. S. Ayensu and W. D. Duckworth. Tropical forest ecosystems in Africa and south America : a comparative review. *Snuthsonian Inst. Press, Washington*, p 223-238.
- MARTIN, J. M. & MEYBECK, M. (1978) The continent of major elements in the dissolved and particulate load of rivers. In : Biochemistry of estuarine sediments. *Proc. UNESCO/SCOR Workshop, Melreux, Dec. UNESCO press*. Paris. France. 95-110.

- MARTIN, J. M. & MEYBECK, M. (1979) Transport dissous et particulaire de quelques éléments chimiques par les rivières en milieu tempéré. *Mémoire Science Géologique n° 53, ATP-CNRS 45-48.*
- MARSILY, A. (1978) Modeling of large multilayered aquifer system : theory and applications. *Journal of hydrology*, 36 : 1-34.
- MASSENGO, A. (1970) Contribution à l'étude stratigraphique, sédimentologie et minéralogie de la série plio-pléistocène du bassin côtier du Congo. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle* Bordeaux. 289 p.
- MASSENGO, A. (1986) Introduction à l'interprétation géodynamique et climatique des séries détritiques du bassin du Congo. *Rapp. Univ. Marien Ngouabi de Brazzaville. 36 p. multigr.*
- MBORO, R. (1981) Le bassin de Pointe Noire (Congo), du Sénonien supérieur au Néogène : Stratigraphie, Paléogéographie, Paléontologie. *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle Univ. de Provence Marseille*, 335 p., 2 vol.
- MESTRAUD, J. L. (1971) Afrique centrale. In : tectonique de l'Afrique. *UNESCO*, Paris, p. 461-507.
- MEYBECK, M. (1976) Total mineral dissolved transport by world major rivers. *Hydrological sciences. Bulletin des sciences hydrologiques, XXI, 26/1976*, p 265-284.
- MEYBECK, M. (1978) Note on elemental contents of the Zaïre river. *Neth. J. Sea Res.* 12 (3/4), 293-295.
- MEYBECK, M. (1979) Concentration des eaux fluviaux en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.* 21 (5), 215-246.
- MEYBECK, M. (1984) Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. *Thèse de doctorat d'état n° 84-85, Univ. Pierre et Marie Curie, (Paris VI)*, 449 p.
- MICHAUD, I. (1984) Les milieux de sédimentation Crétacée du Sénégal et leur évolution diagenétique (étude de subsurface). *Thèse Univ. Aix-Marseille*, p 1. 286.
- MOLINIER, M. (1979) Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM, série hydrol.* XVI (1), 55-66.
- MOUKOLO, N. (1984) Ressources en eau souterraine et approvisionnement. Essai d'analyse socio-économique en région équatoriale humide. *Thèse de 3<sup>e</sup> cycle*, Univ. de Montpellier II.
- MOUKOLO, N. (1987) Ressources et possibilités d'utilisation des nappes des altérites de l'Inkissi. Recherche d'eau pour les besoins d'irrigation dans la localité de Kombé. *Rapp. BCBTP Brazzaville*, 13 p + annexes.
- MOUKOLO, N. (1988) Caractérisation hydrologique et hydrochimique du bassin de Loukéné. *Rapport du projet Mayombe*. 23 p multigr.
- MOUKOLO, N., BRIQUECT, J. P. & BIYEDI, J. (1990) Bilans et variations des exportations de matières sur le Congo à Brazzaville. *Hydrol. Continent.* 5 (1), 41-52, ORSTOM, Paris, France.

- MOUKOLO, N. (1992a) Etat des connaissances actuelles sur l'hydrogéologie du Congo Brazzaville. *Hydrogéol. BRGM Orléans* n° 1-2, 1992 pp. 47-58.
- MOUKOLO, N. (1992b) Hydrogéologie du Congo. *Doc. du BRGM n° 210*, 121 p. BRGM Orléans France.
- MOUKOLO, N., LARAQUE, A., OLIVRY, J.C., BRICQUET, J.P. (1993) Transport en solution et en suspension par le fleuve Congo et ses principaux affluents de la rive droite. *Journal des Sciences hydrologiques*. 38,2,4/1993. pp 133-145.
- NEDECO (1959) River Studies, Niger and Bénéué. *Nord Holland Publ. Co.*, Amsterdam, the Netherlands.
- NKOUNKOU, R. R. & PROBST, J. L. (1988) Hydrology and geochemistry of the Congo river system. In : *transport of Carbon and minerals in Major Rivers, part 4. Mitt. Paläont. Inst.*, Univ. Hambourg, SCOPE/UNEP Sonderbard helf 00, 1-29.
- NICKLES, M. et HOURCQ, V. (1952) Carte géologique de l'Afrique équatoriale française et du Cameroun. au 1/2.000.000 (3 feuilles) avec notice explicative. *Publ. Dir. Mines et Géol. AEF, et Serv. Mines*. Cameroun, 109 p.
- OLIVRY, J. C. (1967) Régimes hydrologiques des rivières des plateaux Batéké : Léfini, Nkéni, Alima. *Rapp. ORSTOM*, 52 p. + une pl.
- OLIVRY, J. C. (1986) Opération " transports de matières sur le bassin du fleuve Congo". *Rapp. ORSTOM Brazzaville, Congo*. (Transports solides en suspension au cameroun. In : *Erosion and solid matter transport in Inland waters*. Proc. Paris symp. July 1977, IAHS Publ. n° 122, 134-141).
- OLIVRY, J.C. (1987) Conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal. *Pro. vancouver Symp.* Août 1987, 501-512.
- OLIVRY, J. C. (1993a) Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide ? in *hydrology of warm humid regions* (J. S. Gladwell Ed. Sci). *Proc. Yokohama Symp.* Juillet 1993. 63-78. IAHS Publ. n° 216.
- OLIVRY, J.C., BRICQUET, J.P., LARAQUE, A., GUYOT, J.L., BOURGES, J., ROCHE, M.A. (1993b) Flux liquides, dissous et particulaires de deux grands bassins intertropicaux : le Congo à Brazzaville et le Rio Madeira à Villabella. *Actes du colloque PEGI*, 22 au 24 novembre 1993 Paris, 345-355 p. :
- OLIVRY, J.C., GOURCY, J., TOURE, M. (1993c) Premiers résultats sur la mesure des flux de matières particulaires et dissous dans les apports du Niger au Sahel. *Actes du colloque PEGI*. 22 au 24 novembre 1993. Paris. 281-292 p.
- PEYROT, B. (1965) Etude du ruissellement en zone urbaine à Brazzaville. *Rapport, Univ. Marien Ngouabi*. 38 p. multigr.
- PETERS, J. J. (1978) Discharge and sand transport in the braides zone of Zaïre estuary. *Netherlands Journal of Sea Research*, 12 (3/4), 273-292.
- PETIT, M. (1992) Les grands traits morphologiques de l'Afrique centrale atlantique. In : *paysages quaternaires*, p. 20-30.

- POIDEVIN, J. L. (1985) Le protérozoïque supérieur de RCA. Mus. Roy. de l'Afrique Centrale. *Ann. Série Sci géol. n° 91* : 1-77, 1985.
- ROCCI, G. (1965) Essai d'interprétation de mesures géochronologiques. La structure de l'Ouest africain. *Coll. Int. Géo-chronol.*, Nancy. Sci. Terre, X, 461-478.
- RUHE, R. V. (1954) Les surfaces d'érosion de l'intérieur des hauts plateaux. *Publ. INEAC, Ser. Sci. Nat. n° 59*.
- SAMBA KIMBATA, M. J. (1992a) Aperçu sur le climat du Congo, in : *hydrogéologie du Congo. Doc. BRGM 210*, BRGM Orléans France, p. 15-25.
- SAMBA KIMBATA, M. J. (1992b) Aperçu sur le climat de l'Afrique centrale occidentale. In : *paysages quaternaires*, p. 31-41.
- SAVAT, J. (1973) Een morfologische en sédimentologisch-hydraulische indeling van de riviereu van het Zaïre bekken. *Thèse de doctorat de l'Université catholique de Louvain*. 399 p.
- SHOLKOVITZ, E. R. (1978) The major element composition of the suspended maherm the Zaïre river and estuary. *Neth, 5 of sea Res. 12 (3/4)* : 407-413.
- SIRCOULON, R. (1986) Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Colloque de Ouagadougou 20-24 Mai 1986. CIEH - Série hydrogéologique*.
- SONDAG, F., LARAQUE, A., RIANDEY, C. (1993) Chimie des eaux du fleuve Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui ( années 1988 à 1992). *Actes du colloque PEGI, 22 au 24 Paris*. pp 121-131.
- SONET, J. (1955) Coupure Ouesso-ouest. *Documents du BRGM*, Orléans. France.
- SPRONCK, R. (1941) Mesures hydrographiques effectuées dans la région divergeante du bief maritime du fleuve Congo. *Mém. Inst. ROY. Coll. Belge, Sect. Sci. Tech. Coll. 3 (1)*, 3-56.
- SYMOENS, J. J. (1968) La minéralisation des eaux naturelles. Résultats Scientifiques. *Explo. Hydrobiol. Bassin du lac Bangwelo et du Luapula*. Bruxelles (1).
- THIEBAUX, J.P. (1987) Bilans annuels et variations saisonnières des flux particuliers du Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui. *Rapport INSU/ORSTOM*. 123 pages pp 5-9.
- VAN FRACHEN, T. (1980) Contribution à l'étude de l'hydrologie de surface du bassin zaïrois. Les relevés des cotes hydrométriques des années 1971-1978. *Mém. De l'Acad. Roy des Sci. d'outre mer*. Bruxelles. 397 p.
- VEATCH, A. C. (1935) Evolution of the Congo basin. *Mém. Geol. Soc. America, n° 3*.p.43-56.

## **ANNEXES**

**ANNEXE I:** Débits mensuels en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

**ANNEXE II:** Résultats des mesures physiques et physico-chimiques.

**ANNEXES III:** Résultats de la caractérisation hydrochimique des matières dissoutes.

**ANNEXE I: Débits mensuels en  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$** 

(Données extraites de la banque des données hydroms, corrigées et complétées par LARAQUE, A. et MAZIEZOULA, B., 1995)

1. Congo à Brazzaville
2. Lefini à Mbouambe
3. Nkeni à Gamboma
4. Alima à Tchikapika
5. Kouryou à Linnengue
6. Likouala Mossaka à Makoua
7. Sangha à Ouesso
8. Likouala aux herbes à Botouali

Débits mensuels en m<sup>3</sup>/s

Station Congo à Brazzaville

n° Hydrom : 1070500105

Superficie du BV à la station : 3 500 000 km<sup>2</sup>  
à l'exutoire : 3 700 000 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece	annuel	max	min	max/min
1902			32900	38600	39300	36200	29300	31200	34700	41600	51500	58300	39 400	58300	29300	1.99
1903	49900	39000	36500	37000	39100	38200	34900	35200	41000	45300	53500	56600	42 200	56600	34900	1.62
1904	46600	38600	37900	43600	44400	40800	32600	36100	43000	50000	58100	59600	44 300	59600	32600	1.83
1905	51000	40400	37400	37600	33900	29700	25800	27800	32000	38600	46800	55500	38 000	55500	25800	2.15
1906	52700	41100	40700	41700	41000	38500	34700	31000	35000	44800	52000	53400	42 200	53400	31000	1.72
1907	41700	37300	35600	36000	39300	34700	27600	27500	33300	39800	46400	50400	37 500	50400	27500	1.83
1908	42200	34100	32200	35400	38500	38000	35400	34400	41500	48800	61500	73000	42 900	73000	32200	2.27
1909	59200	42800	39600	46400	56100	53200	41300	40700	42000	53300	59400	60200	49 500	60200	39600	1.52
1910	54700	43400	39000	38300	45100	41400	33900	38000	40400	49000	59400	66700	45 800	66700	33900	1.97
1911	51900	38500	34700	38300	40700	43300	34200	29700	35600	41300	51400	61300	41 700	61300	29700	2.06
1912	52600	42300	38900	40000	38100	34700	35000	35400	41700	51600	58300	59000	44 000	59000	34700	1.70
1913	46600	38300	38300	38300	43700	41900	33600	31500	33000	39300	46300	44900	39 600	46600	31500	1.48
1914	37400	30600	34300	38900	36400	35900	32800	29900	34000	44600	54700	62900	39 400	62900	29900	2.10
1915	52200	35100	32600	33200	33400	32300	28800	29000	34400	39900	45100	52200	37 400	52200	28800	1.81
1916	46100	35500	34400	36100	41700	36200	33000	31500	38000	47800	61000	66200	42 300	66200	31500	2.10
1917	54300	42400	39200	41200	46400	45100	37000	33200	40200	49300	61500	61900	46 000	61900	33200	1.86
1918	43200	33100	31700	37300	38200	33700	31200	33500	39600	41600	45500	48000	38 100	48000	31200	1.54
1919	43500	37700	34400	34900	34200	30000	27300	30500	34600	40400	45500	49000	36 800	49000	27300	1.79
1920	43100	34800	30900	33700	38800	36200	33300	36900	42500	46600	55600	66100	41 500	66100	30900	2.14
1921	58300	41600	36900	37100	41600	38300	36800	34600	42300	49200	59300	61800	44 800	61800	34600	1.79
1922	47600	40400	37400	37400	36900	33600	30400	29500	37600	46200	58800	64400	41 700	64400	29500	2.18
1923	48900	38100	33500	38500	45500	44500	36300	37900	43400	48400	56000	66500	44 800	66500	33500	1.99
1924	54900	42800	34900	40400	46300	45400	34600	34700	41600	49500	64400	70400	46 700	70400	34600	2.03
1925	55100	38800	36900	38800	38800	38300	38200	36300	41200	49500	61300	71300	45 400	71300	36300	1.96
1926	67000	45100	39100	43800	47100	42100	35800	35900	42200	49000	61900	68400	48 100	68400	35800	1.91
1927	51100	38500	36400	42100	42400	37700	30600	31400	36000	42600	51700	52300	41 100	52300	30600	1.71
1928	43900	38800	35500	40000	44400	46200	41800	37700	44700	49900	54900	57400	44 600	57400	35500	1.62
1929	46400	39500	38200	39100	40800	37000	32900	34200	40300	45600	57400	64200	43 000	64200	32900	1.95
1930	52300	41500	38000	44700	48800	44700	35100	31700	36000	44600	53500	52000	43 600	53500	31700	1.69
1931	44200	39700	38300	41100	41200	37900	32200	32000	35100	40400	48100	53500	40 300	53500	32000	1.67
1932	49000	35900	33100	37800	38900	41600	37600	31800	39200	47700	57600	57800	42 300	57800	31800	1.82
1933	50800	47000	43400	42900	38400	33600	28600	29700	35100	42400	47600	52200	41 000	52200	28600	1.83
1934	48200	34900	32100	35300	36900	34400	32100	33700	40000	44600	56200	65100	41 100	65100	32100	2.03
1935	58500	44000	41400	44300	45300	43000	39300	32900	36700	41300	46500	50100	43 600	58500	32900	1.78
1936	45500	38800	36400	37600	38900	36600	33900	33700	40300	48300	55000	58100	41 900	58100	33700	1.72
1937	46600	38800	38700	41700	44700	42200	32700	32400	35900	41500	53900	59300	42 400	59300	32400	1.83
1938	50000	35100	35500	35700	37000	33900	31000	33300	37800	43200	53700	58100	40 400	58100	31000	1.87
1939	46400	40000	38300	39100	41700	38400	30900	29900	33100	43100	54300	63700	41 600	63700	29900	2.13
1940	50400	42200	39600	41300	42900	39800	31100	33600	37600	42900	51400	54200	42 300	54200	31100	1.74
1941	45200	35900	35700	36100	35200	36400	35800	32400	39000	42200	48600	58500	40 100	58500	32400	1.81
1942	56600	45700	39400	38300	37700	37500	32200	34300	42100	47200	48600	47000	42 200	56600	32200	1.76
1943	40200	33400	30600	31200	33300	33000	28200	29200	35000	41900	46200	44300	35 500	46200	28200	1.64
1944	40500	36700	32700	40900	41600	37400	28000	29500	37500	44500	51400	53300	39 500	53300	28000	1.90
1945	42800	33800	32900	32000	32400	35700	31900	31100	37900	47000	56000	57600	39 300	57600	31100	1.85
1946	44500	32900	30200	31600	35300	32800	29100	30300	37900	46900	56300	62600	39 200	62600	29100	2.15
1947	51300	40700	37200	40000	46500	45000	37800	36000	37800	44900	51000	50700	43 200	51300	36000	1.43
1948	47400	40300	39000	37300	38100	36200	34600	35800	42800	51800	61500	64100	44 100	64100	34600	1.85
1949	48200	35600	32900	35100	33800	30300	30000	34000	39200	47900	55400	52100	39 500	55400	30000	1.85
1950	40600	34800	32300	38500	37800	33500	30500	33900	39300	46500	58300	57400	40 300	58300	30500	1.91
1951	45400	37500	35100	42500	38700	35300	32600	29100	35300	40300	55100	64100	40 900	64100	29100	2.20
1952	56100	39000	34100	35000	40300	39700	33200	33000	38100	43800	52300	52800	41 500	56100	33000	1.70
1953	43600	35700	34900	36400	37500	34400	29300	26300	32500	38300	46200	50200	37 100	50200	26300	1.91
1954	37500	30000	32500	37300	40100	36600	32800	28200	34400	41600	51100	52300	37 900	52300	28200	1.85

## Débits mensuels en m3/s (suite)

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dece	annuel	max	min	max/min
1955	47700	42500	38500	42400	46100	40000	32800	33200	38200	48500	59200	60400	44 100	60400	32800	1.84
1956	50100	39300	35400	39800	47700	42800	35600	31300	36200	43500	51300	56000	42 400	56000	31300	1.79
1957	50600	38300	37000	44900	45000	41500	35600	33700	36300	40400	49400	55200	42 300	55200	33700	1.64
1958	51400	38700	30600	30700	34700	31200	27600	26200	30600	35600	42900	43700	35 300	51400	26200	1.96
1959	38500	34900	30900	31200	31900	30700	26000	26800	34800	43500	50700	58200	36 500	58200	26000	2.24
1960	52600	41800	42600	47000	49800	44500	38700	36300	39800	47900	57100	59500	46 500	59500	36300	1.64
1961	49200	42200	40800	43600	45600	38400	36000	37600	42500	53200	64500	73500	47 400	73500	36000	2.10
1962	72300	61000	48800	52800	54600	50200	46100	41700	45600	54200	63700	71900	55 200	72300	41700	1.73
1963	66700	56800	49000	48700	54600	53200	46200	40900	41900	45400	52400	59000	51 200	66700	40900	1.63
1964	58100	48600	43000	45200	48500	48100	40000	33900	39900	48800	60800	67300	48 500	67300	33900	1.99
1965	55500	42000	38900	45200	44400	36700	29300	31100	37000	42800	52600	61900	43 100	61900	29300	2.11
1966	56100	44800	43000	48300	51800	49100	40100	37400	42700	49200	56200	62200	48 400	62200	37400	1.66
1967	49800	36700	34000	35800	36100	33800	31300	32200	39100	47300	60400	64800	41 800	64800	31300	2.07
1968	58200	45300	43900	45900	47700	47300	42600	37700	40300	44500	51400	58800	47 000	58800	37700	1.56
1969	57100	49800	46200	53500	53700	51300	44900	43600	46500	51400	59100	64900	51 800	64900	43600	1.49
1970	54700	45200	44700	45600	45500	42700	34400	36200	43700	52400	61400	61300	47 300	61400	34400	1.78
1971	48300	38600	34000	36200	37800	33300	28300	33300	39300	45400	51300	54700	40 000	54700	28300	1.93
1972	44200	35300	33800	35900	37100	33900	29900	29800	33700	39300	52700	56200	38 500	56200	29800	1.89
1973	47900	38400	32900	33000	35500	32800	26100	26500	33900	41100	48300	51100	37 300	51100	26100	1.96
1974	41700	35400	32300	35100	37500	36500	32100	33900	38300	46000	53000	52900	39 600	53000	32100	1.65
1975	44200	38300	35100	35400	37200	33200	30700	30500	39300	50200	59300	62700	41 300	62700	30500	2.06
1976	47300	39400	39000	41300	43000	39600	34800	33100	39400	44600	52300	58800	42 700	58800	33100	1.78
1977	56400	47500	40600	44200	46600	39500	35800	34400	40100	50300	56100	57700	45 800	57700	34400	1.68
1978	52100	38400	36500	38600	43000	42700	36600	33800	40300	45200	54000	61600	43 600	61600	33800	1.82
1979	52500	46300	44300	46800	47700	48700	41800	34300	38300	40100	48300	53000	45 200	53000	34300	1.55
1980	42900	35800	34000	36500	38800	37800	34500	35700	38700	46000	54200	59000	41 200	59000	34000	1.74
1981	50300	39900	33500	36900	36200	39000	30300	31500	39800	45900	51900	53500	40 700	53500	30300	1.77
1982	44700	35700	32200	30200	33400	35100	31400	29900	34600	42400	56900	60700	38 900	60700	29900	2.03
1983	49900	37800	32200	32500	30800	27800	25000	26400	32100	37000	46400	48900	35 600	49900	25000	2.00
1984	41900	32700	30500	31400	30500	26100	25700	29600	31700	34400	41200	44200	33 300	44200	25700	1.72
1985	36100	32800	26600	35300	42300	39900	33900	33000	37200	46200	52000	50600	38 800	52000	26600	1.95
1986	41500	33200	32600	36500	36400	32700	25400	26300	30200	39400	51500	55100	36 700	55100	25400	2.17
1987	45100	36900	38100	39600	38100	34400	28400	25500	32800	41200	51000	53400	38 700	53400	25500	2.09
1988	45400	34500	33000	35200	36100	33200	28000	28300	36800	44700	55000	59300	39 100	59300	28000	2.12
1989	55600	38500	32400	37800	36900	31400	25600	27100	33200	37500	47100	51200	37 900	55600	25600	2.17
1990	45400	34900	34000	34500	32900	31600	24700	25200	32500	39700	45100	51200	36 000	51200	24700	2.07
1991	50700	40900	34600	37200	40000	40100	36400	32900	36200	37900	46000	50700	40 300	50700	32900	1.54
1992	39800	30500	26500	28100	30300	28300	26400	28400	31700	38100	47100	53200	34 000	53200	26400	2.02
1993	46200	34100	28800	32100	33900	34800	33300	31800	35800	38400	43300	49000	36 800	49000	28800	1.70
1994	44100	34500	30600	29800	31700	31700	31100	30100	36800	46000	55600	62600	38 700	62600	29800	2.10
1995	55900	43500	37800	38100	39200	35800	28200	29500	30200	38400	49400	53900	40 000	55900	28200	1.98
Moy.	49 000	39 100	36 100	38 700	40 500	38 000	33 000	32 500	37 800	44 700	53 400	57 700	41 700	58300	31500	1.86

moy 53-93	49 300	39 700	36 400	39 100	40 900	38 200	33 000	32 100	37 300	43 900	52 500	56 900	41 600	57400	31 200	1.86
moy 87-93	46 900	35 800	32 500	34 900	35 500	33 400	29 000	28 500	34 100	39 600	47 800	52 600	37 500	53200	27 400	1.96
max 53-93	72 300	61 000	49 000	53 500	54 600	53 200	46 200	43 600	46 500	54 200	64 500	75 500	55 200	75500	43 600	2.24
min 53-93	36 100	30 000	26 500	28 100	30 300	26 100	24 700	25 200	30 200	34 400	41 200	43 700	33 300	44200	24 700	1.49

## Débits mensuels en m3/s

Station : Lefini à Bwembé

n° Hydrom : 1070502103

Superficie du BV à la station : 13 500 km<sup>2</sup>  
à l'exutoire : 14 000 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece	annuel	max	min	max/min
1951										338	448	423				
1952	401	405	412	423	433	372	367	355	361	413	461	423	402	461	355	1.30
1953	408	407	431	444	466	394	370	367	364	392	426	415	407	466	364	1.28
1954	378	401	399	410	462	406	382	378	348	376	422	405	397	462	348	1.33
1955	422	394	394	469	491	405	370	360	372	422	451	467	418	491	360	1.36
1956	461	437	420	451	452	381	361	351	361	393	445	431	412	461	351	1.31
1957	463	451	468	448	438	390	370	366	365	414	456	472	425	472	365	1.29
1958	421	429	444	415	434	399	387	383	419	472	523	406	436	523	383	1.37
1959	502	530	523	560	572	463	451	443	467					572	443	1.29
1960			420	460	474	388	362	363	377	401	460	412		474	362	1.31
1961	434	429	418	433	486	388	383	367	364	381	586	549	431	586	354	1.66
1962	538	414	352	367	398			360	357	429	471	575		575	352	1.63
1963	591	349	366	424	431	376	356	392	402	433	506	487	427	591	349	1.69
1964	541	495	446	498	491	434	398	389	390	418	505	493	458	541	389	1.39
1965	457	464	513	498	501	441	404	399	409	439	481	489	458	513	399	1.29
1966	470	482	463	528	513	426	407	390	395	427	531	480	459	531	390	1.36
1967	448	486	479	457	495	427	379	370	403	391	430	427	432	495	370	1.34
1968	446	441	443	454	459	396	372	364	375	413	437	475	423	475	364	1.30
1969	450	428	449	450	452	393	371	365	361	401	432	452	417	452	361	1.25
1970	426	431	461	438	436	383	366	362	371	394	512	442	418	512	362	1.41
1971	412	406	418	432	454	408	383	376	383	435	479	462	421	479	376	1.27
1972	419	425	414	440	451	401	375	367	378	395	489	451	417	489	367	1.33
1973	435	413	411	443	482	401	376	368	391	407	475	450	421	482	368	1.31
1974	435	435	457	460	424	382	367	358	372	391	428	440	412	460	358	1.28
1975	444	463	447	436	426	401	378	362	367	417	438	429	417	463	362	1.28
1976	420	409	427	444	451	362	360	355	359	367	459	460	409	460	355	1.30
1977	411	403	441	448	425	398	366	361	369	418	444	446	411	448	361	1.24
1978	419	439	396	424	443	385	365	354	364	374	452	419	402	452	354	1.28
1979	438	440	401	430	450	403	368	357	380	384	414	431	408	450	357	1.26
1980	423	450	428	446	482	389	373	369	369	386	429	419	413	482	369	1.31
1981	438	433	436	432	409	374	364	358	362	445	481	444	412	481	358	1.34
1982	431	410	415	416	434	386	365	363	364	391	437	432	403	437	358	1.22
1983	431	419	412	427	401	374	365	350	354	385	446	418	398	446	350	1.27
1984	410	402	409	391	419	377	366	360	367	370	426	403	392	426	360	1.18
1985	413	433	434	452	466	381	377	364	362	410	429	433	413	466	362	1.29
1986	419	445	430	446	449	402	369	362	364	384	429	420	410	449	362	1.24
1987	410	419	405	424	401	363	354	355	360	381	410	387	389	424	354	1.20
1988	400	396	412	398	391	395	365	353	350					412	353	1.17
1989		432	423	447	444	382	361	354	366	408	432	416		447	354	1.26
1990	411	435	406	410	453	398	363	358	371	406	417	426	404	453	358	1.27
1991	407	417	403	418	418	388	358	353	347	365	397	407	390	418	347	1.20
1992	374	380	394	395	443	374	351	342	341	355	387	389	377	443	341	1.30
1993	398	422	403	404	392	356	342	338	352	367	396	389	380	422	338	1.25
1994	373	372	378	354												
Moy.	435	428	426	438	450	394	372	366	373	401	453	444	414	453.1	365.79	1.24

■ valeur provenant du recueil de données hydrologiques du Congo (ORSTOM Brazzaville 1977)

■ valeur estimée

moy 53-93	437	430	427	440	450	395	372	366	374	401	453	445	414	478	363	1.32
moy 87-93	400	414	407	414	420	379	356	350	357	382	407	402	388	431	349	1.24
max 53-93	591	530	523	560	572	463	451	443	467	472	586	575	459	591	443	1.69
min 53-93	374	349	352	367	391	356	342	338	341	355	387	387	377	412	338	1.17

## Débits mensuels en m3/s

Station : N'Keni à Gamboma

n° Hydrom 1070502705

Superficie du BV à la station : 6 200 km<sup>2</sup>à l'exutoire : 8 000 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece	annuel	max	min	max/min
1951										215	218	201				
1952	199	203	200	197	203	197	186	185	192	199	201	195	196	203	185	1.10
1953	196	195	206	193	204	187	188	182	186	193	194	194	193	206	182	1.13
1954	189	192	190	196	194	185	177	175	184	194	198	189	189	198	175	1.13
1955	200	194	198	200	204	188	185	181	196	206	202	199	196	206	181	1.14
1956	198	196	192	201	198	188	181	178	185	207	203	198	194	207	178	1.16
1957	194	192	202	208	193	187	181	181	190	203	198	200	194	208	181	1.15
1958	191	190	188	187	190	180	175	173	180	193	188	187	185	193	173	1.12
1959	187	187	192	188	187	177	173	174	181	197	199	205	187	205	173	1.18
1960	202	196	200	200	203	195	185	183	189	197	204	194	196	204	183	1.11
1961	198	200	213	215	209	193	190	187	200	208	207	213	203	215	187	1.15
1962	211	215	219	212	212	207	199	194	196	216	213	217	209	219	194	1.13
1963	214	215	210	225	233	204	206	201	203	212	209	214	212	233	201	1.16
1964	214	212	203	217	210	203	192	188	196	212	217	209	206	217	188	1.15
1965	207	207	216	208	211	203	194	194	205	211	222	218	208	222	194	1.14
1966	214	213	201	214	214	203	195	196	204	218	226	218	210	226	195	1.16
1967	211	221	220	215	216	218	207	205	213	214	223	214	215	223	203	1.10
1968	222	218	217	215	216	204	199	198	208	220	219	220	213	222	198	1.12
1969	214	215	214	219	223	207	201	205	206	214	219	219	213	223	201	1.11
1970	211	212	220	212	214	205	199	202	209	224	231	218	213	231	199	1.16
1971	214	209	209	214	217	206	200	198	208	213	220	219	211	220	198	1.11
1972	209	214	203	209	206	203	196	192	201	213	217	212	206	217	192	1.13
1973	197	206	205	204	215	199	194	194	196	202	217	213	203	217	194	1.12
1974	210	206	206	206	204	196	199	185	192	204	216	207	202	216	185	1.17
1975	205	205	208	200	205	202	194	179	187	205	226	221	203	226	179	1.26
1976	218	190	197	198	198	190	176	176	181	196	203	200	194	216	176	1.23
1977	199	194	199	204	203	202	188	191	190	202	205	201	198	205	188	1.09
1978	198	195	190	188	185	183	181	179	189	210	206	203	192	210	179	1.17
1979																
1980	199	199	200	198	201	191	187	184	193	201	195	199	196	201	184	1.09
1981	201	198	194	187	188	180	176	174	180	190	201	204	189	204	174	1.17
1982	190	188	189	182	195	185	175	174	179	214	206	195	189	214	174	1.23
1983	180	180	186	182	182	182	177	173	177	193	197	197	184	197	173	1.14
1984	202	196	190	187	184	183	190	197	190	201	198	191	192	202	183	1.10
1985	190	188	194	193	188	182	180	181	194	206	212	200	192	212	180	1.18
1986	197	220	208	205	207	203	192	193	199	208	218	211	205	220	192	1.15
1987	204	212	210	200	204	201	190	188	196	202	195	197	200	212	188	1.13
1988	196	212	212	206	207	205	197	201	225	212	214	223	209	225	196	1.15
1989	212	201	212	198	194	194	192	192	194	209	207	201	201	212	192	1.10
1990	201	214	201	194	216	201	191	188	201	208	203	211	202	216	188	1.15
1991	199	199	208	225	212	201	196	190	192	200	205	198	202	225	190	1.18
1992	192	192	193	207	209	201	184	180	185	217	214	198	198	217	180	1.21
1993	199	194	200	204	210	193	183	184	193	209	209	210	199	210	183	1.15
1994	199	191	180	188	199											
Moy.	202	202	202	202	204	195	189	187	194	206	209	206	200	209	187	1.12

valeur provenant du recueil de données hydrologiques du Congo (ORSTOM Brazzaville 1977)

valeur estimée

moy 53-93	202	202	203	203	204	195	189	187	194	206	209	206	200	214	186	1.15
moy 87-93	200	203	205	205	207	199	190	189	198	208	207	205	202	217	188	1.15
max 53-93	222	221	220	225	233	218	207	205	225	224	231	223	215	233	203	1.26
min 53-93	180	180	186	182	182	177	173	173	177	190	188	187	184	193	173	1.09

## Débits mensuels en m3/s

Station : Alima à Tchicapika

n° Hydrom : 1070501206

Superficie du BV à la station : 20 070 km<sup>2</sup>  
à l'exutoire : 21 030 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mal	Jun	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dece	annuel	max	min	max/min
1952	575	637	575	577	619	585	497	456	490	605	613	717	573	717	456	1.57
1953	734	593	646	590	608	565	493	452	512	592	599	578	581	734	452	1.62
1954	521	569	569	553	588	561	439	421	456	517	589	537	526	589	421	1.40
1955	569	540	597	640	616	555	483	456	524	590	623	659	571	659	456	1.45
1956	630	616	590	606	595	544	462	429	514	532	532	535	528	630	429	1.47
1957	534	525	538	550	541	512	510	456	520	527	525	532	522	550	456	1.21
1958	514	530	525	532	516	510	510	510	514	530	514	515	519	532	510	1.04
1959	506	541	530	534	545	493	510	502	506	550	552	562	528	562	493	1.14
1960	525	555	548	566	568	557	512	502	525	607	573	597	553	607	502	1.21
1961	605	605	626	655	666	582	548	532	577	603	630	612	602	666	532	1.25
1962	588	605	617	608	640	600	500	554	526	614	634	673	597	673	500	1.35
1963	657	655	644	635	708	613	590	571	578	609	656	661	631	708	571	1.24
1964	668	697	645	648	671	663	576	531	579	613	678	669	636	697	531	1.31
1965	651	672	656	691	669	632	545	535	536	583	660	658	624	691	535	1.29
1966	642	645	654	629	674	637	556	528	534	609	690	691	624	691	528	1.31
1967	617	645	640	639	614	624	535	502	560	653	685	653	614	685	502	1.36
1968	663	632	629	622	673	611	521	513	576	618	662	696	618	696	513	1.36
1969	654	633	644	658	735	690	575	562	576	630	675	693	644	735	562	1.31
1970	610	620	686	662	642	597	527	531	570	641	730	694	626	730	527	1.39
1971	620	572	613	661	645	624	523	518	566	613	673	721	613	721	518	1.39
1972	608	612	620	590	568	564	468	446	505	567	661	608	568	661	446	1.48
1973	563	529	567	620	626	577	514	506	535	607	632	662	578	662	506	1.31
1974	663	589	603	613	642	552	519	493	533	621	713	685	602	713	493	1.45
1975	620	630	601	601	600	581	480	436	457	629	682	557	572	682	436	1.56
1976	559	552	577	611	593	566	530	525	546	570	598	589	568	611	525	1.16
1977	575	579	598	611	591	596	543	548	562	618	630	618	589	630	543	1.16
1978	589	593	584	607	618	586	545	534	562	595	621	596	586	621	534	1.16
1979	589	582	584	602	625	655	568	575	617	655	689	649	616	689	568	1.21
1980	575	584	577	598	591	582	539	536	550	589	589	571	573	598	536	1.12
1981	579	571	604	604	612	518	472	449	494	549	646	662	563	662	449	1.47
1982	608	526	517	470	572	540	448	472	491	653	697	668	555	697	448	1.56
1983	667	583	552	517	528	513	438	412	442	510	578	625	530	667	412	1.62
1984	594	588	495	500	500	495	555	503	521	559	605	591	542	605	495	1.22
1985	618	622	540	634	593	552	502	491	553	657	706	672	595	706	491	1.44
1986	607	633	660	679	627	637	502	494	522	629	696	674	613	696	494	1.41
1987	623	648	654	635	598	574	509	503	628	674	670	627	611	674	503	1.34
1988	573	608	611	613	656	632	521	493	596	660	682	692	611	692	493	1.40
1989	656	566	629	624	629	567	526	531	571	661	744	676	615	744	526	1.41
1990	634	710	649	626	681	684	514	502	520	623	645	652	619	710	502	1.41
1991	604	597	677	683	667	641	539	498	506	637	662	635	606	683	498	1.37
1992	553	541	533	618	646	555	459	438	458	551	618	595	547	646	438	1.47
1993	580	544	535	556	599	546	458	451	451	513	579	572	537	599	451	1.33
1994	576	569	574													
Moy.	602	595	598	606	617	582	513	498	533	598	639	632	584	638.95	498	1.28

■ valeur reconstituée à partir de la station de Okoyo  
■ valeur estimée

moy 53-93	604	596	599	607	616	582	514	499	534	598	640	630	585	664	496	1.35
moy 87-93	603	602	613	622	639	600	504	488	538	611	657	636	593	678	487	1.39
max 53-93	734	710	686	691	735	690	590	575	628	674	744	721	644	744	571	1.62
min 53-93	506	525	496	470	500	493	438	412	442	510	514	518	519	532	412	1.04

## Débits mensuels en m3/s

Station : Kouyou à Linengue (ou Owando)

n° Hydrom : 1070504506

Superficie du BV à la station : 10 750 km<sup>2</sup>à l'exutoire : 16 000 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dece	annuel	max	min	max/min
1952				177	207	182	126	104	170	307	263	283		307	104	2.96
1953	214	187	295	241	217	173	135	115	165	240	244	182	201	295	115	2.57
1954	183	212	241	231	254	220	125	127	129	181	196	176	189	254	125	2.03
1955	190	154	266	269	277	205	133	121	164	290	349	378	233	378	121	3.12
1956	243	205	318	290	249	243	137	90	140	147	147			318	90.4	3.52
1957	148	276	343	336	258	223		123	149	240	256	190		343	123	2.79
1958	152	188	192	218	246	134	134	134	136	176	211	251	181	251	134	1.88
1959	179	215	147	175	155	142	132	112	133	191	184	235	166	235	112	2.10
1960	187	183	243	271	333	353	168	152	231	330	329	306	257	353	152	2.32
1961	269	257	391	440	392	272	196	159	198	297	384	318	298	440	159	2.77
1962	223	240	249	236	266	286	154	153	209	340	313	338	251	340	153	2.22
1963	295	270	230	294	346	230	187	179	189	241	330	378	264	378	179	2.11
1964	371	326	315	333	360	323	186	155	181	265	370	290	289	371	155	2.39
1965	248	294	284	275	276	198	145	155	179	181	315	269	234	315	145	2.17
1966	300	306	263	316	325	221	182	190	228	251	365	338	273	365	182	2.01
1967	192	210	196	186	200	209	128	182	182	293	365	298	220	365	128	2.85
1968	371	291	277	265	345	200	147	145	207	266	331	365	267	371	145	2.56
1969	240	214	258	258	431	311	178	166	187	270	365	312	266	431	166	2.59
1970	207	209	243	216	196	215	144	168	178	283	314	245	218	314	144	2.18
1971	207	261	308	312	247	169	141	138	169	203	250	302	225	312	138	2.25
1972	272	198	196	266	244	170	110	99	128	222	298	212	201	298	98.7	3.02
1973	246	202	156	179	193	160	136	131	149	129	217	241	178	246	129	1.91
1974	286	184	180	162	249	160	139	124	148	325	327	306	216	327	124	2.64
1975	242	257	182	265	225	195	140	94	104	358	368	288	226	368	93.7	3.93
1976	230	215	213	262	212	221	126	117	132	248	337	301	218	337	117	2.88
1977	286	236	239	221	229	220	147	144	209	319	406	261	243	406	144	2.82
1978	206	219	224	319	399	312	173	143	158	226	314	233	244	399	143	2.79
1979	209	240	194	284	280	294	154	129	169	189	288	309	228	309	129	2.40
1980	215	165	220	255	230	166	130	132	127	132	133	173	173	255	127	2.01
1981	178	173	195	196	202	138	112	100	124	158	228	241	171	241	100	2.41
1982	199	143	138	111	173	152	100	112	123	234	271	246	167	271	100	2.72
1983	245	181	160	138	145	135	95	82	97	134	177	212	150	245	82.5	2.97
1984	189	183	125	156	164	148	208	145	166	187	276	253	183	276	125	2.20
1985	236	196	145	219	188	160	124	134	160	237	279	249	194	279	124	2.25
1986	184	211	213	217	199	258	119	123	157	309	318	273	215	318	119	2.67
1987	172	239	242	195	170	147	133	130	270	353	322	240	217	353	130	2.73
1988	174	199	201	203	236	217	140	124	190	239	258	267	204	267	124	2.15
1989	236	169	215	182	176	137	143	146	173	240	314	253	199	314	137	2.29
1990	178	257	179	151	219	236	124	134	144	218	233	233	192	257	124	2.07
1991	196	179	276	291	264	238	150	136	135	183	252	219	210	291	135	2.16
1992	160	153	143	206	228	162	105	95	105	159	206	189	160	228	95	2.41
1993	179	155	149	162	192	158	105	101	119	154	178	176	152	192	101	1.90
Moy.	223	216	226	238	248	207	141	132	162	237	283	264	215	283	132	2.14

	valeur reconstituée par corrélation avec la station de Tchicapika
--	---

	valeur provenant de l'étude hydrologique de la Likouala Mossaka (J.P.Thiebaux, ORSTOM Brazzaville 1987)
--	---

moy 53-93	223	216	226	239	249	208	142	133	162	235	283	264	215	315	128	2.48
moy 87-93	185	193	201	199	212	185	129	124	162	221	252	225	191	272	121	2.24
max 53-93	371	326	391	440	431	353	208	190	270	358	406	378	298	440	182	3.93
min 53-93	148	143	125	111	145	134	95	82	96.7	129	133	173	150	192	82.5	1.88

Débits mensuels en m<sup>3</sup>/s

Station : Likouala Mossaka à Makoua

n° Hydrom : 1070502406

Superficie du BV à la station : 14 060 km<sup>2</sup>  
à l'exutoire : 65 000 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dece	annuel	max	min	max/min
1952			251	340	285	293	175	115	153	280	415	383		415	115	3.61
1953	259	218	336	234	236	180	130	91	172	269	272			336	91	3.69
1954	140	200	203	200	215	276	99.7	72.4	126	124		179		276	72.4	3.81
1955	216	175	278	283	279	241	124	93.9	171	362	374	315	243	374	93.9	3.98
1956	231	188	232	249	340	217	139	89.4	104	216	315	269	216	340	89.4	3.80
1957	274	166	260	259	238	210	111	111	159	220	277	226	209	277	111	2.50
1958	169	180	185	183	235	123	73.4	55.7	89	194	211	235	161	235	55.7	4.22
1959	201	141	114	156	300	111	87.5	65.3	96.1	240	271	278	172	300	65.3	4.59
1960	165	192	228	247	315	400	187	144	212	329	346	299	255	400	144	2.78
1961	247	292	325	359	288	215	141	102	180	320	428	304	266	428	102	4.20
1962	174	203	251	250	289	209	130	121	176	289	362	331	232	362	121	2.99
1963	216	178	202	261	327	192	154	123	157	231	231	254	211	327	123	2.66
1964	319	283	317	311	299	284	166	123	155	264	421	525	289	525	123	4.27
1965	264	335	295	366	289	233	140			297	375	263		375	140	2.68
1966	203	190	197	271	425	280	173	131	127	222	350	301	239	425	127	3.35
1967	168	203	186	163	190	137	104	68.6	196	373	442	278	209	442	68.6	6.44
1968	266	254	241	237	234	206	101	90.6	178	313	324	351	233	351	90.6	3.87
1969	235	179	232	247	460	346	179	159	177	294	275	302	258	460	159	2.89
1970	190	211	265	284	289	280	146	118	207	418	531	298	270	531	118	4.50
1971	259	166	204	187	222	199	80.9	161	199	234	316	257	207	316	80.9	3.91
1972	174	147	164	185	258	220	74.3	63.1	122	240	514	281	203	514	63.1	8.15
1973	182	145	142	153	198	210	88.1		168	239	275	204		275	88.1	3.12
1974	204	159	165	206	209	135	85.4		168	321	329	326		329	85.4	3.85
1975	205	208	193	200	202	185	118			308	392	233		392	118	3.32
1976	227	215	203	257	222	304	164	121	174	302	364	326	240	364	121	3.01
1977	342	273	282	325	268	233	144	128	174	238	351	315	256	351	128	2.74
1978	184	195	189	212	360	368	178			289	460	377		460	178	2.58
1979	300	274	230	230	336	327	154	92	119	191	241	207	225	336	92.0	3.65
1980	201	206	207	288	260	192	144	136	178	362	453	248	239	453	136	3.33
1981	222	173	255	277	575	223	133	65.3	144	276	333	328	251	575	65.3	8.81
1982	230	227	164	199	348				158	362	421	341		421	158	2.66
1983	186	156	164	188		141	95			246	256	217		256	95.0	2.69
1984	151	124	159	135	134	153	211	164	189	306	284	210	185	306	124	2.47
1985	153	157	121	154	131	98	95	108	205	224	268	214	160	268	95.0	2.82
1986	147	179	157	185	156	167	84	109	162	309	348	268	189	348	84.0	4.14
1987	187	171	168	225	190	123	103	104	167	318	321	278	198	321	103	3.12
1988	189	169	227	205	229	305	187	99	178	319	395	376	240	395	99.0	3.99
1989	322	199	161	188	189	116	93.9	67.1	137	294	482	370	218	482	67.1	7.18
1990	212	244	174	137	254	246	94.3	100	126	275	335	262	205	335	94.3	3.55
1991	182	147	226	323	332	267	128	99.2	94.4	161	226	149	195	332	94.4	3.52
1992	76.4	75.2	82	158	246	161	62.2	41.9	42.6	130	287	167	127	287	41.9	6.85
1993	133	107	131	120	229	215	88.7	75.9	148	199	257	217	160	257	75.9	3.39
1994	208	172	203	141	208									208	141	1.48
Moy.	211	192	209	227	269	220	126	103	155	271	345	282	218	345	103	3.34

valeur reconstituée à partir de la station de Etoumbi

valeur provenant de l'étude hydrologique de la Likouala Mossaka (J.P.Thiebaut, ORSTOM Brazzaville 1987)

moy 53-93	211	193	208	226	270	218	125	103	155	271	343	279	218	369	102	3.90
moy 87-93	186	159	170	194	238	205	108	84	128	242	329	260	192	344	82.2	4.51
max 53-93	342	335	336	366	575	400	211	164	212	418	531	525	289	575	178	8.81
min 53-93	76.4	75.2	82.0	120	131	98.0	62.2	41.9	42.6	120	211	149	127	235	41.9	2.47

## Débits mensuels en m3/s

Station : Mambili à Yengo

n° Hydrom : 1070504903

Superficie du BV à la station : 11 770 km<sup>2</sup>  
à l'exutoire : 13 700 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Jun	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dec	annuel	max	min	max/min
1961				228	194	158	157	123	155	286	334	247		334	123	2.72
1962	133	145	175	208	259	267	145	126	160	275	331	309	211	331	126	2.63
1963	187	173	180	254	287	236	203	157	204	297	286	286	229	297	157	1.89
1964	244	177	183	210	212	235	166	124	166	234	307	309	214	309	124	2.49
1965	202	237	218	258	194	176	193	179	186	199	194	193	202	258	176	1.47
1966																
1967																
1968				157	191	211	117	94.1	195	291	338	284		338	94.1	3.59
1969	192	143	173	192	260	242	162	157	158	272	329	304	216	329	143	2.30
1970	196	173	142	184	181	213	227	182	137	239	299	174	196	299	137	2.18
1971	169	102	124	160	159	125	91.8	91	202	250	297	229	167	297	91	3.26
1972	130	115	146	144	142	154	86.5	78	123	230	300	233	157	300	78	3.85
1973	170	148	130	127	161	126	87.8	96.3	115	199	247	149	146	247	87.8	2.81
1974	148	122	150	156	146	155	85.1	102	169	303	388	305	186	388	85.1	4.56
1975	162	148	181	167	218	193	151	99	112	255	315	202	184	315	99	3.18
1976	170	138	166	181	181	289	144	115	112	311	347	253	201	347	112	3.10
1977	192	157	158	218	168	167	112	97.5	154	233	334	262	188	334	97.5	3.43
1978	144	130	139	181	237	231	140	93.5	159	264	351	236	193	351	98.5	3.56
1979	214	189	168	137	188	258	195	129	157	216	248	189	190	256	129	1.98
1980	165	140	138	194	193	181	127	136	189	287	325	249	194	325	127	2.56
1981	176	159	224	213	251	246	140	97.3	153	216	263	249	201	283	97.3	2.91
1982	208	180	135	146	246	221	164	138	189	248	336	243	203	336	135	2.49
1983										168	207	192		207	168	1.23
1984																
1985																
1986																
1987																
1988																
1989																
1990									162	283	311	265		311	162	1.92
1991	173	152	130	174	244	210	121	107	131	198	212	148	167	244	107	2.28
1992	84.9	76.8	80.9	117	157	144	81.2	66.9	96					157	66.9	2.35
1993	113	99.4	93.1	106	188	201	110	116	187	214	250	207	156	250	93.1	2.69
Moy.	170	147	154	179	202	202	139	118	157	249	299	238	190	299	118	2.54

■ valeur provenant de l'étude hydrologique de la Likouala Mossaka (J.P.Thiebaux, ORSTOM Brazzaville 1987)

■ débit mensuel calculé à partir d'une série incomplète de débits journaliers

moy 53-93	170	147	154	179	202	202	139	118	157	249	299	238	190	298	117	2.7
moy 87-93	120	109	101	132	196	185	104	97	144	232	258	207	161	241	107	2.3
max 53-93	244	237	224	258	287	289	227	182	204	311	388	309	229	388	176	4.6
min 53-93	84.9	76.8	80.9	106	142	125	81.2	66.9	96.0	168	194	148	146	157	66.9	1.2

Débits mensuels en m3/s

Station : Sangha à Ouesso

n° Hydrom 1070800120

Superficie du BV à la station : 158 000 km2  
à l'exutoire : 211 000 km2

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece	annuel	max	min	max/min
1948	876	641	843	1 039	1 090	1 906	1 824	1 567	2 566	3 171	3 665	2 058	1 771	3 665	641	5,72
1949	1 226	805	810	869	841	1 313	1 464	1 594	2 359	3 450	3 097	2 230	1 671	3 450	805	4,28
1950	1 089	896	730	813	1 138	1 137	984	983	1 533	3 512	3 573	1 790	1 515	3 573	730	4,89
1951	1 081	762	966	1 103	827	1 394	1 214	1 071	1 881	2 961	3 364	2 215	1 570	3 364	762	4,41
1952	1 202	1 086	718				1 800			2 988	3 194	2 190				
1953	1 421	1 014	1 213	1 064	1 099	1 318	1 403	1 166	1 917	2 882	3 197	1 846	1 628	3 197	1 014	3,15
1954	1 141	1 212	1 271	1 204	1 528	1 766	1 468	1 037	1 865	3 171	2 902	1 956	1 710	3 171	1 037	3,06
1955	1 184	1 073	1 105	1 330	1 265	1 544	1 726	1 781	2 607	3 690	3 516	1 998	1 902	3 690	1 073	3,44
1956	1 348	1 076	1 544	1 531	1 504	1 838	1 616	1 131	1 646	2 856	2 728	2 255	1 756	2 856	1 076	2,65
1957	1 329	969	956	1 154	1 375	1 853	1 936	1 848	3 102	4 155	4 291	2 890	2 155	4 291	956	4,49
1958	1 669	1 201	1 133	1 297	1 778	1 722	1 213	1 106	1 356	2 056	2 167	1 613	1 526	2 167	1 106	1,96
1959	1 070	808	672	999	1 534	1 444	1 498	1 694	2 184	3 424	4 087	2 285	1 808	4 087	672	6,09
1960	1 334	1 044	1 080	1 246	1 457	1 337	1 391	1 738	2 657	4 144	4 293	2 348	2 006	4 293	1 044	4,11
1961	1 593	1 170	893	1 032	1 105	1 222	1 782	1 370	2 146	3 532	3 286	1 357	1 707	3 532	893	3,95
1962	644	734	895	1 218	1 346	1 322	1 388	1 205	2 033	3 582	3 969	2 573	1 742	3 969	644	6,16
1963	1 469	1 283	1 437	1 714	2 217	1 904	2 174	1 992	2 831	3 795	3 001	1 875	2 141	3 795	1 283	2,96
1964	1 503	1 106	1 007	1 308	1 426	1 704	1 434	946	1 966	3 442	3 766	1 990	1 800	3 766	946	3,98
1965	1 399	1 103	1 114	1 204	1 236	1 164	1 467	1 826	2 324	3 198	3 022	1 636	1 724	3 198	1 103	2,90
1966	1 081	878	811	1 040	1 626	2 085	1 912	1 860	2 864	3 340	4 080	2 833	2 034	4 080	811	5,03
1967	1 509	1 100	875	751	894	1 309	1 689	1 629	2 273	3 722	3 184	1 764	1 725	3 722	751	4,96
1968	1 235	860	863	947	1 583	1 802	1 783	1 671	2 359	3 055	3 186	2 136	1 790	3 186	860	3,70
1969	1 273	1 017	1 547	1 462	1 563	1 562	1 902	2 487	2 850	3 475	3 538	2 111	2 066	3 538	1 017	3,48
1970	1 342	996	976	1 017	1 164	1 430	1 428	2 034	2 751	3 625	3 841	1 794	1 866	3 841	976	3,93
1971	1 285	824	859	1 060	930	1 050	1 226	1 531	2 223	3 117	3 153	1 804	1 588	3 153	824	3,83
1972	975	726	718	949	920	1 150	954	1 214	1 550	2 630	2 455	1 166	1 284	2 630	718	3,66
1973	1 018	689	622	818	1 069	1 435	1 181	1 227	2 109	2 551	2 356	1 341	1 368	2 551	622	4,10
1974	826	646	683	848	1 216	1 352	1 265	1 778	2 580	3 996	4 107	2 335	1 803	4 107	646	6,35
1975	1 229	1 134	953	1 094	1 191	1 290	1 530	1 027	1 354	3 022	3 057	1 860	1 562	3 057	953	3,21
1976	1 062	904	991	1 087	1 149	1 509	1 220	1 268	1 595	2 537	2 779	1 604	1 476	2 779	904	3,07
1977	1 122	805	587	681	770	1 154	947	920	2 349	2 903	1 895	1 326	1 288	2 903	587	4,95
1978	695	537	573	890	1 450	1 354	1 064	973	1 893	3 105	3 010	1 340	1 407	3 105	537	5,78
1979	912	654	618	738	1 312	1 968	1 579	1 604	2 220	2 585	2 477	1 344	1 501	2 585	618	4,18
1980	974	612	551	667	1 059	1 513	1 089	1 516	2 432	3 493	3 428	1 770	1 592	3 493	551	6,34
1981	1 044	700	672	652	1 248	1 247	1 024	1 268	2 210	2 504	2 557	1 353	1 373	2 557	652	3,92
1982	1 071	697	686	748	1 451	1 445	1 698	1 780	2 640	3 251	3 142	1 510	1 677	3 251	686	4,74
1983	882	570	402	578	856	954	785	816	1 187	2 295	2 661	1 420	1 117	2 661	402	6,62
1984	741	475	503	642	771	985	1 384	1 801	2 035	2 327	2 305	1 256	1 269	2 327	475	4,90
1985	951	574	470	1 103	967	1 400	1 761	2 119	2 853	3 166	3 123	1 662	1 679	3 166	470	6,73
1986	924	698	765	780	801	1 000	756	976	1 938	3 054	2 851	1 499	1 337	3 054	698	4,38
1987	806	583	515	663	586	763	1 001	1 044	2 312	3 104	2 500	1 397	1 273	3 104	515	6,02
1988	912	637	638	722	922	1 241	1 174	1 067	1 869	3 062	2 598	1 486	1 361	3 062	637	4,81
1989	857	476	398	627	1 004	1 144	1 259	1 749	2 393	2 863	3 221	1 692	1 474	3 221	398	8,09
1990	959	703	462	504	861	1 028	775	1 583	2 213	2 854	3 080	1 967	1 416	3 080	462	6,67
1991	1 043	665	601	881	1 114	1 684	1 351	1 749	2 354	3 103	2 908	1 625	1 593	3 103	601	5,16
1992	835	565	478	716	873	1 117	1 175	1 213	1 857	2 539	2 999	1 378	1 312	2 999	478	6,27
1993	800	545	507	641	907	1 276	1 426	1 607	2 606	2 447	2 351	1 786	1 408	2 606	507	5,14
Moy.	1 107	830	827	967	1 180	1 397	1 386	1 450	2 193	3 128	3 133	1 819	1 617	3 266	759	4,63

moy 53-93	1 109	831	821	966	1 198	1 400	1 386	1 472	2 207	3 113	3 099	1 785	1 616	3 242	761	4,61
moy 87-93	887	596	514	679	895	1 179	1 166	1 430	2 229	2 853	2 808	1 619	1 405	3 025	514	6,02
max 53-93	1 669	1 283	1 547	1 714	2 217	2 085	2 174	2 487	3 102	4 155	4 293	2 890	2 155	4 293	1 283	8,09
min 53-93	644	475	398	504	586	763	756	816	1 187	2 056	1 895	1 166	1 117	2 167	398	1,96

Débits mensuels en m<sup>3</sup>/s

Station : Likouala-aux-Herbes à Botouali

n° Hydrom 1070802003

Superficie du BV à la station : 24 800 km<sup>2</sup>  
à l'exutoire : 25 000 km<sup>2</sup>

année	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece	annuel	max	min	max/min
1949	487	268	97.6	151	132	182	223	292	400	543	606	571	329	606	97.6	6.21
1950	368	193	113	126	154	230	226	151	237	475	671	571	293	671	113	5.92
1951	508	310	104	125	97.8	123	168	118	158	359	481	448	250	508	97.8	5.19
1952	233	54.1			98.9	154	124	113	173	311	467	486		486	54.1	8.98
1953	406	290	173	79.6	65.3	99.3	61.2	50.0	88.7	194	328	334	181	406	50.0	8.13
1954	169	56.9	55.8	80.6	75.7	119	93.7	49.3	83.2	220		448				
1955	379	266	98.9	68.2	98.6	182	204	146	169		538	503	241	538	68.2	7.88
1956	377	145	80.9	99.6	168	183	106	47.5	60.4	186	405	452	192	452	47.5	9.51
1957	422	337	151	91.5	134	151	150	132	189	393	529	515	266	529	91.5	5.78
1958	428	255	110	91.7	187	244	242	157	88.4	172	308	303	216	428	88.4	4.85
1959	284	208	64.8	65.8	108	114	125	119	248	457	617	656	255	656	64.8	10.1
1960	554	389	220	176	252	380	387	323	367	589	702	669	417	702	176	3.99
1961	564	449	310		206	167	218	317	358	533	687	719		719	167	4.29
1962	586	244	81.1	121	178	201	199	172	222	527	710	746	332	746	81.1	9.20
1963	582	381	169	205	337	407	413	389	404	553	617	585	420	617	169	3.65
1964	527	422	230	200	231	254	289	182	164	429	676	671	356	676	164	4.13
1965	539	347	152	204	270	287	242	206	252	405	586	428	326	586	152	3.86
1966	503	316	194	175	293	303	336	356	405	528	653	669	394	669	175	3.83
1967	520	243	90.0	76.7	84.0	101	121	161	234	457	650	586	277	650	76.7	8.47
1968	444	199	123	94.1	251	285	247	214	276	418	534	583	306	583	94.1	6.20
1969	513	368	153	228	208	286	301	362	513	611	668	654	405	668	153	4.36
1970	523	306	112	93.0	116	143	134	205	335	587	704	625	324	704	93.0	7.57
1971	393	96.8	62.0	76.6	64.7	82.3	93.4	140	267	455	576	571	240	576	62.0	9.30
1972	455	204	73.6	74.6	89.7	136	103	88.7	135	273	460	493	215	493	73.6	6.70
1973	389	226	70.3	57.2	81.1	110	124	121	307	509	582	561	262	582	57.2	10.2
1974	474	240	96.5	115	151	189	153	143	296	510	657	660	307	660	96.5	6.84
1975	500	274	132	135	105	126	149	144	148	391	625	608	278	625	105	5.93
1976	419	198	101	90.7	101	186	205	159	253	471						
1977	480	325	184	127	170	156	132	131	280	548	632	579	312	632	127	4.96
1978	415	144	78.2	83.9	184	223	249	188	195	419	587	571	278	587	78.2	7.51
1979	389	176	121	113	176	318	411	360	350	402	525	560	325	560	113	4.97
1980	456	239	87.9	97.4	95.6	126	122	180	288	475	617	612	283	617	87.9	7.02
1981	448	216	83.7	66.1	112	178	184	194	268	427	538	536	271	538	66.1	8.13
1982	389	175	71.7	52.4	96.2	192	226	248	339	521	625	606	295	625	52.4	11.9
1983	406	170	60.3		47.8		49.8		80.5		449	489		489	47.8	10.2
1984	349	141	56.8	53.7	53.6	86.7	146	221	272	338	407	424	212	424	53.6	7.90
1985	304	162	62.7	109	108	123	130	225	407	545	590	562	277	590	62.7	9.40
1986	393	175	97.2	157	129	103	56.2	47.2	107	316	567	569	226	569	47.2	12.0
1987	388	183	79.0	78.3	72.8	62.0	75.5	89.2	284	519	637	566	253	637	62.0	10.3
1988	369	90.4	58.3	59.1	80.9	107	161	124	237	475	639	609	251	639	58.3	11.0
1989	488	305	74.7	53.7	52.9	53.2	69.8	108	281	389	605	613	258	613	52.9	11.6
1990	465	228	66.1	54.0	66.1	86.2	53.2	96.4	281	428	555	598	248	598	53.2	11.2
1991	510	355	186	147	217	297	252	227	268	366	541	541	326	541	147	3.69
1992	314	85.9	55.0	58.8	73.6	134	161	173	181	291	497		217			
1993	383	147	77.7	71.7	94.0	204		300	414	536	551	532.8	301	551	71.7	7.69
Moy.	433	236	112	107	137	179	180	181	252	431	572	560	285	589	91.6	7.40

moy 53-93	437	239	112	105	139	180	179	182	253	432	574	564	285	591	91.7	7.48
moy 87-93	417	199	85.2	74.6	93.9	135	129	160	278	429	575	577	265	597	74.1	9.24
max 53-93	586	449	310	228	337	407	413	389	513	611	710	746	420	746	176	12.0
min 53-93	169	56.9	55.0	52.4	47.8	53.2	49.8	47.2	60.4	172	308	303	181	406	47.2	3.65

**ANNEXE II**

**Résultats des mesures physiques et physico-chimiques**

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

















Rivière	Date	T°	Cond	pH	Qjour m3/s	C.sab mg/l	C.MES mg/l	C.diss. mg/l	Solide Kg/s	Dissous Kg/s
Mambili à Yengo	11/08/90	23,5	46,3	7,1	110	6,60	18,50	48,90	2,04	5,37
	12/09/90	25,4	45,5	6,8	154	4,60	8,70	58,50	1,34	9,00
	10/10/90	25,5	30,0	6,2	228	1,60	9,50	45,50	2,16	10,37
	05/11/90	25,6	59,9	6,1	338	3,90	13,30	48,91	4,49	16,53
	08/12/90	26,0	68,5	6,5	244	2,00	8,50	62,40	2,56	15,22
	13/01/91	26,5	40	6,8	186,4	6,4	1,0	44,4	1,38	8,28
	02/03/91	27,0	40	6,7	160,5	3,9	8,4	51,6	1,97	8,28
	08/04/91	27,0	40	6,5	158,4	1,8	2,8	55,5	0,73	8,79
	17/06/91	26,3	40	6,6	191,6	1,2	10,1	48,8	2,16	9,35
	09/07/91	24,6	48	7,2	112,8	3,36	10,8	46,4	1,60	5,23
	12/08/91	25,7	52	7,2	92,0	2,81	12,3	49,7	1,39	4,57
	12/09/91	26,0	48	6,8	124,2	3,07	12,8	47,4	1,97	5,89
	10/11/91	24,5	28	6,4	235,1	2,85	8,6	44,8	2,69	10,53
	18/12/91	25	42	6,9	141,8	3,79	16,8	49,4	2,91	7,10
	09/02/92	27,3	58,7	7,0	85,1	2,75	14,1	51,4	1,43	4,37
	30/04/92	26,7	43,1	6,9	123,4	3,93	12,0	49,4	1,96	6,09
02/07/92				87,1	4,72	13,3	53,0	1,56	4,61	
07/07/93				154,6	5,26	9,3	31,1	2,25	4,80	
MOY. TYPE V.										
Likoua- la aux herbes	06/92					0,69 0,90 1,61	8,0 5,9 4,8	95,8 133,2 105,6		

Rivière	Date	T°	Cond 25°	pH	Qjour m <sup>3</sup> /s	C.Sab. mg/l	C.mes mg/l	C.Dis. mg/l	Solide kg/s	Dissous kg/s
Sangha à Tsotsolo	31/1/87					1,85	23,50	42,60		
	21/7/87					1,08	33,20	57,40		
	11/1/88					1,72	27,10	41,70		
	05/4/88		41,6	7,5		2,22	15,70	64,20		
	11/7/88					1,96	41,50	66,20		
	10/1/89					2,15	24,30	39,80		
	10/7/89					7,90	40,60	50,90		
	1/12/89						37,40	59,80		
	1/01/90						17,60	58,60		
	1/02/90						5,90	36,40		
	1/05/90						35,50	48,30		
	1/06/90		41,0	7,2			41,50	47,90		
	1/07/90		43,4	7,5			131,20	46,20		
	16/7/90							53,20		
	1/08/90	25,3	45,0	7,2		6,0	18,5	45,5		
	1/09/90	25,2	34	7,1		7,0	20,7	46,0		
	1/10/90	25,3	32	7,0		10,74	22,4	46,6		
	1/12/90	25,3	28	7,2		6,3	3,6	41,8		
	1/01/91	25,3	32	7,3		8,14	7,3	44,0		
	1/03/91	25,4	40	7,5		14,0	7,5	48,3		
1/04/91	25,4	50	7,5		4,9	10,7	49,8			
/06/92					5,31	27,3	56,2			
20/02/93					9,70	5,6				
09/03/93					17,00		69,2			
/05/93					17,40	14,2	58,1			
MOY. E. TYPE C.V.								46,3 7,80 0,16		

Rivière	Date	T°	Cond 25°	pH	Qjour m <sup>3</sup> /s	C.Sab. mg/l	C.mes mg/l	C.Dis. mg/l	Solide kg/s	Dissous kg/s
Sangha à Ouesso	10/6/89						56,90	41,60		
	1/12/89						11,50	50,0		
	3/01/90						30,30	55,60		
	1/02/90						7,90	58,40		
	3/03/90		68,7	7,6			42,90	51,40		
	4/04/90		68,0	7,5			58,40	48,40		
	5/05/90		68,0	7,5			48,10	55,70		
	12/7/90							50,40		
MOY. E. TYPE C. V.			68,2 0,33 0,00	7,5 0,05 0,01				51,44 4,91 0,10		

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

**ANNEXE III**

**Résultats de la caractérisation hydrochimique des matières dissoutes**

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

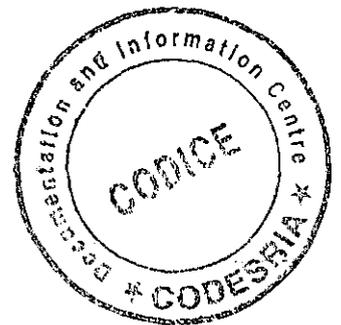
**Composition chimique des matières dissoutes**  
 ( stations secondaires de mesure ) Concentration en mg/l

Rivière	Date	Silice	Fer	Ca++	Mg++	K+	Na+	HC03-	Cl-	NO3-
Ojiri au Pont	21/03/89	5,20	<0,05	0,72	0,15	0,78	0,33	3,66	0,35	
	02/06/89	5,00	<0,05	0,55	0,07	0,52	0,27	2,44	0,35	7
	31/08/89	5,60	0,05	0,64	0,16	0,14	0,12	2,44	0,35	7
	04/12/89	5,40	<0,05	0,29	0,04	0,92	0,16	1,83	0,71	
	02/03/90	5,40	<0,05	0,10	0,03	0,04	0,02	1,84	0,34	
	29/06/90	5,20	0,08	0,05	0,09	0,16	0,03	-	0,33	
	03/08/90	3,20	<0,05	0,22	0,09	0,01	0,06	1,83	traces	
	07/09/90	5,75	0,07	0,32	0,12	0,04	0,12	1,85	0,35	
	05/10/90	5,40	0,05	0,26	0,07	0,07	0,02	1,83	traces	
	02/11/90	5,68	0,12	0,32	0,08	0,70	0,23	3,05	0,71	
	05/12/90	4,72	0,12	0,14	0,07	0,32	0,10	1,83	traces	
	10/01/91	6,40	0,07	0,11	0,04	0,08	0,06	1,22	0,35	
	27/02/91	5,61	0,06	0,37	0,09	0,52	0,58	3,05	0,71	
	05/04/91	6,00	0,02	0,55	0,11	0,74	0,17	3,66	0,71	
	15/06/91	6,00	<0,05	0,28	0,09	0,33	0,25	1,83	0,35	
	07/07/91	5,60	<0,05	0,20	0,10	0,15	0,20	1,85	traces	
	10/08/91	5,60	0,42	0,10	0,01	0,48	0,20	1,82	traces	
	08/09/91	4,80	0,34	0,05	0,01	0,37	0,16	0,61	0,71	
	06/11/91	4,00	<0,05	0,05	0,01	0,20	0,16	0,63	0,30	
	14/12/91	5,80	0,8	tr	tr	0,12	0,07	0,60	0,35	
06/02/92	6,00	0,45	0,08	0,01	0,54	0,27	0,61	0,30		
27/04/92	6,00	0,07					0,63	0,38		
29/06/92	5,28	<0,05					0,65	0,35		
<b>MOY. E. TYPE C.V</b>										<b>7 0 0</b>

Rivière	Date	Silice	Fer	Ca++	Mg++	K+	Na+	HCO3-	Cl-	NO2-
Léfini à Bouambé	21/03/89	4,80	<0,025	0,72	0,10	0,44	0,23	3,66	0,71	
	02/06/89	4,48	<0,05	0,50	0,09	0,42	0,19	3,05	0,35	<7
	31/08/89	5,40	<0,05	0,64	0,13	0,04	0,09	2,44	0,33	<7
	04/12/89	5,50	0,05	0,47	0,07	0,58	0,12	2,40	traces	
	02/03/90	6,00	0,05	0,30	0,11	0,07	0,04	1,83	traces	
	29/06/90	4,60	<0,05	0,06	0,11	0,05	0,01	1,22	traces	
	03/08/90	4,00	<0,05	0,26	0,10	0,02	0,06	1,83	traces	
	07/09/90	4,80	<0,05	0,27	0,11	0,01	0,06	1,22	traces	
	05/10/90	6,88	0,07	0,44	0,11	0,07	0,02	1,83	0,35	
	02/11/90	5,60	<0,05	0,40	0,09	0,56	0,13	2,44	0,33	
	05/12/90	4,48	0,06	0,23	0,13	0,22	0,10	1,86	0,37	
	10/01/91	6,40	0,05	0,17	0,09	0,10	0,09	1,85	traces	
	27/02/91	4,80	0,03	0,17	0,08	0,15	0,11	1,83	0,37	
	05/04/91	3,00	0,02	0,44	0,17	0,18	0,09	1,90	0,30	
	15/06/91	5,68	<0,05	0,28	0,10	0,30	0,10	1,85	0,31	
	07/07/91	5,40	<0,05	0,24	0,11	0,10	0,15	1,22	0,33	
	10/08/91	5,40	<0,05	0,26	0,03	0,39	0,18	1,25	0,36	
	08/09/91	4,80	<0,05	0,05	0,01	0,19	0,08	0,61	0,31	
	06/11/91	4,80	<0,05	0,05	tr	0,22	0,14	0,61	0,35	
	14/12/91	6,00	<0,05	tr	0,01	0,06	0,06	1,22	0,35	
06/02/92	7,20	<0,05	0,08	0,01	0,24	0,17	1,83	tr		
27/04/92	5,80	<0,05					3,05	0,35		
02/07/92	4,92	<0,05					2,44	0,35		
<b>MOY. E. TYPE C.V.</b>										<b>7 0 0</b>

Rivière	Date	Silice	Fer	Ca++	Mg++	K+	Na+	HC03-	Cl-	N03-
Nkéni à Gamboma	22/03/89	4,60	<0,05	0,50	0,07	0,48	0,06	1,83	0,35	
	03/06/89	5,00	<0,05	0,43	0,06	0,74	0,18	1,90	0,29	7
	01/09/89	5,80	<0,05	0,48	0,10		0,09	2,44	0,33	7
	05/12/89	5,20	<0,05	0,40	0,06	0,36	0,02	1,85	0,30	7
	02/03/90	5,40	<0,05	0,46	0,08	0,28	0,04	1,86	0,71	
	30/06/90	4,40	<0,05	0,12	0,22	0,10	0,04	1,84	0,35	
	04/08/90	4,20	<0,05	0,26	0,11	0,02	0,04	1,80	traces	
	08/09/90	6,24	<0,05	0,29	0,10	0,05	0,06	1,85	traces	
	06/10/90	4,80	<0,05	0,53	0,13	0,04	0,02	1,90	0,33	
	03/11/90	4,80	<0,05	0,32	0,06	0,20	0,08	1,87	0,35	
	06/12/90	4,48	<0,05	0,24	0,12	0,30	0,12	2,45	0,30	
	11/01/91	6,80	<0,05	0,14	0,06	0,10	0,05	2,50	traces	
	28/02/91	4,60	0,04	0,21	0,10	0,16	0,10	1,85	traces	
	06/04/91	5,60	0,03	0,55	0,24	0,36	0,13	1,90	1,42	
	16/06/91	5,80	<0,05	0,16	0,09	0,12	0,07	1,86	0,36	
	07/07/91	5,68	<0,05	0,24	0,10	0,12	0,10	0,61	0,35	
	11/08/91	5,20	<0,05	0,10	0,02	0,20	0,13	0,60	0,37	
	09/09/91	4,40	<0,05	0,05	0,02	0,51	0,17	0,62	0,33	
	07/11/91	4,60	<0,05	0,05	tr	0,24	0,09	1,22	0,35	
	15/12/91	6,00	<0,05	tr	tr	0,08	0,04	0,60	0,70	
07/02/92	7,20	<0,05	0,08	tr	0,04	0,12	1,22	0,35		
28/04/92	6,00	<0,05					1,20	0,30		
30/06/92	5,28	<0,05					0,61	tr		
HOY. E.TYPE C.V.										7,0 0,0 0,0

Rivière	Date	Silice	Fer	Ca++	Mg++	K+	Na+	HC03-	Cl-	NO3-
Nkomo à Ollombo	22/03/89	5,00	0,07	0,78	0,11	0,62	0,08	3,05	0,71	
	03/06/89	4,40	<0,05	1,12	0,13	0,68	0,11	4,27	0,70	
	01/09/89	5,75	<0,05	1,00	0,15	0,13	0,08	2,44	0,72	
	05/12/89	4,80	0,27	0,64	0,16	0,41	0,10	2,45	0,70	
	03/03/90	5,30	0,21	0,38	0,13	0,11	0,04	1,83	0,35	
	30/06/90	4,40	0,07	0,14	0,20	0,12	0,02	1,80	0,38	
	04/08/90	4,80	<0,05	0,42	0,18	0,06	0,06	1,85	0,37	
	08/09/90	6,40	0,07	0,62	0,17	0,08	0,11	1,87	0,71	
	06/10/90	5,68	0,15	1,40	0,36	0,43	0,04	3,05	1,77	
	03/11/90	4,92	0,30	0,80	0,20	0,36	0,16	3,10	1,42	
	06/12/90	3,68	0,35	0,56	0,21	0,50	0,13	3,06	0,71	
	11/01/91	6,50	0,18	0,22	0,10	0,13	0,06	1,22	0,35	
	28/02/91	4,00	0,23	0,34	0,17	0,21	0,12	1,20	0,36	
	06/04/91	1,40	0,28	1,20	0,37	1,57	0,17	2,44	2,48	
	16/06/91									
	08/07/91	5,04	0,17	0,53	0,22	0,44	0,14	3,05	0,71	
	11/08/91	5,68	0,06	0,10	0,03	0,35	0,14	1,22	traces	
	09/09/91	5,20	<0,05	0,20	0,05	0,65	0,18	1,83	0,70	
	07/11/91	4,00	0,25	0,56	0,14	0,55	0,17	2,44	0,70	
	15/12/91	5,68	0,12	0,10	0,01	0,23	0,11	1,20	tr	
07/02/92	5,40	0,15	0,24	0,10	0,50	0,26	1,90	0,30		
28/04/92	5,00	0,25					1,89	0,72		
30/06/92	4,40	<0,05					1,90	0,60		
MOY. E. TYPE C.V.										









Rivière	Date	Silice	Fer	Ca++	Mg++	K+	Na+	HCO3-	Cl-	NO3-
Mambili à Yengo	11/08/90	4,20	0,07	3,99	3,13	0,34	0,46	28,06	1,42	
	12/09/90	6,00	0,15	3,29	2,52	0,25	0,37	20,13	2,13	
	10/10/90	6,88	0,27	3,09	1,61	0,53	0,35	17,08	1,06	
	05/11/90	6,00	0,08	2,17	2,06	0,77	0,63	19,52	0,71	
	08/12/90	4,00	0,47	2,53	1,82	0,94	0,65	18,30	1,42	
	13/11/91	7,20	0,35	1,57	2,00	0,32	0,54	15,25	1,06	
	02/03/91	4,80	0,15	1,36	1,93	0,35	0,81	14,03	1,42	
	08/04/91	5,20	0,10	3,50	1,91	1,54	0,90	19,52	3,19	
	17/06/91	6,00	0,40	3,52	2,10	0,92	0,84	23,79	1,07	
	09/07/91	6,64	0,13	4,28	2,47	0,75	1,14	26,84	1,42	
	12/08/91	6,00	0,08	4,28	2,27	1,56	1,28	23,79	3,90	
	12/09/91	5,40	0,15	2,53	1,52	1,09	1,20	17,08	2,13	
	10/11/91	5,00	0,07	1,57	0,93	1,22	0,63	10,35	1,77	
	18/12/91	5,28	0,05	1,32	0,77	0,41	0,50	8,54	2,13	
	09/02/92	8,40	<0,05	2,72	1,74	0,43	1,17	17,02	2,10	
	30/04/92	5,28	<0,05					19,58	4,26	
	02/07/92	4,80	<0,05					9,76	3,60	
MOY. E. TYPE C. V.										
Sangha à Tsotsolo	31/01/87	4,40		0,72	0,28	1,74	0,49	4,27	2,48	
	21/07/87	6,80	0,10	5,44	2,08	2,82	1,36	29,28	3,19	
	11/01/88	6,00	0,50	3,80	2,23	1,90	1,26	21,96	3,90	
	01/12/89	6,36	0,08	1,46	0,62	0,64	0,40	7,93	1,42	
	01/01/90	5,88	0,07	1,96	0,86	0,54	0,52	9,15	1,77	
	01/02/90	6,80	<0,05	2,04	0,92	0,49	0,54	8,54	2,48	
	10/02/90	6,25	0,08	2,28	1,04	0,48	0,58	10,37	1,70	
	01/06/90	5,80	<0,05	3,48	2,66	1,80	1,68	25,62	3,19	
	01/07/90	6,16	<0,05	4,42	2,15	0,69	0,71	22,57	2,84	
MOY. E. TYPE C. V.		6,05 0,67 0,11	0,12 0,14 1,16	2,84 1,44 0,51	1,43 0,80 0,56	1,23 0,80 0,65	0,83 0,44 0,53	19,06 6,11 0,32	2,19 0,53 0,24	
Sangha Ouessou	10/06/89	8,00	<0,05	1,34	0,53	0,80	0,62	7,32	1,77	
	01/12/89	6,40	<0,05	2,04	0,92	0,45	0,41	9,15	1,78	
	03/01/90	7,20	<0,05	2,84	1,36	0,40	0,55	13,42	2,48	
	01/02/90	6,95	<0,05	3,04	1,38	0,45	0,65	14,03	2,47	
	03/03/90	6,00	<0,05	7,28	3,47	0,54	0,94	37,21	3,19	
	04/04/90	5,80	<0,05	7,20	2,98	1,36	1,76	37,20	2,84	
	05/05/90	5,80	<0,05	5,94	5,44	1,67	1,80	48,19	2,87	
	05/06/90	5,90	<0,05	5,90	5,56	1,67	1,78	47,90	2,84	
MOY. E. TYPE C. V.		6,50 0,75 0,11	0,05 0,0 0,0	4,45 2,23 0,50	2,70 1,86 0,68	0,92 0,52 0,56	1,06 0,57 0,53	32,94 9,59 0,29	1,81 0,36 0,19	

Ce travail rend compte des résultats acquis pendant onze années de recherche sur le fonctionnement hydrologique, hydrogéologique et hydrogéochimique du bassin du Congo. En d'autres termes, il expose les résultats des évaluations suivantes:

- . bilan des sorties à l'exutoire principal du bassin (station de Brazzaville);
- . modes de transports minéraux dans le fleuve;
- . contribution des grandes entités amonts (roches mères et écosystèmes forestiers homogènes) aux transports globaux;
- . localisation et caractérisation des ensembles aquifères du bassin hydrogéologique;
- . caractérisation des relations hydrodynamiques et géochimiques entre le fleuve et le système aquifère adjacent.

**La thèse comporte deux parties.**

Dans la première partie, la description du bassin du fleuve aborde ses caractéristiques géographiques et géologiques. De manière assez succincte, on a noté l'importance des grandes formations pédologiques. Les mécanismes généraux du climat sont décrits sommairement. Le deuxième chapitre est consacré à la description du matériel et des méthodes utilisés dans la réalisation de ce travail.

Dans la deuxième partie est développée toute l'information disponible sur les régimes des écoulements de surface et souterrain, le bilan des transferts et la caractérisation hydrogéochimique. Un des volets essentiels de cette dernière partie traite des échanges hydriques surface / souterrain.

**Mots clés:** Hydrologie – Hydrogéologie – Hydrochimie – Bassin du Congo.

This work reminder of results acquired during eleven years of research on the hydrologic, hydrogeologic and hydrogeochemic functional of Congo basin. He had aspired:

- . to establish a balance of out's exectory principal of basin (Brazzaville station);
- . to specify transports modes organo-meneral in river;
- . to recognize fonctionnement of great upstream entity (sea rock and forest ecosystem homogenes) and define their contributions in global transport;
- . to locate and characterized the whole acquifer hydrogeologic basin;
- . to characterized hydrodynamic and geochemic relations between river and the adjacent acquifer system.

**Thesis includes two parts.**

In first part, description of river's basin approach it's geographic and geologic characteristics. As consise manner, they noticed importance of great formations pedologic. General mechanisms of climate are briefly describe. Second chapter is consacreted in description of material and method used in realization of this work.

In the second part is developed all available information on the systems of superficial flows and under ground flows, transport balance and characterization hydrogeochemic. One of essentials shutters of this last part treat the hydric exchange between superficial flows and under ground flows.

**Key words:** Hydrology-Hydrogeology-Hydrochimy - Congo Basin .