

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2

Laboratoire de Géographie Physique « P. Birot », UMR 8591-CNRS

LE CYCLE ET LA GESTION DE L'EAU A BANGUI (REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE).

APPROCHE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE DU SITE D'UNE CAPITALE AFRICAINE

Thèse présentée à l'Université Lumière Lyon 2 pour l'obtention du Doctorat de Géographie et Aménagement

Spécialité : Géographie Physique

Par Cyriaque-Rufin NGUIMALET

Soutenue le 13 décembre 2004

devant le jury composé de : Yves BOULVERT, Directeur de Recherches IRD, Examinateur Jean-Paul BRAVARD, Professeur à l'Université Lumière Lyon 2, Directeur de la thèse Yann CALLOT, Professeur à l'Université Lumière Lyon 2, Examinateur Claude COSANDEY, Directrice de Recherches CNRS-UMR 8591, Rapporteur Serge MORIN, Professeur à l'Université de Bordeaux III, Rapporteur

Table des matières

- Dedicace
- Le cycle et la gestion de l'eau à Bangui (République centrafricaine). Approche hydrogéomorphologique du site d'une Capitale africaine
- Cycle and water management in Bangui (Central African Republic). Hydrogeomorphological approach to the site of an African city
- Le Cycle et la Gestion de l'Eau à Bangui (République centrafricaine). Approche Hydrogéomorphologique du Site d'une Capitale Africaine
- Avant-Propos
- INTRODUCTION GENERALE
 - ◆ 1. Cadre géographique de l'étude
 - ◇ 1.1. Description topographique du site
 - ◇ 1.2. Réseau hydrographique général : bassins-versant urbains et périurbains
 - ◆ 2. Cadre conceptuel de l'étude
 - ◇ 2.1. L'urbanisation et le cycle de l'eau
 - ◇ 2.2. A propos de la gestion de l'eau en milieu urbain
 - ◆ 3. Etat des connaissances sur la question étudiée : le cycle et la gestion de l'eau
 - ◆ 4. Problématique générale et objectifs de l'étude
 - ◆ 5. Méthodologie générale et plan de l'ouvrage
- PREMIERE PARTIE :BANGUI : DE L'EAU DANS SON SITE URBAIN
 - ◆ Introduction
 - ◆ *Chapitre I : EVOLUTION TEMPORELLE ET SPATIO-DEMOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE BANGUI*

◇ 1. HISTORIQUE DE LA CREATION DU POSTE DE BANGUI

- 1.1. Les paysages explorés à la fin du XIX^e siècle
- 1.2. Les difficultés d'installation du Poste
- 1.3. Les problèmes de l'eau et des crues de l'Oubangui

◇ 2. HISTORIQUE DE L'AMENAGEMENT DE LA VILLE DE BANGUI

- 1946-1960 : les plans d'urbanisme considèrent l'évolution spatio-démographique
- Le plan d'urbanisme directeur en vigueur
- Le développement de l'urbanisation « sauvage »

◇ 3. EVOLUTION DIACHRONIQUE DES PAYSAGES ET DES GRANDES LIGNES DE LA STRUCTURE URBAINE

- 3.1. De 1889 à 1945
- 3.2. Bangui en 1946 et en 1960
- 3.3. Bangui en 1982 et en 1988
- 3.4. Bangui en 1994 et en 1999

◇ 4. CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE ET SPATIALE

- 4.1. L'ancienneté du peuplement du site de Bangui
 - 4.1.1. Les données archéologiques
 - 4.1.2. L'origine du peuplement
- 4.2. Les débuts de la croissance (1889-1944)
- 4.3. De 1945 à 1960
- 4.4. Les tendances spatio-démographiques depuis 1960

◇ 5. LES FORMES D'OCCUPATION DU SOL ET L'URBANISATION

- 5.1. Caractéristiques générales
- 5.2. Description des types d'urbanisation
- 5.3. Le coefficient d'occupation du sol
- 5.4. Influence de l'urbanisation sur l'écoulement
- 5.5. Coefficient d'occupation des surfaces drainantes
- 5.6. Corrélation entre types d'urbanisation et classification des surfaces drainantes

◇ 6. HYPOTHESES SUR LA DEGRADATION DU SITE

◆ *Chapitre II* : CARACTERISATION MORPHOSTRUCTURALE ET HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE BANGUI

◇ 1. LES DONNEES GEOLOGIQUES

- 1.1. Les unités stratigraphiques
 - 1.1.1. Les Séries de la Yangana et de la Pama

- 1.1.2. La Série de Bangui-Mbaïki
 - 1.1.3. La Série de Fatima
 - 1.1.4. La Série de Bobassa
- 1.2. L'âge des formations et les éléments d'explication de la structuration géologique
 - 1.2.1. La datation controversée des unités stratigraphiques
 - 1.2.2. Tectonisation et origine de la Dépression de Bangui
 - 1.2.3. Stratigraphie de la Dépression de Bangui

◇ 2. INTERPRETATION GEOMORPHOLOGIQUE DES PAYSAGES

- 2.1. Quelques indicateurs sur l'évolution géomorphologique du site
- 2.2. Traits morphologiques des Collines de Bangui
- 2.3. Le Couloir de Ndress : entre les cotes 450 et 360
- 2.4. Morphologie des « témoins » de plateaux et de piémonts : la Surface 400-360 m
- 2.5. Essai d'explication des paysages de la Plaine de Bangui
- 2.6. La question de la karstogenèse profonde

◇ 3. LES IMPLICATIONS POUR L'AMENAGEMENT

- 3.1. Le potentiel hydrogéologique
 - 3.1.1. Unités hydrogéologiques
 - ◆ 3.1.1.1. Traits généraux
 - ◆ 3.1.1.2. Aspects hydrogéologiques
 - 3.1.2. Perméabilité et exploitabilité des aquifères
- 3.2. La difficulté d'évacuer les eaux superficielles
 - 3.2.1. Genèse du processus et de la vulnérabilité physique
 - 3.2.2. L'état du drainage
 - 3.2.3. Le réseau actuel

◆ Chapitre III – LA DIVERSITE DE L'EAU A BANGUI : CYCLE ET POTENTIEL

◇ 1. CYCLE DE L'EAU, SYSTEMES HYDROLOGIQUES

- 1.1. Généralités
- 1.2. Le contexte de la ville de Bangui
- 1.3. Les facteurs de l'écoulement
 - 1.3.1. Les facteurs climatiques
 - 1.3.2. Les facteurs orographiques, morphologiques et lithologiques
 - 1.3.3. Les facteurs biogéographiques : la végétation

◇ 2. LES GRANDS TRAITS DU CLIMAT ET DE L'EAU PLUVIALE A BANGUI

- 2.1. Contexte historique
- 2.2. La pluviogenèse et les paramètres générateurs
 - 2.2.1. Le réseau de mesures et son évolution
 - 2.2.2. La base de données : critique, traitement et analyse
 - ◆ 2.2.2.1. Le vent
 - ◆ 2.2.2.2. Les températures et leurs caractères
 - ◆ 2.2.2.3. L'étude de la pluviométrie
 - ◇ 2.2.2.3.1. Les totaux annuels
 - ◇ 2.2.2.3.2. Les précipitations mensuelles
 - ◇ 2.2.2.3.3. Les pluies journalières
 - ◇ 2.2.2.3.4. Les pluies maxima de l'année en jours consécutifs
 - ◆ 2.2.2.4. L'ETP
 - 2.2.3. L'influence du milieu sur les apports en eau
 - ◆ 2.2.3.1. Le calcul des intensités de pluie
 - ◆ 2.2.3.2. Quelques indices de l'érosivité à Bangui
 - ◆ 2.2.3.3. Les apports et l'enjeu des besoins en eau
 - ◆ 2.2.3.4. La détermination du bilan de l'eau

◇ 3. LES EAUX DE SURFACE ET LEURS PROBLEMES

◇ 4. LES EAUX SOUTERRAINES

- 4.1. Les types d'eau souterraine
- 4.2. L'alimentation des eaux souterraines

◆ CONCLUSION PARTIELLE

• DEUXIEME PARTIE : LA DYNAMIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES ET DES LINEAIRES D'ECOULEMENT, ET L'ESPACE URBAIN

◆ INTRODUCTION

◆ Chapitre IV – RUISSELLEMENT ET EROSION A BANGUI : DU VERSANT AU LIT FLUVIAL

◇ 1. DE LA GENESE DU RUISSELLEMENT A L'EROSION HYDRIQUE

- 1.1. La genèse du ruissellement
- 1.2. Les processus de l'érosion hydrique
- 1.3. Les facteurs du ruissellement et de l'érosion
- 1.4. La propagation du ruissellement et de l'érosion

◇ 2. ANALYSE DES FACTEURS SPECIFIQUES A LA VILLE

◇ 3. LE SITE D'ETUDE, LA METHODE ET LES DISPOSITIFS DE MESURE

- 3.1. Méthode et dispositifs de mesure

- 3.1.1. Parcelles expérimentales et diversité des conditions de mesure
 - ◆ 3.1.1.1. Les parcelles nues
 - ◆ 3.1.1.2. Les parcelles couvertes
- 3.1.2. Les dispositifs expérimentaux
- 3.1.3. Mesure du ruissellement et du charriage sur parcelles et à l'exutoire
 - ◆ 3.1.3.1. Sur parcelles
 - ◆ 3.1.3.2. L'exutoire : le cours de la Ngoubagara

· 3.2. Critique et exploitation des données

◇ 4. RESULTATS ET DISCUSSION

· 4.1. L'apport des parcelles expérimentales

- 4.1.1. Influence de la pluie sur le ruissellement
 - ◆ 4.1.1.1. Les volumes ruisselés (et infiltrés)
 - ◆ 4.1.1.2. Le seuil de ruissellement
 - ◆ 4.1.1.3. Relation pluie-intensité-ruissellement
 - ◆ 4.1.1.4. Effet du temps écoulé entre deux pluies
 - ◆ 4.1.1.5. Capacité de ruissellement des pluies journalières
- 4.1.2. Dynamique des matières solides
 - ◆ 4.1.2.1. Les concentrations moyennes en matières en suspension (MES)
 - ◆ 4.1.2.2. Dynamique érosive sur sols nus et couverts
 - ◆ 4.1.2.3. Bilans des érosions et des dépôts
 - ◇ 4.1.2.3.1. Evolution annuelle et interannuelle de l'érosion sur parcelles
 - ◇ 4.1.2.3.2. Valeurs mensuelles : régime de concentration
 - ◇ 4.1.2.3.3. Les données journalières de l'érosion

· 4.2. Ecoulement et étude des crues de la Ngoubagara à l'exutoire

- 4.2.1. L'étalonnage des stations
- 4.2.2. L'enregistrement des événements pluvieux aux différentes stations
 - ◆ 4.2.2.1. Les crues d'amont en aval, ou d'une station à l'autre
 - ◆ 4.2.2.2. Les événements pluvieux pris isolément
- 4.2.3. Les manifestations hydrologiques
 - ◆ 4.2.3.1. Les types de crues (pointe et volume)
 - ◆ 4.2.3.2. Le temps de ruissellement et la relation

◇ Conclusion : l'impact d'urbanisation sur l'écoulement ?

◆ Chapitre V – LES ORGANISMES FLUVIAUX (URBAINS) DE BANGUI

◇ 1. LES TRAITES PRINCIPAUX DES SYSTEMES FLUVIAUX DE BANGUI

- 1.1. L'Oubangui à Bangui
 - 1.1.1. Les hauteurs d'eau et les débits
 - 1.1.2. L'analyse des pics de crue et la détection des phases de débordement fluvial
 - 1.1.3. Etude fréquentielle des Q journaliers maximums
- 1.2. La Mpoko à Bossélé-Mbali ou à Bimbo
 - 1.2.1. Le bassin-versant, le profil en long
 - 1.2.2. Les débits et les apports à l'Oubangui
- 1.3. Les systèmes fluviaux urbains et périurbains
 - 1.3.1. Les données morphométriques
 - 1.3.2. Aspects hydrologiques

◇ 2. STRUCTURE DES LINEAIRES ET DU RELIEF

- 2.1. Les profils longitudinaux des cours d'eau
 - 2.1.1. La Nguitto
 - 2.1.2. La Ngoubagara
 - 2.1.3. La Ngongonon
 - 2.1.4. La Ngola
 - 2.1.5. La Kokoro et la Guitangola
- 2.2. Les profils transversaux : largeur comparée des chenaux, hauteur des berges et profondeur de la Ngoubagara et de la Ngongonon

◇ 3. EVOLUTION DES VALLEES FLUVIALES ET OCCUPATION DU SOL

- 3.1. Extension temporelle et spatiale des lits majeurs
- 3.2. L'anthropisation des lits majeurs

◇ 4. MORPHOLOGIE DES LITS FLUVIAUX

- 4.1. Caractéristiques et typologie des lits fluviaux et des fossés de drainage
- 4.2. La nature des talwegs

◇ 5. MORPHODYNAMIQUE ACTUELLE DES LITS FLUVIAUX

- 5.1. Les processus bio-morphodynamiques

- 5.1.1. L'érosion latérale
- 5.1.2. L'érosion linéaire
- 5.1.3. Les dépôts de matériaux en transit ou piégés
- 5.1.4. La colonisation végétale des talwegs
 - ◆ 5.1.4.1. Ses effets sur l'écoulement ou le transfert d'eau
 - ◆ 5.1.4.2. Ses effets sur le transit sédimentaire
 - ◆ 5.1.4.3. Une cause d'emboîtement et d'étagement de niveaux de sédimentation dans les talwegs
 - ◆ 5.1.4.4. Une cause à l'incision
 - ◆ 5.1.4.5. Une cause d'anastomose du chenal
- 5.2. La charge de fond : granulométrie et sources
 - 5.2.1. Caractéristiques granulométriques comparées de la charge de fond
 - 5.2.2. Les types de minéraux charriés
 - 5.2.3. Les sources sédimentaires
- 5.3. Aperçu sur la capacité de transfert des lits fluviaux (de Bangui)
 - 5.3.1. Le rôle géomorphologique du débit à pleins bords
 - 5.3.2. La contenance du chenal et la superficie du bassin lors des crues exceptionnelles

◆ CONCLUSION PARTIELLE

• TROISIEME PARTIE : LA DYNAMIQUE DES ZONES HUMIDES ET DES EAUX SOUTERRAINES DU SITE DE BANGUI

◆ INTRODUCTION

◆ Chapitre VI – LES ZONES MARECAGEUSES DE LA PLAINE DE BANGUI. DE LEUR ROLE DANS LA CIRCULATION DE L'EAU A LEUR CARACTERISATION SEDIMENTOLOGIQUE : APPLICATION AUX MARAIS DU SUD-OUEST

◇ 1. GENERALITES SUR LES ZONES HUMIDES

- 1.1. Leurs dimensions hydrologiques et géomorphologiques
 - 1.1.1. La prise en compte des caractéristiques géomorphologiques
 - 1.1.2. A propos de la classification hydrogéomorphologique des zones humides
- 1.2. Place des zones marécageuses de Bangui dans les classifications générales

◇ 2. ASPECTS DES ZONES MARECAGEUSES DE BANGUI

- 2.1. Localisation et extension
- 2.2. Genèse et évolution
 - 2.2.1. De leur origine hydrogéomorphologique

- 2.2.2. Typologie actuelle des zones marécageuses de Bangui

◇ 3. FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES MARAIS ET MARECAGES. LA CIRCULATION DE L'EAU SUPERFICIELLE A L'ECHELLE URBAINE

- 3.1. Des conditions générales au cas de Bangui
- 3.2. Sur l'hydrologie des zones humides de la région de Bangui
- 3.3. De la circulation de l'eau à l'échelle urbaine

◇ 4. LES MARAIS DU SUD-OUEST : GUITANGOLA - PETEVO - BIMBO

- 4.1. Identité des marais du sud-ouest de Bangui
- 4.2. Evolution diachronique
- 4.3. Les unités paysagères

◇ 5. ESSAI DE CARACTERISATION SEDIMENTOLOGIQUE DES MARAIS DU SUD-OUEST

- 5.1. Généralités sur les sols du champ d'étude
- 5.2. Choix du site et méthode d'étude
 - 5.2.1. Raisons du choix de l'étude
 - 5.2.2. Matériel et méthode d'étude
 - ◆ 5.2.2.1. Echantillonnage
 - ◆ 5.2.2.2. Les types d'analyses
- 5.3. Caractéristiques sédimentologiques
 - 5.3.1. Evolution de la granulométrie des sables
 - 5.3.2. Origine des dépôts
- 5.4. Discussion, le poids de l'eau dans l'évolution globale des marais étudiés

◆ Chapitre VII – LES NAPPES PHREATIQUES ET LES EFFETS DE L'URBANISATION

◇ 1. GENERALITES, TYPES DE NAPPES PHREATIQUES

◇ 2. TYPES DE NAPPES A BANGUI : CARACTERISTIQUES ET FONCTIONNEMENT

- 2.1. Les puits traditionnels ou nappes libres
- 2.2. Les forages d'eau souterraine ou les nappes captives
 - 2.2.1. Localisation actuelle des forages
 - 2.2.2. Transmissivité : essais de pompage dans les principales unités de relief
- 2.3. Analyse de la qualité des eaux souterraines : puits traditionnels et forages
 - 2.3.1. Les puits traditionnels et la qualité de leurs eaux
 - 2.3.2. La qualité des eaux souterraines profondes : l'eau des forages

◆ 2.3.2.1. L'eau des formations non-carbonatées

◆ 2.3.2.2. L'eau des formations carbonatées

- 2.3.3. Tendances actuelles de la qualité des eaux souterraines dans la ville de Bangui

◇ 3. ESTIMATION DU POTENTIEL DES EAUX SOUTERRAINES

◇ 4. LES CARACTERISTIQUES PIEZOMETRIQUES

- 4.1. Les données
- 4.2. Piézométrie, niveau hydrostatique, extension de la nappe
 - 4.2.1. Le niveau hydrostatique
 - 4.2.2. Extension de la nappe

◇ 5. MODES D'ALIMENTATION DES NAPPES PHREATIQUES A BANGUI

- 5.1. Effet de l'ETR : les précipitations efficaces (PE)
- 5.2. Tendances saisonnières et annuelles du rythme d'alimentation

◇ 6. RELATION NAPPE-PRECIPITATIONS-HAUTEUR DE L'OUBANGUI, ET ECOULEMENT DE LA NAPPE

- 6.1. Relation entre les aquifères et l'Oubangui
- 6.2. Ecoulement des nappes et les débits
 - 6.2.1. L'écoulement des nappes
 - 6.2.2. Les débits des nappes à Bangui : puits traditionnels et forages

◆ CONCLUSION PARTIELLE

- QUATRIEME PARTIE : PERSPECTIVES CONCERNANT LA GESTION DES EAUX DANS LE SITE DE BANGUI

◆ INTRODUCTION

◆ *Chapitre VIII* – QUELQUES AXES ET LEUR APPLICABILITE A LA GESTION DE L'EAU DE LA VILLE DE BANGUI

◇ 1. NECESSITE DE LA GESTION DES EAUX A BANGUI. DE L'INADEQUATION DES AMENAGEMENTS

◇ 2. APERCU SUR LA GESTION URBAINE DES EXCES D'EAU

- 2.1. Les cours d'eau et leurs « aménagements »
 - 2.1.1. Les aménagements contre les crues et les inondations
 - 2.1.2. Les effets anthropiques sur la propagation des crues
- 2.2. Gestion des zones humides : les hommes et les marais
 - 2.2.1. La colonisation et la dégradation des marais
 - 2.2.2. Dynamique actuelle : l'emprise de l'homme, les formes d'aménagement

◇ 3. LES SCENARIOS ENVISAGES

· 3.1. Gestion de l'eau potable et pénurie

- 3.1.1. A propos de l'abondance des eaux et de ses impacts connexes
- 3.1.2. Exploitation et alimentation en eau potable : insuffisance du réseau et risque de pénurie
 - ◆ 3.1.2.1. La faible adduction en eau et l'insuffisance du réseau
 - ◆ 3.1.2.2. Les effets « relatifs » de périodes de sécheresse sur la disponibilité en eau et le risque de pénurie
- 3.1.3. Les conséquences de l'essor démographique sur la qualité des ouvrages hydrauliques et sur l'adaptation du réseau aux besoins d'une population en croissance
- 3.1.4. L'impact de l'absence du réseau d'assainissement sur la qualité de l'eau
- 3.1.5. Du souci de l'évacuation des eaux usées et de la protection de l'eau potable
- 3.1.6. Quelques orientations

· 3.2. Le risque et la gestion des inondations à Bangui

- 3.2.1. L'enjeu de la question des inondations urbaines et des inondations liées à l'Oubangui
- 3.2.2. Les cas d'inondations sur le fleuve Oubangui
 - ◆ 3.2.2.1. Une étude de cas : la crue et l'inondation d'octobre novembre 1999
 - ◇ De l'inondation du secteur de l'Est de la ville : Ouango-Gbangouma
 - ◇ La situation du promontoire rocheux
 - ◇ Entre le centre-ville et Bimbo
 - ◇ Le phénomène entre Pétévo et Bimbo
 - ◆ 3.2.2.2. Esquisse cartographique des inondations du fleuve
- 3.2.3. Les inondations dans les collecteurs urbains et dans les zones marécageuses
 - ◆ 3.2.3.1. Du drainage des eaux pluviales. Dynamisme du processus à l'échelle de la ville de Bangui
 - ◆ 3.2.3.2. De l'importance du ruissellement urbain à la maîtrise des eaux pluviales
 - ◆ 3.2.3.3. Les inondations des rivières urbaines de septembre 1973
- 3.2.4. A propos de la prévention des inondations

◇ 4. DE NOUVELLES ORIENTATIONS POUR UNE BONNE GESTION DES EAUX

- 4.1. Les dispositions du SDEA par rapport à une gestion intégrée des eaux
- 4.2. A propos de quelques pistes novatrices concernant la gestion des eaux
- 4.3. Pour une bonne gestion de l'eau

◇ 5. UN OUTIL APPLICABLE A LA GESTION DE L'EAU : LE MNT
 ◇ CONCLUSION PARTIELLE

• CONCLUSION GENERALE

- ◆ 1. Historique du site de l'étude et caractéristiques du milieu physique par rapport à l'eau
- ◆ 2. De la diversité de l'eau : cycles et ressources
- ◆ 3. Les interrelations entre le mouvement de l'eau, l'occupation du sol et l'espace urbain
- ◆ 4. L'emprise de l'eau et les difficultés des aménagements liés à l'eau du site
- ◆ 5. De l'étude sédimentologique des zones marécageuses du Sud-Ouest

• REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cartes
- Planches
 - ◆ Planche I : Quelques paysages du site initial de la ville de Bangui : les Rapides, le Promontoire rocheux et l'Oubangui durant la crue de 1999
 - ◆ Planche II : Caractéristiques des sommets et des versants de collines de Bangui
 - ◆ Planche III : Les carrières d'extraction de pierres de construction, facteurs de production de matières dommageables à l'échelle urbaine
 - ◆ Planche IV : De l'anthropisation des collines à l'installation des sites de mesures expérimentales du ruissellement et d'érosion
 - ◆ Planche V : Le ruissellement urbain et les unités de collecte : bas-fonds et cours d'eau
 - ◆ Planche VI : Quelques paysages des vallées fluviales de la Ngoubagara et de la Ngongonon
 - ◆ Planche VII : Dynamique saisonnière du chenal de la Ngoubagara en relation avec la colonisation végétale, le transit sédimentaire et le régime hydraulique
 - ◆ Planche VIII : Lits fluviaux, fossés de drainage et bas-fonds marécageux aménagés
 - ◆ Planche IX : La variété de paysages des marais de Bangui
 - ◆ Planche X : Les inondations de l'Oubangui et des bas-fonds marécageux d'octobre en novembre 1999
 - ◆ Planche XI : Les inondations de l'Oubangui et des bas-fonds marécageux de 1999 (bis)
 - ◆ Planche XII : Les inondations urbaines
 - ◆ Planche XIII : Quelques indications sur les conséquences du ruissellement anarchique des eaux pluviales en l'absence d'un réseau adéquat

- ANNEXES I : DONNEES DU RUISSellement ET D'EROSION A BANGUI (KOKAMY-YAMBERE, 1994, 1995)
- ANNEXES II : CARACTERISTIQUES DES FORAGES ET DONNEES PIEZOMETRIQUES (d'après DGH ; JICA, 1997, 1999)
- ANNEXES III : DONNEES SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES (JICA, 1997, 1999)
- ANNEXES IV : ANALYSE DES PERIODES DE RETOUR DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS MAXIMUMS DE L'OUBANGUI A BANGUI
- ANNEXES V : DOCUMENTS DIVERS

*A mes enfants
Louis-Cyrop Joseph Mizel,
Jean-Félicien Ruféli
et
ma regrettée épouse, leur mère, Opportune-Félicité Adjaze*

Le cycle et la gestion de l'eau à Bangui (République centrafricaine). Approche hydrogéomorphologique du site d'une Capitale africaine

Bangui, Capitale de la République centrafricaine, a subi des contraintes hydriques et hydrologiques depuis sa fondation en 1889 jusqu'à nos jours. La fragilité du site, alliée à la fréquence des aléas hydrauliques, et les processus d'urbanisation, à l'origine de la compaction du sol et de l'accroissement du ruissellement, accentuent les contraintes (drainage, inondation...) en raison de l'inadéquation des aménagements. Cette lacune dans la gestion de l'eau à Bangui remonte à l'époque coloniale et n'a guère trouvé de solutions.

L'étude hydrogéomorphologique a nécessité de comprendre les interrelations de l'eau (météorique, superficielle et souterraine), enjeu principal, avec son milieu (topographie, géomorphologie, nature des terrains) ; ensuite d'analyser conjointement l'eau et l'espace urbanisé. Ainsi, le ruissellement urbain pluvial provoque des inondations le long des cours d'eau collecteurs et dans les bas-fonds marécageux insalubres habités ; ceux-ci se colmatent de débris d'érosion et anthropiques. Dans ce cycle urbain de l'eau, la pollution des nappes phréatiques pose problème pour l'eau et la qualité de la vie.

Un MNT (Modèle Numérique de Terrain) de Bangui et de sa région nous fournit un cadre de base à une bonne gestion de l'eau. Cet outil nous servirait à une modélisation des processus hydrologiques dans cet espace urbanisé.

Mots clés : Bangui, gestion de l'eau, contraintes hydriques, aménagements, ruissellement urbain pluvial, bas-fonds marécageux, inondations, nappes phréatiques, pollutions, MNT, République centrafricaine.

Cycle and water management in Bangui (Central African Republic). Hydrogeomorphological approach to the site of an African city

Bangui, capital of the Central African Republic, has undergone hydrous and hydrological constraints since its foundation in 1889 until our days. The precariousness of the site which is combined to the frequency of hydrological hazards as well as the processes of urbanization, at the origin of the compaction, of the ground and the increase of overland flow, accentuate the constraints (drainage, flood) because of the inadequacy of installations. This gap in the management of water in Bangui originated during the colonial period and hardly found solutions.

This hydrogeomorphological study required to understanding of the interrelationships of water (meteoric, surface and underground), which is the principal stake, with its environment (topography, geomorphology, nature of the grounds) ; then to jointly analyze water and urbanized space. Thus, the rain urban streaming causes floods along the collecting rivers and inhabited unhealthy marshy hollow ; those clog remains of erosion and servants. In this urban cycle of water, the pollution of the ground water poses problem for the water and the quality of the life.

A DEM (Digital Elevation Model) of Bangui and its area provides to us a basic framework for a good management of water. This tool would give to us with a modeling as the hydrological processes in this urbanized space.

Key words : Bangui, management of water, hydrous constraints, installations, rain urban streaming, marshy hollows, floods, ground water, pollution, DEM, Central African Republic.

Le Cycle et la Gestion de l'Eau à Bangui (République centrafricaine). Approche Hydrogéomorphologique du Site d'une Capitale Africaine

Cyriaque Rufin NGUIMALET

Bangui, Capitale de la République centrafricaine, est localisée sur la rive droite de l'Oubangui (4°22'00''N-18°35'00''E), affluent le plus septentrional du fleuve Congo. Cette ville d'Afrique centrale a toujours connu des problèmes liés à l'eau, aussi bien pour sa fondation en juin 1889 que pour son extension et son développement actuel. Ceci tient à la fragilité du site (liée à la présence des collines aux versants pentus relayée par une vaste plaine marécageuse mal drainée), et aux processus d'urbanisation, à l'origine de l'imperméabilisation du sol et de l'accroissement du ruissellement dans cet espace tropical humide (1558,5 mm en moyenne). Ces raisons justifient les aléas et les contraintes (drainage, inondation...) à cause de l'inadéquation des aménagements, mettant en relief une gestion lacunaire de l'eau à Bangui qui remonte depuis l'époque coloniale.

En effet, la difficile maîtrise de l'eau est marquée par la présence de marais pendant près de six mois de l'année, ensuite par les méfaits des précipitations abondantes et parfois violentes (orages violents, pluies exceptionnelles, ruissellement, érosion, crues catastrophiques de l'Oubangui) et par la question des aménagements (inondations urbaines, drainage, assainissement). Depuis près de deux décennies, nous remarquons qu'un manque d'eau, parfois plus accentué, se note en saison sèche. Il s'exprime par une baisse du niveau hydrostatique de la nappe phréatique, soit parce que l'eau qui tombe ruisselle, pour l'essentiel, et ne s'infiltre pas, soit parce que les conditions géomorphologiques ne s'y prêtent pas. Dans ce contexte, l'eau potable n'est pas accessible à tous les citoyens, ce qui a tendance à accroître le taux des maladies d'origine hydrique.

La problématique générale porte sur les aléas (pluies exceptionnelles, orages violents) et sur les contraintes hydriques et hydrologiques dans un espace urbain et à sa gestion. Ainsi, l'analyse des interactions de l'eau dans son cadre nous permettra de déterminer l'ampleur des dommages pour la population de Bangui.

A travers cette étude hydrogéomorphologique, notre **intérêt principal** est de **comprendre les interrelations de l'eau** (météorique, superficielle et souterraine) **avec son milieu** (topographie, géomorphologie, nature des terrains) ; ensuite, de **coupler l'eau et l'espace urbanisé** dans le but de les **analyser conjointement dans un milieu anthropisé** où les conditions de la circulation de l'eau se sont artificialisées. Dans ce contexte, nous avons fait une étude sédimentologique des bas-fonds marécageux dans le but de faire ressortir le poids de l'eau dans leur mise en place. Car l'extension du site dans la plaine marécageuse l'a fait participer à la dynamique actuelle de l'eau. Ceci situe notre travail à l'interface *nature* (conditions de gisement et de dynamique de l'eau : eau de surface et eau souterraine, pluies exceptionnelles, crues catastrophiques) / *société* (politique de l'eau et d'aménagement de la ville de Bangui), lequel a cerné les inondations de l'Oubangui à Bangui et les hauts niveaux des bas-fonds marécageux.

Pour montrer la diversité de l'eau, dans son cycle et dans ses interrelations aussi bien avec son milieu qu'avec les conséquences de l'urbanisation, nous avons utilisé plusieurs approches méthodologiques sur la base des *données humaines et physiques à l'échelle historique* (période supérieure à 10 ans) et des *données récentes*

Cycle and water management in Bangui (Central African Republic). Hydrogeomorphological approach to the site of an

(période remontant à 10 ans maximums) ou *de terrain*. Cette étude, nous l'avons réalisée selon des approches temporelles et spatiales emboîtées, couplées à l'*oralité*, laquelle a constitué dans le cas de notre travail une originalité du fait de la quasi-inexistence des archives ; la *parole*, comme dans les temps anciens en Afrique, a fonctionné comme moyen de collecte des informations passées et même récentes, faute de traces écrites, pour les confronter et les recouper aux données chiffrées ou mesurées.

À l'*échelle temporelle*, nous avons effectué une analyse chronologique des données humaines, climatologiques, hydrogéologiques, hydrologiques, géologiques et biogéographiques dont le but est de détecter les facteurs de causalité, explicatifs de la dynamique de l'eau, couplée avec des approches statistiques. Quant à l'*échelle spatiale*, des données de terrain sont collectées selon une démarche naturaliste, en observant les phénomènes et leurs processus, les zones d'extension des inondations de l'Oubangui et des bas-fonds marécageux en 1999...

Dans cette approche globale de la dynamique de l'eau, nous avons mis l'accent sur ses aspects nuisibles, notamment sur les inondations urbaines et sur celles de l'Oubangui et leur fréquence, qui déterminent les problèmes de la gestion de l'eau dans cette cité. De ce fait, le principal apport de notre travail est de démontrer que l'extension rapide de la ville en accroissant l'*impluvium*, contribue au risque d'inondation urbaine par l'importance du ruissellement à chaque épisode pluvieux.

Il en découle la prise en compte des écoulements (de la transformation de la pluie aux écoulements superficiels et souterrains) à l'interface des bassins-versants hydrographiques et hydrologiques artificiels de la région de Bangui. Les aléas hydrauliques et les contraintes hydrologiques analysés, selon les différentes phases du cycle de l'eau, se situent à la limite du naturel et de l'artificiel. Ainsi, l'importance du ruissellement urbain pluvial (dévalant les versants de plateaux et les piémonts) rend évident le risque d'inondation le long des cours d'eau collecteurs, qui se colmatent avec les débris d'érosion et les déchets anthropiques, et dans les bas-fonds insalubres habités. D'après la chronologie reconstituée des événements hydrologiques, ressort une synthèse des facteurs de vulnérabilité physique du site de Bangui et de vulnérabilité liés à l'occupation du sol, ayant assujéti les hommes depuis. L'habitat, au cœur de ces contraintes, s'est anarchiquement installé dans les zones acquises à l'eau (plaines d'inondation, zones marécageuses). Cette dernière tendance fournit de la matière première aux perspectives d'une gestion intégrée et durable des eaux dans l'optique de réduire, voire d'éradiquer les contraintes hydriques et hydrologiques jusque-là connues par la population. Dans ce cycle urbain de l'eau, la pollution des nappes phréatiques est perçue comme un facteur limitant l'amélioration de la qualité de la vie.

Un MNT que nous avons réalisé à l'issue de ce travail fournit un cadre de base à une bonne gestion de l'eau à Bangui. Car il implique une occupation rationnelle du sol, la détection des secteurs vulnérables à l'eau selon les pentes et une vue globale et spatiale des problèmes posés par les éléments du cycle urbain de l'eau dans l'espace étudié. Il servirait à une modélisation des processus hydrologiques dans cet espace urbanisé.

Mots-clés : Eau, hydrogéomorphologie, cycle de l'eau, gestion de l'eau, zones marécageuses, site de Bangui, occupation du sol, pollutions, nappes phréatiques, ruissellement urbain, inondations, aménagement, MNT, République centrafricaine.

Avant-Propos

Mon vœu de faire une thèse sur **les ajustements de lits fluviaux causés par l'extraction diamantifère artisanale** en Centrafrique n'a été qu'un rêve... La réalité est que je viens de finir une thèse sur **l'eau plurielle à Bangui**. Cela n'a pas été facile de changer de sujet, celui qui a pourtant fait l'objet du DEA « Géomorphologie : relief, dynamique de la surface, risques naturels » co-organisé par les Universités parisiennes I, IV, VII, X et XII. Cela n'a pas été facile aussi de commencer une thèse avec un nouveau sujet. En janvier 1999, pour des raisons de logistique et de sécurité, je ne pouvais plus me rendre dans la région de Ouadda (à plus de 800 km de Bangui par la route), sur le Plateau de Mouka-Ouadda situé à l'Est du pays,

Le Cycle et la Gestion de l'Eau à Bangui (Républiquecentrafricaine). Approche Hydrogéomorphologique duSite d'un

lequel constitue la roche-magasin du diamant du fait de la minéralisation des cours d'eau qu'il draine. Hélas ! Cela n'a pas non plus été facile de faire une thèse en séjours en alternance financés par la Coopération française, avec une partie du temps passé à Bangui et le reste en France ; la particularité de ce contexte est que depuis 1996, la République centrafricaine est le théâtre d'une crise militaro-politico-sociale chronique et ce n'est peut-être pas encore fini, avec les derniers événements de fin octobre 2002. Il y a eu par la suite le sursaut patriotique du 15 mars 2003... Dans une telle ambiance, trouver les ressources humaines, matérielles, voire financières est difficile. Néanmoins au terme de ce travail, qu'il me soit permis de remercier tous ceux qui m'ont apporté leur soutien et leur concours (personnes physiques et morales) dans ce périple.

Ma reconnaissance va tout d'abord à M. Jean-Paul Bravard, mon directeur de thèse, pour tout ce qu'il m'a apporté humainement et scientifiquement. J'ai commencé à travailler avec lui depuis le DEA, et ai eu l'occasion de profiter de nombreux stages qu'il organise chaque année à Boulc (en Diois) au cours desquels j'ai appris diverses méthodes de travail. J'ai beaucoup aimé qu'il m'ait laissé travailler en toute liberté, et surtout que par moment il m'ait envoyé des messages pour me stimuler, lorsque je me trouvais à Bangui, à avancer dans le travail, à des moments où parfois je semblais déconnecté.

Je remercie également M. Claude Censier, alors Représentant de l'ex-ORSTOM (actuel IRD) en République centrafricaine, qui a guidé mes premiers pas de chercheur. J'ai énormément appris à ses côtés : à écrire scientifiquement, à faire du terrain... C'est lui qui m'a fait connaître la question de l'extraction du diamant dans les lits fluviaux ; c'est à nouveau lui qui m'a conseillé de travailler sur l'eau à Bangui du fait des difficultés à travailler à Ouadda.

Ma gratitude s'adresse aussi aux membres du jury pour leur disponibilité à critiquer ce travail. Que M. Yves Boulvert, Directeur de Recherche IRD e. r. soit récompensé par l'aboutissement de ce travail au vu des critiques et suggestions qu'il m'a faites ; depuis la préparation du DEA à Paris, il s'est montré disponible en acceptant de lire mes manuscrits, de mettre à ma disposition sa documentation au Centre de Bondy, avec des discussions toujours enrichissantes. Quant à Mme Claude Cosandey, elle a su m'être disponible à chaque fois que je lui demande des choses précises ; ses critiques de fond m'ont conduit à reprendre la première version du travail. M. Serge Morin a été un des professeurs missionnaires qu'on a reçus à Bangui en 1992 en Géomorphologie structurale dans le cadre de la Convention existant entre l'Université de Bangui et l'Université de Bordeaux III ; depuis on a gardé de très bonnes relations. M. Yann Callot, je ne l'ai connu que quelques mois avant la fin de la thèse.

Je tiens sincèrement à remercier ici M. Etienne M'Péco, alors Directeur Général de l'Hydraulique (DGH), qui m'a beaucoup apporté dans la réalisation de cette thèse depuis mon arrivée en mai 1999. Lorsque je peinais dans la collecte des données, il m'a relancé en me proposant de présenter une communication sur les **aspects géologiques et géomorphologiques** de la ville en juin 1999 quand les experts japonais de la JICA devaient présenter les résultats sur l'étude des eaux souterraines de la ville de Bangui. De plus, il a mis à ma disposition sa voiture de commandement pour prélever des échantillons dans les bas-fonds du sud-ouest pendant une semaine de septembre 1999 ; les sédiments étaient entreposés au Centre IRD de Bangui. C'est rarissime en Afrique... et le comble c'est qu'il m'a emmené faire une excursion dans les collines de Bangui le 1er janvier 2000. Il est d'ailleurs l'une des rares personnalités, avec mon collègue L. Mossoa, à avoir lu une partie de mes manuscrits à Bangui. Que M. Albert Mawa, actuel Directeur de l'urbanisme au Ministère de l'Aménagement du Territoire à Bangui, trouve ici mes sincères remerciements pour la documentation qu'il m'a fournie à propos du Recensement Général de la Population (RGP) de 1988, plus particulièrement sur l'analyse de l'habitat et de l'urbanisation ; les données qu'elle comporte ont été d'une importance non négligeable de travail en raison des paramètres analysés. De même, M. Michel Pougouaye, mon compagnon de terrain, et M. Edouard Kaïma qui a été avec nous lors de la campagne d'échantillonnage à la tarière dans les marais de Guitangola-Pétévo-Bimbo, méritent de recevoir ma profonde gratitude.

Je n'oublierai pas Mme Bard Véronique qui a su m'apporter tout ce qu'il faut en tant qu'aînée durant les six (6) années (y compris celle du DEA), ayant abouti à la réalisation de cette thèse ; je lui traduis toute ma

reconnaissance. Ma gratitude s'adresse également à Didjine Marie-Josée Bard et à son ami Eddy François pour leur contribution dans la finalisation de ce travail. Le Pasteur David Koudoungueret doit être récompensé par l'aboutissement de cette thèse en raison de tout son appui durant.

J'espère que le Laboratoire de Géographie Physique « P. Birot » de Meudon (CNRS – UMR 8591) sera récompensé par ce travail du fait du soutien moral, matériel et financier dont j'ai bénéficié durant la préparation de cette thèse. En l'occurrence, je n'oublierai pas Mme Tatiana Muxart et son successeur M. Charles Lecoeur, S. Kunesch et F. Goupille qui m'ont assisté dans la réalisation de mes analyses sédimentologiques. Je n'oublie pas non plus D. Brunstein dont son concours m'a été précieux pour la finalisation du MNT qui figure dans ce travail, quand j'ai des difficultés liées au décès de ma femme et à mon éloignement du fait de ma résidence à Bangui. Que tous les membres du laboratoire et mes collègues doctorants soient remerciés !

Je remercie le personnel de l'ex-Centre IRD de Bangui, particulièrement ceux du Centre de documentation et du Laboratoire de Géologie et d'Hydrologie qui m'ont apporté leur précieux concours dans la préparation de cette thèse, alors que le centre était en instance de fermeture.

Mes remerciements vont également à mes sœurs et frères qui m'ont soutenu dans mes recherches à Bangui, particulièrement à Georges Derlin, Alberto, Delpin Hamidou... Que ce travail leur serve d'inspiration.

Pour terminer, j'adresse ma profonde reconnaissance aux parents, amis et connaissances, parmi lesquels Yves-Serge Yadjoma, Claude-Julien Sokambi et Aimé Yaligaza, qui m'ont soutenu dans cette étape ; que tous ceux qui ont, de près ou de loin, apporté leur pierre à la construction de cette thèse et que je n'ai pu citer, en soient heureux aujourd'hui.

Je rends à tous un vibrant hommage.

INTRODUCTION GENERALE

« L'eau fait partie de notre environnement naturel tout comme l'air que nous respirons et la terre qui nous porte et nous nourrit ; elle constitue un des éléments familiers de notre vie quotidienne. » **C. RIOU (Préface de L'eau : milieu naturel et maîtrise, T. I, 1999)**

Ce travail porte sur *l'eau à Bangui, Capitale du Centrafrique, et les problèmes qu'elle engendre dans le site de la ville en relation avec la présence humaine et les formes de vulnérabilité physique*. A la fondation de la ville (1889), des *aléas* (pluies exceptionnelles, orages violents) et des *contraintes* hydrologiques (inondations répétitives de l'Oubangui, haut niveau de l'eau des étendues marécageuses) étaient enregistrés dans le site. Aujourd'hui comme hier, ces phénomènes sont commandés par l'abondance et la violence des précipitations une partie de l'année, car Bangui est située dans la zone tropicale humide. Ainsi, le *cycle de l'eau* (précipitations, événements exceptionnels, crues de l'Oubangui, excès d'eau dans les étendues marécageuses) est couplé à la *géomorphologie du site*, favorable au séjour quasi-permanent de l'eau en surface et dans le sol. Les difficultés de ce milieu physique fragile sont exacerbées par la croissance urbaine.

En effet, l'abondance ou la violence relative des pluies entraîne actuellement à Bangui des inondations à l'échelle de la ville, particulièrement le long des petits cours d'eau façonnés en collecteurs/évacuateurs d'eaux pluviales issues du ruissellement. Car l'*infiltration amoindrie* par la compaction du sol nu urbain accroît le *ruissellement pluvial*. La concentration des eaux dans les collecteurs ainsi que dans les zones basses marécageuses actuellement colonisées par l'habitat, est souvent à l'origine des inondations urbaines. En outre, l'Oubangui cause des catastrophes épisodiques à la ville, notamment dans son ancien talweg où l'habitat s'est installé depuis peu ; le dernier cas en date s'est produit en octobre-novembre 1999, sinistrant près de 10 000 riverains du cours d'eau.

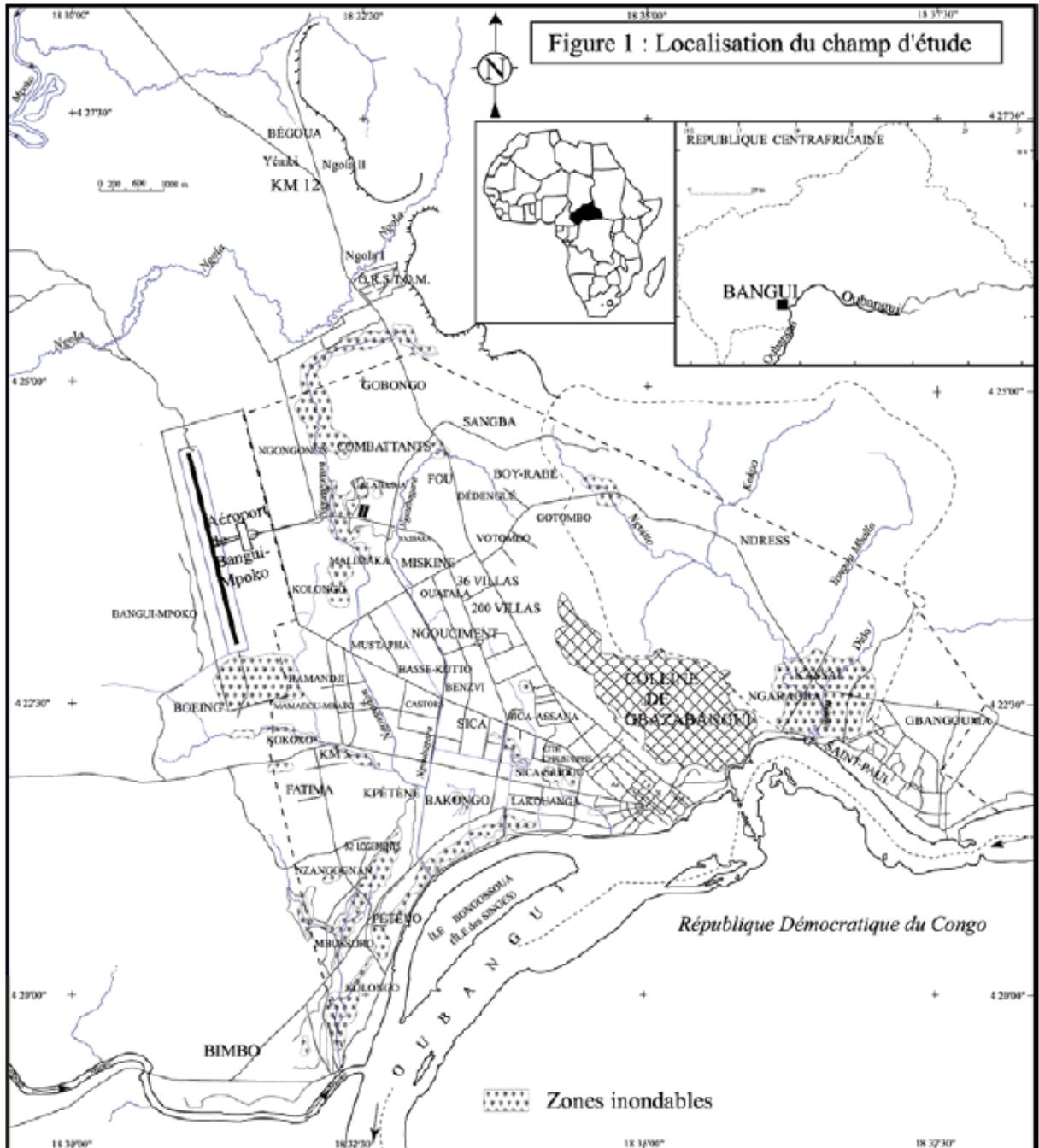
La question centrale de l'étude se rapporte au cycle et à la gestion de l'eau à Bangui ; nous l'avons abordée selon l'approche hydrogéomorphologique du site de la ville. Elle considère l'eau pluviale qui tombe, ruisselle ou se stocke en surface dans les cours d'eau et les marais ou étangs, et circule dans le sol pour gagner les nappes phréatiques, à l'interface du milieu physique (collines, piémonts, plateaux, plaine) et des espaces habités, urbanisés. Nous avons analysé l'influence de l'eau à travers des *contraintes* hydrologiques (inondations, drainage) dans une perspective historique des dommages causés par l'eau, dans le temps et dans l'espace ; l'intérêt est d'y relever les modes de gestion de ces phénomènes observés jadis par la population locale (administration et administrés). Car l'étude historique des débits de crue nous a révélé environ trente (30) inondations de la rivière Oubangui à Bangui (NGUIMALET, 2003 a) ; à partir du débit médian de crue annuel de 10 250 m³.s⁻¹ défini par RODIER (1964), nous considérons qu'un débordement de lit de l'Oubangui puisse se produire.

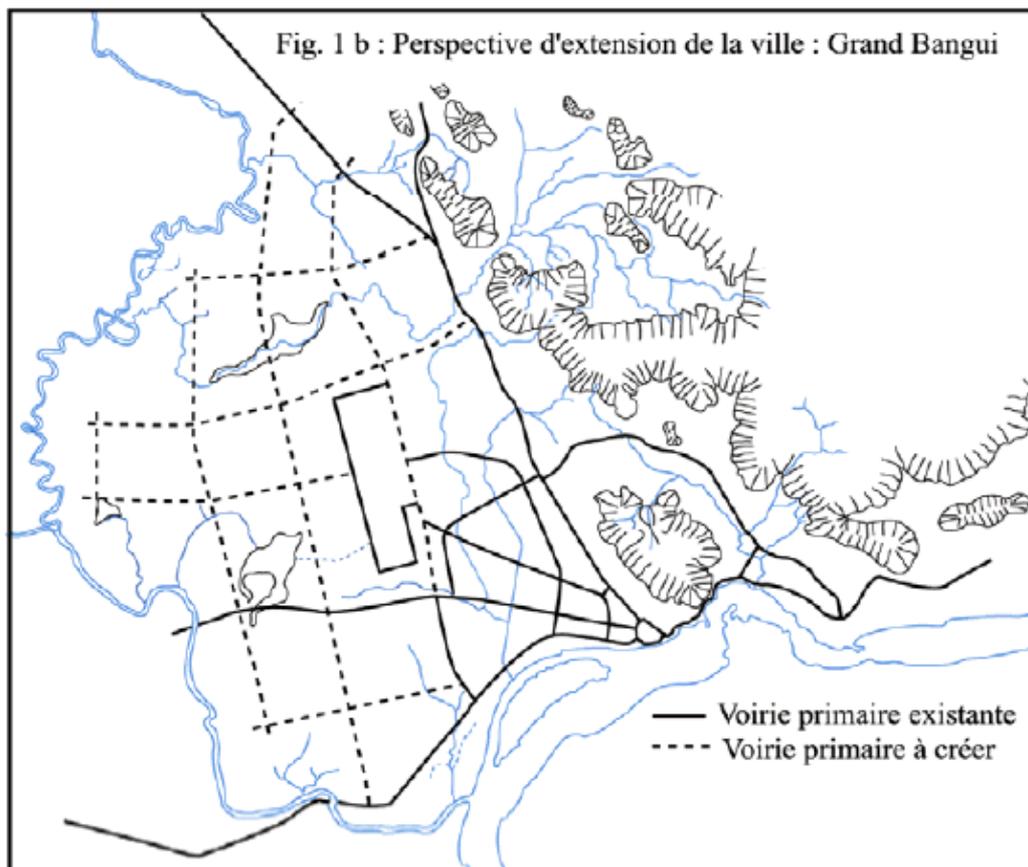
1. Cadre géographique de l'étude

L'unité spatiale de référence pour une étude en hydrologie ou en géomorphologie est le *bassin-versant* ; pour cette étude, nous avons retenu le *cadre urbain et ses environs* (Figures 1). Comme un point dans l'espace, la ville de Bangui est située, en son point kilométrique 0 (Place de la République), à 4°22'00''Nord-18°35'00''Est ; si nous considérons l'espace urbain avec le « Grand Bangui », ses limites sont grossièrement comprises entre 4°18'30'' et 4°30'00'' de Latitude Nord, et entre 18°28'13'' et 18°38'00'' de Longitude Est. Ces coordonnées géographiques ne comprennent pas les postes de péage aux deux sorties Nord de Bangui. Né au pied des Rapides de l'Oubangui et des Collines de *Gbazabangui*, le poste militaire colonial s'est déplacé dans l'espace et dans le temps, en quête des terrains hors d'eau entre les Rapides et la confluence avec la Mpoko en aval, avant de s'installer définitivement en 1892 sur le promontoire rocheux, lequel abrite aujourd'hui l'ex-Hôtel SOFITEL (Planche I, Photos A, B et C). Coincé entre les collines aux versants ouest escarpés à l'Est et l'Oubangui au Sud, le site s'est progressivement développé vers l'Ouest, le Sud-Ouest et le Nord dans une Plaine où sont confondus les chenaux de petites rivières et les bas-fonds marécageux. La présence de la Colline de *Gbazabangui* (Figure 1), qui comporte encore des témoins de la forêt dense au centre-ville, rompt en effet la continuité de la ville d'est en ouest, créant de ce fait un bicéphalisme entre l'Est, avec les ensembles Ouango, Kassai, Gbangouma et Ndress, et l'Ouest, avec la Plaine marécageuse dans laquelle s'est étalée la majeure partie de la ville.

D'une superficie de 2,12 km² en 1912 (soit 212 ha), l'espace urbain a successivement atteint 6,42 km² en 1945, 22,56 km² en 1960, 37 km² en 1976, 63 km² en 1990, 72 km² en 1994 et 80 km² à l'heure actuelle ; cette superficie atteindrait 140 km² avec le *Grand Bangui*. Quant au taux de croissance de la population, il a été estimé à 6-7 % de l'origine de la ville en 1889 à 1975, en raison d'un important *exode rural*. Ce taux, revu à la baisse par le Recensement Général de la Population (RGP) de 1975, aurait été de 4,40 %, et l'effectif de la population de 279 792 habitants.

Figure 1 Localisation générale du champ d'étude





Le recensement de 1988 a dénombré une population de 451 690 habitants, pour un taux de croissance de 3,8 % ; sur la base de ce taux, nous estimons actuellement la population de la ville de Bangui à plus de 700 000 habitants^{Note 1}. Les plus fortes densités de population sont localisées dans les quartiers à *développement spontané*. Ceci apparaît comme un indicateur du contraste spatial qui caractérise l'occupation du sol et la répartition des citoyens dans les processus d'urbanisation du site.

En effet, Bangui est une ville coloniale dont un dualisme a déterminé les modes de vie entre la population autochtone et la population européenne. Ce schéma, lié certes à l'histoire, influence encore beaucoup de villes post-coloniales. Ainsi l'évolution de la ville de Bangui, qui est aussi calquée sur ce schéma, a été discontinuée dans l'espace et dans le temps, avec d'un côté les quartiers des Européens et des *Evolués* devenus fonctionnaires, administratifs, commerçants, et de l'autre ceux des Indigènes. Cette situation explique aujourd'hui la coexistence à Bangui de deux groupes de quartiers : les uns lotis et équipés, les autres dits *populaires*, densément peuplés et sans infrastructure. Les quartiers populaires représentent l'essentiel de la ville tant en surface qu'en population, alors que les quartiers de type européen concernent une surface relativement réduite.

Nous pensons que cette distinction a aussi une signification en termes d'occupation du sol et de surfaces drainant les eaux pluviales. Ainsi, les quartiers à développement spontané ont un coefficient élevé d'occupation du sol, avec une densification notable du bâti, et participent plus au transfert des eaux pluviales par rapport aux quartiers lotis en raison d'une moindre infiltration. Du fait qu'ils colonisent les zones inondables, les quartiers populaires sont davantage exposés aux risques liés à l'eau.

La ville de Bangui a toujours connu des problèmes liés à l'eau pour son extension et son développement. La *fragilité du site*, liée d'un côté à la présence des collines aux pentes fortes et de l'autre à une plaine à pente nulle (<1 %) où l'eau est mal drainée, et les *processus d'urbanisation*, constituent des facteurs de vulnérabilité que peut nous révéler l'aléa hydraulique (pluvial). Ainsi, l'urbanisation conditionne l'imperméabilisation du

sol et l'accroissement du ruissellement dans cet espace tropical humide où les pluies sont abondantes (1 558,5 mm en moyenne), en accentuant les *contraintes hydrologiques* (drainage, inondation...) du fait de l'inadéquation des aménagements. Cette lacune dans la gestion de l'eau à Bangui remonte à l'époque coloniale et n'a guère trouvé de solutions.

1.1. Description topographique du site

Les paysages topographiques du site de Bangui sont constitués des unités suivantes : **collines, piémont, plateaux et plaine** (Figure 2). La logique de la succession de ces unités tient compte de la décroissance des altitudes relatives. Dans le site de Bangui, deux alignements de collines bloquent le développement de la ville vers l'Est et le NE : il s'agit des Collines de *Daouba-Kassai* (700-600 m) et des Collines de *Gbazabangui* (600-500 m) qui occupent au total 15 000 ha sur l'agglomération, dont 870 ha pour les Collines de Gbazabangui (NGUIMALET, 1999 b). Ces collines ont une orientation subméridienne, NNO-SSE, et se prolongent à travers l'Oubangui vers l'ex-Zaïre. Reconnu par photo-interprétation, le premier alignement des collines correspond à l'escarpement ouest du plateau *Daouba-Kassai*. Ces collines partent de l'est-NE de la Mission Saint-Paul des Rapides aux confins de l'Oubangui en longeant la route Bangui-Damara, jusqu'à plus de 75 km au NNE de Bangui. En revanche, le deuxième alignement se résume aux Collines (de Bangui) de *Gbazabangui* selon l'appellation locale.

Les collines de Bangui (590 m) forment une vaste croupe aux sommets arrondis, aux pentes amorties vers l'est, et abruptes à l'ouest. Vers 1898, elles s'appelaient *Mont Ottro* ; nom apparu dans la description officielle du site en 1906. Nous savons aujourd'hui que ces collines sont les seuls niveaux élevés de la vallée de l'Oubangui depuis la confluence avec le fleuve Congo jusqu'à Bangui. Tout était « bas » comme l'a remarqué Mgr AUGOUARD en 1893-1894, à la fondation de la mission. Le contact entre les Collines de Bangui et les Collines de *Daouba-Kassai* (656 m au nord de Kassai) est formé par le *couloir de Ndress*. C'est une dépression qui, d'est en ouest, suit la première fracture séparant le plateau du Kassai des Collines de *Gbazabangui* (Figure 2) : elle est caractérisée par des altitudes variant entre 450 et 360 mètres.

Ce couloir est orienté nord-sud, et draine tout le réseau de la Nguitto, cours d'eau qui prend sa source au NE du quartier Boy-Rabé sur les Collines de *Daouba-Kassai*, et se jette dans l'Oubangui à environ 2,5 km en amont des rapides. L'extrémité aval à la confluence de l'Oubangui, a été anciennement habitée par les pères du Saint-Esprit vers 1893, puis des NDRIS.

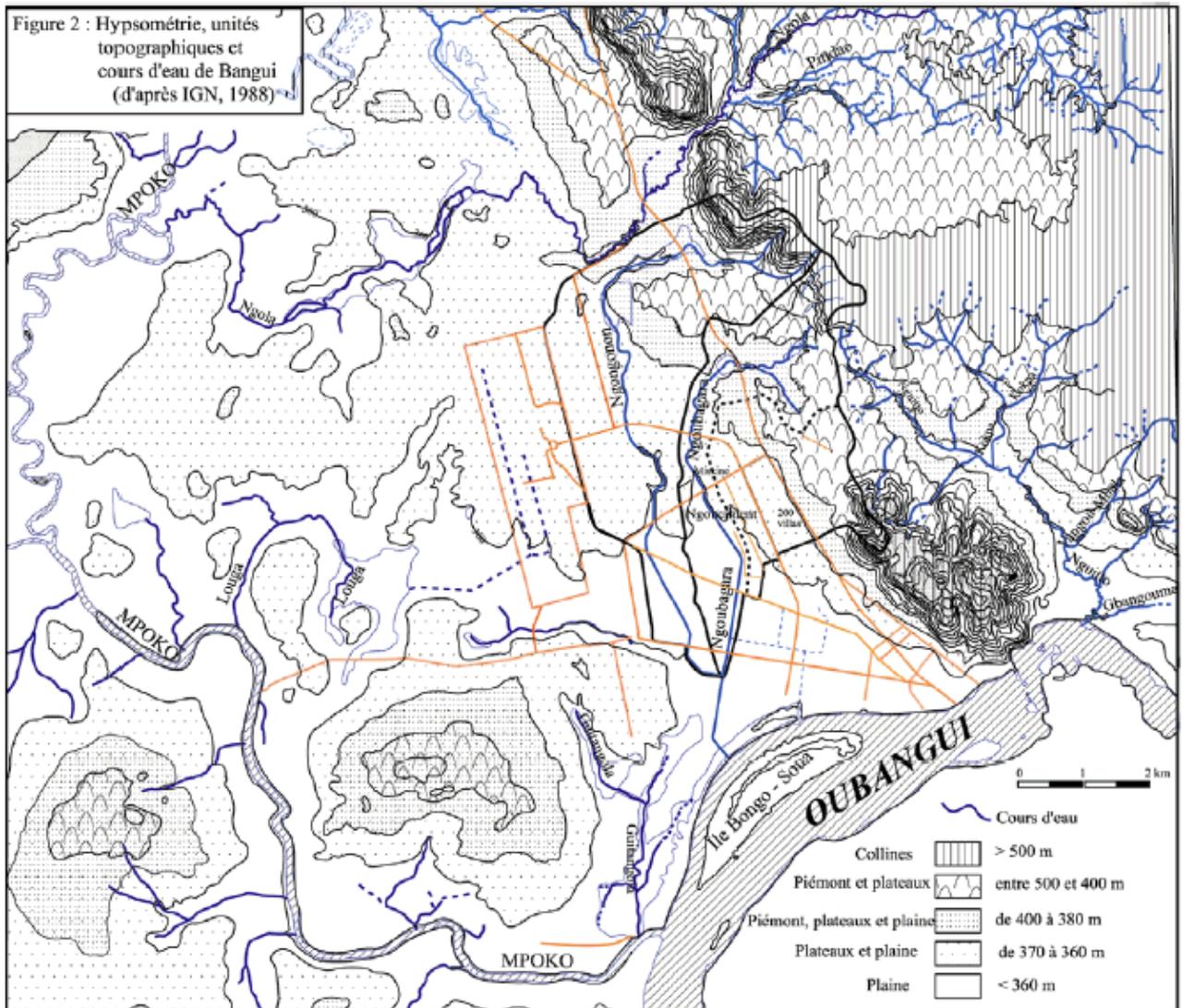
Nous avons remarqué dans la **Surface 400-360 m**, ou glacis de piémont, trois niveaux topographiques, selon l'étagement suivant (Figure 2) :

- le *premier* se situe entre les cotes 400 et 380 m. Du sud au nord, il comprend l'Etat-Major des Armées, l'Inspection Générale de l'Enseignement, le Lycée BOGANDA et l'Ecole Notre-Dame, les quartiers Dendégué V (Fou), Gobongo et une partie des Sinistrés (l'amont), le Golf au pk 11 et le pk 12. Les pentes varient de 3,5 % (pk 12 : de la rivière Sô à BEGOUA) à 7,3 % au GOLF (pk 11 : Golf à la rivière Ngola) ;
- le *second*, ou *niveau intermédiaire*, s'observe entre 380 et 370 m d'altitude. La ligne qui le définit, depuis le centre-ville à proximité de l'Oubangui jusqu'au point kilométrique 12, passe par le Palais de la Renaissance, le Centre National Hospitalier Universitaire de Bangui, l'ONIFOP, les 36 et 200 Villas, le centre du quartier Fou, les quartiers Lipia IV, Sinistrés (centre) par la Paroisse Saint-Jean de Galabadjia jusqu'au *marché à bétail* au pk 13. Les pentes caractéristiques sont comprises entre 2,5 % (Gobongo-Sinistrés) et 6,3 % (Cité Christophe-piémont des collines) ;
- le *dernier niveau* est compris entre 370 et 360 m. La limite inférieure se confond le plus souvent avec celle des petits cours d'eau et des bas-fonds marécageux : dans cet espace, la pente est inférieure à 1 %, notamment elle est de 0,2 % entre l'Ouest du quartier Boeing et les quartiers Damala et Ngongonon, y compris la zone de l'Aéroport de Bangui-Mpoko.

Dans l'unité de relief 400-360 m, nous repérons certains reliefs localisés dans la ville de Bangui et aux environs (Figure 2), dont les points bas sont occupés par les vallées de petits collecteurs (Ngola, Ngoubagara, Ngongonon ou kokoro), des marais et marécages. Si nous rapprochons ces reliefs sur la base des critères morphostructuraux et altitudinaux, comment pouvons-nous expliquer cette dissection de la *Surface de Bangui* ou dissémination des (témoins de) plateaux latéritisés et cuirassés isolés les uns des autres ? Les épisodes tectoniques sont, sans doute, incontournables dans ce cas de figure, mais la tectonique à elle seule ne peut tout expliquer, d'où l'addition d'autres hypothèses. La *karstogenèse profonde* développée dans cet espace est observable dans les petites dépressions circulaires, ovoïdes ou allongées qui tapissent cette unité morphologique. Pour cela, nous essaierons une reconstitution des faits pour corréliser les hypothèses qui expliquent les formes des Collines et celles de la Plaine de Bangui.

La **Plaine de Bangui** ou **Surface inférieure à 360 m** est le secteur où l'extension de la ville s'est faite au nord et à l'ouest (Figure 2). Sa reconnaissance a été toujours faite en référence aux dépressions marécageuses, qui recouvrent près des trois-quarts de l'étendue de la ville. L'accroissement démographique de la ville justifie la colonisation de cette plaine. La faible altitude et la pente expliquent en partie **le mauvais drainage des eaux** dans les quartiers implantés sur ces *milieux hydromorphes*. L'altitude d'ensemble est comprise entre 360 et 300 m. Nous y retrouvons les secteurs fréquemment inondés, comme les quartiers Ngouciment et Basse-Kotto, lesquels constituent des points bas de référence pour la ville (cotes de 350 à 340 m), et attirent le gros des eaux quand il pleut. Les terrains ici sont argileux et limoneux et l'essentiel des bassins moyen et aval des cours d'eau de la ville y est drainé.

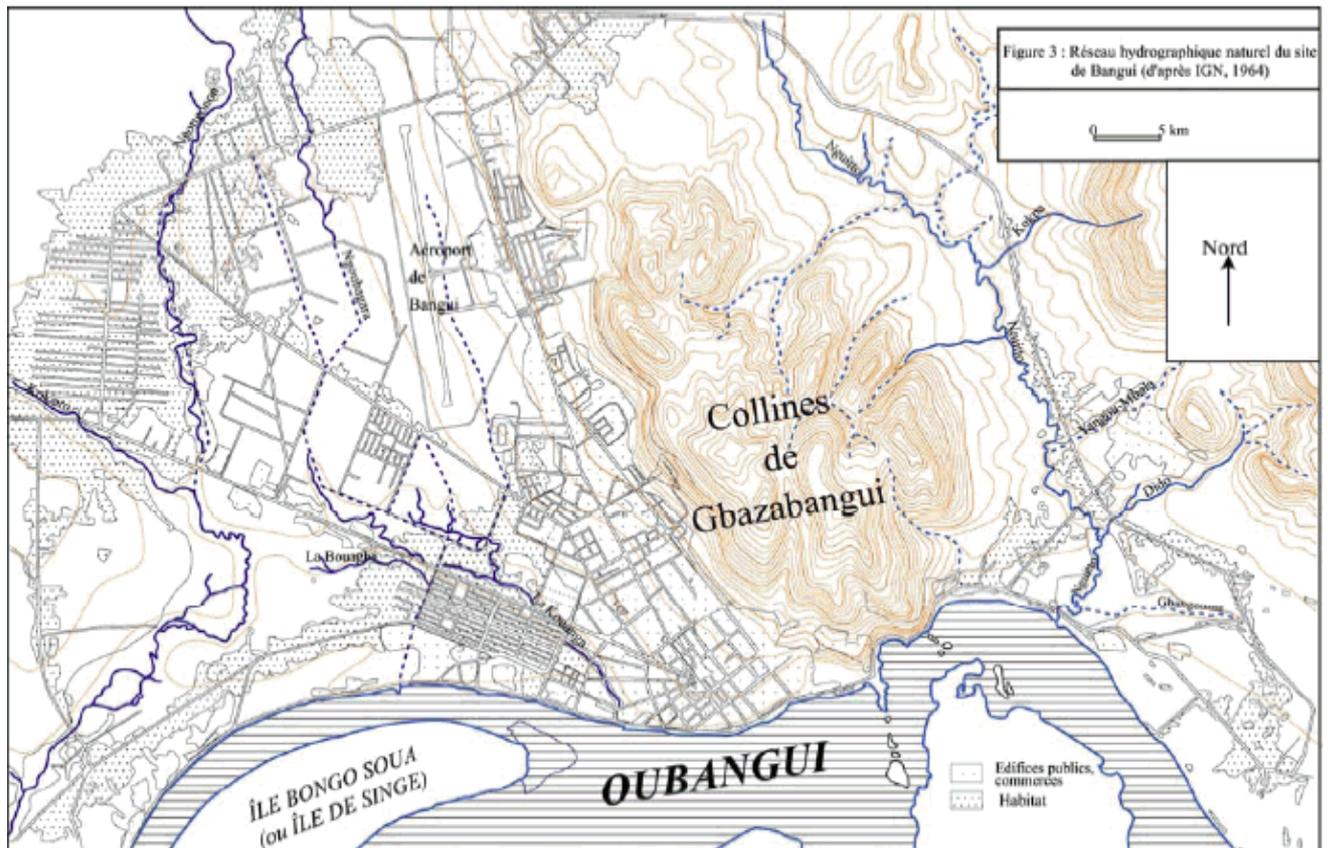
Figure 2 Hypsométrie, unités topographiques et cours d'eau du site de Bangui (d'après IGN, 1988, modifiée)



1.2. Réseau hydrographique général : bassins-versant urbains et périurbains

Le réseau hydrographique de la zone d'étude dépend étroitement du bassin de l'Oubangui (Figure 2). La ville de Bangui s'est implantée aux confins de la vallée de l'Oubangui à l'ESE-SSO et de son affluent la Mpoko. Ainsi, l'hydrographie ici est formée par les cours d'eau qui alimentent directement l'Oubangui ou indirectement par la rivière Mpoko. Selon l'ancienne orientation des cours d'eau du cadre de Bangui (Figure 3), nous distinguons deux catégories de cours d'eau : ceux qui se jettent dans la Mpoko à l'Ouest, au NO et au SO (Ngola, Yangana, Ngongonon, Guitangola, Kokoro), et ceux qui déversent leurs eaux dans l'Oubangui (Nguitto, Ngoubagara, Bouagba, Kouanga, Sapéké).

Figure 3 Réseau hydrographique « naturel » du site de Bangui (d'après IGN, 1964, modifiée)



2. Cadre conceptuel de l'étude

L'étude de l'eau en milieu urbain rend nécessaire sa confrontation aux processus d'*urbanisation*. Qu'imposent les processus hydrologiques aux communautés humaines en termes de gestion de l'eau ? Le travail s'est situé à l'interface de l'hydrologie et de la géomorphologie, d'où l'*approche hydrogéomorphologique du site de la ville, méthode* novatrice qui s'applique de plus en plus aux problèmes posés par l'*aléa hydraulique* (MASSON et al., 1993 ; GARRY et VEYRET, 1996 ; GARRY et al., 2002).

2.1. L'urbanisation et le cycle de l'eau

Les relations entre la ville et le cycle de l'eau relèvent du domaine de l'*hydrologie urbaine* (DESBORDES et al., 1990 ; CYR et al., 1998). Née dans les années 1960, l'hydrologie urbaine est issue de la technique de l'assainissement des agglomérations ; elle a pris son essor au moment où les problèmes posés par l'évacuation et le traitement des eaux usées et pluviales urbaines devenaient trop complexes pour les méthodes classiques de conception et de gestion des systèmes d'assainissement.

L'urbanisation est l'une des manifestations humaines les plus marquantes du siècle dernier : dans les pays développés, environ 80 % de la population habite dans des agglomérations « urbaines », alors que dans les pays en développement, le phénomène est en pleine explosion en raison de dynamismes démographiques et spatiaux. Ce mouvement n'est pas linéaire ; il peut être marqué par des périodes d'accélération résultant de modifications dans le développement des sociétés humaines. Ce processus induit des conséquences hydrologiques. En effet, l'urbanisation de l'espace entraîne de profonds bouleversements des équilibres naturels, bouleversements d'autant plus profonds que leur importance a été ignorée au début du processus d'urbanisation. Dans le cas du cycle de l'eau, l'urbanisation modifie durablement les comportements des bassins-versants naturels ou ruraux. Ces modifications se manifestent à des échelles très variables de temps et d'espace : la chaleur de l'îlot urbain conditionne la température de surface, perturbe la circulation des eaux, la formation des nuages, des vents... dans les grandes mégapoles... ; la pollution des eaux, les dégâts causés par

le ruissellement pluvial... en sont d'autres conséquences.

De fait, le cycle de l'eau en milieu urbain résulte de la confrontation du cycle de l'eau et de l'urbanisation. La situation hydrologique dans nombre d'agglomérations et de villes tire son origine de la rapidité de leur développement, et met en évidence des relations complexes entre le cycle de l'eau et l'urbanisation (DESBORDES *et al.*, 1990) ; en matière d'aménagement de l'espace, la solution s'est résumée à l'emploi de la technique de l'assainissement. Ainsi, la dynamique du réseau d'assainissement est de plus en plus étudiée (BLANPAIN *et al.*, 1998). Le principal responsable identifié dans cette dynamique est l'aménagement inadéquat du territoire : un aménagement abusif des cours d'eau, le manque d'entretien de leurs lits, par endroits transformés en dépotoirs, l'érosion intense et, enfin une occupation des sols et une politique d'urbanisation ignorant la limite des plaines inondables (CYR *et al.*, 1998), expliquent les *contraintes hydrologiques* dans un espace urbanisé. En général, des problèmes liés à l'eau (ruissellement, érosion, inondation...) font l'intérêt d'une compréhension des relations entre le cycle de l'eau et la ville. Ainsi, le *cycle urbain de l'eau* inclut-il les différentes techniques appliquées à l'utilisation de l'eau en ville : l'eau potable, l'eau industrielle, les eaux usées, et les eaux pluviales. Ces dernières présentent un intérêt en termes de maîtrise du ruissellement et donc des systèmes d'assainissement en milieu urbain (COGEZ *et al.*, 1990 ; DEUTSCH *et al.*, 1990 ; HERREMANS, 1990 ; MUSQUERE et GUICHARD, 1990 ; MOREL A l'HUISSIER, 1998). Ces diverses techniques nous montrent une transdisciplinarité du cycle urbain de l'eau (DESBORDES *et al.*, 1990). Les conséquences positives de la maîtrise des eaux pluviales sont évidentes pour une bonne gestion de l'eau.

2.2. A propos de la gestion de l'eau en milieu urbain

La modélisation des processus hydrologiques (cycle de l'eau, érosion des sols, évacuation des eaux pluviales et des polluants...) semble être une piste pour la gestion intégrée des eaux (VILLENEUVE *et al.*, 1998), de même que beaucoup d'autres approches prenant en compte la prévention du risque d'inondation (GILARD et GENDREAU, 1998), les outils d'aide à la décision (DUPONT *et al.*, 1998) et les décisions en matière de risque (BERNIER, 1998).

Pour GANOULIS (2001), le concept de *gestion de l'eau* implique actuellement la notion de *durabilité* dans la gestion des eaux, intégrant des préoccupations sociales et environnementales aux critères traditionnels de performance technique et d'efficacité économique. La gestion de l'eau doit s'adapter aux nouveaux changements socio-économiques qu'imposent les mutations des sociétés actuelles. Du fait d'une certaine unanimité sur les limites de *la technique*, seule à même de résoudre *la question de l'eau*, et sur les nouvelles techniques informatiques appliquées (DUPONT *et al.*, 1998) à la planification et à la gestion des ressources en eau (SIG par exemple), les changements ont entraîné la prise en considération de la gestion des ressources en eau en tant que *processus technico-social* compliqué, impliquant diverses disciplines.

Nous voyons en la *gestion de l'eau* un vaste champ dans lequel sont considérés le domaine de l'eau potable, le risque pluvial, le phénomène d'inondation, l'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées... pour lesquels les solutions consisteraient à réduire leurs effets pourtant notoires en zones urbanisées. La relation entre le *risque pluvial* et le *phénomène d'inondation* tient à une relation de causalité, sinon à une interdépendance entre l'abondance ou la violence des précipitations en amont et la réponse des cours d'eau en aval. A l'interface de ces deux phases, les caractéristiques des bassins-versants (sol couvert ou nu) influencent les formes de réponse des cours d'eau à l'enregistrement des types d'intensités pluviométriques et de crue. Dans le cas de la ville de Bangui que nous étudions, la compaction du sol nu urbain, l'imperméabilisation de l'*impluvium*, la densification du bâti... sont des facteurs qui déterminent la réponse des rivières urbaines, notamment par des crues soudaines et rapides. Le *risque pluvial* est un concept qui nous paraît plus adapté pour qualifier les dégâts/catastrophes qu'engendrent les pluies en zones urbanisées. Alors que le *phénomène d'inondation* se produit davantage qu'en contexte naturel. Le raccourcissement de ce phénomène est probablement lié aux fortes intensités de pluie. Ces contraintes hydrologiques sont le lot du quotidien dans les pays du Sud, notamment en Afrique tropicale. C'est dans cette optique que la ville de Bangui sert de support à

l'étude de ces *contraintes hydriques et hydrologiques*.

Nous entendons par *contraintes hydriques* les pressions dues par l'absence ou la disponibilité de l'eau potable et par les pluies exceptionnelles aux communautés humaines ; en revanche, nous définissons les *contraintes hydrologiques* par le risque pluvial, couplé aux processus géomorphologiques, qui cause des inondations dommageables aux installations humaines. De ce fait, les contraintes hydriques et hydrologiques nous paraissent être les conséquences logiques des *aléas* dont leur production dans le temps et leurs intensités rentrent dans le cycle de l'eau.

3. Etat des connaissances sur la question étudiée : le cycle et la gestion de l'eau

La question des problèmes et risques liés à l'eau est d'actualité. Les travaux réalisés qui les mettent en évidence ne manquent pas, et les médias n'arrêtent d'en parler, vu la régularité de leur production de par le monde (MINIER et GROUES, 1990 ; AFONSO et RELVÂO, 1990), et particulièrement dans les pays en développement (LE BARBE, 1982 ; VENNETIER, 1988, 1990 et 1991 ; BOUVIER, 1990 ; BRUNEAU et NAKATANDA, 1991 ; GERARD, 1991 ; NEUVY, 1991 ; LAMY, 1995 ; TCHOTSOUA, 1995 ; SALOMON, 1997 ; BECHLER-CARMAUX, 1998 ; HINGRAY, 1999 ; HINGRAY et *al.*, 2000). Ayant plusieurs facettes, ces contraintes hydriques et hydrologiques se traduisent par l'insuffisance de l'eau potable (VENNETIER, 1988 ; BRUNEAU et NAKATANDA, 1991 ; GERARD, 1991), les difficultés d'évacuation des eaux pluviales ou du ruissellement en zones urbaines (LE BARBE, 1982 ; VENNETIER, 1988 ; BOUVIER, 1990), les inondations (HINGRAY et *al.*, 2000), les glissements de terrain (TCHOTSOUA, 1995),... Le cas de la ville de Bangui s'insère dans cet ensemble et n'a pas particulièrement été étudié. Néanmoins, quelques travaux de géographie historique (BOULVERT, 1985, 1989 ; CANTOURNET, 1984) et des études géographiques (LEMOTOMO, 1977 ; VILLIEN, 1985, 1987), pédologiques et géomorphologiques (BOULVERT, 1976), hydrologiques (KOKAMY-YAMBERE, 1994, 1995) réalisées sur la ville ou autres (GODART et ZOUBE, 1986, 1987) nous ont permis d'effleurer ou de cerner la persistance des effets néfastes de l'eau à Bangui. De plus, l'exploitation de la littérature des administrateurs coloniaux, des missionnaires ou voyageurs à propos de la question a servi à une analyse chronologique de l'ampleur des phénomènes dans l'espace et dans le temps, particulièrement dès la fondation de Bangui où les catastrophes naturelles ont été courantes et violentes. Une synthèse que nous avons établie, en recoupant toutes ces informations et données éparses sur les contraintes dues par l'eau, a contribué à définir les différentes formes de manifestations néfastes de l'eau depuis l'origine de la ville : pluies exceptionnelles, inondations, manque d'eau potable... ; elles sont complétées par des données actuelles (NGUIMALET, 2000). Ce travail est l'esquisse même de la future problématique qui a pris en compte les écoulements produits par l'eau pluviale dans leurs interrelations avec l'occupation du sol. L'originalité de cette étude réside en ce qu'elle considère l'eau dans ces différentes composantes : pluviale, superficielle et souterraine, du versant au lit fluvial, selon un cheminement complexifié par la multiplication du bâti.

4. Problématique générale et objectifs de l'étude

L'eau est un des principaux agents de la morphogenèse, mais elle est aussi indispensable à la vie sous toutes ses formes. Son abondance ou son insuffisance dans un milieu donné permet d'apprécier l'équilibre vital ou du moins le rythme de vie de végétaux, des animaux ou des hommes qui en dépendent. Or dans une cité, quelle que soit sa taille, l'eau devient une question délicate si elle commence à manquer, même épisodiquement.

De la création de la ville de Bangui à nos jours, l'eau a fortement influencé l'occupation du sol : d'abord, par la présence des marais ou zones inondables pendant près de six mois dans l'année, ensuite par les méfaits de l'eau liés à son abondance (précipitations, ruissellement, érosion) et à l'insuffisance des aménagements

(inondations, drainage, assainissement), suite à l'accroissement spatio-démographique de la cité. Mais depuis peu, un autre problème s'y ajoute : il existe un manque d'eau, parfois accentué, en saison sèche, qui s'exprime par une baisse significative du niveau hydrostatique de la nappe phréatique. Il est peut-être dû à l'imperméabilisation du sol urbain, soit parce que l'eau qui tombe ruisselle toute, pour l'essentiel, et ne s'infiltré pas, soit parce que les conditions géomorphologiques ne s'y prêtent pas. Cette situation peut aussi s'expliquer par une réduction de l'infiltration des eaux pluviales, qui jouerait sur l'alimentation de la réserve de la nappe. Dans cette ambiance, l'eau potable n'est pas accessible à tous les citoyens, ce qui a tendance à accroître le taux des maladies d'origine hydrique.

La problématique générale se rapporte aux « effets » de l'eau dans un espace urbain et à sa gestion. Car au-delà du fait que l'eau a une influence sur la ville de Bangui, elle est aussi source de vie et base de développement ; par conséquent, elle l'est dans une certaine mesure pour la population citadine. L'étude des interactions de l'eau dans son cadre nous permettra de voir comment elle détermine l'équilibre de la population de Bangui.

A travers cette étude hydrogéomorphologique, l'**intérêt principal** est de **comprendre les interrelations de l'eau** (météorique, superficielle et souterraine) **avec son milieu** (topographie, géomorphologie, nature des terrains) pour faire ressortir les interactions ; ensuite, de **coupler l'eau et l'espace urbanisé** dans le but des **analyser conjointement dans un milieu anthropisé** où les conditions de la circulation de l'eau se sont artificialisées. Dans ce contexte, les bas-fonds marécageux ont fait l'objet d'une étude sédimentologique (voir chapitre VI) dans le but de faire ressortir le poids de l'eau dans leur mise en place. Car l'extension du site dans la plaine marécageuse a fait participer cette dernière à la dynamique actuelle de l'eau. Ainsi, l'importance du ruissellement urbain, à l'origine les eaux pluviales, concourt au risque d'inondation le long des cours d'eau collecteurs, qui se colmatent avec les débris issus de l'érosion et les déchets domestiques, et dans les bas-fonds insalubres habités. De ce fait, les objectifs du travail se résument en les points suivants :

- Etudier la dynamique de l'eau sous forme météorique, superficielle et souterraine ;
- Cerner le cadre où l'eau interagit ;
- Comprendre le fonctionnement de l'eau dans son cadre et son état vis-à-vis de la population dans une perspective d'aménagement.

Nous avons abordé la problématique de la gestion de l'eau dans la ville de Bangui selon deux approches conjointement menées : recherches bibliographiques et études de terrain. Trois domaines ont été développés :

- le *premier* traite des aspects géologiques et géomorphologiques de la ville de Bangui en présentant le milieu dans lequel l'eau interagit. De nombreux rapports sur la ville nous ont aidé à cerner la structure et la géodynamique, afin d'expliquer la morphologie actuelle du site de Bangui ;
- le *second* expose l'évolution des paysages de Bangui, depuis sa fondation jusqu'à nos jours, en exploitant les récits et rapports des explorateurs ou administrateurs coloniaux et les travaux récents ; ils ne traitent pas spécifiquement de la ville de Bangui. Le développement du site et les différents paysages sont étudiés en fonction de la croissance démographique et spatiale qui pousse à une artificialisation systématique des paysages ;
- enfin, le *troisième* se rapporte aux différentes approches de l'eau sur le site de la ville de Bangui, de l'origine à aujourd'hui.

Nous avons aussi étudié l'interface *nature* (conditions de gisement et de dynamique de l'eau : eau de surface et eau souterraine, pluies exceptionnelles) / *société* (politique d'aménagement de la ville de Bangui). Le problème des inondations de l'Oubangui et du haut niveau de l'eau des bas-fonds marécageux a été examiné. Depuis 1950, des efforts d'aménagement ont été faits pour assainir la ville (ouverture et curage des collecteurs, des fossés de drainage, viabilisation des bas-fonds marécageux, etc.) et pour doter la ville en eau potable (construction d'une station de pompage d'eau fluviale et d'une station d'épuration moderne) afin de résoudre le problème de la demande en eau due à l'augmentation rapide de la population et à l'extension de la

ville qui est largement sous-équipée. Malgré tout, les problèmes de l'eau persistent encore à Bangui.

A travers cette approche globale de la dynamique de l'eau à Bangui, nous avons mis l'accent sur ses aspects nuisibles, notamment sur les inondations et leur fréquence (NGUIMALET, 2003 a), qui caractérisent les problèmes de la gestion de l'eau dans cette cité. Dans ce contexte, le principal apport de ce travail est de démontrer que l'extension rapide de la ville en accroissant l'*impluvium*, contribue au risque d'inondation par l'importance du ruissellement à chaque épisode pluvieux (le cas des inondations urbaines, voir chapitre VIII, p. 361).

5. Méthodologie générale et plan de l'ouvrage

Pour montrer la diversité de l'eau, dans son cycle et dans ses interrelations aussi bien avec son milieu qu'avec les conséquences de l'urbanisation, nous avons utilisé plusieurs approches méthodologiques sur la base des *données humaines et physiques à l'échelle historique* (période supérieure à 10 ans) et des *données récentes* (période remontant à 10 ans maximum) ou *de terrain*. L'étude a été réalisée selon des approches temporelles et spatiales emboîtées.

Au-delà, l'*oralité* a constitué dans le cas de ce travail une originalité du fait de la quasi-inexistence des archives ; ceci a fait que la *parole*, comme dans les temps anciens en Afrique, a fonctionné comme *moyen de collecte des informations passées et même récentes*. Les traces écrites manquent pour les confronter et les recouper aux données chiffrées ou mesurées. En l'occurrence, nous avons fait usage de la méthode orale pour connaître les dates d'inondations de l'Oubangui entre 1950 et 1970 ; nous avons pu ainsi déterminer l'évolution temporelle et spatiale des bas-fonds marécageux, du couvert forestier dans l'aire de la ville... Les informations recueillies ont été par la suite analysées.

Des *sources documentaires* (cartes, plans, photographies aériennes...) ont été utilisées aussi bien à l'échelle historique qu'à l'échelle récente. Leur apport a consisté en la détermination de l'évolution diachronique des aires habitées de la ville de Bangui dans le temps (voir chapitre I, §3, p. 34), des aires marécageuses du Sud-Ouest (voir chapitre VI, §4.2, p. 256), à la reconstitution du réseau hydrographique initial du site (Figure 3). Nous nous sommes servi des cartes pour acquérir des données morphométriques des bassins-versants urbains et périurbains (Tableau XXV, p. 198), de même que les profils transversaux et longitudinaux (voir chapitre V, pp. 200 et 207). Aussi, l'échantillonnage des sables dans les rivières Ngoubagara et Ngongonon, et dans les bas-fonds marécageux du Sud-Ouest de la ville Bangui a-t-il été guidé par des cartes.

A l'*échelle temporelle*, une analyse chronologique des données humaines, climatologiques, hydrogéologiques, hydrologiques, géologiques et biogéographiques a guidé la détection des facteurs de causalité, explicatifs de la dynamique de l'eau, couplée avec des approches statistiques.

A l'*échelle spatiale*, des données de terrain sont collectées selon une démarche naturaliste, en observant les phénomènes et leurs processus, les zones d'extension des inondations de l'Oubangui et des bas-fonds marécageux en 1999, en prélevant des échantillons dans les lits de la Ngoubagara et de la Ngongonon, et dans les marais du Sud-Ouest. Ces échantillons ont fait l'objet d'une étude sédimentologique avec des analyses granulométriques. De même, des données brutes de ruissellement et d'érosion collectées en parcelles et à l'exutoire ont été traitées et analysées ; elles concourent à apprécier les effets néfastes de l'eau pluviale à l'échelle urbaine. Par ailleurs, une typologie des entités physiques sur lesquelles s'est basée cette étude de la dynamique globale de l'eau, a été dressée en fonction des degrés d'urbanisation (voir chapitre V, §4, p. 216).

Dans l'optique de prendre en compte les principales phases du cycle de l'eau (des écoulements) et des problèmes qu'elles posent en fonction des établissements humains, le travail est divisé en quatre parties :

- La *première partie* présente les éléments aussi bien humains que naturels de la dynamique de l'eau dans le site de Bangui, en trois (3) chapitres. Du fait que le problème est social, nous avons d'abord

étudié l'évolution temporelle du site, la croissance démographique et l'extension spatiale liée aux aménagements, afin de mettre en relief les impacts de l'urbanisation sur les conditions d'écoulement dans les bassins urbains (**chapitre I**). Ensuite, nous montrons les différentes formations géologiques et leur morphologie (**chapitre II**), dans le but d'apprécier leur comportement face à l'eau ; leurs implications en termes d'aménagement ont été aussi analysées, car la fragilité du site pose des problèmes d'assainissement qui sont accrus par la croissance démographique. Enfin, nous nous attachons à montrer la diversité de l'eau (météorique, superficielle et souterraine), avec les problèmes qu'elle pose en relation avec l'ambiance climatique (**chapitre III**).

- Dans la *deuxième partie*, nous réalisons une étude hydrodynamique des eaux pluviales depuis les versants jusqu'aux lits fluviaux, notamment les petits cours d'eau urbains, à travers deux chapitres (IV et V). Les données du ruissellement et de l'érosion mesurées, de la parcelle (sur versant des collines) à l'exutoire de la Ngoubagara (**chapitre IV**) nous ont permis d'analyser les crues urbaines et les débris d'érosion provenant des versants qui colmatent les drains. Le couplage de ces phénomènes pose le problème du drainage des eaux pluviales et se situe en conséquence au cœur de la *question de l'assainissement*. Nous exposons par la suite les cours d'eau urbains et leur morphodynamisme dans les processus de transfert de matières liquides et solides (**chapitre V**). Ceci nous permet de préciser les structures « naturelles » et *artificielles* des linéaires qui se prêtent à l'évacuation des eaux et de sédiments, en fonction de l'occupation du sol.
- Dans une *troisième partie*, nous essayons de comprendre l'influence des eaux pluviales sur les zones humides marécageuses et sur les eaux souterraines, corrélativement aux effets de l'urbanisation. Elle comprend deux chapitres (VI et VII). Nous caractérisons d'abord les marais par une approche couplant *hydrologie et sédimentologie* dans leur évolution « humaine » actuelle (**chapitre VI**). Car ces milieux humides participent au mouvement global de l'eau de par leur position en cuvette et de par leur connexion aux cours d'eau qui collectent les eaux pluviales. Nous analysons ensuite l'hydrodynamique des nappes phréatiques dans ses relations avec les effets de l'urbanisation et les eaux du site de Bangui (**chapitre VII**). Les fluctuations saisonnières des deux types de nappes (superficielle et profonde) sont discutées selon leur rythme de recharge, ainsi que les formes et types de pollution auxquels elles sont soumises.
- Enfin, dans la *quatrième et dernière partie*, nous nous proposons de cibler les principaux axes d'une bonne gestion des eaux (eau contrôlée, réseaux d'assainissement, inondations), afin d'espérer une résolution durable de leurs effets néfastes pour le mieux-être des citoyens. Elle comprend un chapitre final (**VIII**). Nous y montrons la nécessité d'améliorer la gestion quantitative et qualitative des eaux, même en situations extrêmes (inondations et sécheresse), à travers quelques scénarios : l'*AEP* (approvisionnement en eau potable) et les *inondations*, dont à leur interface est situé l'*assainissement*. L'analyse de ces scénarios concourt à définir un nouveau cadre pour réduire les problèmes liés à l'eau, en faisant un historique de la gestion de l'eau potable et de la pénurie, ainsi que du risque d'inondation ; nous pensons par cette démarche offrir les possibilités d'une gestion saine des eaux à Bangui (**chapitre VIII**). De plus, nous avons réalisé un MNT pour détecter les secteurs vulnérables à l'eau, ce qui s'intègre bien dans cette perspective de gestion de l'eau.

PREMIERE PARTIE :BANGUI : DE L'EAU DANS SON SITE URBAIN

« Ces tornades, dont la violence extrême, sont, à mon avis, la plus belle scène de la nature intertropicale. Et je terminerai en exprimant le regret qu'il ne se soit pas trouvé, parmi les coloniaux, un musicien né pour les traduire en musique. » (**Voyage au Congo. Carnets de route, 1936**)A. GIDE

Introduction

Le cadre physique de Bangui est situé dans un espace où l'eau paraît en quantité suffisante sous toutes ses formes. Le développement de ce site, justifié par la présence humaine et le mouvement de l'eau est à spécifier ou du moins à nuancer. Car le site a connu une dynamique préhistorique mais elle n'a rien à voir avec la

dynamique contemporaine qui a, en revanche, des effets notables sur la circulation de l'eau à l'interface *atmosphère - lithosphère*.

La présence humaine ancienne sur le site n'a pas marqué les paysages comme ce fut le cas dès la naissance du poste colonial de Bangui le 26 juin 1889. A partir de cette date, Bangui a progressivement grandi tant en population que spatialement. L'*impluvium* qu'elle constitue est une des conséquences de cette évolution. *Il est question dans cette partie de mettre en relief les éléments aussi bien humains que naturels de la dynamique de l'eau dans le site de Bangui*. Pour cela, l'analyse spatio-temporelle de l'emplacement de la ville et de la population (chapitre I) mais aussi de celle du cadre morpho-hydrogéologique (chapitre II) et de l'eau dans sa diversité (chapitre III) paraissent indispensables.

Chapitre I : EVOLUTION TEMPORELLE ET SPATIO-DEMOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE BANGUI

« Bangui, qu'on aperçoit depuis une heure, s'étage à mi-flanc de la très haute colline qui se dresse devant le fleuve et incline son cours vers l'est. Maisons riantes, à demi-cachées par la verdure. » (**Voyage au Congo. Carnets de route, 1936) A. GIDE**

Nous abordons dans ce chapitre les Hommes qui représentent les facteurs de modification du cycle de l'eau et qui sont également au centre de la gestion de l'eau à Bangui. L'historique du site de la ville et du peuplement de Bangui y est développé. En effet, il nous a semblé que Bangui a été anciennement peuplé mais ce peuplement, peut-être lâche à l'échelle des temps préhistoriques, n'avait pas d'effet sur les eaux du site. *L'objectif est de montrer dans quelles conditions et comment le façonnement des bassins-versants élémentaires du site détermine leur comportement hydrologique. Pour cela, nous analysons en parallèle la croissance démographique et l'extension spatiale de la ville, qui sont les paramètres à l'origine des formes de dégradation des paysages et des ressources*. Ceci nous permettra de nous interroger sur l'intérêt même du chapitre dans l'économie globale du travail en cours : quels sont en fait les paramètres de l'occupation du site qui définissent les éléments de l'hydrologie urbaine du cadre de Bangui ? Comment pouvons-nous établir une corrélation entre l'essor démographique et la qualité de l'eau ? Autrement dit, quand les établissements humains peuvent-ils influencer la qualité de l'eau ? Sachant que l'augmentation rapide de la population est en principe source de dégradation de l'environnement et de la ressource en eau.

1. HISTORIQUE DE LA CREATION DU POSTE DE BANGUI

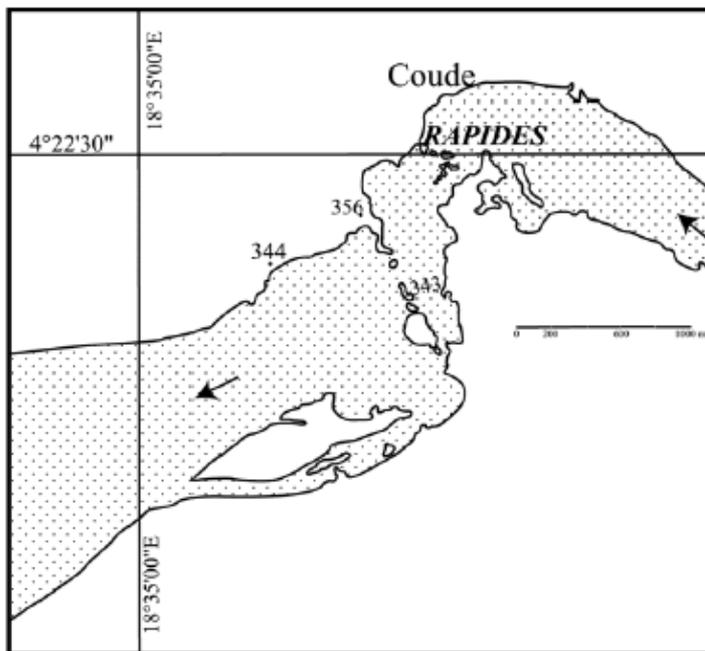
Jusqu'au milieu du XIXe siècle, l'espace banguissois, élément du futur territoire centrafricain, faisait partie de la *terra incognita* de l'intérieur du continent africain (BOULVERT, 1996 a), dans la sous-région d'Afrique Centrale. Le processus de son ouverture au monde extérieur a commencé avec la découverte du cours du fleuve Congo en 1877 par l'Américain STANLEY. Quelques années après, en octobre 1884, le Pasteur baptiste GREENFELL, en remontant le cours du Congo, reconnut la vallée d'un cours d'eau à la confluence avec le Congo ; on l'appelait le *Doua* (cf. Oubangui). En février 1885, il explora le premier la vallée de l'Oubangui à bord de son vapeur la *Peace* qui mouilla au pied des rapides de Bangui. Dès lors, reconnaissances et prises de possession se multiplièrent avec les remontées régulières sur l'Oubangui du Belge VANGELE, des Français DOLISIE puis DUNOD entre 1886 et 1889. Ces missions étaient suscitées par l'intérêt d'avoir une base-relais dans le but d'améliorer la connaissance du futur espace centrafricain et de sa sous-région (CANTOURNET, 1989). Albert DOLISIE, alors administrateur de Brazzaville, parvint au niveau des rapides de Bangui en septembre 1887 mais il ne put les franchir, et il rentra au mois de décembre de la même année. A. DOLISIE est le parrain de la ville de Bangui puisqu'il en ordonna la fondation au niveau des rapides localisés sur le 4^e parallèle nord, sur la rive droite de l'Oubangui. La décision de créer un poste militaire français sur l'Oubangui, à 1200 km de Brazzaville, remonte au 10 mai 1889. Sa réalisation a été l'œuvre de A. UZAC, chef de la zone française de l'Oubangui, et de Michel DOLISIE, jeune frère d'Albert DOLISIE. Elle n'intervient que le 26 juin 1889 en raison des difficultés de trouver un emplacement

favorable (Figures Cholet, Ponel et Comte). Un fait important à signaler est que la création du poste de Bangui s'insérait dans un contexte de rivalités franco-belges en vue du contrôle de l'Oubangui et de son haut-bassin ; on en voudra pour preuve le fait que le poste de Bangui a été fondé le 25 juin 1889, un jour après celui de Zongo sur le territoire de l'Etat Indépendant du Congo (ex-Zaïre), au pied des rapides et sur la rive gauche du fleuve.

L'appellation de « Bangui » tire son origine de la langue *bobangui*. Le terme signifie « les rapides », mais selon une source orale (SOUMILLE, *op. cit.*), le mot désignerait un arbre à bois rouge, très résistant, qui se trouvait à proximité des rapides et servait de point de repère aux habitants. Toutefois MABOU (1998) a montré que « bangui » en langue Ngbaka signifie « escarpement », donc chutes ou rapides. Cette version nous paraît réaliste lorsque nous observons le promontoire rocheux sur lequel est construit l'hôtel Sofitel : sur son rebord aval, nous notons une dénivellation de 4 à 6 m par rapport au plan d'eau de l'Oubangui en saison sèche. La présence des rapides est due au resserrement du chenal en un étroit couloir qui ressemble à la base d'un vaste entonnoir (NGUIMALET, 1999 b), large de 250 m en amont et de 400 m en aval (Figure 4). A ce niveau les hauts-fonds quartzitiques de disposition subméridienne, tout en augmentant la pente du lit, accélèrent l'écoulement.

Le site de Bangui est certes constitué d'une variété de paysages, mais son développement en relation avec l'installation controversée du poste militaire, a été à l'origine de sérieux écueils pour les administrateurs qui en ont eu la charge.

Figure 4 Schéma des Rapides de Bangui (d'après IGN, 1988, modifiée)



1.1. Les paysages explorés à la fin du XIX^e siècle

Les milieux intertropicaux de l'époque se présentaient pour les explorateurs ou voyageurs, comme des **milieux naturels nouveaux** (CHATELIN, 1986). Dans cet esprit, les paysages de Bangui, tels que vus par les premiers Européens qui ont foulé le site, paraissaient très pittoresques avec des collines boisées, l'Oubangui qui comporte des rapides et des îles boisées, une plaine marécageuse, dans un cadre de forêt dense. Ces composantes du milieu naturel, identifiées en fonction de leur morphologie, se distinguent dans l'organisation générale du site de Bangui selon des critères morphostructuraux, altitudinaux, voire paysagers. De fait, ces paysages de rapides et collines à base morphologique ont déterminé la fondation du poste de Bangui et sa

dynamique spatio-temporelle. Ainsi, pour les explorateurs ou missionnaires, c'est d'abord l'aspect physique du futur cadre de Bangui qui était mis en évidence.

Le pasteur écossais GREENFELL, dans une lettre datée du 29 avril 1886, précise à propos du site de *Bangui-Zongo* qu'il a exploré en février 1885 à la latitude de 4°27' Nord (BOULVERT, 1985), que la rivière franchit des collines de quartz et d'argiles rouges d'environ mille pieds de haut (300 m) qui modifient brusquement son cours. Le courant s'écoule presque uniformément du NO à l'Est ; ensuite pour traverser cet alignement de collines NO-SE, une brèche s'est ouverte dans d'immenses masses de quartz qui rompent le cours de la rivière, lui donnant l'allure des rapides. C'est ainsi que GREENFELL a vu les rapides de Bangui.

En revanche, les collines de *Gbazabangui* appelées **Mont Ottro** dans la description officielle de Bangui en 1906 et qui se prolongent dans l'ex-Zaïre, ont impressionné le Capitaine VANGELE en novembre 1886. Il considérait que sur le 4^e parallèle nord, existait un massif montagneux présentant des pics dont certains avaient 600 à 800 pieds. C'est ce massif que le cours d'eau le *Doua*, a dû percer pour conduire ses eaux au Congo. Quant à Mgr AUGOUARD en 1893-1894, il estime qu'à partir de Brazzaville par la voie d'eau, le terrain est très bas. Mais qu'à *Banghi* (orthographe de Bangui jusqu'en 1914) commencent des montagnes qui coupent transversalement le fleuve, lequel s'est ouvert un passage au milieu des rochers en formant des rapides et des tourbillons dangereux.

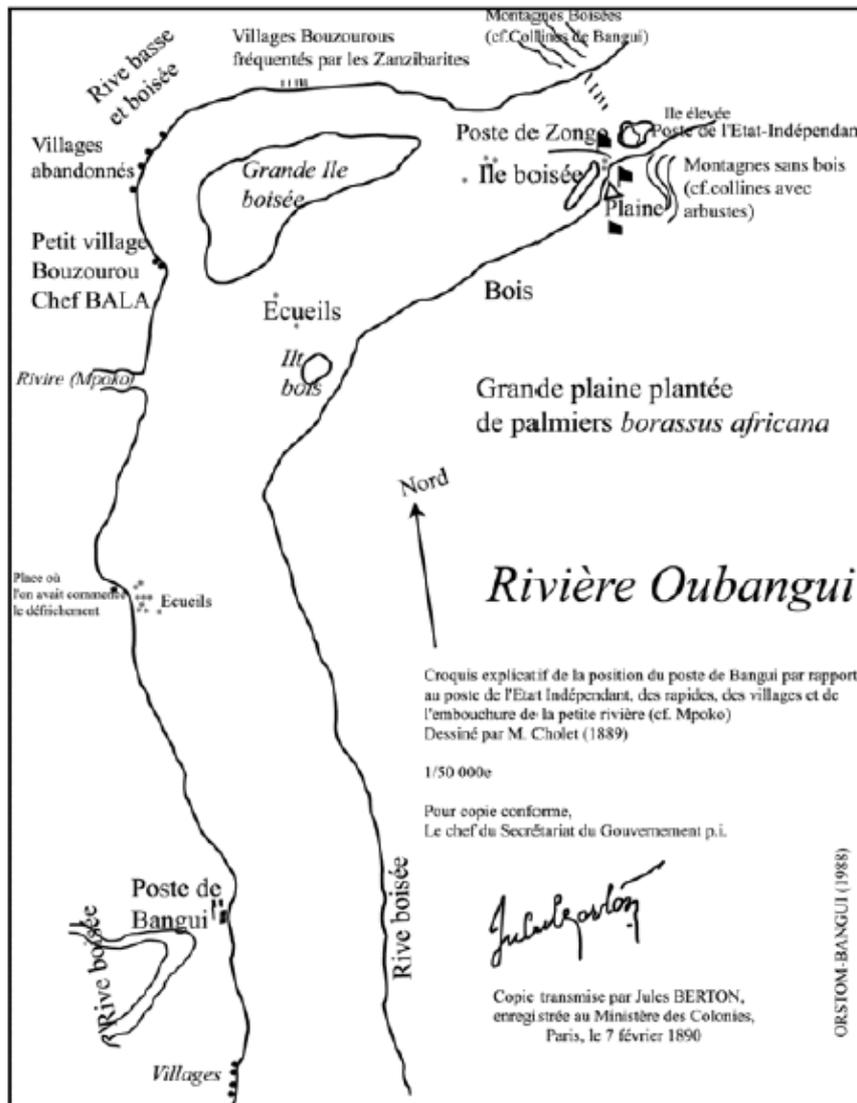
Les autres paysages sont ceux d'une grande plaine alluviale, densément boisée, et comportant des marais aux eaux « croupissantes ». Toutefois, deux paysages dominants caractérisent le site de Bangui et expliquent vraisemblablement son choix : il s'agit des collines et de l'Oubangui. Ces deux entités justifient fondamentalement les limites du développement du site de Bangui et commandent l'expansion de la ville dans la plaine marécageuse, celle-ci ne s'étant pas faite sans peine (NGUIMALET, 1999 b).

1.2. Les difficultés d'installation du Poste

L'implantation du poste colonial sur ce site a connu beaucoup de difficultés d'ordre physique (et/ou géomorphologique) et d'ordre humain.

Sur le plan physique, le site de Bangui est coincé entre les collines de *Gbazabangui* à l'Est, l'Oubangui au Sud-SO, et les marécages à l'ONO ; cette réalité traduit l'impact du milieu physique sur l'installation du poste de Bangui. Selon la mission DYBOWSKI réalisée en 1891, le poste de Bangui est établi dans un site peu favorable : inondation par l'Oubangui aux hautes eaux, voisinage immédiat de marécages malsains, etc... Cela explique les trois déplacements successifs de la ville le 15 juin 1890, au début de 1893 et en 1900. Le premier site est situé plus bas, en aval du confluent de la Mpoko et de l'Oubangui d'après le rapport BERTON de février 1890 (Figure 5) ; on parlait de l'établir au niveau des rapides car les bateaux ne peuvent normalement pas aller plus loin (BOULVERT, 1989). Les emplacements successifs et les difficultés d'installation définitive de la ville sont liés à l'absence d'un site exondé et à la forte densité de la végétation qui aurait masqué l'emplacement idéal. L'administrateur A. UZAC, dans une lettre du 26 juin 1889, a précisé la difficulté de trouver un emplacement convenable tant en amont qu'en aval des rapides, véritable point de rupture de charge sur l'Oubangui. Mis à part les endroits occupés par trois petits villages (cf. actuel emplacement des Bureaux des Travaux Publics et des Douanes au bord du fleuve), les terrains à proximité des rapides étaient soumis aux inondations en hautes eaux ; la montagne qui forme les rapides est en pente trop raide ; en revanche, un site distant de 4 km (en principe 8 km) en aval des rapides, constitué par une pointe rocheuse qui termine une courbe assez prononcée de la rive, paraît intéressant. De plus, l'impressionnante taille de la végétation avec des arbres colossaux rend malaisés les travaux de débroussaillage réalisés seulement avec des pioches et des haches.

Figure 5 Bangui en 1889 (d'après M. CHOLET, modifiée)



Sur le plan humain (SOUVILLE, *op. cit.* ; VILLIEN, *op. cit.*), le premier obstacle résidait dans l'hostilité des groupes ethniques (Bondjo et Bouzerou essentiellement) qui attaquaient aussi bien le poste que les pères du Saint-Esprit, installés quatre années après (cf. 1893). Ensuite, lorsque le poste a été créé, son développement a souffert de l'insuffisance numérique des cadres administratifs qui devaient mettre en valeur la cité. Dans ce contexte, les auxiliaires africains qui devaient servir de pont entre les communautés (essentiellement ouest-africains) n'ont pas facilité les rapports entre l'administration coloniale et la population autochtone. Par ailleurs les mauvaises conditions matérielles, notamment les difficultés de communication (possible seulement en hautes eaux de l'Oubangui), ont créé une pénurie d'objets de première nécessité pour la vie quotidienne (lampes, bougies, papier, encre, savon...). Le manque de médicaments a aussi été un facteur de grande mortalité parmi la population aussi bien autochtone qu'européenne. Bref, ces paramètres expliquent les débuts difficiles de Bangui tant sur le plan humain que sur le plan physique.

1.3. Les problèmes de l'eau et des crues de l'Oubangui

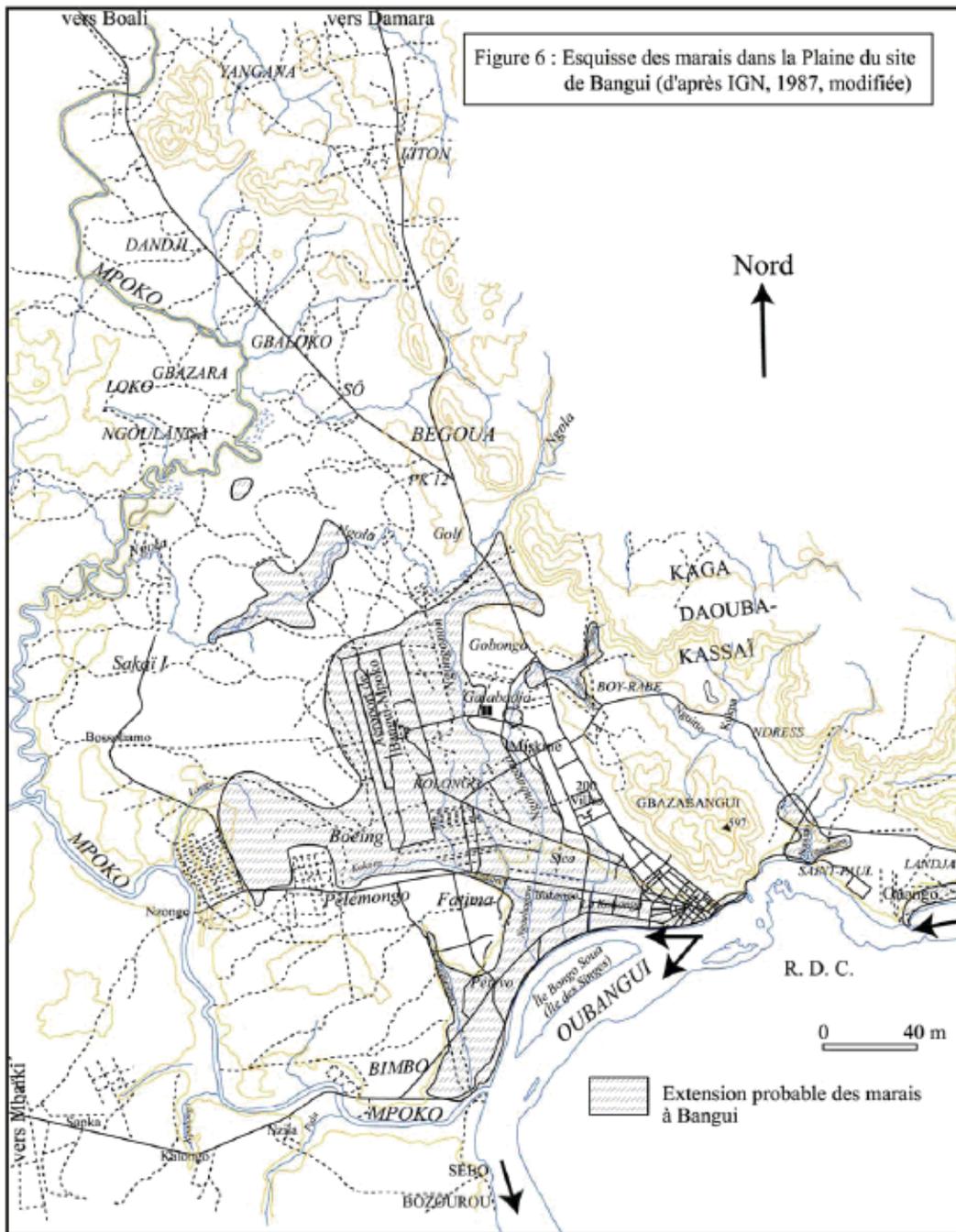
L'eau (météorique, superficielle et souterraine) a durablement marqué le développement du site et de la ville de Bangui (NGUIMALET, 2000).

Dans une de ses correspondances de novembre 1889, MUSY, cité par Y. BOULVERT (*op. cit.*), indique qu'il ne se passe pas de jour qu'il n'y ait un orage qui déchaîne souvent éclairs et tonnerre. La foudre éclate à

chaque instant, brisant des arbres colossaux, puis la pluie s'écroule en masse compacte ; à l'époque, la présence nombreuse de gros arbres permettait sans doute de se protéger contre la foudre. Du fait de la régularité des pluies qui tombent neuf mois dans l'année, l'atmosphère reste chargée d'électricité. L'un des méfaits de ces orages et tornades a été constaté le 7 février 1907, date à laquelle la toiture et les colonnes de la maison du Gouverneur de Bangui, FOURNEAU, ont été ébranlées. Deux autres cas ont été observés, d'abord le 13 novembre 1931 par le passage d'un cyclone au-dessus de Bangui-ville, lequel a mis par terre l'église des 3000 chrétiens de la ville et les écoles pour 300 élèves, ce que Mgr GRANDIN déplore ; ensuite le 27 mai 1932, une trombe s'est abattue sur la localité de Bangui en fin de matinée, causant d'importants dégâts. Ce phénomène caractérisé par des mouvements ascendants et tourbillonnants a arraché, soulevé et projeté des tuiles et des tôles. Le bruit qui précède la trombe, selon RICHARD (1934), rappelle « un galop de chevaux traînant de vieilles voitures dont les ferrures disloquées ferraillent étrangement sur une route défoncée ».

Par ailleurs, la principale nappe d'eau de surface à laquelle est associé le site de la ville de Bangui est l'Oubangui, un des principaux affluents du Congo au Nord du bassin, auquel il faudrait adjoindre son affluent, la Mpoko. Il existe aussi dans la plaine des petits cours d'eau à caractère torrentiel, à cause de la pente et de leur charge de fond (Nguitto, Ngoubagara ou Ngongonon) et des marais très étendus (Figure 6). L'Oubangui influence le site de Bangui, non seulement par les rapides, mais surtout à cause du débordement fréquent de ses eaux vers la fin du XIX^e siècle, caractère qui avait gêné l'installation du poste entre 1889 et 1892.

Figure 6 Esquisse des marais dans la plaine du site de Bangui (d'après IGN, 1987, modifiée)



Selon des sources orales, le débordement de l'Oubangui serait la conséquence du mécontentement des **moungo** ou **esprits de l'eau** (GODART et ZOUBE, 1986). D'après le duc d'UZES (1892) cité par Y. BOULVERT (*op. cit.*), les habitants de Bangui eurent une surprise désagréable le 12 octobre et le 2 novembre 1891, jours où la montée des eaux inonda la factorerie, puis la quasi-totalité du site urbain. En octobre et novembre 1892, le poste établi sur un banc de sable fut complètement inondé et quelques cases émergeaient à peine au-dessus de l'eau : le poste fut transformé en île et les eaux de l'Oubangui montèrent à 5 m au-dessus de l'étiage. Malheureusement à l'époque, faute de stations hydrométriques, il était difficile de connaître avec précision les hauteurs d'eau pour lesquelles le site était progressivement inondé. C'est ainsi que suite à ce sinistre, le poste fut transféré au pied des rapides de *Banghi*, le 4 novembre, sur un bourrelet alluvial sableux qui domine de 4 à 5 m le niveau ordinaire de l'Oubangui. C'est alors que l'administrateur LARGEAU installa définitivement le poste sur le promontoire rocheux.

Quant à la question de l'eau souterraine (eau potable), elle manquait à la fondation du poste et de la mission Saint-Paul du Saint-Esprit. Toutefois, une source d'eau potable a été découverte le 22 février 1894 à la limite du terrain de la mission (GODART et ZOUBE, *op. cit.*). Les missionnaires catholiques l'avaient aménagée sur le chemin qui allait de Saint-Paul au (quartier) Kassai. Cette source aurait été située à Gbangouma et aurait fonctionné jusqu'en 1912. Etant donné qu'elle était unique, l'affluence générait des disputes. Dans les récits ou correspondances des administrateurs, dès les débuts du poste, il n'est pas fait mention des difficultés d'accès à l'eau potable. Néanmoins, le problème s'est posé avec l'accroissement démographique et spatial de la ville à partir de 1928, car les filtres de la fontaine municipale qui distribuait l'eau laissaient passer des impuretés. En 1933, un parlementaire s'inquiétait de la fourniture d'eau potable permettant le fonctionnement de l'hôpital de Bangui. Aussi les pères du Saint-Esprit, au moment de construire un grand internat au nom des « Enfants de la mission », ont-ils fait creuser un puits afin de disposer d'eau, car la mission Saint-Paul (des Pères du Saint-Esprit) est installée sur un glacis terrasse et située à quelques centaines de mètres des points d'eau précédents. Quand le puits fut creusé, on attachait une corde à un seau pour puiser l'eau. Parfois les gens faisaient la queue devant ce point d'eau. On peut donc parler déjà d'un début d'approvisionnement en eau potable de Bangui. Ainsi, les eaux souterraines (potables) du site de Bangui à la fin du XIXe siècle alimentaient des puits et des sources, lesquelles se déversaient aussi dans les marais.

Toutefois, l'essor démographique, qui est l'une des causes de l'extension spatiale et de l'anthropisation des paysages, contribue à exacerber les problèmes de l'eau en milieu urbain (pollution, inondation). La structure urbaine peut les amplifier lorsque le site présente des vulnérabilités.

2. HISTORIQUE DE L'AMENAGEMENT DE LA VILLE DE BANGUI

Nous ferons ici une rétrospective des aménagements réalisés à Bangui pour faire ressortir les limites de l'urbanisation, manifestes par leurs lacunes en terme de gestion des eaux.

Le premier plan directeur d'aménagement du site de Bangui aurait été conçu en 1892 et visait à installer le poste militaire sur le flanc de la colline, afin d'éviter les inondations répétées de l'Oubangui (VILLIEN, 1987) ; selon Y. BOULVERT (1989), le premier véritable plan d'urbanisme serait celui dressé en février-mars 1930 par le géomètre DUMAS (Figure 7), avec des courbes de niveau équidistantes de 5 m.

Concrètement, les premiers aménagements de la ville ont débuté par le développement des infrastructures urbaines, matérialisé par l'ouverture de voies peu nombreuses en 1908 (une voie au bord de l'Oubangui et l'avenue E. GENTIL). Des routes sont construites en 1912 (l'année où le *poste* est devenu *Commune*) pour relier le centre-ville aux « quartiers indigènes » dont les accès étaient difficiles du fait de l'épaisse végétation (Figure 8) : les routes modernes sont larges (8 m), bien tracées, empierrées et équipées de caniveaux de chaque côté, et les anciennes étaient refaites (GROUPE HUIT, 1991). Ces travaux de voirie prennent plus d'ampleur en 1920 car l'urgence est de faciliter la circulation des premières automobiles et motocyclettes.

1946-1960 : les plans d'urbanisme considèrent l'évolution spatio-démographique

En 1946, la structure urbaine comprend le centre-ville et les quartiers indigènes de l'Ouest, sous-équipés et d'occupation anarchique ; les deux ensembles sont séparés par des espaces non-bâties, mais reliés par des grandes artères. Par la suite, le plan d'organisation de Bangui proposé par F. JOLY en 1948, qui avait un caractère radio-concentrique (LEMOTOMO, 1977), a permis surtout de :

- regrouper le plus près possible du noyau urbain la population active travaillant soit dans l'administration et les services, soit dans le commerce et l'industrie ;
- organiser, dans le cadre régional, l'habitat des populations à vocation agricole autour de leurs activités renouvelées et développées.

Ce plan a été observé dans ses grandes lignes jusqu'au remaniement suggéré par J.M. LEGRAND en 1964. Le plan LEGRAND, ou plan IGN, abandonne la voie ferrée prévue par JOLY, de même que le *plan radio-concentrique*, au profit d'un *plan orthogonal*. L'essentiel de ce plan d'urbanisme est axé sur la voirie.

Figure 7 Bangui en 1930 (d'après, DUMAS, modifiée)

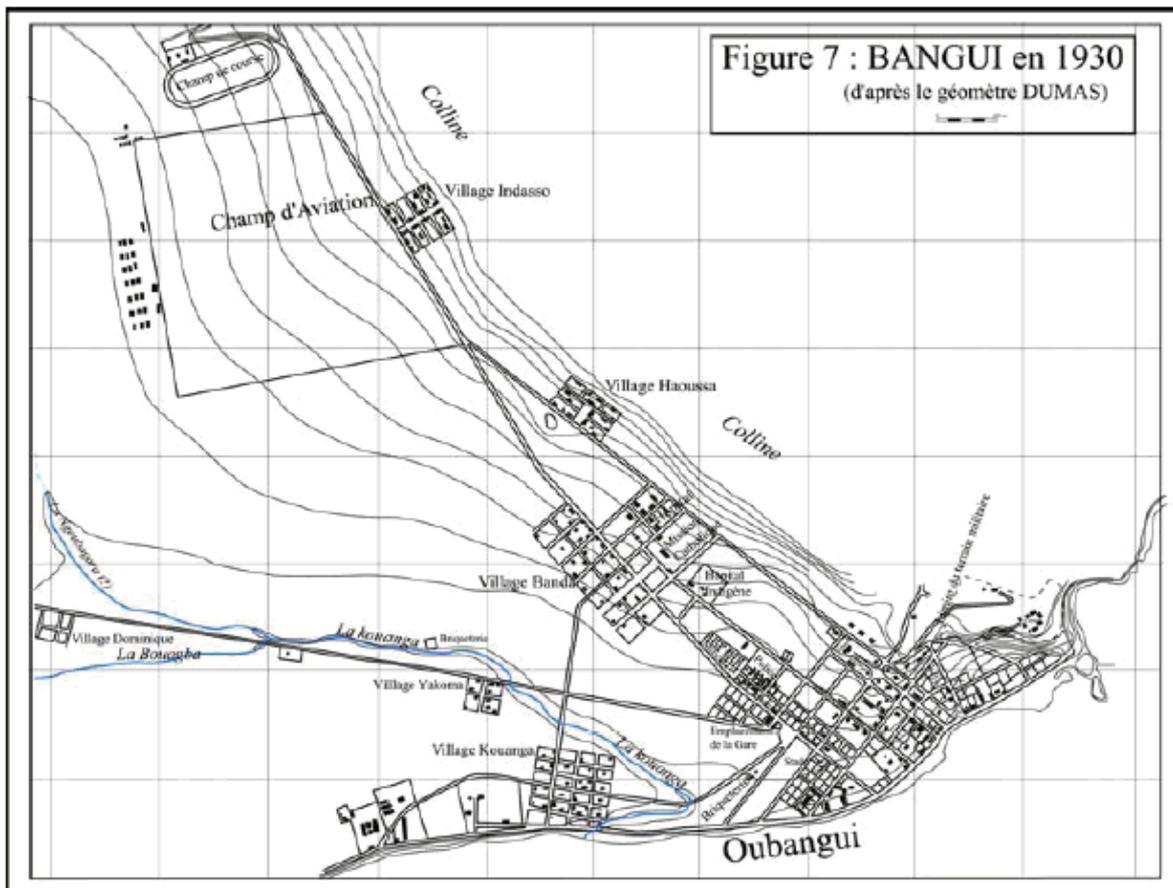
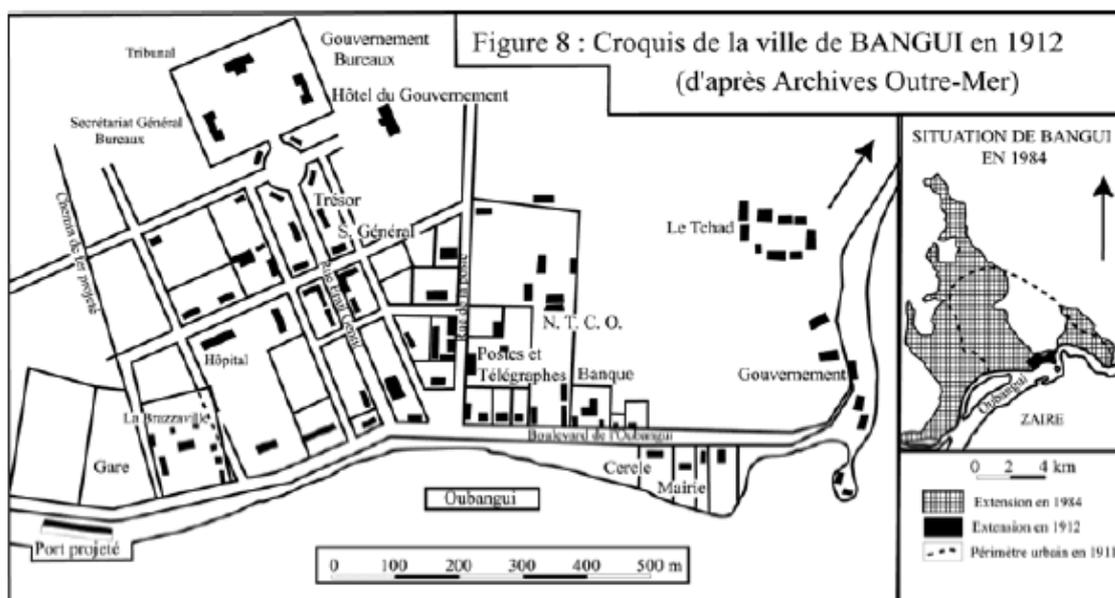


Figure 8 Croquis de la ville de Bangui en 1912 (Archives d'Outre-Mer, par BOULVERT, 1989, modifiée)



Entre temps, DRESCH (1948, cité par BOULVERT, 1989), analysant l'organisation spatiale de la ville de Bangui, a remarqué que les quartiers ont été hâtivement installés : quartier commercial, quartier industriel... sans aucune prévision de quartier résidentiel ; la ville européenne faisait tache d'huile, provoquant la *nomadisation* des quartiers autochtones depuis cinq ans. En précisant l'ordre de création des zones isolées qui constituent l'ensemble de la ville en 1949, il estime que les espaces vides, selon les critères de la Charte d'Athènes, sont d'une étendue suffisante et sont convenablement répartis ; il pourrait donc être retenu de cette charte « la nécessité de construire en hauteur, pour conserver le maximum de surfaces vertes » dans la ville. Cet auteur a ainsi suggéré que les travaux de première urgence à exécuter avant toute mise en place d'un plan d'urbanisme à Bangui soient l'*assainissement des terrains marécageux*, notamment le remblaiement du sol et la plantation d'arbres appropriés (*eucalyptus*) ; il suggère également qu'une étude démographique particulièrement poussée soit réalisée pour déterminer précisément la localisation, par communautés ethniques, des terrains affectés aux populations autochtones. Pour LEBOEUF (1951), l'agglomération africaine est loin d'avoir l'aspect d'une ville classique. Elle est en réalité une succession de villages disposés autour de la cité européenne, s'étirant le long de grands axes de communication et s'étendant largement dans les intervalles où subsistent encore de vastes surfaces inhabitées. Les constructions isolées les unes des autres, avec des plantations intercalaires, contribuent à donner à l'ensemble une allure de grand village.

Quelques années après, le plan proposé par DEPRET (1967) prévoit la création d'un axe transversal Est-Ouest ou « axe triomphal », le renforcement du point de rencontre de celui-ci et l'ancienne piste d'aviation, laquelle sera prolongée et transformée en avenue de très grande importance : l'actuelle *Avenue des Martyrs*, reliant l'aéroport *Bangui-Mpoko* à l'Université de Bangui. Le transfert de l'aéroport a eu lieu en 1967. L'un des grands objectifs de la création de cet axe, en 1978, c'était de marquer une étape importante dans le développement urbain, en accomplissant de grands travaux de construction autour d'une grande avenue reliant le sud de la ville (depuis le quartier Lakouanga) au nouvel aéroport, pour en faire la vitrine du nouvel « Empire ». D'où la juxtaposition des bâtiments de l'Université, de l'U.D.E.A.C.[Note2](#), du Ministère des Affaires Etrangères, de la Télévision centrafricaine, de l'E.N.S.[Note3](#), de l'ex-siège de la PETROCA[Note4](#), de la SOCATEL[Note5](#), etc. Toutefois, nous constatons aujourd'hui que cette voie à grande circulation donne malgré tout une impression d'inachevé, car les espaces vides y restent encore nombreux.

Le plan d'urbanisme directeur en vigueur

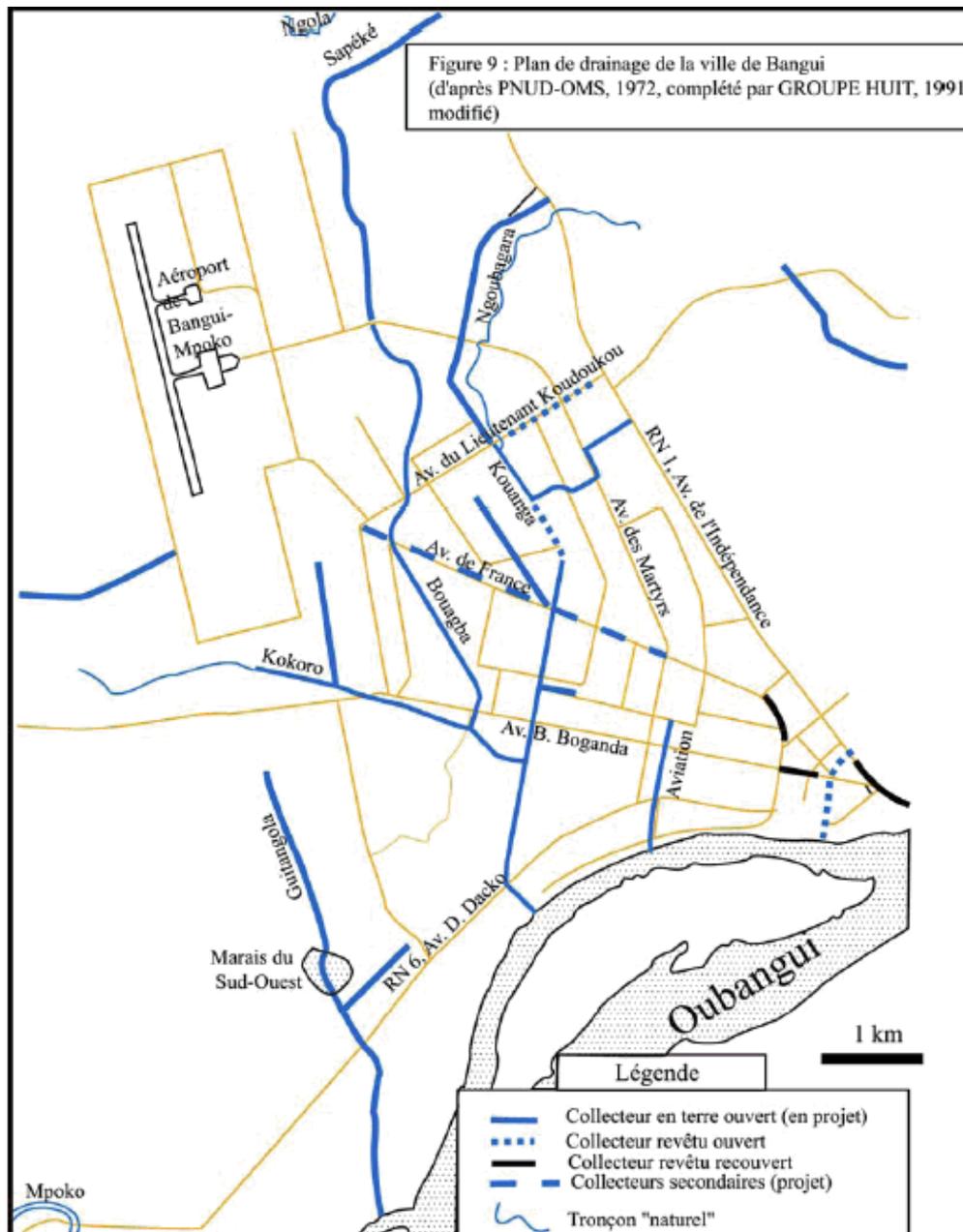
Le plan d'urbanisme conçu en 1971 ne contient pas de propositions précises tant temporellement que spatialement (voir Annexes), et ne se limite qu'à un découpage systématique de la ville en zones diverses sans liens évidents (LEMOTOMO, *op. cit.*) ; c'est un plan intemporel comme tous les précédents. La hiérarchie de la voirie n'est pas certaine, sa géométrie et l'orientation des voies étant arbitraires. Dans l'ensemble, ce document manque de précision pour l'élaboration des plans de détails, et ne fournit pas d'indications précises concernant les bâtiments. Ce même plan d'urbanisme, approuvé par décret n° 72/324 du 29 septembre 1972, a été analysé (RGP, 1988) et constitue, malgré son ancienneté, le document de référence pour le développement physique de Bangui. Il prévoit l'aménagement de la partie ouest de la ville avec :

- les dispositions du plan « Assainissement et drainage de Bangui » (créé en 1969) pour les grandes infrastructures urbaines. A cette occasion, le canal de Bouagba (cf. Ngongonon), complété par celui de Kouanga (en fait Ngoubagara), constitue l'ossature principale du réseau d'assainissement urbain (Figure 9) ;
- des programmes d'extension de quartiers définis de manière très restrictive dans les 4^e, 5^e, 6^e et 8^e Arrondissements. Ils ont été saturés dès 1980 avec des *lotissements planifiés* (Mbosso, Nzangoyan, Kpéténé, Boeing-Mpoko, Galabadja-Sinistrés et Cité Jean XXIII) ainsi que par la *prolifération de l'habitat spontané*, en particulier dans les zones difficilement urbanisables (bas-fonds inondables, lits d'inondation des petits cours d'eau, flanc des collines) et dans les quartiers périphériques très enclavés (4^e et 8^e arrondissements).

A partir de 1980, ce plan d'urbanisme, qui n'a plus fait l'objet d'une réalisation systématique, aurait dû se concrétiser par :

- des plans d'urbanisme de détail opposables aux tiers et définissant pour chaque quartier les modalités de son organisation spatiale et de son équipement, ainsi que des dispositions relatives à leur mise en œuvre ;
- le lancement de programmes cohérents d'infrastructures de réseaux accompagnant la croissance de la ville (extension et renforcement) et préparant son évolution afin d'obtenir l'adéquation entre la croissance de la demande et la disponibilité de la ressource exploitable.

Figure 9 Plan de drainage de la ville de Bangui (PNUD-OMS, 1972, complétée par GROUPE HUIT, 1991, modifiée)



Aucune révision partielle ou totale du plan d'urbanisme n'a été engagée par la suite pour compléter ou reprendre cette prévision trop limitée. Ainsi, le cadre de planification de référence est devenu totalement

désuet deux décennies après (voir documents annexes).

Le développement de l'urbanisation « sauvage »

Les pouvoirs publics n'ont pas considéré l'aménagement foncier pour l'habitat du plus grand nombre comme un *objectif prioritaire*. Ceci aurait permis de prévenir les conséquences de l'urbanisation de Bangui avec le concours concerté des sociétés concessionnaires de services marchands (SODECA, ENERCA, SOCATEL...) et des collectivités locales (voirie, assainissement), aussi bien pour le lancement des nouveaux travaux que pour l'entretien et le renforcement des réseaux existants (RGP, 1988). Une telle attitude engendre des conséquences évidentes sur l'évolution de la population. Par exemple entre 1975 et 1988, Bangui a connu une croissance démographique de 75,5 % : l'effectif de la population est passé de 279 792 habitants en 1975 à 451 690 habitants en 1988. Cette évolution n'a pas été sans conséquences sur plusieurs secteurs du développement urbain : emploi, équipements sociaux, habitat, réseaux d'infrastructures... Si nous ne retenons que le secteur de l'habitat, nous remarquons qu'il est particulièrement sensible à un tel changement ; les conséquences sont :

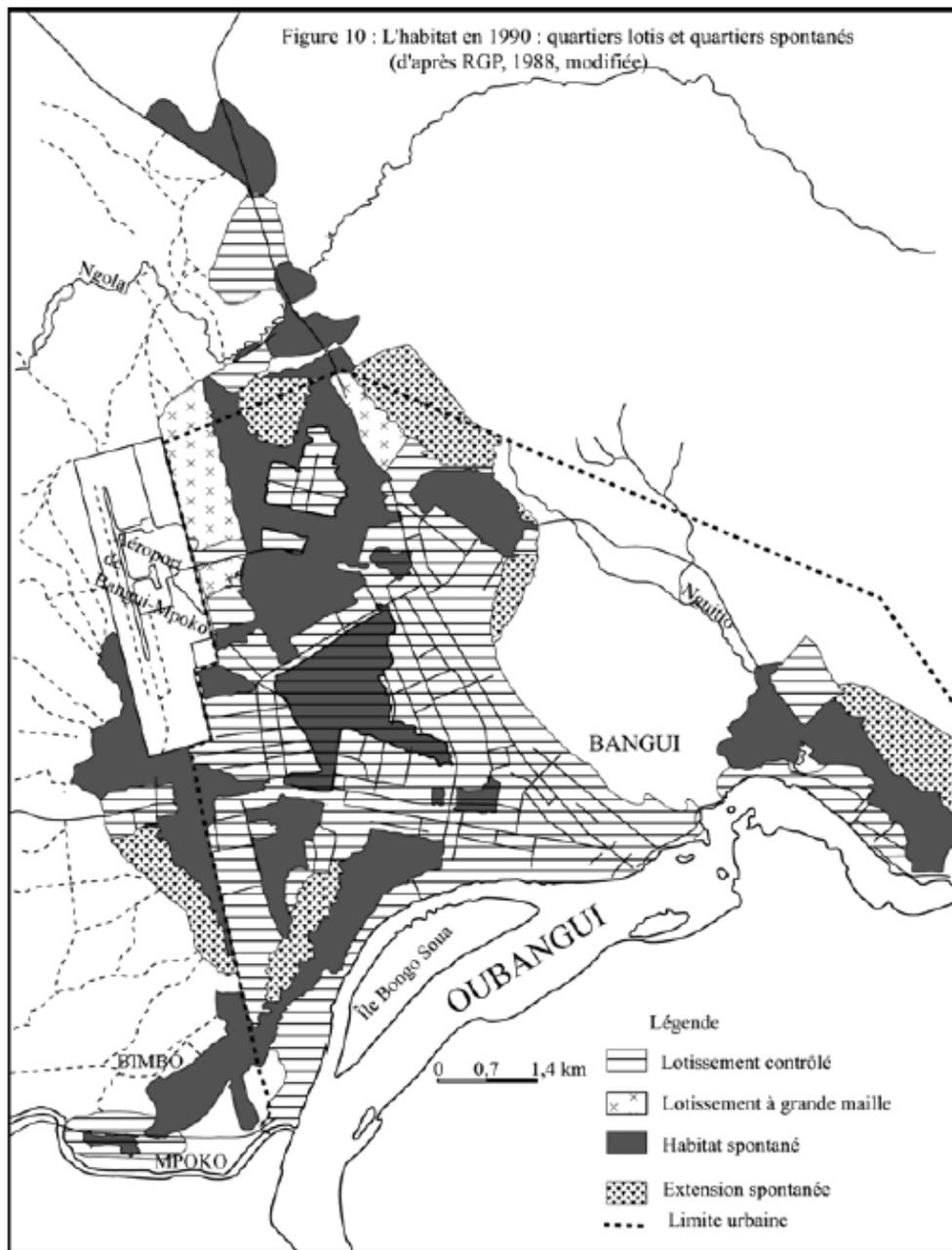
- une extension spatiale considérable, au-delà du périmètre communal ou urbain, depuis 1990^{Note 6} ;
- la prolifération des quartiers périphériques ou spontanés (Figure 10), avec une densification (sauvage) extrême : 36 habitants.ha⁻¹ (quartiers Est), 92 habitants.ha⁻¹ (quartiers Ouest) et 26 habitants.ha⁻¹ (ville moderne) ;
- un accroissement des besoins de la population en services de base. Malheureusement, l'urbanisation planifiée (lotissement) n'a pu canaliser cette formidable explosion.

3. EVOLUTION DIACHRONIQUE DES PAYSAGES ET DES GRANDES LIGNES DE LA STRUCTURE URBAINE

Le développement démographique et spatial de la ville de Bangui s'est réalisé au détriment des paysages naturels. Les preuves nous sont fournies et conservées par les plans, cartes (Figures 5, 7, 8, 11 et 12) et photographies aériennes (Figures 13, 14 et 15), et depuis peu par des images satellitales (Figure 16 et 17), qui reflètent typiquement les diverses formes de façonnement du site à différentes époques.

Les multiples formes urbaines de Bangui que nous avons relevées dans l'espace et dans le temps, avec l'aspect isolé du centre-ville par rapport aux quartiers indigènes, traduisent le caractère disparate de la ville à la recherche de terrains exondés, mais aussi la politique de *déguerpissement* pratiquée par l'administration coloniale. Selon cette politique, à chaque période d'extension de la ville administrative et commerciale, les quartiers autochtones étaient refoulés dans les bas-fonds insalubres. MABOU (*op. cit.*) estime que l'urbanisme colonial est fondé sur des critères discriminatoires, débouchant sur l'opposition entre deux ensembles de quartiers : ceux de la ville blanche et ceux de la ville noire. Ainsi donc, de la période coloniale à l'indépendance, l'organisation des quartiers urbains reflète l'existence de deux modes de vie, avec un contraste évident.

Figure 10 Habitat n 1990 : quartiers lotis et quartiers spontanés (d'après RGP, 1988, modifiée)



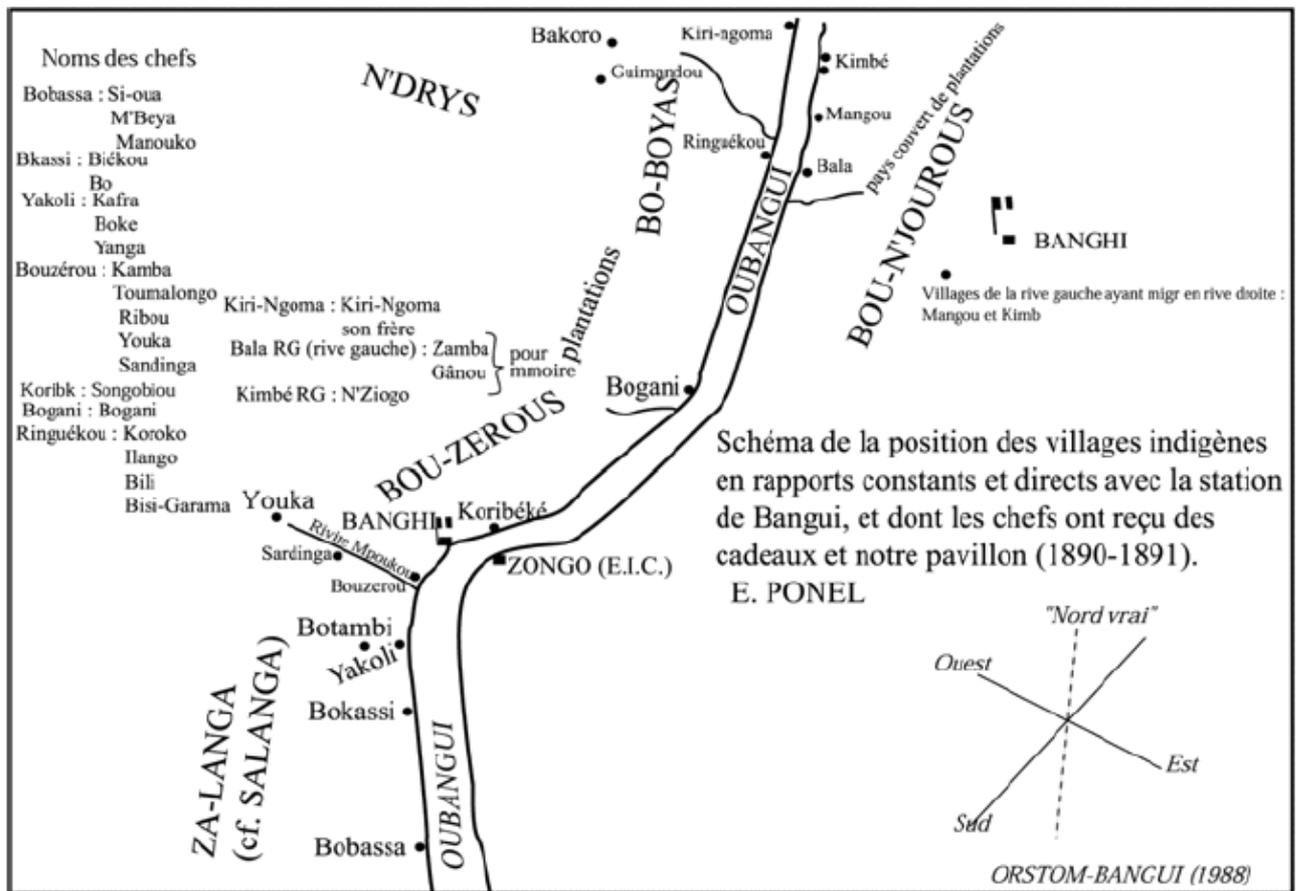
Les raisons que nous venons d'évoquer expliquent peut-être une domination lâche de la ville sur les paysages, même à l'heure actuelle avec des problèmes fondamentaux d'aménagement (occupation des zones insalubres inondables, mauvais drainage des eaux de ruissellement, insuffisance de la voirie, accès très limité à l'eau potable...), lesquels ne sont pas du tout maîtrisés. En observant les plans, les cartes et les photographies aériennes réalisées depuis l'évolution de la ville (1946, 1960, 1982, 1988, 1999), nous remarquons une certaine discontinuité spatiale dans la colonisation du site, en partant du noyau central, d'abord sur la Place EDOUARD RENARD^{Note 7.}, ensuite sur la Place de la République (l'actuelle) et en allant vers la périphérie.

3.1. De 1889 à 1945

Pour cette période, nous ne disposons pas de levés photographiques aériens représentant l'emplacement du poste qui a oscillé dans l'espace et dans le temps, entre la confluence de la Mpoko et l'aval immédiat des rapides. Des croquis de CHOLET en 1889 (Figure 5), de PONEL en 1891 (Figure 11) et de COMTE en 1897 (Figure 12) situent les emplacements successifs du poste par rapport aux villages riverains du fleuve et à ceux

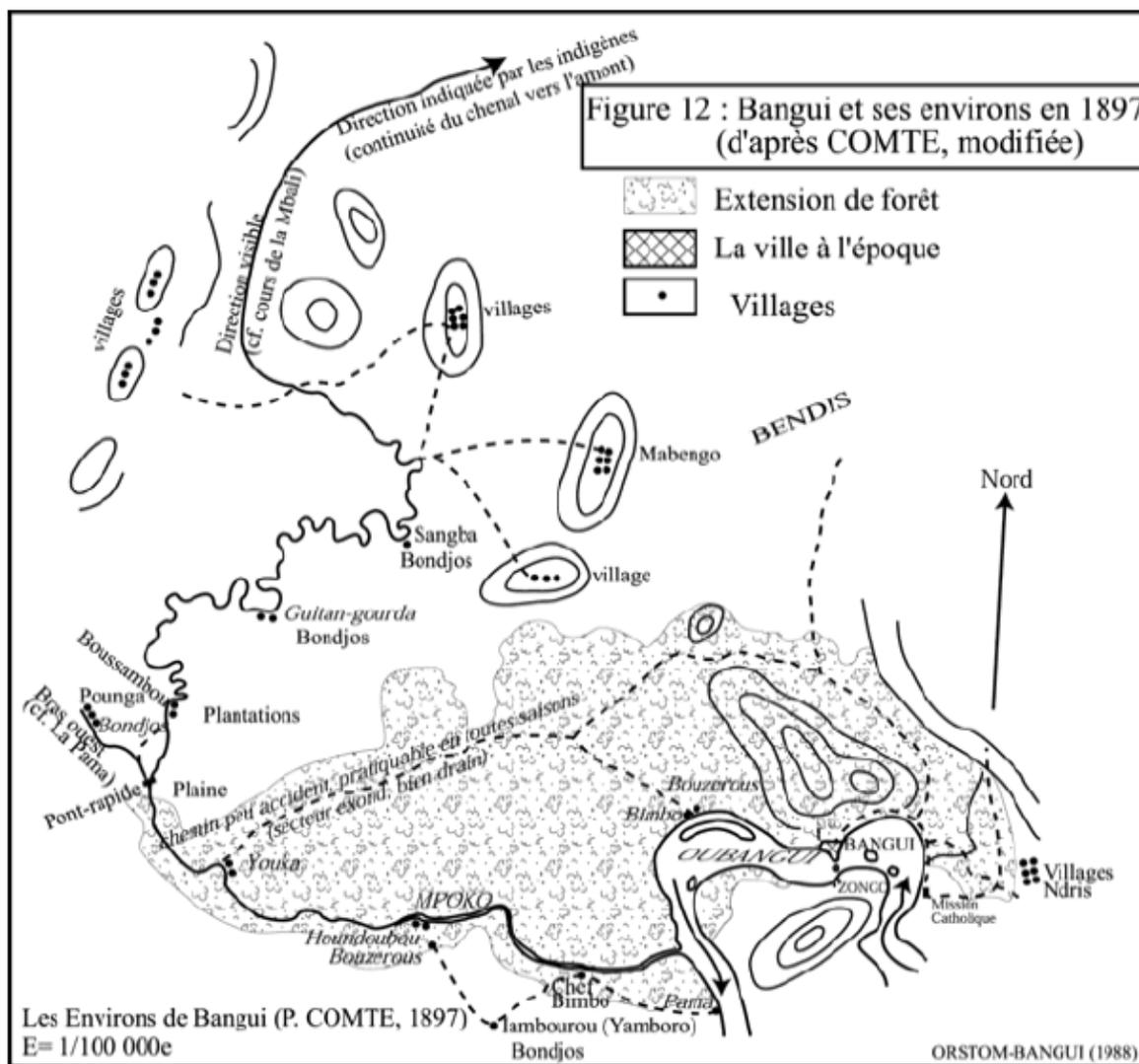
qui environnent le site de Bangui.

Figure 11 Situation du Poste de Bangui en 1891 (d'après E. PONEL, modifiée)



En 1889 et en 1891 (Figures 5 et 11), la morphologie est caractérisée par un noyau unique ; en revanche en 1897 (Figure 12), un bicéphalisme s'observe avec la fondation en 1894 de la mission Saint-Paul en amont du Poste et des Rapides. Cette forme est due à la présence des *Monts Ottro* ou *Collines de Bangui* qui rompent la continuité spatiale de la ville et expliquent l'installation de la Mission sur le plateau de Ouango, exondé comme l'a remarqué en 1894 Mgr AUGOUARD : « le terrain destiné à la mission est assez élevé au-dessus des plus hautes eaux ; malheureusement les terrains voisins sont submergés tous les ans » (BOULVERT, *op. cit.*). Le poste de Bangui en 1889 était comme un « trou de gruyère dans la forêt vierge » (JAEGER, 1989).

Figure 12 Bangui et ses environs en 1897 (d'après P. COMTE, modifiée)



Le périmètre urbain de 1905 correspond à l'Est à la limite de la Mission, à l'Ouest il s'interrompt à 1 km en aval du confluent Sapéké, au Nord à environ 2 km à l'intérieur des terres et au Sud à l'Oubangui. L'ensemble forme une bande de 2 km de large sur 15 km de longueur (VILLIEN, 1987). Un an plus tard en 1906, Bangui devient la capitale de la colonie Oubangui-Chari-Tchad et, en 1912, la ville s'étend sur 212 hectares (ha). De 1914 à 1939, la ville occupe environ 55 ha et n'est pas à l'abri des inondations ; en 1916, par exemple, une partie de Bangui est inondée ; par la suite les eaux stagnantes sont difficiles à drainer. C'est pendant cette année que l'Etat-majour, implanté sur un terrain inondable, a été transféré sur le glacis-replat du Kassai au nord de la Mission Saint-Paul.

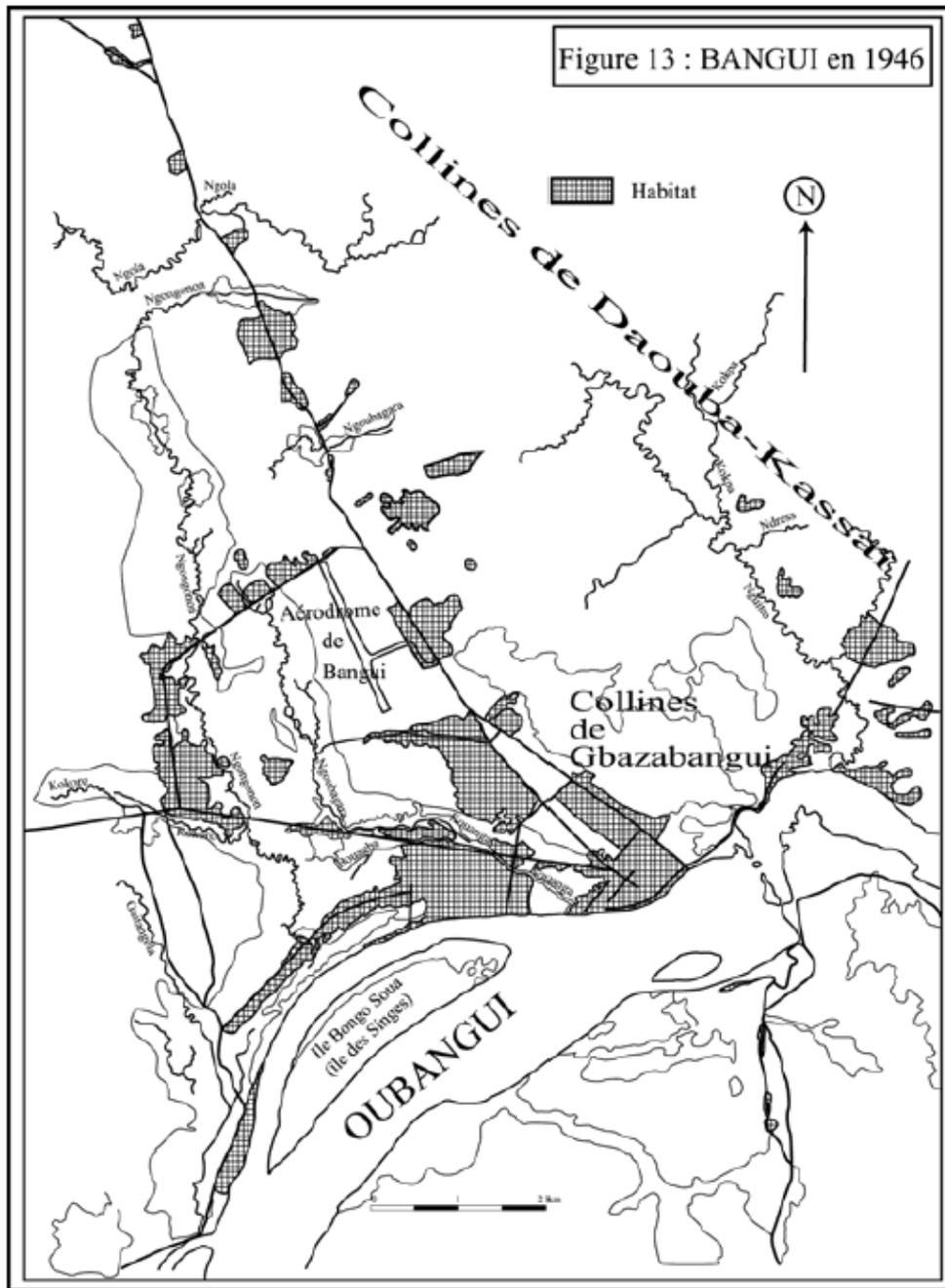
Lorsque Bangui devient une commune en 1912 et perd son statut de poste militaire, son extension ne dépasse pas le niveau de l'actuel Palais de Justice, dessinant la forme d'un parallélogramme dont la base correspond à la bordure de l'Oubangui (Figure 8). En 1930, selon le premier véritable plan d'urbanisme établi par le géomètre DUMAS à 1 : 5000, la ville a la forme d'un triangle-rectangle dont l'hypoténuse correspondrait au site actuel du Ministère des Transports (Figure 7).

3.2. Bangui en 1946 et en 1960

Si nous comparons la photographie aérienne de la ville de Bangui en 1946 (Figure 13) à celle de 1960 (Figure 14), nous constatons un gonflement de la population à la limite ouest de la ville localisée à l'époque entre la Ngongonon et la Ngoubagara, et le long de l'ancienne route 37 (l'actuelle avenue Koudoukou) ; par contre un

dégonflement de la population aux confins de la ville administrative et commerciale s'observe. Ce changement dans la morphologie ou l'accroissement de la ville en quatorze ans pourrait avoir une double explication : d'abord la politique de déplacements incessants pratiquée par l'Administration au profit de l'extension du noyau central, ensuite l'exode rural qui a été à la fois un facteur de la croissance démographique et de l'extension spatiale de la ville.

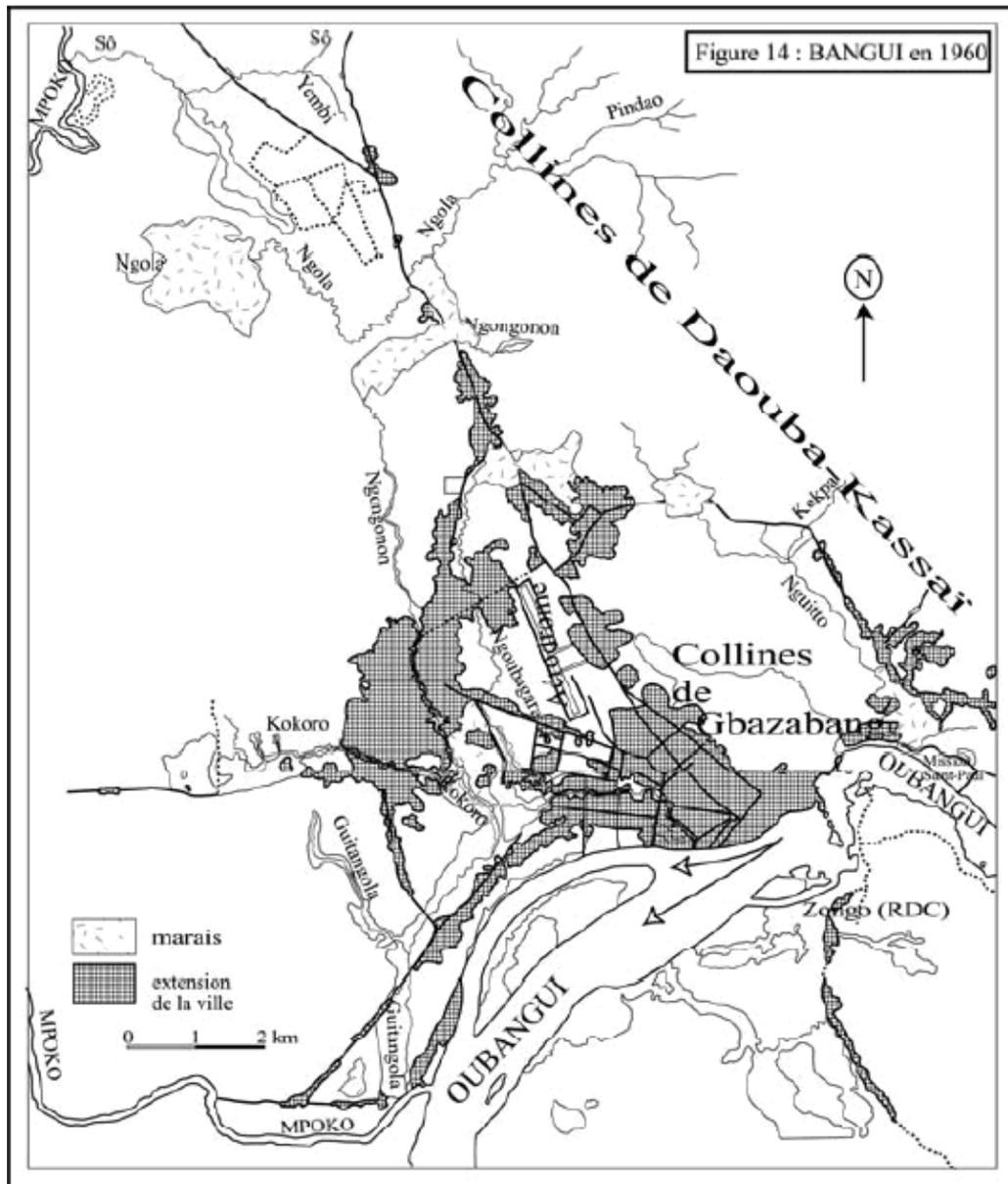
Figure 13 La ville de Bangui en 1946



De même, la réalisation des grands travaux à Bangui dans les années 1950 serait l'une des raisons de l'affluence dans la capitale de populations en quête de travail. Cependant le cœur géographique de Bangui est resté désert aussi bien en 1946 qu'en 1960. De ce fait, la présence de l'eau et des collines traduit un bicéphalisme dans l'évolution de la morphologie urbaine, d'abord entre l'Est avec la Mission Saint-Paul et l'Ouest avec le centre administratif, ensuite à l'ouest où le centre-ville est séparé des quartiers « indigènes » par des bas-fonds inondables.

3.2. Bangui en 1946 et en 1960

Figure 14 La ville de Bangui en 1960

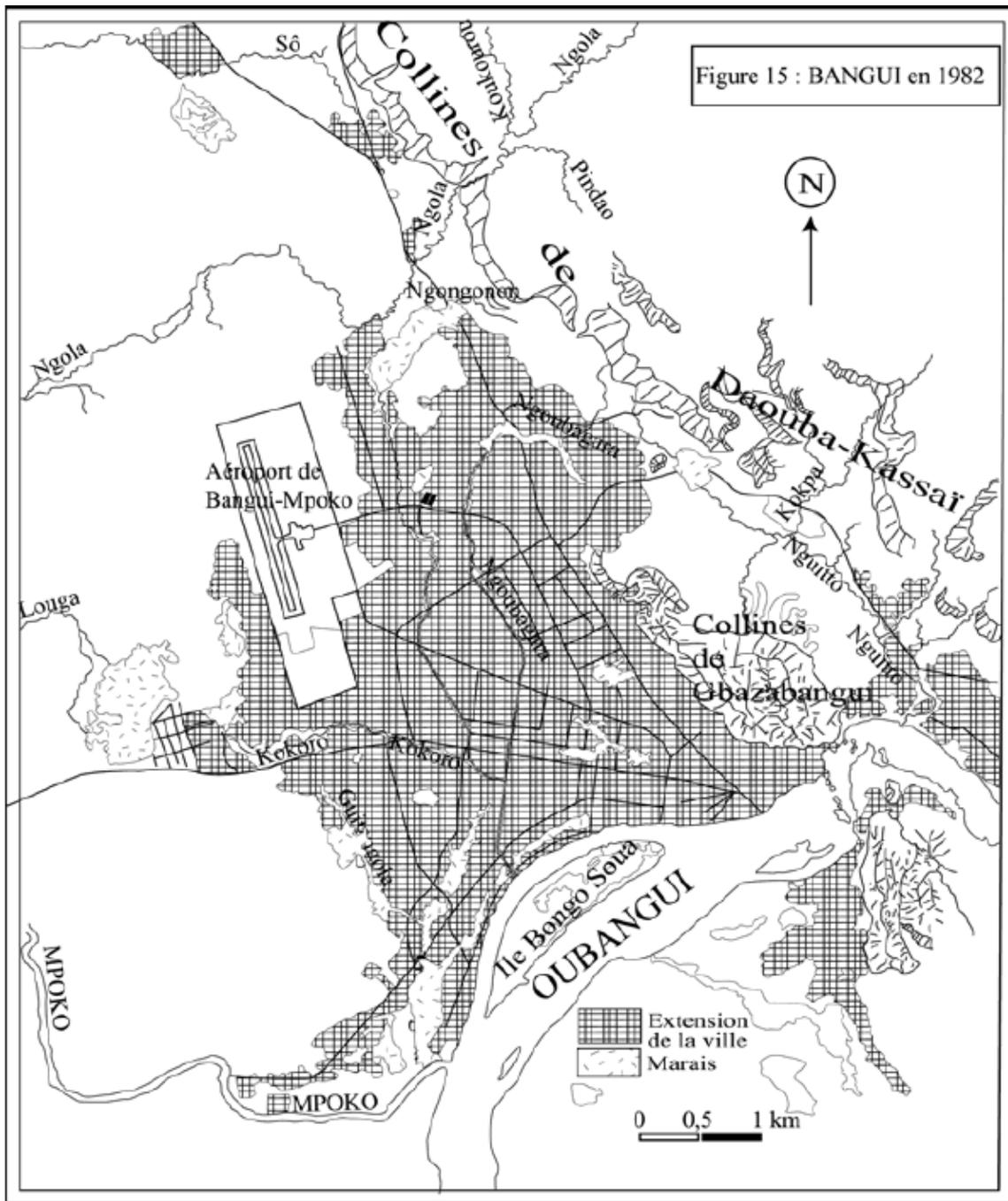


3.3. Bangui en 1982 et en 1988

La ville de Bangui s'est beaucoup accrue spatialement aussi bien en 1982 (Figure 15) qu'en 1988 (Figure 16) par rapport aux années 1946 et 1960. Lors de cette dernière période, les bas-fonds insalubres étaient encore répulsifs alors qu'en 1982 et en 1988, ils commencent à être attractifs, comme l'a si bien souligné PIERMAY (1993). Cependant les versants abrupts et les fonds de vallée connaissent toujours des retards en matière d'urbanisation.

Observée par photo-interprétation, la densité de l'habitat s'est accrue entre 1982 et 1988. La morphologie des habitations et des voies s'observe de façon précise ; en 1982, les parcellaires, tant dans les quartiers populaires que dans les quartiers lotis, montrent des espacements notables entre les maisons. En 1988, ces espaces libres sont occupés par de nouvelles habitations qui densifient l'occupation du sol, et traduisent l'intensité de la pression citadine sur l'espace. Ce phénomène accroît l'imperméabilisation du sol et de ce fait influence le ruissellement des eaux pluviales ; il détermine aussi le rythme d'infiltration des eaux qui alimentent la nappe phréatique superficielle du site de la ville de Bangui.

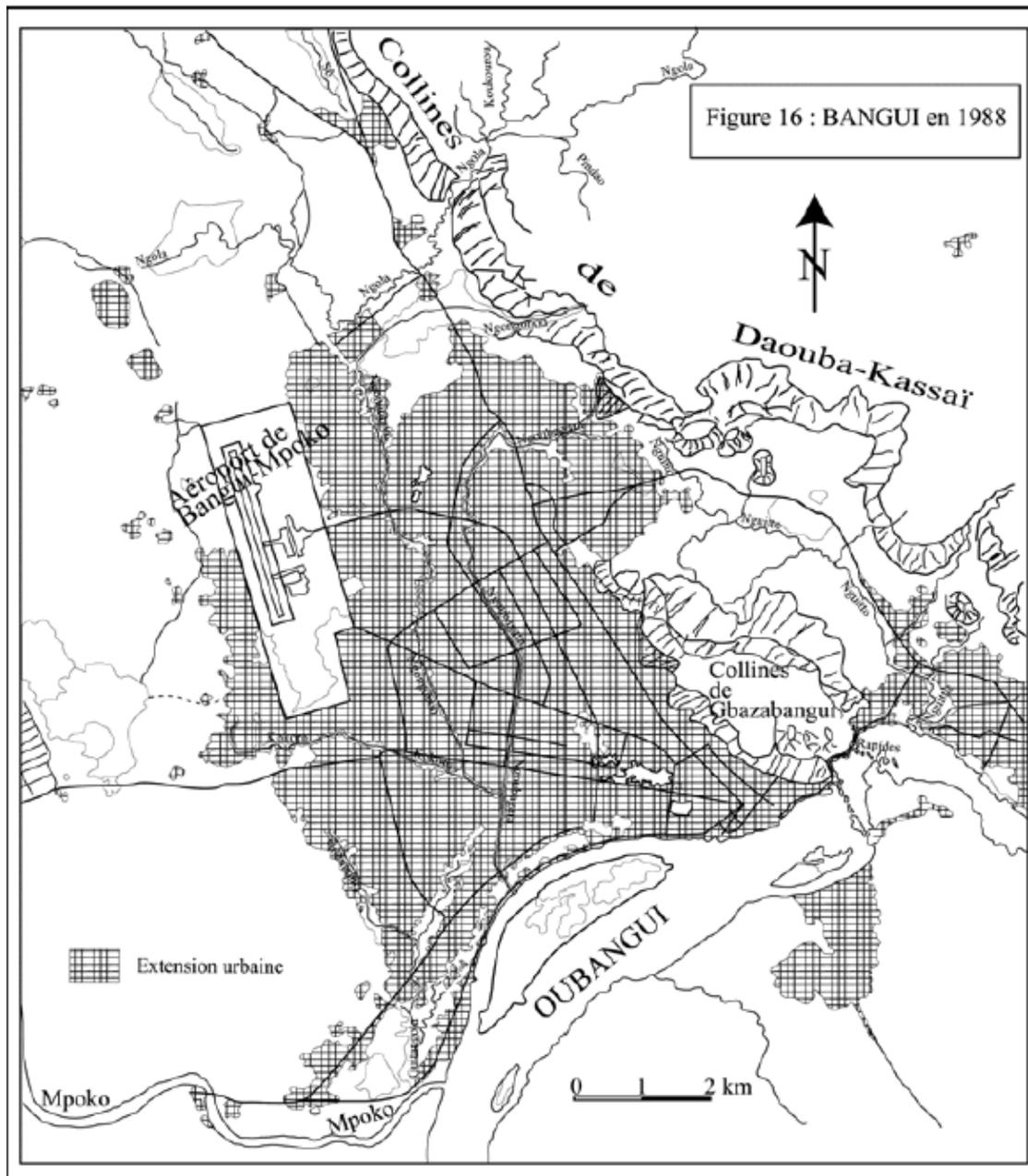
Figure 15 Bangui en 1982



Pendant cette période, les bas-fonds sont colonisés et parfois systématiquement aménagés à l'exception de ceux du Sud-Ouest (Guitangola-Pétévo-Bimbo) qui sont encore fonctionnels. En général dans ces bas-fonds marécageux anthropisés, les forts abats pluviométriques entraînent la stagnation des eaux. L'ancien aéroport (Figure 13) était installé sur le glacis cuirassé du piémont. Encerclé par la ville et très proche de la colline, il fut transféré en 1967 sur un nouvel emplacement au milieu d'un bas-fond hydromorphe qui fut alors drainé. Aujourd'hui l'aéroport de Bangui-Mpoko est à nouveau rejoint et bientôt encerclé par la croissance urbaine (Figures 15 et 16), alors que le site des collines boisées n'est pas encore affecté, peut-être à cause du cimetière de Ndress qui occupe une partie de la dépression.

Figure 16 Bangui en 1988

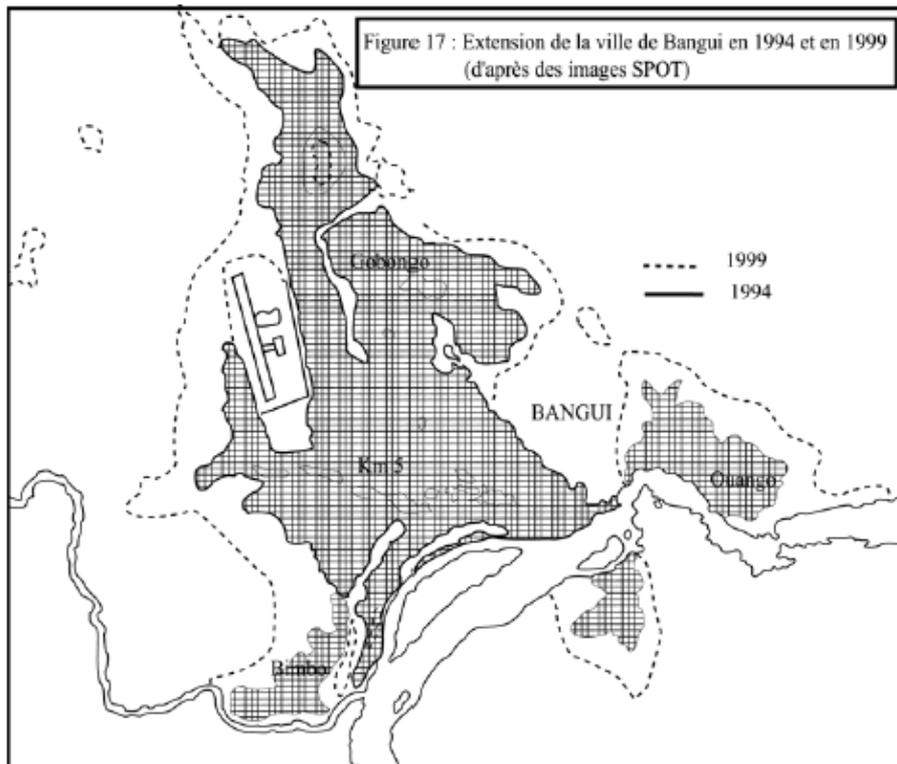
3.3. Bangui en 1982 et en 1988



3.4. Bangui en 1994 et en 1999

Pendant cette période, les flancs des collines de *Gbazabangui*, notamment à l'Est et au NO du quartier Boy-Rabé, connaissent une colonisation de plus en plus poussée par les habitations (Figure 17). Si le rythme d'occupation est régulier, peut-être l'encerclement des collines va-t-il enfin se réaliser. Quant aux bas-fonds du SO, la colonisation par l'habitat amorcée au début des années 1990 paraît très poussée à l'heure actuelle. Mais la pluviométrie exceptionnelle de 1999 (2010 mm à Bangui-Orstom, alors que l'Oubangui atteint 7,32 m à l'échelle du Sofitel), en provoquant l'inondation des habitations, en majorité jusqu'aux trois-quarts de leur hauteur, et en les détruisant, a montré les limites de l'occupation de ces bas-fonds. Globalement, l'aéroport de Bangui-Mpoko est absorbé par les habitations qui l'enserrent et le centre de gravité de la ville se déplace à l'OSO et au NNO, les limites atteignant le point kilométrique 12, le Golf et le Nord de l'aéroport.

Figure 17 Extension de la ville de Bangui en 1994 et en 1999 (d'après les images SPOT)



L'évolution de la ville de Bangui que nous avons décrite par ces différentes formes urbaines, est tributaire de l'augmentation de la population.

4. CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE ET SPATIALE

Le moteur de l'extension spatiale de la ville de Bangui, que nous avons soulignée par ses états successifs, est l'augmentation de la population créée par l'accroissement naturel et par l'immigration. Cette interrelation Homme-Espace du point de vue de l'accroissement nous permet d'apprécier la façon dont les réseaux hydrologiques naturels ont été progressivement remplacés par les réseaux anthropiques.

Nous discutons dans ce paragraphe de l'implantation humaine ancienne (échelle préhistorique) et de celle, récente, liée à la colonisation (échelle historique). Ceci nous permettra de suivre les transformations liées à l'eau subies par le site. De fait, la croissance démographique a été difficile aux débuts du poste ; ensuite elle a pris un rythme rapide à partir de 1945. Depuis l'indépendance en 1960 jusqu'à nos jours, elle est à la fois déterminée par l'accroissement naturel et par l'immigration.

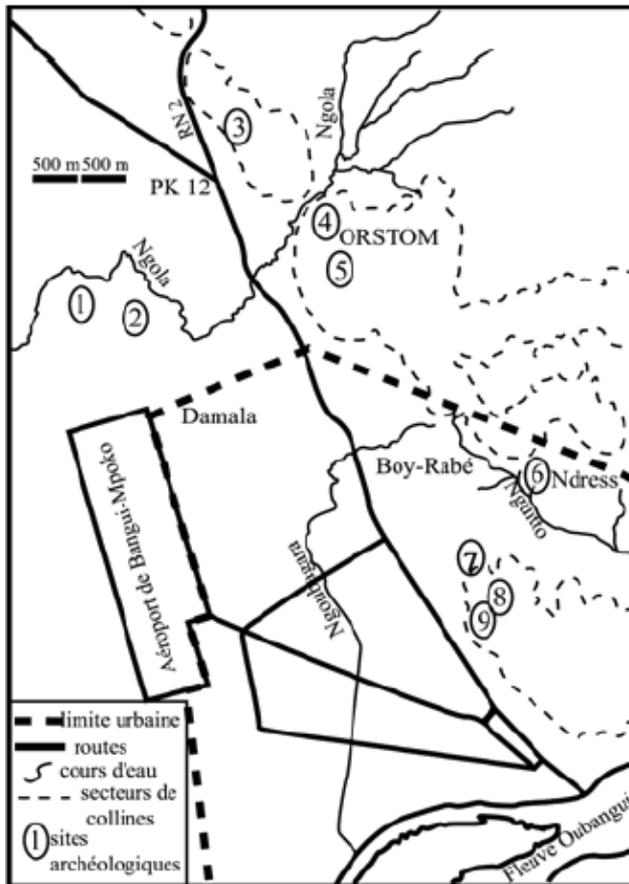
4.1. L'ancienneté du peuplement du site de Bangui

4.1.1. Les données archéologiques

L'existence d'indices préhistoriques (pierres taillées sur éclats, haches et pierres polies) sur le site de Bangui nous a permis d'attester de l'ancienneté de la présence humaine : *homo erectus* (VILLIEN et al., 1990) devrait être le premier occupant. Ce constat semble valable pour toute la sous-région d'Afrique Centrale, pourtant couverte de forêt dense, où différents outillages anciens remonteraient à une période comprise entre le Paléolithique Supérieur et le Néolithique. Les outillages reconnus correspondraient aux peuples de chasseurs-cueilleurs. Nous voyons dans ces découvertes l'occasion de nuancer les affirmations selon lesquelles le milieu forestier ancien n'aurait pas été habité.

Deux types de sites archéologiques (YONGOMBIMA, 1996) sont ainsi distingués à Bangui (Figure 18) : la *zone de plaine* et la *zone de collines*, en fonction des principales unités topographiques de la ville. Dans le secteur de collines et ses marges (Pk 12 (3), site ORSTOM (4)(5), Cimetière Ndress (6), quartier Boy-Rabé (7)(8)(9), les outils identifiés sont en pierre, en relation avec la proximité des reliefs quartzitiques, alors que dans le secteur de plaine (vallée moyenne de la Ngola, quartier Damala), le matériel est de la poterie (céramique), dans un terrain essentiellement argileux. Au type de matière correspond un type d'outillage, et il est difficile de dire si la céramique est antérieure ou non à l'industrie du quartz ou du quartzite.

Figures 18 Les sites préhistoriques sur l'aire de la ville de Bangui (d'après YONGOMBIMA, 1996, modifiée)



Par ailleurs, selon de BAYLE des HERMENS (1975), une série d'outils a été retrouvée dans les alluvions avec traces de latérite de la terrasse située à 60-70 m au-dessus du niveau de l'Oubangui. Ces outils sont constitués d'un mauvais racloir, de deux pièces à coches, de trois éclats retouchés, d'un petit nucléus discoïde et d'éclats.

Sur le site de Bangui, les outils tels que la hache nucleus, les pics, les racloirs, la coche correspondent au *Paléolithique*, lequel se subdivise en *Sangoen* (70000 - 40000 av. JC), en *Lupembien* (40000 - 12000 av. JC) et en *Tshitolién* (12000 - 6000 av. JC). Selon une communication orale, un pic a été trouvé sur le site de Ndress lors du creusement d'une tombe dont la profondeur maximale est de 2 mètres. Or l'industrie à pics est très développée au *Sangoen*, et celle de quartz au *Tshitolién*. Le *Lupembien* correspond donc à un hiatus à Bangui.

En revanche, le *Néolithique*, période comprise entre 3000 et 2000 BP à Bangui, est caractérisé par un outillage poli et un usage généralisé de la céramique et de la meule. Cette période suppose un établissement humain dont, plus tard, le développement de la forêt, en relation avec les conditions bioclimatiques favorables, a masqué les traces. L'occupation humaine du site de Bangui n'est donc pas seulement récente, elle est aussi

plurimillénaire.

4.1.2. L'origine du peuplement

Le rôle des cours d'eau ou des points d'eau dans l'occupation humaine de l'espace terrestre n'est plus à démontrer. GUYOT (1974) a remarqué que les lointains ancêtres des hommes établissaient leurs tribus aux abords des points d'eau qui leur apportaient à la fois la possibilité de la pêche et une boisson assurée. Cette constatation se vérifie sur le site de Bangui où des vestiges préhistoriques ont été reconnus le long de l'Oubangui et dans la vallée de la Ngola, petit cours d'eau qui s'écoule d'est en ouest au nord de Bangui et se jette dans la Mpoko, un affluent de la rive droite de l'Oubangui (voir Figures 1, 2 et 80). Les grandes phases d'occupation humaine du site de Bangui paraissent tributaires du contexte sous-régional. Pour VILLIEN *et al.* (*op. cit.*), les données archéologiques indiquent que les Négro-Africains auraient pénétré dans la forêt par le bassin de la Sangha au SO de Bangui au 2^e millénaire de notre ère. Les données archéologiques et linguistiques s'accordent à préciser que ces gens parlaient une langue *Bantu* à la même période. Selon la classification des langues centrafricaines (VIDAL, 1982), la majorité des langues parlées dérivent de l'*Adamaoua-Oubanguien*, sous-famille *Niger-Congo*, qui sont aussi des langues *Bantu*. D'après ces sources variées, le site de Bangui aurait connu un peuplement pygmée originel, depuis l'apparition d'*Homo sapiens*, probablement jusqu'au dernier millénaire avant Jésus-Christ. Par la suite, eut lieu une immigration de producteurs alimentaires, céramistes d'abord, puis métallurgistes (on a trouvé à Bangui trois sites de l'Age du fer) qui auraient parlé à la fois les langues des ancêtres *Bantu* et les langues des ancêtres *Adamaoua-Oubangiens*. Enfin, une implantation définitive de populations à parler *Adamaoua-Oubangiens* dans la région de Bangui remonterait vraisemblablement au début du dernier millénaire.

A l'arrivée des premiers Européens, vers la fin du XIX^e siècle, le site de Bangui et ses environs étaient le point de rencontre de trois principaux groupes ethniques : *Ngbaka Ma'bo* (Bondjo et Bouzerou) dans les environs du confluent Mpoko-Oubangui, les *Ndris* (Banda venant de Ndélé) en amont de la Landjia à l'Est du site et les *Banziri* (SOUVILLE, 1989 ; VILLIEN, *op.cit.*). A côté de ces groupes, on rencontre les *Ali*, un peu plus à distance du fleuve et au NNO du site, au-dessus des vallées de la Mpoko et de la Pama. Mais des rivalités opposaient ces différentes ethnies, probablement motivées par le désir de dominer et d'étendre leur influence respective aux marges environnantes.

Nous retenons cependant que le site a évolué grâce aux colonisateurs qui l'ont retenu d'abord en raison des rapides, qui en faisaient une étape obligée de la navigation, pour la création d'un poste militaire, puis pour devenir le chef-lieu de la colonie. La tentative de regroupement de la population « *africaine* » et des villages plus proches autour du poste a été un tournant dans le développement de la ville.

4.2. Les débuts de la croissance (1889-1944)

A la fondation de Bangui en 1889, le poste n'avait pas une population notable, toutefois l'ethnie *Ngbaka* dominait dans le site. Progressivement des villages constitués d'ethnies différentes (Banda, Haoussa, Yakoma, etc.) (Figure 7) se sont créés après l'arrivée des Blancs, car ces populations se trouvaient dans les environs du site du fait de l'exode rural. Au-delà des rivalités, ces villages étaient très hostiles à l'installation des Blancs, de sorte que l'administration initiale ne pouvait pas maîtriser la population. A cela, s'ajoute une grande mortalité aussi bien chez les « Blancs » que chez les « Noirs », qui s'explique par le manque de médicaments pour lutter contre les maladies tropicales (paludisme, maladie du sommeil, dysenterie, fièvre jaune, peste bubonique...) qui sévissaient à l'état endémique (GODART et ZOUBE, 1987 ; SOUVILLE, *op. cit.*). La mort est devenue familière, et est même vécue avec indifférence. Ainsi, le chef de poste de Bangui, aussi officier d'état-civil, s'étonne-t-il en mars 1892 d'enregistrer deux actes de naissance alors que seuls des actes de décès avaient été relevés dans la population du poste depuis sa fondation. Toutefois, lorsque la Mission Saint-Paul a été fondée en 1894 par Mgr AUGOUARD, le premier village à s'en rapprocher est celui des *Ndris*, le 28 juin de la même année. En effet, c'est par le truchement de la Mission que les premières tentatives de regroupement de la population ont eu lieu. Ce n'est que plus tard, en 1905, qu'on constate des mouvements

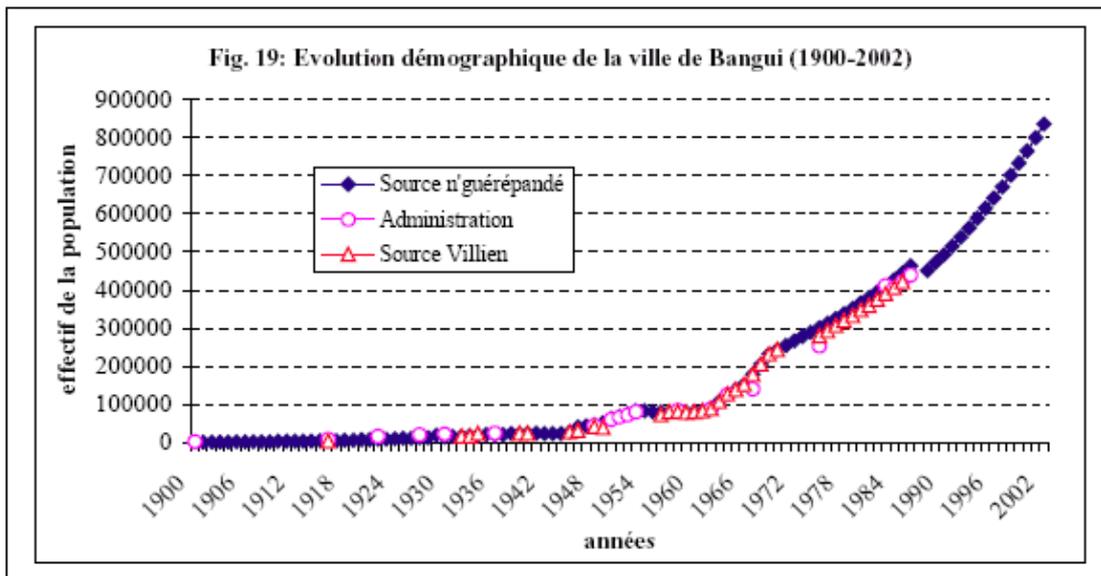
importants de la population qui ne se dirige plus vers la Mission Saint-Paul-des-Rapides, mais qui occupe peu à peu les abords du site. En 1936, l'Administration décide de créer de nouveaux villages sur des critères ethniques, séparés du centre-ville par une zone *non-aedificandi*, dans le but de contrôler l'affluence de la population due à l'exode rural, également en raison des bas-fonds insalubres.

Ainsi, l'évolution démographique (Figure 19) atteste d'une difficile croissance de 1889 à 1910, avant qu'elle devienne régulière. De 1889 à 1939, Bangui est passé du stade de campement militaire à celui de ville à part entière, soit d'environ 12 auxiliaires militaires à plus de 20000 habitants : avec 55 ha en 1939, La densité humaine était de 364 habitants.ha-1.

4.3. De 1945 à 1960

L'augmentation spectaculaire de la population (Figure 19) dans cette période est due à la continuité de l'exode rural. C'est en fait pour rentrer dans le système de l'économie monétaire que les ruraux déferlent à Bangui, gonflant ainsi l'effectif de la population, dont le taux de masculinité est resté élevé, comme le montrent les recensements de 1948 et 1949. Les coupures dans la courbe démographique vers 1990 s'expliquent par la diversité des sources de données.

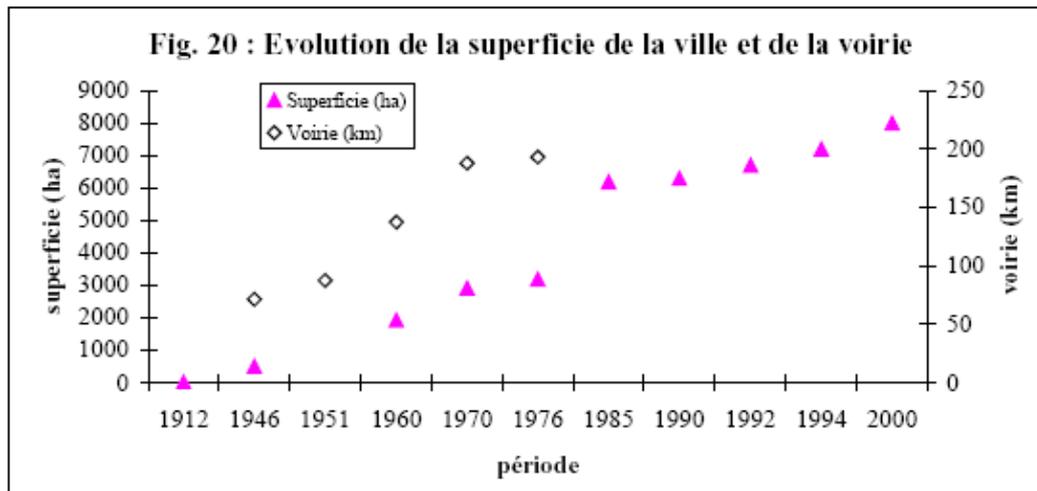
Figure 19 Evolution démographique de la ville de Bangui (1900-2002)



La réalisation des grands travaux dans la ville entre 1950 et 1953 a aussi alimenté l'exode rural ; ceci amène Bangui à 79 900 habitants en 1956 contre 62 900 habitants en 1950. De là, commence à naître le « creuset urbain » (VILLIEN, *op. cit.*), avec le brassage ethnique proscrit plus tôt par l'administration. Cette évolution démographique s'accompagne d'une conquête territoriale rapide aux dépens du péri-urbain rural : de 1945 à 1960, l'aire de la ville passe de 642 à 2256 ha (Figure 20). L'élargissement de Bangui nous semble plus rapide que l'augmentation de la population, vraisemblablement à cause de l'espace non-bâti qui sépare le centre-ville des quartiers autochtones. Ainsi nous notons que la densité de la population diminue de 1945 à 1960, passant de 4062 à 3555 habitants par km².

Dans le même temps, la longueur du réseau routier est passée de 71,5 km en 1946 à 137,5 km en 1960 (Figure 20). Cependant, ces chiffres ne traduisent pas une évolution positive du réseau routier lorsque le rapport longueur totale/surface bâtie est établi ; cela donne 111 m.ha-1 en 1946 mais 61 m.ha-1 seulement en 1960 (VILLIEN, *op. cit.*). Ces données montrent que l'extension continue de l'espace urbain n'est pas accompagnée de la construction des routes.

Figure 20 Evolution de la superficie de la ville et de la voirie



4.4. Les tendances spatio-démographiques depuis 1960

En 1960, SORET (1961) conteste le chiffre officiel de la population de la ville de Bangui qui est officiellement de 80 000 habitants, et l'estime à 90 000 habitants. Nous remarquons, en effet, depuis 1960 un problème à propos des chiffres de l'évolution démographique de Bangui (Tableau I) ; nous avons extrait les données brutes de VILLIEN (1987), puis nous les avons traitées et analysées en vue de comparer la proportion surestimée des deux types de chiffres. Certains chiffres sont dits *officiels*, d'autres sont ceux du *Ministère du Plan*. En comparant l'écart entre ces deux chiffres, nous remarquons une surestimation des chiffres officiels par rapport aux chiffres du *Plan* : elle est de 5 à 7 % selon les années et décroît entre 1975 et 1986. Nous notons la plus faible surestimation en 1984, avec seulement 5,14 %.

Tableau I : Effectifs comparés de la population de Bangui entre 1975 et 1986 (d'après VILLIEN, 1987, modifié)

Année	Chiffres du Ministère du plan	Chiffres officiels	Ecart entre les chiffres	% de surestimation
1975	279 800	300 723	20 923	6,96
1976	293 000	312 751	19 751	6,32
1977	306 000	325 261	19 261	5,92
1978	320 000	338 271	18 271	5,40
1979	333 000	351 801	18 801	5,34
1980	347 000	365 873	18 873	5,16
1981	360 000	380 508	20 508	5,39
1982	375 000	395 728	20 728	5,24
1983	390 000	411 557	21 557	5,24
1984	406 000	428 019	22 019	5,14
1985	422 000	445 140	23 140	5,19
1986	439 000	462 945	23 945	5,17

Quoi qu'il en soit, au cours des six années qui suivent l'indépendance du Centrafrique obtenue en 1960, la ville a connu un accroissement spectaculaire de sa population (Figure 19). L'accroissement annuel moyen pendant cette période a été de 8,77 % alors qu'il s'élève à 12,59 % durant la période 1967-1970. Ce taux peut s'expliquer par la recherche du travail, l'envie de rejoindre un parent devenu fonctionnaire, la concentration des services et infrastructures (écoles, lycées...), une politique agricole cotonnière rigide et par l'exode rural,

selon VILLIEN (*op. cit.*).

L'entassement des ruraux dans la ville entraîne une mise en valeur plus poussée des environs de Bangui et s'accompagne d'une conquête de terres agricoles au profit de l'habitat. Ce procédé favorise l'extension de la ville. Ainsi de 1960 à 1964, l'expansion spatiale est de 70 ha et la population augmente de 46 000 habitants ; cela nous donne une densité de 657 habitants.ha-1, plus élevée qu'en 1939. Le transfert de l'aéroport en 1967^{Note8}. a aussi fait gagner dans cette période 51 ha. En revanche pour la décennie 1960-1970, la population s'est accrue de 163 454 personnes, tandis que la décennie 1970-1980 n'a enregistré qu'un gain de 122 419 personnes.

En 1973, l'espace urbain devient beaucoup plus cohérent, hormis les vides laissés par l'ancien aéroport et les bas-fonds marécageux : Ngongonon, Kalakpata, Ngoukoulou, Kpéténé, Bruxelles, Guitangola, Pétévo...(Figure 6). De 1973 à 1986, la superficie de la ville de Bangui s'est agrandie d'environ 27 km², et la population a cru de 185 130 personnes, ce qui donne une densité de 6857 habitants au km², si nous admettons que cet espace est destiné à ce surplus de la population. En 1988, Bangui totalisait 6497 ha, donnant une densité de 66 habitants.ha-1 et une autre de 75 habitants.ha-1 en 1995 (GROUPE HUIT, 1991). Avec la perspective du « Grand Bangui », la superficie future de la ville oscillerait autour de 140 000 ha, soit environ 140 km² ; elle devrait faire baisser le nombre d'habitant par km² (Tableau II). Nous observons ainsi que les densités humaines ont augmenté de 1889 aux années 1970, puis se sont stabilisées jusqu'à nos jours, avec des valeurs oscillant entre 7000 et 8000 habitants.km-2 ; l'augmentation de la superficie ne paraît pas plus rapide par rapport à celle de la population. Cette tendance se justifie par le fait que dans les deux dernières décennies, nous observons une plus forte concentration des habitations par parcelle construite et donc du nombre d'habitants, d'où des densités humaines plus fortes dans les quartiers populaires (Figure 10). Parallèlement à cette dynamique, la longueur du linéaire de voirie est passée de 137,5 km en 1960 à 193,0 km en 1976 (LEMOTOMO, 1977 ; VILLIEN, *op. cit.*).

Tableau II : Evolution comparée de la superficie et de la population à Bangui

Année	Superficie (km ²)	Population	Densités (habitants.km-2)
1912	2,12	2600	1226,4
1945	6,42	26000	4050
1946	-	39800	-
1951	-	68285	-
1960	22,56	80000	3546,11
1970	29,13	243454	8358
1976	37	312751	8453
1985	55	445140	8094
1987	61,78	-	-
1990	63	486670	7725
1992	67	524360	7826
1994	72	564969	7847
2000	80	706659	8833
2003	140	790319	5048 (le Grand Bangui)

Le recensement général de la population (RGP) réalisé en 1988 a donné une population de 451 690 habitants pour la ville de Bangui, avec un taux d'accroissement naturel (TAN) de 3,8 %. Nous avons fait une comparaison de cette donnée avec les chiffres officiels et ceux du *Plan* en 1986 ; les résultats montrent pour les premiers un effectif supplémentaire de 11 255 personnes par rapport à 1988, soit un gain de 2,43 %, et pour les seconds, 12 690 habitants de plus pour la même période, soit un gain 2,80 % (Tableau I). Cet exemple traduit le caractère problématique de la fiabilité des données concernant la croissance de la population de la ville de Bangui. De même, selon certaines estimations, il est donné à l'agglomération de Bangui une population de 439 365 habitants en 1988 et 479 500 habitants en 1990 pour un taux d'accroissement de 4,5 % ; ensuite en 1995 la population serait de 591 700 habitants pour un accroissement de

4,3 % et de 724 700 habitants en 2000 pour un TAN de 4,1 %. Les chiffres officiels ou du *Plan* sont loin de cadrer avec ces estimations. Toutefois, les données qui nous ont permis de construire la figure 19, sur la période 1988-2000, ont été estimées sur la base d'un TAN de 3,8 %.

L'analyse couplée de la croissance démographique et de l'extension spatiale nous amène à poser la *question de l'urbanisation* et de *l'occupation du sol*. Nous étudierons donc les formes d'urbanisation afin d'y mettre en relief comment les problèmes d'eau sont pris en compte.

5. LES FORMES D'OCCUPATION DU SOL ET L'URBANISATION

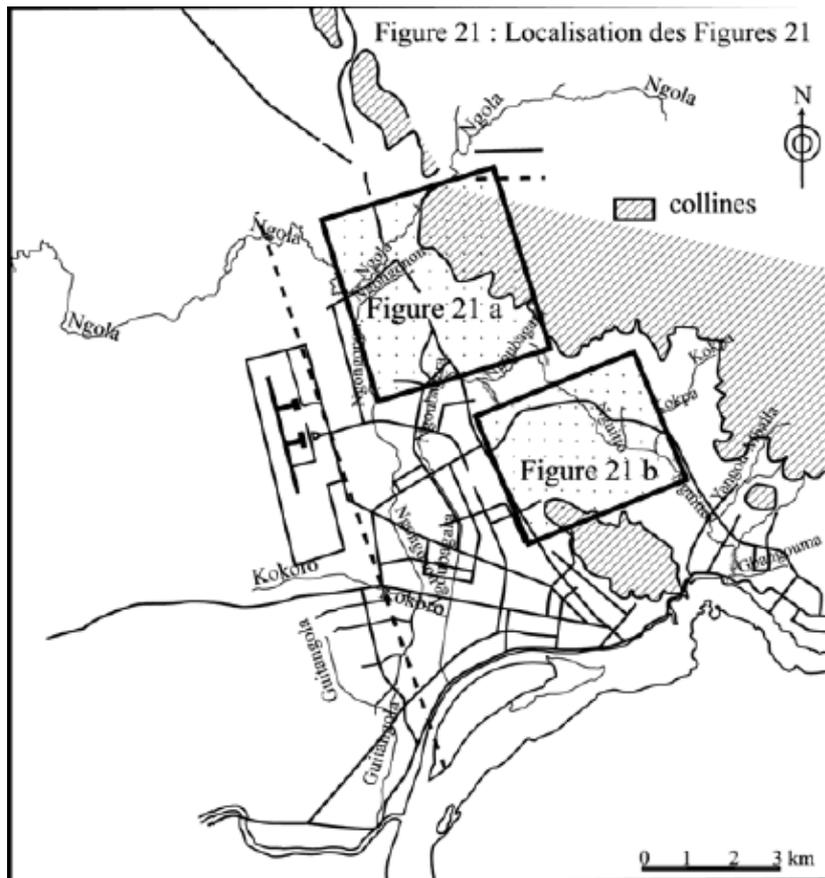
5.1. Caractéristiques générales

Bangui est une ville qui est née de la colonisation, avec le dualisme qui a déterminé les modes de vie entre la population autochtone et la population européenne. Ce schéma, lié certes à l'histoire, caractérise encore beaucoup de villes post-coloniales. Ainsi l'évolution de la ville de Bangui a été discontinuée dans l'espace et dans le temps, avec d'un côté les quartiers des Européens et des *Evolués* devenus fonctionnaires, administratifs, commerçants, et de l'autre ceux des Indigènes. Cette situation explique aujourd'hui la coexistence à Bangui de deux groupes de quartiers : les uns lotis et équipés, les autres dits *populaires*, densément peuplés et sans infrastructure.

A la création de Bangui, l'occupation de l'espace à partir du noyau urbain donne l'impression d'être plus ordonnée avec des rues et des constructions modernes (Figures 7 et 8). Les anciens villageois ou ruraux qui s'immiscent peu à peu dans la ville n'en occupent que la zone périphérique, y transposant le mode de vie au village et ne vivant que d'agriculture ou de petits emplois. De ce fait, en étudiant l'habitat et les habitations dans les quartiers populaires de Bangui, VILLIEN (1985) remarque une constante croissance spatiale de la ville au détriment des terres de culture, qui met en relief une compétition entre l'agriculture périurbaine et l'habitat sur toutes les lisières de la ville. En cela, la progression du front de l'habitat induit l'apparition d'une ceinture cultivée artificielle, destinée à disparaître rapidement au profit des constructions. Dans ce système, la densification progressive de l'habitat, de la périphérie vers le centre, comble les vides.

De toute façon, la concurrence pour l'occupation du sol oppose ville moderne, quartiers populaires, agriculture et carrières d'extraction de pierre sur les collines quartzitiques ou sur les témoins de plateaux latéritiques (Figures 21). Dans le cas de la ville de Bangui, les concepts d'*occupation du sol* et d'*urbanisation* sont à nuancer. L'occupation du sol prend en compte, à la fois, la ville moderne et les quartiers populaires, alors que la notion d'urbanisation ne peut être élargie à ces quartiers populaires du fait de leur caractère spontané et désordonné, et du manque d'infrastructures (voirie, canalisations, adduction en eau potable...), lesquelles ne répondent pas aux normes de la « Charte d'Athènes ». Déjà même, certains quartiers lotis de Bangui ne sont pas vraiment urbanisés. L'intérêt de tout ce développement est donc de cerner l'organisation de l'espace et de définir les types de quartiers.

Figures 21 Les types de quartiers selon les formes d'urbanisation à Bangui (Photos aériennes)



5.2. Description des types d'urbanisation

Les types d'urbanisation sous-entendent les grands modes d'organisation de l'espace banguissois. Pour étudier la structure urbaine de Bangui, N'GUEREPANDE (1985) a fait une description morphologique et fonctionnelle des quartiers de la ville, en distinguant :

- des quartiers résidentiels localisés dans le noyau urbain où vivent les catégories sociales privilégiées ;
- des quartiers d'habitat lotis et dotés de quelques équipements, où résident la plupart des citoyens de catégorie sociale moyenne ;
- des quartiers populaires, enfin, qui concentrent 90 % des habitants. Selon MABOU (*op. cit.*), le paysage de ces quartiers varie en fonction de la densité de l'habitat et des voies de communication.

Les figures 21 (a et b) nous montrent bien les différenciations dans cette typologie.

En revanche VILLIEN (*op. cit.*) estime qu'à Bangui l'espace urbain est caractérisé par la séparation du noyau et des quartiers périphériques, ce qui crée un hiatus dans le tissu urbain. Ces quartiers représentent l'essentiel de la ville tant en surface (89 %) qu'en population. Les quartiers populaires couvrent 55 km², en tenant compte de ceux qui sont lotis, alors que les quartiers de type européen se réduisent à une surface de 6,5 km². Les deux groupes de quartiers sont ainsi définis :

- les *quartiers du noyau*, bloqués dans leur expansion par la présence des quartiers périphériques, ne progressent plus et tendent à absorber les vides qui ponctuent la trame de leur habitat ;
- les *seconds*, ouverts sur l'espace péri-urbain, sont en constante évolution. Ils constituent les organes de la conquête spatiale de la ville au détriment de la zone rurale (VILLIEN, 1987). Ce dynamisme est en partie responsable du manque d'homogénéité du tissu urbain. En général dans les quartiers résidentiels, nous distinguons des voies revêtues ou non et des canalisations recouvertes ou à ciel ouvert. Dans les quartiers lotis, les voies ne sont pas revêtues et s'accompagnent rarement de

caniveaux ou de fossés de drainage ; le passage des niveleuses permet à chaque fois de créer des rigoles sur les abords des voies, mais ces dernières ne tardent pas à se combler. En tout cas, que ce soit dans les rigoles construites, dans les caniveaux ou dans les fossés, la vitesse de sédimentation dans ce réseau de collecteurs est rapide. *Ceci nous paraît intéressant à étudier en vue de prévoir la durée des ouvrages dans un milieu où l'importance des précipitations et de leur énergie cinétique entraîne l'érosion significative du sol urbain qui n'est pas revêtu.*

Fig. 21 a & b : Types de quartiers de Bangui



Fig. 21 a & b : Types de quartiers de Bangui



5.3. Le coefficient d'occupation du sol

Dans le cas de la ville de Bangui, on ne parle pas de la surface cumulée des planchers par rapport à la surface construite car la plupart des maisons sont construites en *rez-de-chaussée*. Toutefois, il est utile d'apprécier la densité de l'habitat selon les quartiers. Pour cela, nous avons délimité sur une photo aérienne de 1981 (échelle = 1/15000e) un espace de 1 cm de côté, équivalent à 22 500 m², soit 2,25 ha, pour le comptage des maisons, en distinguant trois principaux types de quartiers : résidentiels, lotis et non-lotis ou populaires. Le calcul nous a donné les résultats suivants :

- 6 à 9 maisons par unité de 2,25 ha dans les quartiers résidentiels (cf. Cité Adrienne) ;
- 18 à 22 maisons dans les quartiers lotis (cf. Sinistrés) ;
- 31 à 44 maisons dans les quartiers populaires ou non-lotis (cf. Gobongo et Lipia-Nguinda).

Ainsi, nous relevons une plus forte densité de maisons dans les quartiers périphériques que dans les quartiers résidentiels. Le resserrement des habitations par quartier ou par parcelle est croissant dans le temps, même dans les quartiers lotis, à cause de l'expansion démographique. Selon PIERMAY (*op. cit.*), l'occupation anarchique du sol ou *squatting* s'explique par la pression foncière. Les maisons se concentrent sur une parcelle, les eaux pluviales ne trouvent pas d'espace d'infiltration ; le bâti réduit la rugosité face à l'écoulement des eaux pluviales, ce qui force les eaux pluviales à ruisseler. Or la présence d'espaces verts dans les parcelles [Note9](#) devrait réduire le ruissellement, favoriser l'infiltration d'une partie des eaux

pluviales et différer les pics de crues urbaines rendus parfois catastrophiques par le ralentissement du ruissellement. Etant donné que la forte occupation du sol urbain entraîne son imperméabilisation artificielle (mise en culture, tassement par piétinement, travaux de génie civil...), les eaux pluviales s'infiltrent faiblement et le ruissellement s'organise selon les linéaires naturels ou artificiels, ou selon des raccourcis en fonction de la ligne de plus grande pente.

La fréquence des inondations dans les centres urbains, aggravée par l'absence de curage des exutoires (PIERMAY, *op. cit.*), montre l'impact des modes d'occupation du sol sur l'écoulement.

5.4. Influence de l'urbanisation sur l'écoulement

En conditions naturelles, l'eau s'écoule selon les linéaires constitués par le réseau hydrographique. Cependant, l'urbanisation qui détermine l'occupation du sol formalise la construction des réseaux hydrauliques anthropiques, et modifie les limites des bassins-versants (Figure 22). Les lignes de crête topographiques sont outrepassées par les formes d'aménagement (voirie, caniveaux...) qui étendent le réseau de ruissellement, avec une incidence sur l'écoulement. A Bangui, par exemple, le bassin-versant élémentaire de la Ngoubagara (Figure 22) a vu ses contours significativement modifiés par l'urbanisation, de même que les caractéristiques de son chenal.

En théorie, l'urbanisation augmente l'écoulement annuel qui est lié à l'accroissement des précipitations au-dessus des agglomérations urbaines (CANTAT, 1989) et à l'imperméabilisation de vastes surfaces ; celle-ci réduit les infiltrations et la recharge des nappes qui ne peuvent plus soutenir les écoulements de base. *Aucune démonstration, certes, n'a été faite pour la ville de Bangui, mais des recherches en milieu urbain l'ont prouvé ailleurs.* D'autres effets de l'urbanisation sont un raccourcissement du temps de réponse entre la précipitation et l'écoulement dans le cours d'eau, une élévation du pic de crue et un raccourcissement de la durée de la phase d'écoulement.

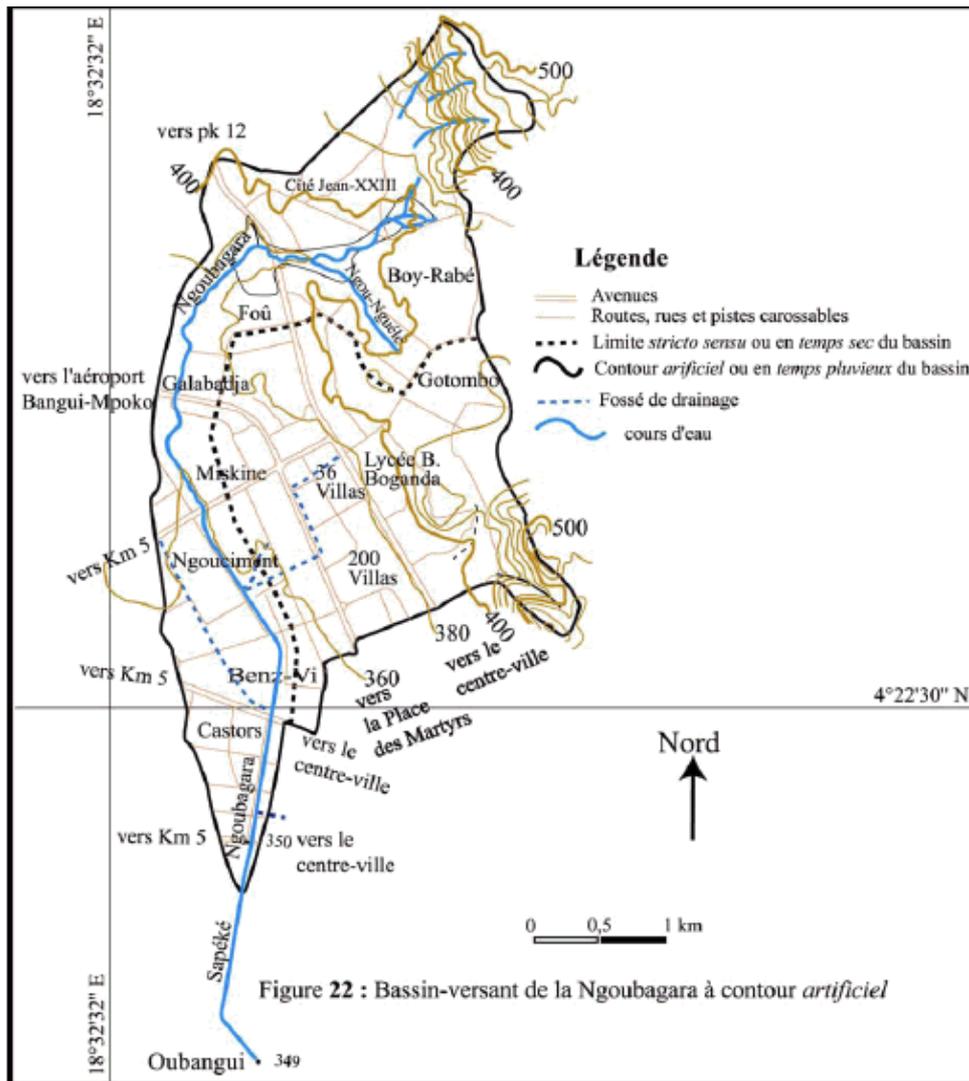
5.5. Coefficient d'occupation des surfaces drainantes

Nous entendons par *surfaces drainantes*, les versants, les interfluves ou les surfaces dénudées urbaines qui participent au ruissellement et supportent l'évacuation des eaux pluviales.

Les surfaces drainantes sont constituées par les types de quartiers (résidentiels, lotis ou populaires) avec leurs caractéristiques spécifiques vis-à-vis de l'écoulement des eaux. Elles sont en relation avec l'inclinaison du terrain et la topographie. Les principales formes topographiques qui caractérisent les surfaces drainantes sont essentiellement le piémont des collines ou les témoins des plateaux, et la plaine mal drainée du site de Bangui.

Sur ces terrains, les trois-quarts des habitations sont du type *squatting*, sans structure véritable. Les plateaux cuirassés et latéritisés ainsi que le piémont des collines quartzitiques correspondent aux versants qui transfèrent les eaux et les sédiments dans la plaine où quelques cours d'eau collecteurs les évacuent vers l'Oubangui. Mais souvent les quartiers sont riverains de la Ngoubagara, de la Ngongonon ou de la Kokoro, les rivières qui drainent cette plaine et s'exposent aux inondations du fait de l'importance du ruissellement. La question posée par le ruissellement nécessite en tout cas de voir la relation qui existe entre l'urbanisation et les surfaces drainantes.

Figures 22 Bassin-versant de la Ngoubagara à contour artificiel (d'après IGN, 1988, modifiée)



5.6. Corrélation entre types d'urbanisation et classification des surfaces drainantes

En fonction de l'urbanisation, nous distinguons trois types d'écoulement, selon la typologie retenue et selon les spécificités des surfaces drainantes :

- celui des quartiers résidentiels où les fossés et les caniveaux bordant les routes orientent les eaux de ruissellement ;
- le type d'écoulement des quartiers lotis où il n'existe que des rigoles longeant les voies ; l'écoulement ne se fait que dans les rigoles lors des pluies ou averses de faible intensité, et à la fois sur les voies et dans les rigoles lors de forts abats pluviométriques ;
- enfin celui des quartiers populaires où l'écoulement se fait sur les chemins, dans les talwegs naturels que dessinent les eaux en relation avec l'occupation du sol (ils traversent le plus souvent les parcelles), ou dans les petits canaux sommairement creusés pour orienter le drainage.

Cette typologie de l'écoulement d'après la structure des quartiers et selon les principales topographies habitées (piémont ou plateaux et plaine) nous permet de définir deux modèles de surfaces drainantes, selon leur potentialité à fournir un volume relativement important de ruissellement :

1. Les quartiers populaires, en raison du fort resserrement des habitations, sont virtuellement l'espace qui acheminerait le plus d'eau à l'Oubangui. L'explication est que ces quartiers sont développés dans

la plaine qui occupe les deux tiers de la ville, avec une topographie locale favorable à la stagnation de l'eau, étant donnée la faiblesse de la pente générale dans la plaine marécageuse. De plus le resserrement des habitations qui laisse très peu d'espace libre (Figures 21), et les toitures en tôles ondulées d'aluminium qui se comportent comme des surfaces contributives imperméables face aux eaux de pluies, créent une augmentation du volume des eaux de ruissellement. Le déferlement de ces eaux à l'échelle urbaine crée souvent des inondations ;

2. Les quartiers installés sur les terrains en pente des piémonts et des bordures de plateaux s'étendent sur 20 % de la superficie de la ville. Ces quartiers sont en majorité lotis et ne souffrent pratiquement pas de problèmes d'eau ; leur position en versant fait que les eaux issues des précipitations dévalent toutes en direction de la plaine.

Dans cette classification, nous n'avons pas tenu compte des collines de *Gbazabangui* dans les processus de transfert, bien qu'elles y participent du fait de leur colonisation par l'habitat, notamment du côté du quartier Boy-Rabé et de son versant NO (Figures 21). Ces collines, qui couvrent une étendue de 6 km² (VILLIEN, *op. cit.*) étaient autrefois couvertes de la forêt préservée, en passant par la forêt plantée jusqu'aux marges à dégradation anthropique. Aujourd'hui, les couloirs d'évacuation de pierres sont les organes connectant les sommets ou versants aux espaces habités en contrebas.

6. HYPOTHESES SUR LA DEGRADATION DU SITE

S'il fallait comparer le poste de Bangui en 1889 à la ville de Bangui en 2000, la ville a nettement évolué. La présence de l'*homme* comme *facteur d'évolution morphologique* explique *la disparition de la forêt au profit de l'habitat*. Nous constatons que ce fait n'est pas sans conséquence sur la géomorphologie et l'hydrologie du site, car les aménagements ou les formes d'occupation du sol y modifient les conditions d'écoulement, par exemple par des carrières d'extraction ou par l'imperméabilisation du sol qui l'expose à l'érosion et à la faible infiltration des eaux de pluie. Le réseau routier, les caniveaux et les fossés de drainage altèrent la structure des bassins-versants élémentaires (Ngoubagara, Ngola, Ngongonon, Nguito partiellement, Kokoro et Guitangola). Ces hydrosystèmes n'ont pas les mêmes contours toute l'année (selon les saisons), leur délimitation étant fonction des temps secs et pluvieux (Figure 22). En saison sèche, nous estimons que les limites des bassins-versants urbains ne se résument qu'aux linéaires d'écoulement naturels et aux réseaux d'égouts ou de canalisations, alors qu'en temps pluvieux les réseaux hydrauliques anthropiques entrent en communication avec les chenaux naturels, augmentant du coup leur étendue selon la pente générale du site.

Ainsi donc, la définition et l'interprétation du substrat du site de Bangui, qui sert de support aux interactions de l'eau, soit en surface, soit en profondeur, nous est utile pour la compréhension des mécanismes de circulation de l'eau dans l'environnement géologique et géomorphologique de la ville.

Cette interrelation Homme-Espace du point de vue de la croissance urbaine permet d'apprécier la façon dont les réseaux naturels se sont progressivement substitués aux réseaux anthropiques sur le plan hydrologique. Car l'occupation du sol, dans sa diversité, modifie les limites des bassins-versants et surtout les artificialise par le développement de la voirie, des canalisations qui orientent l'écoulement, notamment les ruissellements. Ce chapitre pose en fait l'hypothèse de la dégradation que nous allons maintenant étudier.

Chapitre II : CARACTERISATION MORPHOSTRUCTURALE ET HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE BANGUI

« La reconnaissance géologique... ne peut fournir qu'une représentation encore bien grossière et une compréhension bien superficielle de phénomènes infiniment complexes. » **J.-L. MESTRAUD** (1982, voir **références bibliographiques**)

L'étude des caractères distinctifs morphostructuraux et hydrogéologiques du site de la ville de Bangui montre l'intérêt d'appréhender le cadre avec lequel l'eau interagit. Car le mouvement de l'eau en surface ou dans le sous-sol est fonction du substratum et de ses caractéristiques propres (perméabilité, porosité...). De ce fait, la détermination des différentes formations géologiques, de leur morphologie et de leur comportement vis-à-vis de l'eau paraît importante dans ce contexte, lorsqu'il s'agit d'*apprécier la dynamique globale de l'eau dans le secteur de Bangui*.

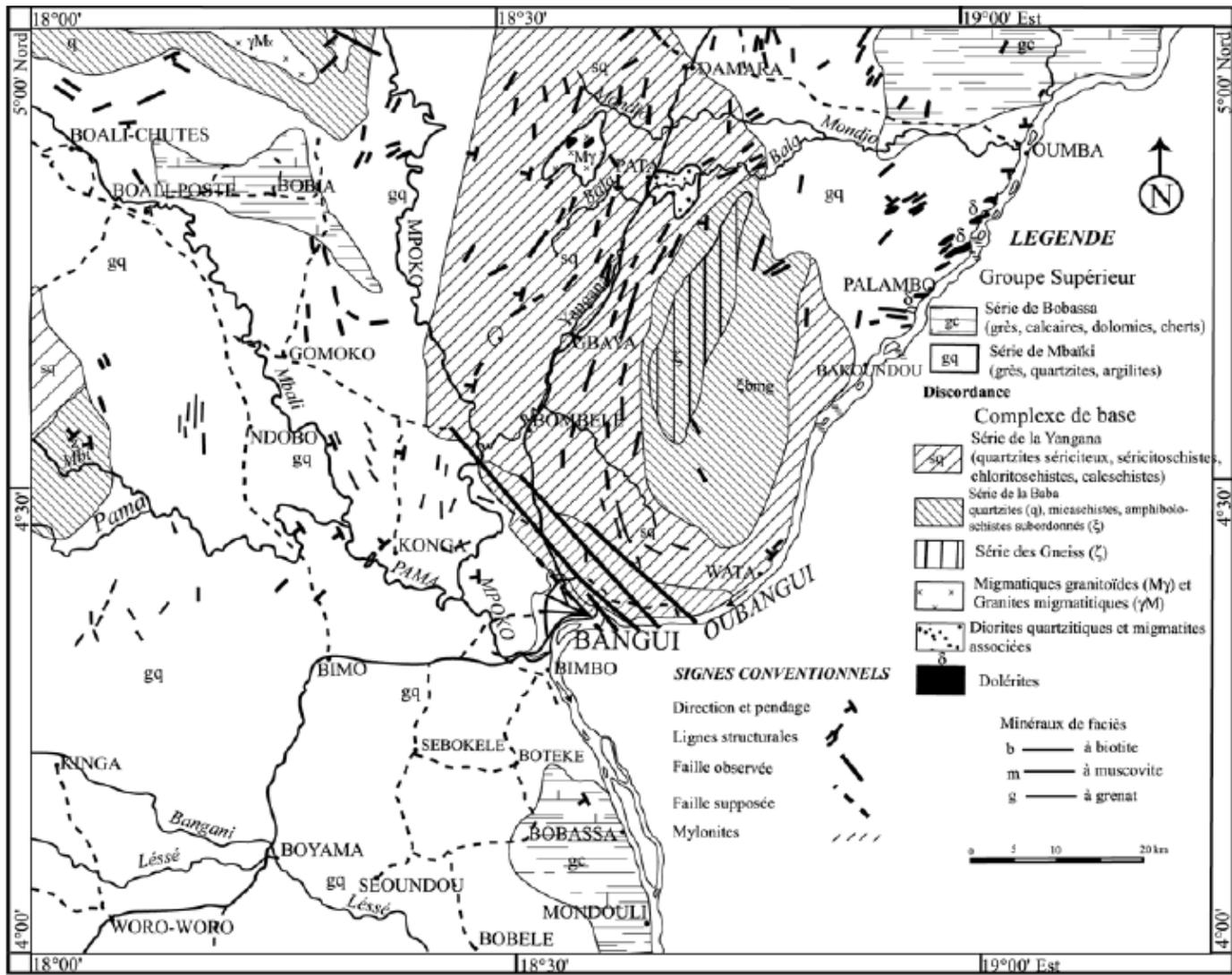
Nous fondons ce travail sur l'analyse, la synthèse et l'interprétation des données que nous avons obtenues dans de nombreux rapports portant sur les formations géologiques (WACRENIER, 1960 ; WACRENIER et WOLFF, 1962, 1964 ; WOLFF, 1962 a et b ; PALUD, 1968 ; BRUNELLE, 1972 a et b, 1973), et sur les travaux relatifs aux forages d'eau souterraine à Bangui (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a et b ; CORNACCHIA *et al.*, 1985 ; JICA, 1999 a et b) et en République centrafricaine (CORNACCHIA et GIORGI, 1986 ; CORNACCHIA *et al.*, 1989 ; PLESINGER, 1990). Nous reprenons la définition de l'âge des formations (Série de Bobassa, Série de (Bangui)-Mbaïki-Boali,...) d'ALVAREZ (2000) ; elle est couplée avec des relevés de terrain, afin de noter les relations **formes-géologie**. Cette méthode servira à préciser l'évolution géomorphologique du site de Bangui (NGUIMALET, 1999 a), et ses conséquences sur les aménagements liés à l'eau. Car la circulation de l'eau, qui hypothèque la gestion de la ville, est rendue difficile par le modelé *pseudo-karstique* des bas-fonds marécageux et bien sûr par les pentes raides des collines qui ont été façonnés dans une période *subactuelle* dont le site hérite ces dernières conditionnent les transferts rapides de l'eau en aval.

1. LES DONNEES GEOLOGIQUES

Les données géologiques portant sur Bangui nous sont fournies soit par des études générales (BRGM, 1963), soit par des études ponctuelles (POUIT, 1955 ; PALUD, *op. cit.* ; BRUNELLE, *op. cit.* ; CORNACCHIA et GIORGI, *op. cit.*, 1986 ; CORNACCHIA *et al.*, 1983, 1989). Les rares travaux de synthèse ont été réalisés par WACRENIER (*op. cit.*) et ALVAREZ (2000).

Si nous considérons le site géologique à moyenne échelle (WACRENIER et WOLFF, 1964) (Figure 23), le soubassement de la ville n'est constitué que des formations du socle : les séries de la Yangana et de la Pama, la série de Bangui-Mbaïki, la série de Bobassa et la série de Fatima. Nous ferons l'analyse et l'interprétation des données en présentant les unités stratigraphiques (lithologie), leur âge et leur mise en place par la tectonique.

Figure 23 Carte géologique de la région de Bangui (d'après WACRENIER et WOLFF, 1964, modifiée)



1.1. Les unités stratigraphiques

Le site de Bangui se compose des formations de couverture et des formations du socle, comme dans tout le Centrafrique d'ailleurs. La couverture comprend des grès et conglomérats, des schistes argileux et du sable, alors que le socle est formé de grès quartzitiques, de schiste quartzeux et de calcaire ; la Série de Bobassa est incluse dans la Série de Fatima (Tableau III) interprétée comme un équivalent latéral (ALVAREZ, 1996). Les formations de couverture comportent des séries sédimentaires tertiaires et quaternaires.

Tableau III : Données sur la succession stratigraphique de Bangui (JICA, 1999 b ; ALVAREZ, 2000, modifié)

	Age géologique	Lithologie
Couverture de dépôts meubles	a. Système quaternaire	Limon sableux, sables et graviers meubles et consolidés
	b. Système tertiaire	Schiste argileux, Grès et Conglomérat
Socle		

c. Groupe précambrien supérieur	Série de Fatima	Calcaire, schiste calcaire
	Série de Bangui	Grès quartzite
	Série de la Yangana	Schiste quartzueux

1.1.1. Les Séries de la Yangana et de la Pama

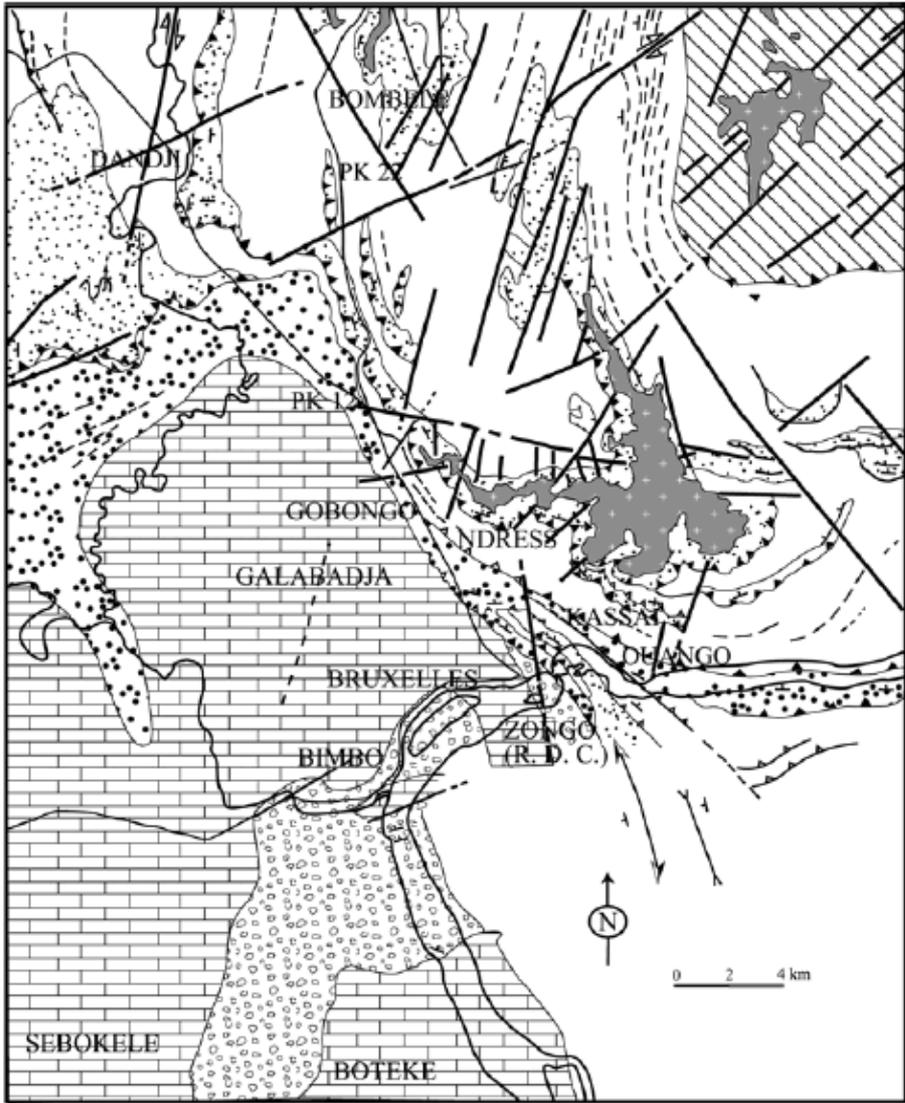
Elles sont représentées dans le site de la ville de Bangui (avec le Grand Bangui) par les **Séries de la Yangana**, du nom d'un cours d'eau situé au-delà du point kilométrique 22 (4°32'N-18°32'E) vers le nord ; ce dernier se jette en rive gauche dans la Mpoko (4°33'20''N-18°28'30''E), rivière drainant tout l'Ouest du site, et de **la Pama**, du nom d'un autre affluent de la Mpoko en rive droite (voir Figure 75).

Cette série se compose de quartzites sériciteux, de séricitoschistes, de chloritoschistes et de calcschistes (WACRENIER et WOLFF, 1964), tandis que CORNACCHIA et GIORGI (1986) déterminent des schistes et des quartzites. Elle est métamorphisée et fortement plissée (MESTRAUD, 1980), et constituée par des grès schisteux à chlorite et séricite, à intercalations de quartzite micacé. A Bombélé (4°34'20''N-18°31'E), localité située à 28 km au nord de Bangui, des chloritoschistes intercalés de calcschistes, subhorizontaux, sont reconnus dans les hauts-fonds (rapides) de la Yangana. Plus au nord, à environ 40 km (vers 4°42'N-18°35'E), sur la Gbango, un affluent de la rive gauche de la Yangana, sont aussi relevés des chloritoschistes, avec un pendage de 50 à 60° vers le NO (BRUNELLE b, *op. cit.*). Ces mêmes directions ont été aussi remarquées par WACRENIER (*op. cit.*).

1.1.2. La Série de Bangui-Mbaïki

La Série de **Mbaïki** ou de **Bangui-Mbaïki** est constituée de grès, de quartzite et d'argilite (Figure 23). Elle présente à proximité de Bangui la direction NS à NO-SSE avec un pendage de 45 à 65° vers le NE (BRUNELLE, 1972 b). Y sont compris des conglomérats silicifiés et des pélites (Figure 24) selon CORNACCHIA et GIORGI (1986). Pour BESSOLES et TROMPETTE (1980), la Série de Bangui-Mbaïki correspond à une puissante assise détritique. A la base, se trouve une assise schisteuse et pélitique avec intercalations micro-conglomératiques (200 m environ) et, au sommet, des quartzites (Quartzites de Bangui) polyphasés (100 m environ). Les Quartzites de Bangui renferment des lits argileux et des amandes dolomitiques. POIDEVIN (1985) y voit un passage latéral des faciès détritiques à des faciès dominants pélitiques, vers l'Ouest.

Figure 24 Structure de la ville de Bangui (selon CORNACCHIA et GIORGI, 1986, modifiée)



- | | | | |
|--|--|--|---|
| | Surface de pénéplanation indurée | | Schistes et quartzites (Série de la Yangana) |
| | Conglomérat noir de Bimbo et pélites noires subordonnées | | Amphibolites et micaschistes (Série de la Yaji) |
| | Quartzites feldspathiques | | Chevauchement |
| | Quartzites | | Failles et fractures |
| | Calcaires-dolomies-calcschistes (Série de Fatima) | | Axes synclinal et anticlinal |

Par ailleurs, il semblerait que, sur le contact Mbaïki-Yangana, la Série de la Yangana ait été reprise dans les plissements qui ont affecté la série de Mbaïki, plus récente (BRUNELLE, 1972 b). Le contact entre ces deux séries n'est pas très franc. En revanche, dans les collines quartzitiques au NO de Bangui, les directions des bancs et de la schistosité sont le plus souvent difficiles à relever, particulièrement dans les quartzites fins et massifs, à cause de nombreuses diaclases, simulant des bancs stratigraphiques. Seuls les grès argileux ou *argilites* montrent des structures précises. Dans l'ensemble, deux systèmes s'individualisent en fonction des directions de diaclases et pendages : l'un orienté ESE, l'autre vers le NE.

1.1.3. La Série de Fatima

La découverte de calcaires dans le secteur de Fatima remonte à 1957 lorsque BOUJUT (un prospecteur privé), en recherchant les gîtes primaires de diamant (la kimberlite) dans deux sondages situés au Sud de l'église catholique de Fatima, rencontra des roches carbonatées sous une épaisseur de stérile : *latérite, argile latéritique, argile* à des profondeurs de 25 et 37 mètres. L'analyse des carottes a montré une teneur de 34 % en carbonate de calcium (*CaO*). Ce n'est que plus tard, entre 1968 et 1973, que des sondages systématiques furent entrepris dans le but de reconnaître l'extension de cet indice (PALUD, 1968 ; BRUNELLE, 1972 a et b). A différentes profondeurs (de 10 à 45 m), 8 sondages ont atteint la roche en place entre 27 et 42,5 m de profondeur, avec des cotes absolues qui varient de 340 à 355 m. Certains ont mis en relief un calcaire sublithographique gris se débitant selon les joints schisteux ; d'autres situés au Nord du secteur ont permis de relever une alternance fine (1 mm à quelques cm) de calcaire et d'une roche siliceuse noire (PALUD, 1968). Les pendages sont marqués par des bancs, lits et/ou joints schisteux et oscillent entre quelques degrés et plus de 45°. Le carottage a atteint 18 m dans la roche en place. La puissance des couches calcaires, estimée par PALUD, est de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres.

La structure du secteur de Fatima proposée par cet auteur, de haut en bas, se compose des éléments suivants :

- Une cuirasse latéritique et/ou latérite ;
- Des graviers et argiles latéritiques (provenant sans doute du démantèlement des cuirasses) ;
- Des calcaires mis en évidence par les sondages 1, 4, 5, 6, 7, 8, et 12 ; la succession des strates observées par carottage (BRUNELLE, 1972 b), de haut en bas, est la suivante (Figure 25) : calcaire (rosé), calcaire pélitique avec turbidites (calcaire siliceux), et dolomie. Le contact entre ces couches calcaires semble progressif.

La Série de Fatima serait constituée de faciès lagunaires (ALVAREZ, 2000). D'une puissance supérieure à 300 m (POIDEVIN, 1985), elle est essentiellement représentée par des calcaires gris à niveaux pluricentimétriques dolomitiques et noirs (présence probable de matière organique). Les lits dolomitiques, parfois exfoliés, indiquent d'anciens lits d'évaporite épigénisée. L'existence des fentes de dessiccation obstruées par de la calcite limpide marque des périodes d'émersion temporaire ; de petits amas de barytine semblent en relation avec l'existence de *microkarsts* synsédimentaires.

Situés à près de 45 m de la surface topographique et allongés NNO-SSE, ces dépôts calcaires sont larges de 400 m et longs de 1 300 m (soit une superficie d'environ 50 ha). Ils sont coupés au nord par des niveaux siliceux, tandis qu'à l'Est et à l'Ouest, des sondages profonds de 45 m n'ont pas atteint la roche en place (Figure 25). Dans le sud enfin, l'extension de cette série au-delà du forage 14 n'a pu être reconnue à cause d'un recouvrement sablonneux qui pose des problèmes techniques.

La surface supérieure cuirassée (affleurant parfois ou sous-jacente) est en étroite corrélation avec la surface topographique : le sommet correspond au toit calcaire (PALUD, 1968). Le flanc occidental [Note10](#), de ce plateau est plus escarpé que le flanc oriental [Note11](#), à pentes douces : la pente est supérieure à 30 % entre les sondages 1 et 2 (Figure 25), et de 3 % entre les sondages 7 et 8. Son équivalent latéral, la Série de Bobassa, présente quelques spécificités.

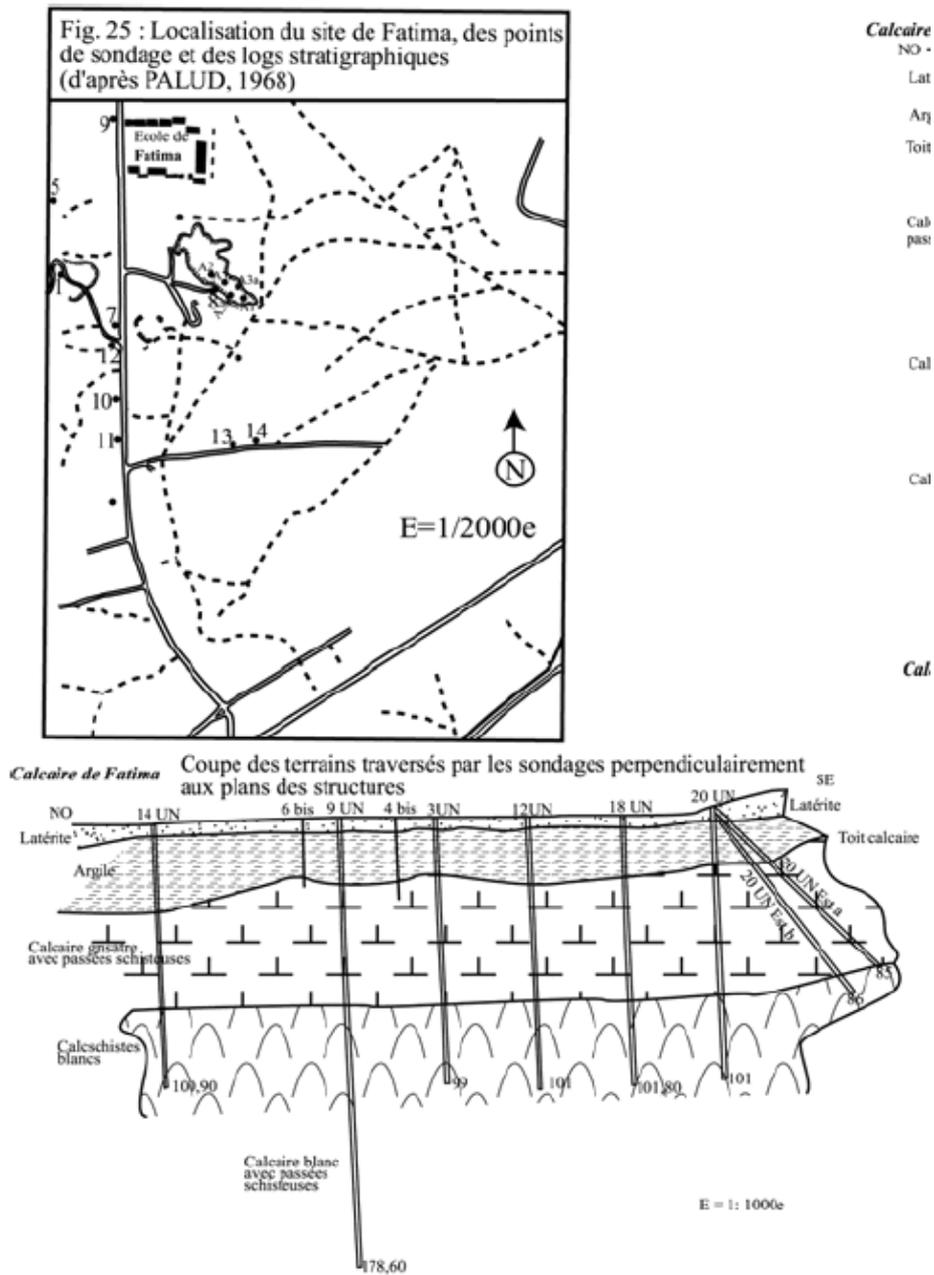
1.1.4. La Série de Bobassa

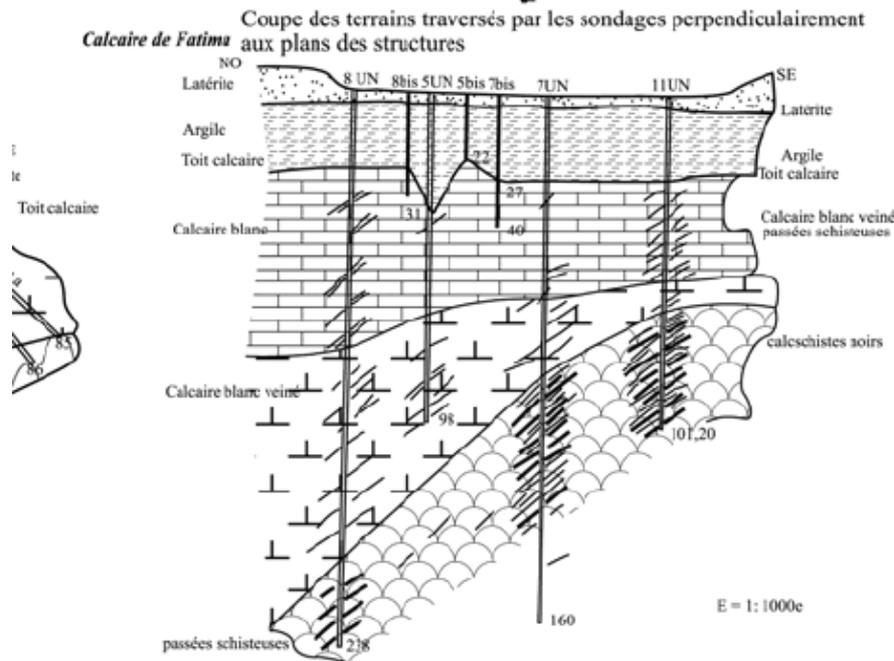
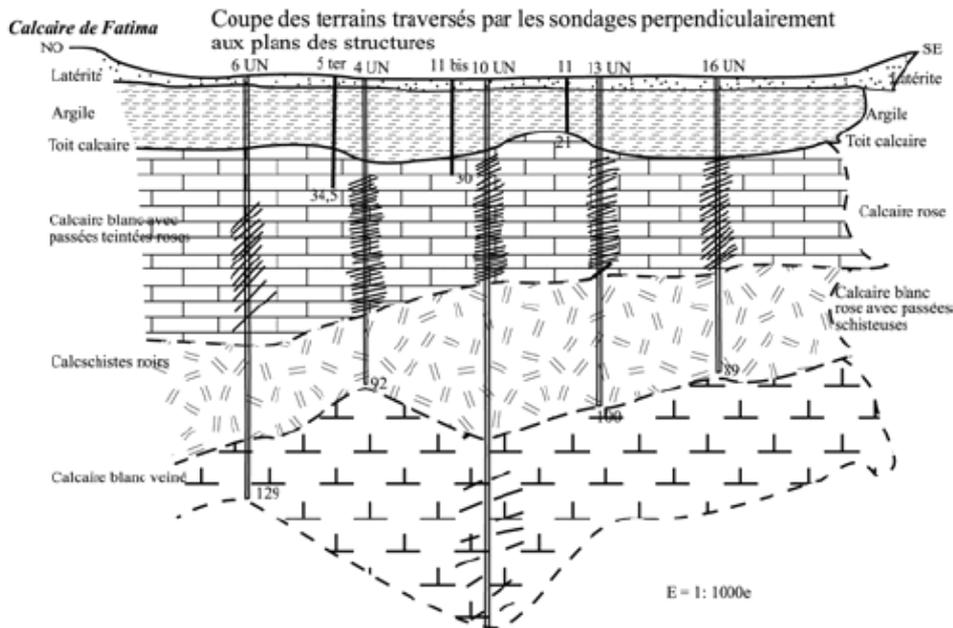
La Série dite **de Bobassa** [Note12](#), est composée de *calcaires et dolomies associés à des cherts et à des grès silicifiés* (WACRENIER, 1960).

Ce calcaire apparaît rosé, un peu gréseux et serait subhorizontal. Il a été reconnu dans le lit de l'Oubangui, en 1954, par WACRENIER. Par la suite d'autres affleurements n'ont pu être trouvés en dehors du lit en raison de l'épaisseur du recouvrement (POUIT, 1955) qui serait de 4 m. Quelques années plus tard (CHEVALIER,

1962, 1963), une mission BRGM trouvait à Bobassa de petits affleurements dans le lit de la Sélélé, affluent de la Lésé, au SO de Bangui. Ceci a nécessité une campagne de prospection électrique dans tout le bassin de la Lésé en vue d'une exploitation, mais la proximité du gisement (Figure 23) et sa situation en dessous du talweg de l'Oubangui (cote 292) ou du niveau hydrostatique ne facilite pas la tâche sauf peut-être en saison sèche sur 3 ou 4 mois, à moins que l'exhaure soit envisagée. Le niveau de l'Oubangui est en effet en moyenne de 292 m à l'étiage en mars et atteint 300 m aux eaux hautes d'octobre-novembre (CHEVALIER, 1962).

Figure 25 Localisation du site de Fatima, des points de sondage et des logs (d'après PALUD, 1968, modifiée)





ALVAREZ (2000) estime que les calcaires beiges de Bobassa constituent **une puissante assise carbonatée**, accessible en période d'été à Bobassa. D'autre part, un affleurement d'une trentaine de mètres submergé se trouve en amont de l'île aux Sangliers dans le bras oriental de l'Oubangui, au niveau de la balise située à 51 km de Bangui. Cette formation épaisse d'au moins 500 m se serait accumulée en zone infratidale sur une rampe peu profonde. Les calcaires sont caractérisés par une très nette rythmicité centimétrique à décimétrique, d'où le nom de « **rythmites** de Bobassa » (les rythmites sont des dépôts massifs). Des analyses chimiques ont montré une nette richesse en quartz des calcaires de Fatima alors qu'une phase chloriteuse caractérise les calcaires de Bobassa. Ainsi, *les calcaires de Bobassa et les calcaires de Fatima ne sont pas dolomitiques de manière significative.*

1.2. L'âge des formations et les éléments d'explication de la structuration géologique

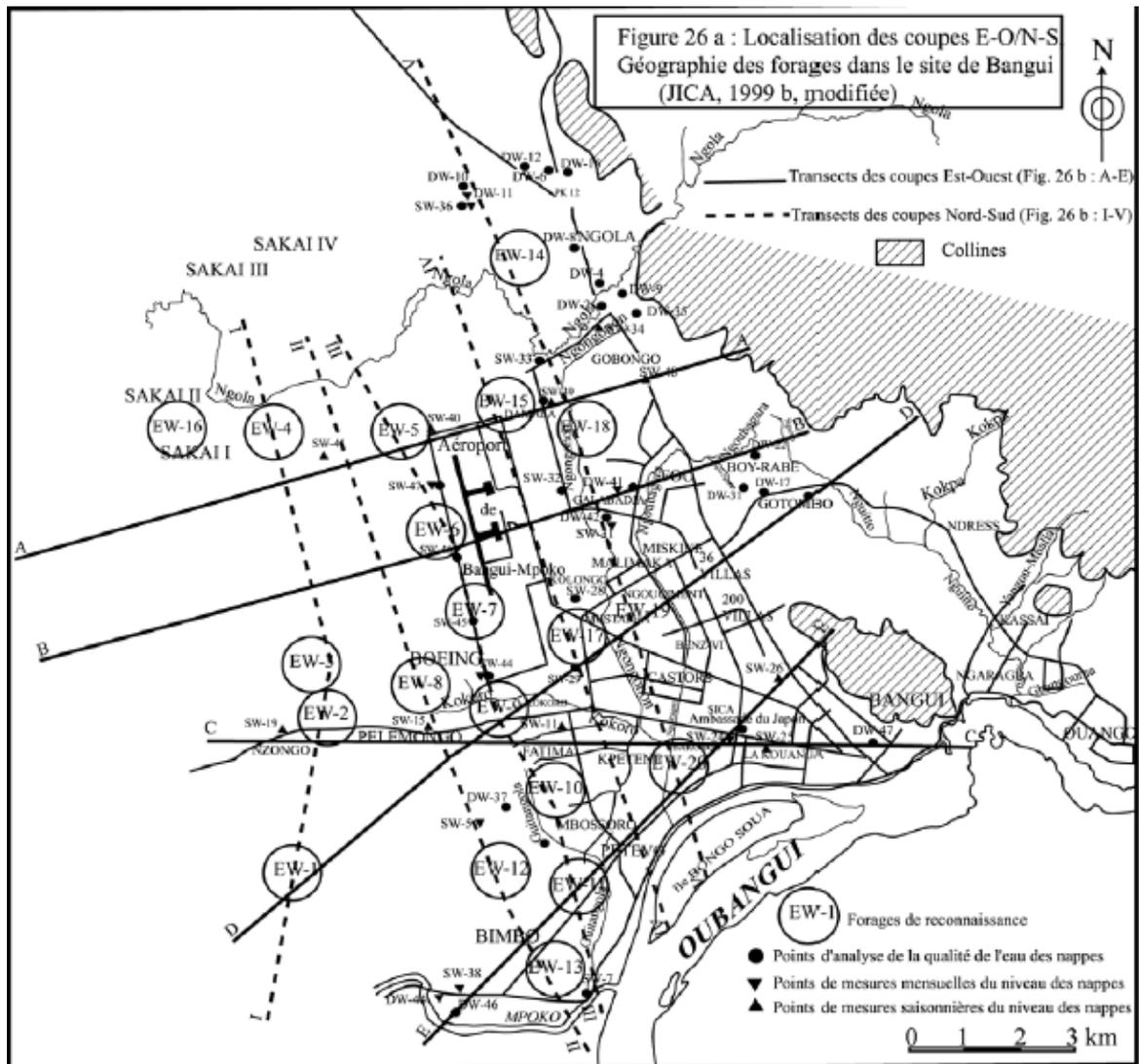
Les essais de datation relative par différents géologues ont débouché sur deux groupes d'âge différents du *Précambrien* : le **Complexe de base** et le **Groupe supérieur**, ainsi que les systèmes tertiaires et quaternaires.

- Le *Complexe de base* correspond à la **Série de la Yangana**, et appartient au socle cristallin archéen. Cette Série, rapportée au Précambrien D (Archéen) des anciens auteurs avec la **Série de la Pama** (MESTRAUD, 1982), est antérieure à 2 500 Ma.
- Le *Groupe supérieur* comprend le **Protérozoïque** avec ses subdivisions [Note 13](#), qui sont le *Néoprotérozoïque*, le *Mésoprotérozoïque* et le *Paléoprotérozoïque* (ALVAREZ, 2000). Pour la région de Bangui, trois types de formations sont distingués : la **Série de (Bangui)-Mbaïki**, la **Série de Fatima**, et la **Série de Bobassa**, qui sont des formations détritiques anciennes caractéristiques, séparées des formations du Complexe de base (**Série de la Yangana** et **de la Pama**) ou du *socle précambrien* par une discordance angulaire. Les discordances angulaires sont dues aux orogénèses kibarienne (1 Ga ou 1000 Ma) et panafricaine (600 Ma).

La répartition géologique des dépôts (Figures 26 a et b) est définie dans le tableau III. Ces schémas nous précisent les limites lithostratigraphiques des formations, avec des failles qui auraient haché les terrains.

Le *système tertiaire* se compose d'argile, de grès et de conglomérats semi-consolidés à consolidés, qui se sont pratiquement transformés en argile latéritique de couleur brun rougeâtre, sable argileux et graviers argileux sous l'effet d'une forte altération climatique. L'épaisseur de cette strate varie localement entre 25 et plus de 175 m. Quant au *système quaternaire*, il est composé d'une couche de limon sablonneux, de sables et de graviers qui recouvrent largement les plaines alluviales et la Plaine (Dépression de Bangui). Epaisse de 1 à 3 m, elle est dérivée d'anciennes inondations produites par l'Oubangui. Dans les anciens talwegs de l'Oubangui situés au quartier Gbangouma (600 à 800 m du lit) et à La Kouanga (400 m du lit actuel), nous avons relevé dans les puits, à environ 4-5 m de profondeur, des lits hétérogènes de graviers et sables d'une puissance de 3 à 4 m, qui témoignent de l'existence du paléo-lit du cours d'eau (voir Fig. 32).

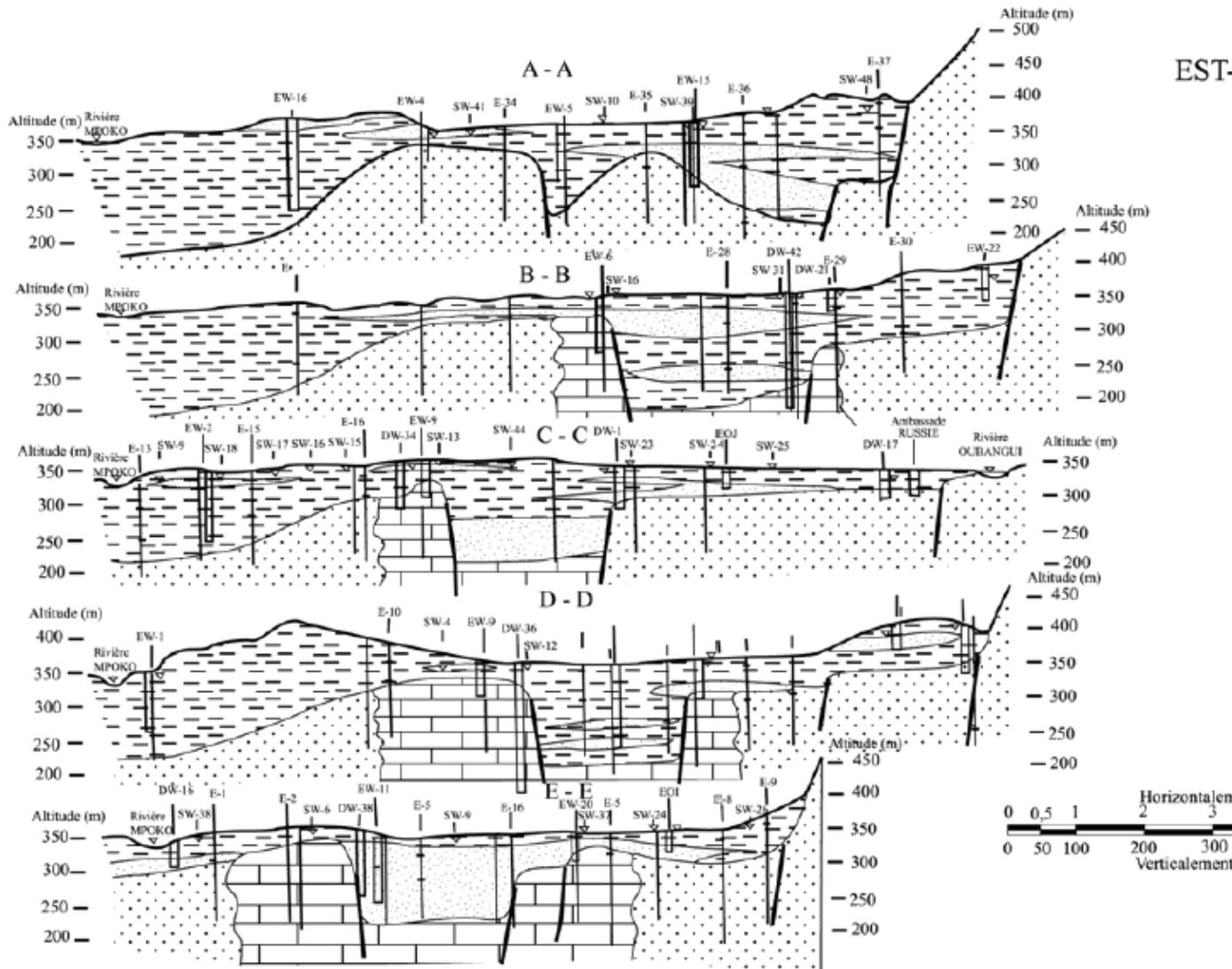
Figure 26 a) Localisation des coupes E-O/N-S. Géographie des forages dans le site de Bangui (JICA, 1999, modifiée)



1.2.1. La datation controversée des unités stratigraphiques

Plusieurs auteurs ont tenté de caler l'âge des terrains précambriens du site de Bangui (BESSOLES et TROMPETTE, 1980 ; MESTRAUD, 1980, 1982 ; POIDEVIN, 1985 ; CORNACCHIA et GIORGI, 1986 ; CENSIER, 1991 ; ROLIN, 1992).

Figure 26b) Coupes E-O et N-S de la stratification de la Plaine du site de Bangui (JICA, 1999, modifiée)



(Protérozoïque supérieur)	Série de Fatima	Grès de Bimbo (200 m) Quartzites conglomératiques noirs de Bangui
Précambrien C (Protérozoïque inférieur)	Série de Bangui	Quartzites clairs de Bangui (100 m) Barres de quartzites clairs
Précambrien D (Archéen)	Séries de la Yangana et de la Pama	

CORNACCHIA et GIORGI, 1986

Groupe supérieur	Série de Bimbo	Grès de Bimbo Pélites Quartzites conglomératiques noirs de Bimbo
Groupe intermédiaire	Série de Fatima	Dolomie Calcaire
Groupe inférieur (Archéen)	Série de Bangui Série de la Yangana	Quartzites à séricite et chlorite Schistes à séricite et chlorite Amphibolites à grenats

CENSIER, 1991

Protérozoïque supérieur		Grès de Mongoumba
Protérozoïque inférieur	Série de Bangui-Mbaïki	Faciès conglomératiques Quartzites dominants Schistes dominants Faciès carbonatés

Archéen terminal à

Protérozoïque inférieur **Séries de la Yangana et de la Pama**

Pour CORNACCHIA et GIORGI (1986), la Série de la Yangana et la Série de Bangui font partie du Groupe inférieur attribué au Précambrien D (Archéen). Ils contestent la discordance angulaire admise entre ces deux séries (MESTRAUD, 1982), la qualifiant de *disharmonie*, et la position stratigraphique respective des carbonates d'une part, et des Quartzites conglomératiques noirs et Grès de Bimbo d'autre part. Ainsi, ils proposent une nouvelle lithostratigraphie de la Série de Fatima (Groupe supérieur d'après BESSOLES et TROMPETTE, 1980 ; POIDEVIN, 1985), avec deux séries distinctes : la Série de Fatima (Groupe intermédiaire), réduite aux Calcaires de Fatima, est alors recouverte en discordance angulaire par la série de Bimbo (Groupe supérieur), englobant les Quartzites conglomératiques noirs et les Grès de Bimbo.

CENSIER (1991), étudiant les cortèges minéralogiques détritiques des Grès de Mbaïki et des Grès de Boali, montre un passage latéral d'une même série qu'il convient de corréliser aux Quartzites de Bangui et inclure dans la série de Bangui-Mbaïki, laquelle englobe les formations carbonatées (Figure 27). Il situe à la base de cette formation, les séries de la Yangana et de la Pama, qui sont rapportées à l'Archéen terminal ou au Protérozoïque basal (Tableau IV). Toutefois, ALVAREZ (2000) propose une succession argumentée (Tableau V).

Les **Séries de la Yangana et de la Pama**, métamorphisées et fortement plissées, sont rapportées par la totalité des auteurs à l'Archéen (antérieur à 2500 Ma ou 2,5 Ga). La **Série de Bangui** (Pélites et Quartzites de Bangui) est discordante sur les précédentes. Fortement plissée, mais peu métamorphisée, elle est le plus souvent attribuée au Protérozoïque inférieur et au Protérozoïque moyen antérieur à l'orogénèse kibarienne (1000 Ma ou 1 Ga). Ainsi, les Quartzites de Bangui, les Grès de Mbaïki, les Grès de Boali, qui sont minéralogiquement très proches et considérés comme des équivalents latéraux, et les pélites sous-jacentes, constituent la **Série de Bangui-Mbaïki-Boali**.

La **Série de Fatima** repose en discordance angulaire sur la série précédente, fortement plissée. Etant peu ou pas métamorphisée, elle n'est affectée que par des plis N.90° qui semblent postérieurs à 550 Ma. La Série de Fatima remonterait au *Protérozoïque terminal*, et plus particulièrement au Néoprotérozoïque III (ALVAREZ, 1995). L'âge de la déformation et la comparaison avec les formations du Sud-Congo permettent d'envisager une datation un peu plus récente : la transition Précambrien-Cambrien.

Ces auteurs précisent en outre que la *Série de Bimbo* est placée à la base de la *Série de Fatima*. De même, les *Calcaires de Fatima* sont considérés comme l'équivalent des *Calcaires de Bobassa* (Tableau V). Par ailleurs, l'hypothèse d'une intercalation carbonatée de même type dans la Série de la Yangana est à rejeter. Ces approches de la datation débouchent sur les éléments d'explication de la structure du sous-sol de Bangui.

Figure 27 Formations carbonatées précambriennes des environs de Bangui (d'après ALVAREZ, 2000, modifiée, selon BOULVERT, 2001, par comm. orale)

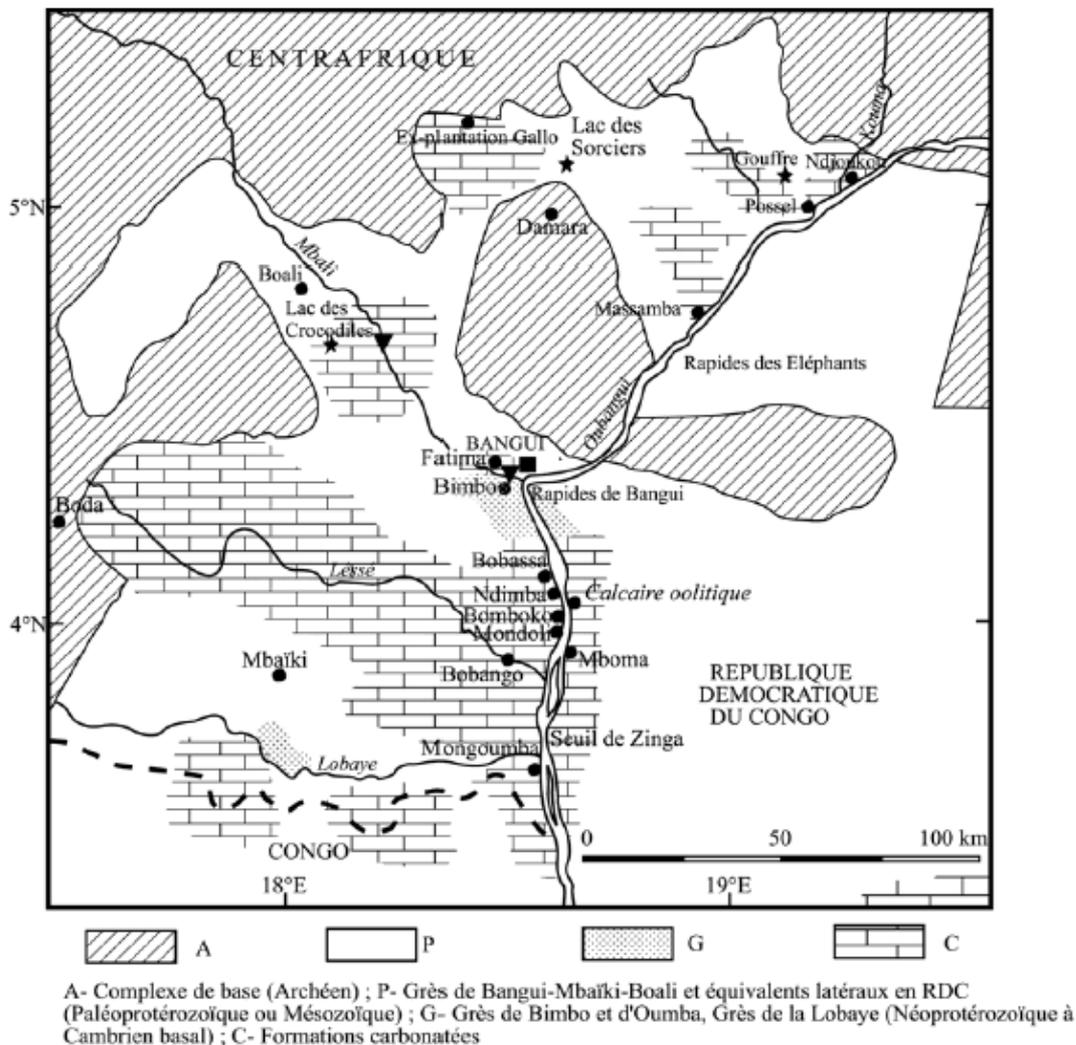


Tableau V : Réinterprétation lithostratigraphique de la couverture sédimentaire ancienne de Bangui (ALVAREZ, 2000)

ALVAREZ et ROLIN, 1996

		Calcaire de Bobassa-Fatima
		Siltites de Mongoumba
Néoprotérozoïque	Série de Fatima	Grès de la Lobaye

(Protérozoïque supérieur)

Grès de Bimbo-Oumba

Quartzites conglomératiques noirs de Bimbo

Paléoprotérozoïque

Série de

Quartzites de Bangui-Grès de Mbaïki-Boali

(Protérozoïque inférieur)

Bangui-Mbaïki-Boali

Pélites

Archéen

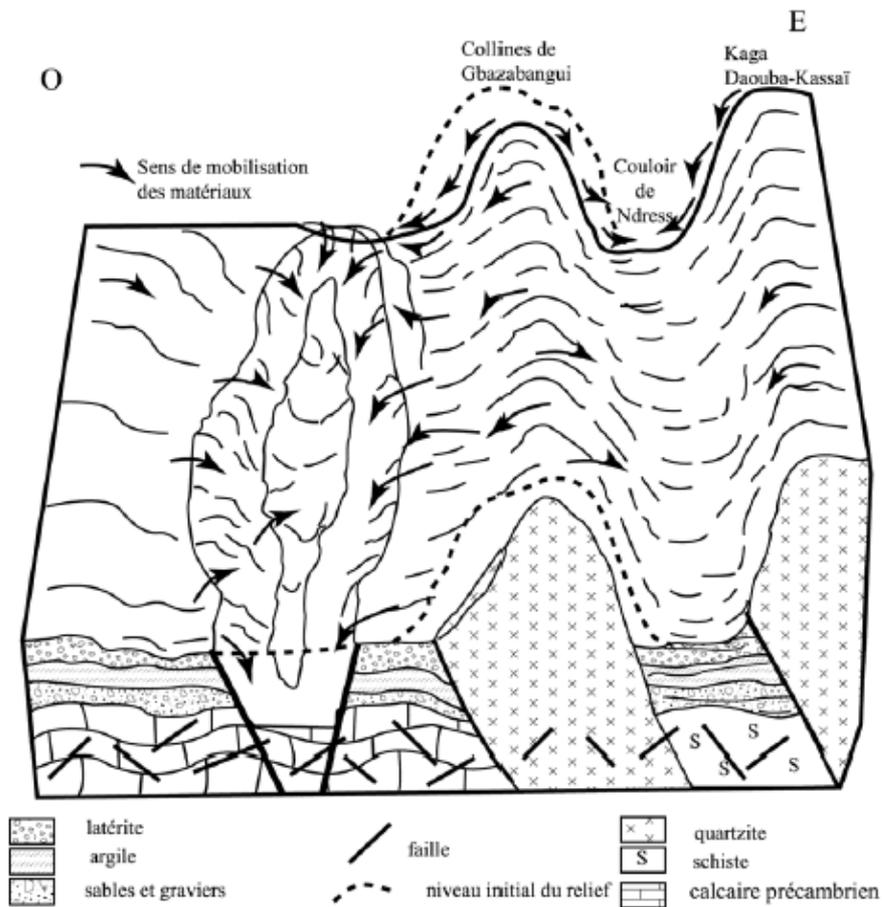
Série de la Yangana et de la Pama

1.2.2. Tectonisation et origine de la Dépression de Bangui

D'après les données présentées ci-dessus, la structuration géologique de Bangui est étroitement liée à la tectonique ; la disposition actuelle des collines par rapport à la Dépression de Bangui, mais surtout les différents niveaux du *substratum* en profondeur obtenus par forage ou sondage nous le confirment. Les géologues ont montré que les chevauchements majeurs et la tectonique cassante se trouveraient à l'origine de la structuration du site. La thèse paraît très probable lorsque nous observons l'escarpement ouest des collines de *Gbazabangui* et de *Daouba-Kassaï* qui surplombent la plaine où s'étale la ville (pente de plus de 30° localement) ; en revanche, l'hypothèse de chevauchements majeurs mérite d'être nuancée au vu des informations précises qu'ont apportées à la fois les sondages et les forages sur l'aire du site et sur ses marges immédiates.

En effet, une paléo-dépression tectonique a été reconnue par sondage électrique (Figure 28), centrée sur l'Aéroport de Bangui-Mpoko. A plus de 200 m de profondeur, le *substratum* calcaire n'est pas atteint, alors qu'à l'usine UCATEX (fabrique de textile) par exemple, située à environ 2 km de là en allant vers le centre-ville, il est relevé à 150 m de profondeur. Or nous notons sur les limites sud de cette dépression, non loin du chenal de l'Oubangui, que le socle est localement profond de 14,5 m (forage 13) et de 20,5 m (forage 20 a) d'après les forages de la JICA ; CORNACCHIA et GIORGI (1985 b) ont aussi noté une profondeur du socle d'environ 40 m sur le site de la Brasserie CASTEL à Bimbo au SO de Bangui (Fig. 29 a et b). De même qu'à Fatima, le *substratum* s'observe entre 14 et 30 m de profondeur. Ainsi, du fait de l'enfoncement graduel du socle, ce paléofossé tectonique devrait avoir du côté des collines (à leur pied) un rebord en *marches d'escalier*. Cela suppose que les failles soient répétitives et unidirectionnelles, avec l'hypothèse d'une tectonique de cisaillement ; la structuration se serait faite en fonction de la résistance des divers matériaux (quartzites, schistes, calcschistes,...) qui ont sans doute enregistré différemment les pressions et les cassures tectoniques. D'autres informations nous permettent d'abonder dans ce sens. En effet, trois forages réalisés à Bangui (pk 10, site ORSTOM, et site de la CEMAC) ont rencontré un *substratum* schisteux, un autre au point kilométrique 13 a atteint le socle entre 27 et 30 m de profondeur, avec du quartzite qui se relève au NE ; au Marché à bétail, sur la route de Boali et non loin du pk 12, un forage révèle le *substratum* carbonaté à 103 m de profondeur, couvert d'un manteau d'altérites kaolinisées.

Figure 28 Schéma interprétatif de la dépression de Bangui et de son remplissage



D'autres (siège du PNUD et un sondage réalisé récemment dans la vallée de la Ngola au pk 11) n'ont rencontré que des lits ou bancs graveleux (qui sont de bons aquifères), respectivement à 104 m et 54 m de profondeur, sans que la roche-mère ait été atteinte. L'affleurement ou l'enfouissement d'un matériau à plus ou moins grande profondeur est donc en partie tributaire de la lithologie et de l'érosion différentielle. Si dans la zone des collines par exemple, nous remarquons une alternance de dômes et de dépressions, les dômes avec quelques barres quartzitiques se présentent comme des *noyaux durs* qui ont résisté aux poussées tectoniques et pointent en relief ; par contre les dépressions, constituées en général de terrains schisteux, sont des ensembles moins rigides.

A l'échelle continentale, le *Craton d'Afrique centrale*, dont Bangui occupe la marge Nord, possède un réseau de grands fossés dont seules les extrémités périphériques restent visibles, avec la présence de nombreux petits fossés témoignant d'une phase distensive majeure.

Figures 29 Logs des forages à l'usine UCATEX et à la Brasserie CASTEL (selon CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a et b, modifiée)

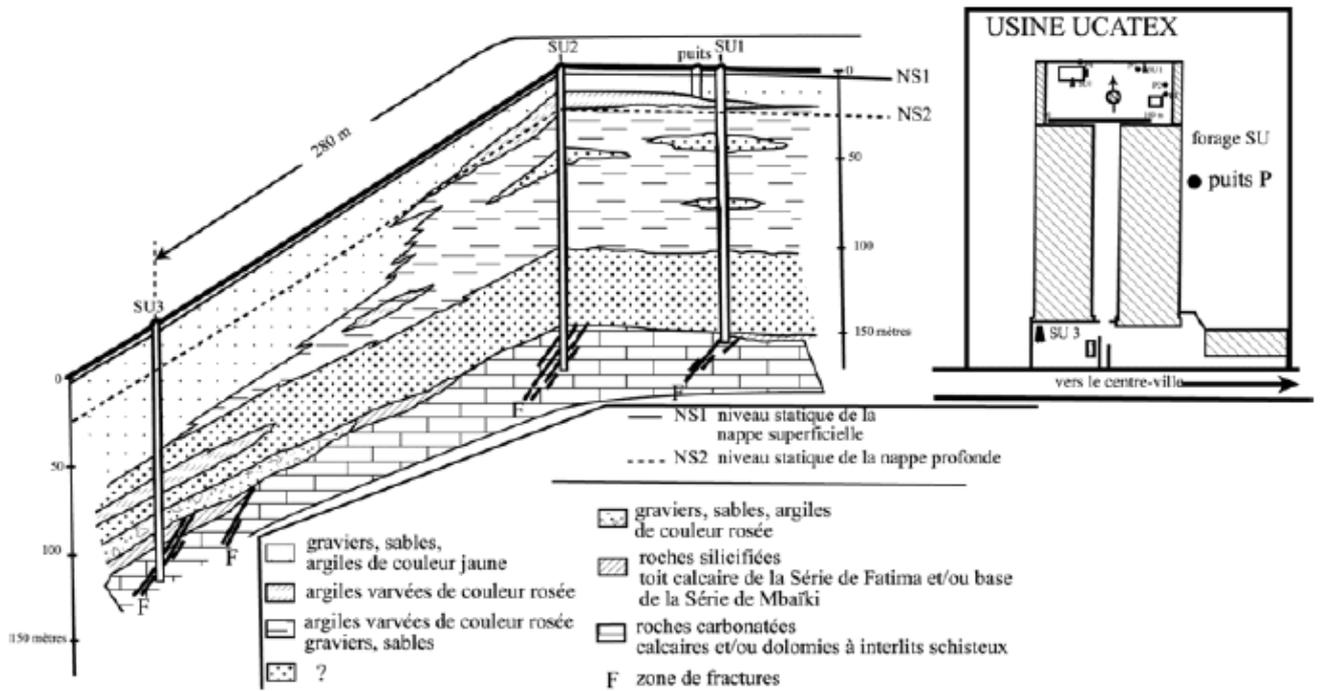


Figure 29 a : Logs des forages à l'usine UCATEX

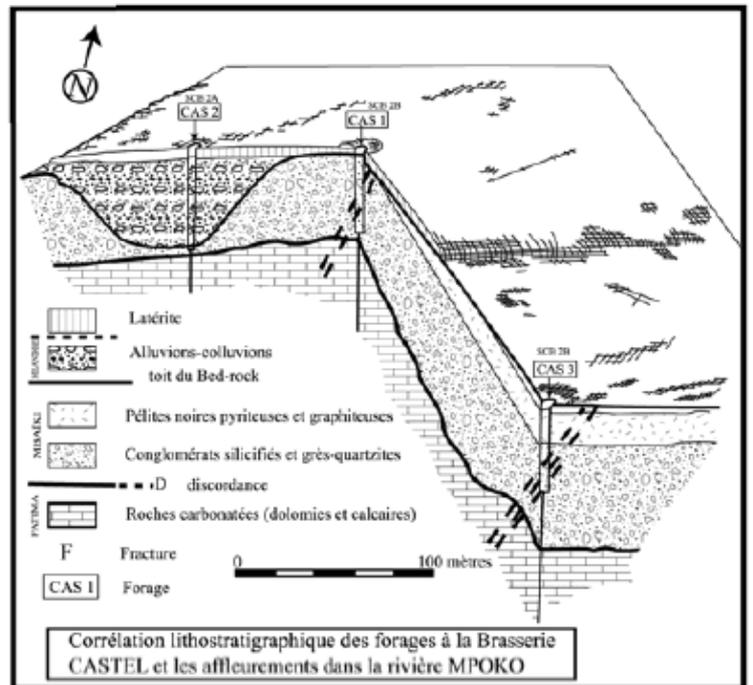
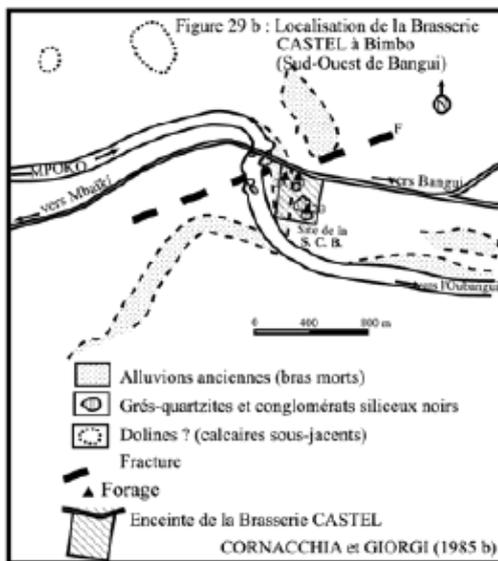


Figure 29 : Logs des forages à l'usine UCATEX et à la Brasserie CASTEL (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a et b)

L'ensemble de ces fossés a préservé des dépôts d'âge protérozoïque supérieur, antérieurs aux orogènes panafricaines (600 Ma), qui ceinturent le craton et dont les nappes sont déversées vers son centre de la fin du Précambrien au Cambrien (ALVAREZ, 2000). Dans ce contexte, ROLIN (1992) estime que la chaîne panafricaine du Centrafrique ou *chaîne des Oubanguides* a été édifiée par cinq grandes phases tectoniques, dont les trois premières furent accompagnées de métamorphisme entre 650 et 600 Ma (BESSELES et

TROMPETTE, 1980 ; MESTRAUD, 1982). La première entraîna le chevauchement des nappes panafricaines vers le sud, de l'unité interne sur l'unité externe. L'ordre d'apparition des deux phases tectoniques est mal établi.

Le site de Bangui appartient à un fossé allongé dans la direction NNO-SSE, atteignant 100 km de large pour 150 km de long au Centrafrique, tout en se poursuivant vers le sud, au Congo et au Nord de la RDC (ex-Zaïre). A partir de Bangui, ce fossé canalise le cours de l'Oubangui selon une direction N-S, en direction de l'aulacogène (fossé intracratonique envahi par la mer) de la Sangha. La fragmentation du craton archéen et l'effondrement d'un réseau de fossés profonds en Afrique centrale aurait débuté il y a environ 950 Ma.

Selon BRUNELLE (1972 b), le calcaire de Fatima devrait être rattaché à la Série de la Yangana, tant par les directions que par les pendages. Les caractères géométriques de la Formation de Fatima nous montrent une même direction NNO-SSE, semblable à l'orientation des Collines de Bangui. Cette direction est également celle des couches du Calcaire de Bobassa (au sud de Bangui). Les deux formations calcaires pourraient donc faire partie d'une même structure ou tout au moins de structures parallèles (PALUD, 1968). Nous notons par ailleurs la forte tectonisation de cette série, comme toutes celles de la région de Bangui d'ailleurs, laquelle se traduit par des turbidites (sédimentation perturbée) et par des failles qui délimitent le gisement, en bordure d'une zone mylonitisée qui s'étend selon une direction NO-SE, immédiatement au NE de Bangui. Cette orientation subméridienne expliquerait les nombreuses discontinuités observées, aussi bien dans les calcaires que dans les formations lithologiques, par un jeu de failles parallèles et rapprochées. En général, sur les cartes géologiques de la région de Bangui, les failles de la zone mylonitisée ne semblent affecter que la série de Mbaïki. Or le Calcaire de Fatima est reconnu dans cette série ; ceci impliquerait une interaction, au niveau du contact des deux séries, des phénomènes tectoniques d'une formation sur l'autre, soit par rejeu soit par engagement simultané des deux formations dans la phase tectonique qui a affecté la série la plus récente. En outre, les nombreux vides (ruptures de pendages ou cavités ?) et pertes d'injection relevés par sondages à Fatima s'expliqueraient par l'activité des failles multiples, mais ils peuvent aussi être dus à une karstification.

Ainsi, nous estimons que la même orientation des couches calcaires et des collines serait due à *une même tectonique qui expliquerait la structure de toute la région de Bangui* ; il en est de même pour la grande faille qui délimite le *fossé-réservoir* formant la dépression de Bangui ; il apparaît comme un réservoir hydrogéologique potentiel, pouvant fournir de l'eau potable.

1.2.3. Stratigraphie de la Dépression de Bangui

Des carottages réalisés à Fatima, à l'usine UCATEX ou à la brasserie CASTEL (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a et b, 1986 ; CORNACCHIA *et al.*, 1985, 1989) (Figures 25 et 29) montrent que le substratum cristallin résistant est recouvert par des alluvions argilo-sableuses. L'importance du recouvrement (latérite et argile) à Fatima est confirmée grâce à 21 sondages verticaux qui situent le toit du calcaire [Note 14](#), à une profondeur moyenne de 23,85 m. Le pendage est fort : 35 à 40° par rapport à l'horizontale. Les *logs* des forages (UCATEX ou Brasserie CASTEL) révèlent l'existence d'un important remplissage lacustre, colluvial et alluvial, très hétérogène, dont le soubassement est formé de calcaires précambriens, très surcreusés (Figure 29) par rapport au lit actuel de l'Oubangui (40 à 50 m-120 m) ; nous estimons que ce cours d'eau a dû se mettre sûrement en place après la phase géodynamique qui explique la structure de la région.

La profondeur moyenne des forages (Tableau VI) réalisés dans le « Grand Bangui » (Figure 30) se situe à 65,77 m, avec des extrêmes respectivement à 25 m au quartier Bakongo (forage 20) et à 125 m au quartier Ngongonon [Note 15](#), (forage 18). Ces données montrent qu'au Nord de la ville, il faudrait aller plus en profondeur pour trouver la nappe phréatique profonde ou captive.

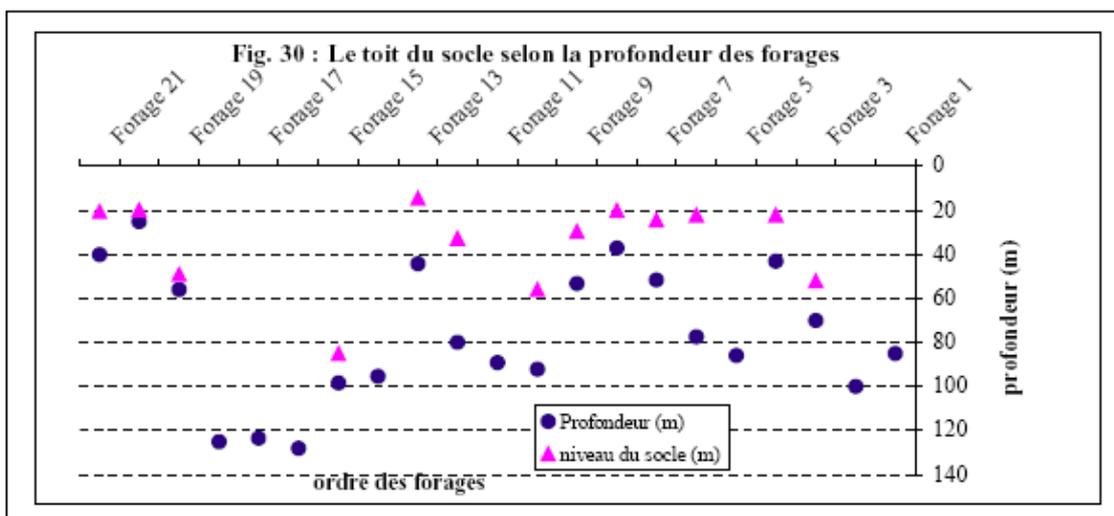
Tableau VI : Profondeur du socle d'après des forages réalisés en janvier 1999 par la JICA

N° des forages	Profondeur (m)	Niveau du socle (m)
----------------	----------------	---------------------

Forage 1	85	Non-atteint
Forage 2	100	Non-atteint
Forage 3	70	52
Forage 4	43	22
Forage 5	85,8	Non-atteint
Forage 9	53,2	29,5
Forage 10	92	56
Forage 11	89	Non-atteint
Forage 12	80	32,8
Forage 13	44,3	14,5
Forage 14	95,4	Non-atteint
Forage 15	98,5	85,0
Forage 16	-	-
Forage 17	123,5	Non-atteint
Forage 18	125	Non-atteint
Forage 19	-	-
Forage 20	25	19,7
Forage 20 A	40	20,5

Le toit du socle est reconnu en moyenne à 36,88 m de la surface (moyenne arithmétique des forages). La plus faible profondeur se localise au SE de la ville de Bimbo à environ 1 km du confluent Mpoko-Oubangui (forage 13) : elle est de 14,5 m, et la plus forte est de 85 m (forage 15) sur un témoin de plateau latéritisé au Nord de l'Aéroport Bangui-Mpoko et au NO du forage 18. La figure 30 montre les écarts entre la profondeur des dépôts et le toit du substratum. La résistivité de chaque couche met en évidence des niveaux argileux, sablo-gréseux et calcaires (socle).

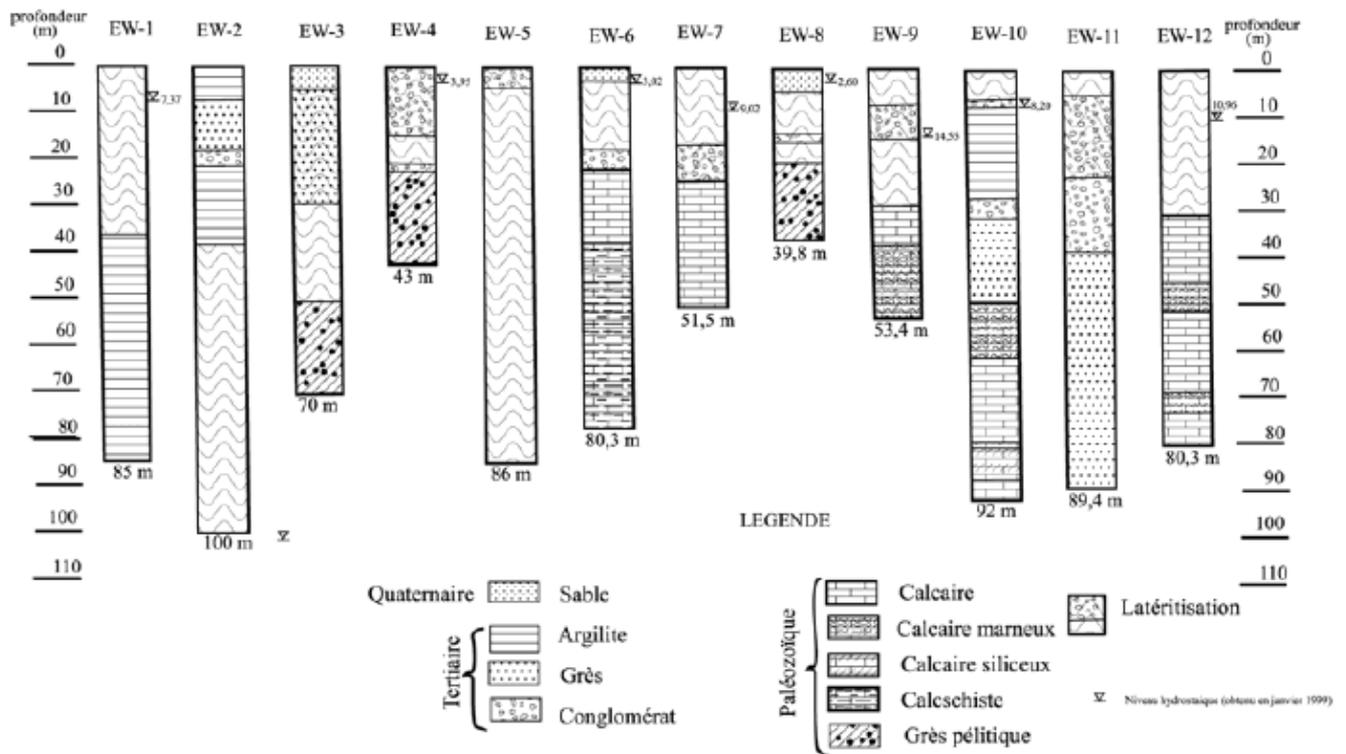
Figure 30 Le toit du socle selon la profondeur des forages



Sur les logs de ces forages (Figure 31, voir Fig. 26 a), nous constatons que le contact du substratum, lorsqu'il est atteint, n'est constitué que de formations protérozoïques tels que grès siliceux et/ou pélitiques, calcaires dolomitiques, argilites... La latéritisation est très développée et se note sur presque tous les logs, entre 3 et plus de 100 m de profondeur. Le Quaternaire est globalement sous-représenté par rapport au Cénozoïque et au Précambrien (Tableau III).

Ces données nous confirment donc l'existence d'une **dépression Nord-Sud** dans la zone d'étude. Le *fossé* est limité par des failles et a été formé par leurs rejeux (Figure 26). Ainsi sur le flanc ouest du fossé, la faille apparaît comme un linéament qui délimite la plaine (alluviale) au cœur de Bangui du plateau de Fatima à l'ouest de la ville (voir Figures 34 et 35). Elle part de l'embouchure de la rivière Mpoko et rejoint l'Aéroport de Bangui-Mpoko selon une orientation NNO-SSE. Plusieurs dépressions se sont formées le long de ce linéament, qui se caractérisent par des *sources* et des *sols hydromorphes*. En revanche, sur la frange est de la dépression, la faille est notée le long du pied de l'escarpement ouest des collines de *Gbazabangui*. Elle est presque parallèle à la faille du côté ouest et suit une même direction (NNO-SSE) en délimitant les collines et le piémont. Cette faille, du côté est, semble se ramifier dans le secteur de Kassai (Figures 23, 24 et 110). Ces lithologies variées du secteur de Bangui donnent des reliefs avec des formes spécifiques qu'il faut analyser.

Figure 31 Diagraphie des forages réalisés par la JICA (1999 a)



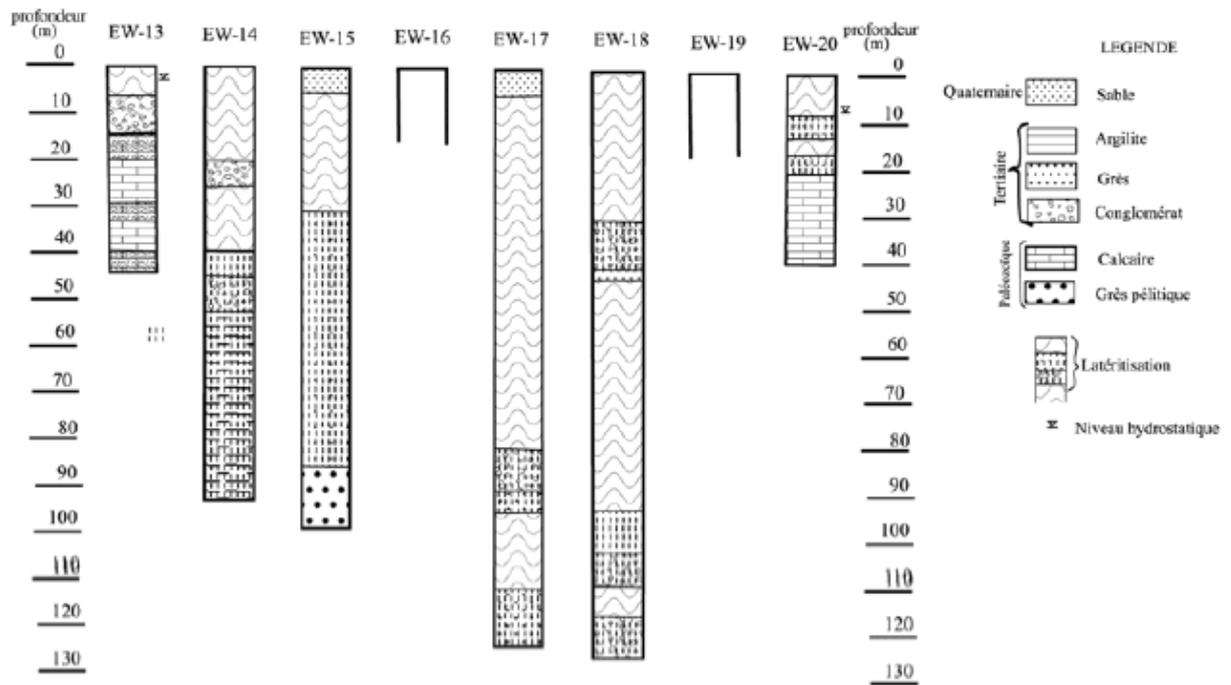


Figure 31 : Diagraphie des forages réalisés par la JICA (1999 a)

2. INTERPRETATION GEOMORPHOLOGIQUE DES PAYSAGES

L'environnement géomorphologique du site de Bangui est constitué de paysages variés. Celui-ci découle d'une dynamique très ancienne, et d'une dynamique subactuelle et actuelle que nous analyserons.

2.1. Quelques indicateurs sur l'évolution géomorphologique du site

La mise en évidence d'un important remplissage alluvial, lacustre et colluvial, très hétérogène et récent (Fig. 29), grâce aux logs des forages à Bangui, nous force à admettre une paléodynamique de comblement de la dépression au pied des quartzites mis en relief (Figure 28) ; celle-ci a évolué vraisemblablement de manière fermée. Ainsi, cette dépression peut fonctionner actuellement comme un lac lorsque les eaux de ruissellement ou d'infiltration stagnent ou occupent le talweg ; par sa position topographique, elle piège des sédiments pouvant provenir des terrains pentus de ses abords ou éloignés, car elle draine toutes les eaux par gravité (NGUIMALET, 1999 a). La géodynamique qui a mis en place le relief de la ville de Bangui peut se justifier par la néotectonique, voire par la tectonique ancienne, mais elle a été influencée par les variations climatiques quaternaires. Ces dernières sont caractérisées dans les milieux intertropicaux par des phases de réchauffement postglaciaire, qui donnèrent lieu à des précipitations abondantes, et par des phases fraîches (avec 3-4 à 6-7 degrés de température), et sèches où l'érosion a été intense tant sur les versants que par l'incision des vallées, après que la couverture végétale a disparu (THOMAS et THORP, 1992). Dans ce contexte néotectonique, le relief actuel nous semble résulter des changements climatiques quaternaires. La sédimentation serait maximale aux environs de l'Aéroport Bangui-Mpoko, puisque le substratum n'est atteint ni par forage ni par sondage électrique, alors que progressivement vers la périphérie (cf. piémont des collines et sud de la ville avec l'Oubangui), on passe de 170 m à 10 m pour l'atteindre.

2.2. Traits morphologiques des Collines de Bangui

Les collines rocheuses qui s'étendent entre Bangui et Damara (4°59'30''N-18°40'30''E) sont surmontées de petits plateaux indurés, témoins d'un panneau disloqué de la *Surface centrafricaine* [Note16](#). L'un de ces plateaux au niveau 650-700 m domine l'Oubangui juste en amont de Bangui (*KagaDaouba-Kassaï*). Le cadre de Bangui se rattache à une *Surface d'érosion*, dite **Surface de Bangui** [Note17](#), ou *Surface de 400 mètres*, figée par un important cuirassement (BOULVERT, 1976) : c'est la **Surface oubanguienne** de Y. BOULVERT (1996). Les matériaux décapés sur les secteurs en relief ont servi à remblayer le fossé tectonique allongé dans la direction NNO-SSE (Figure 32), mais surtout à recouvrir les dépôts calcaires sous-jacents et autres dépôts anciens, tels que les Quartzites de Bangui et les schistes. L'érosion très active dans cette zone s'explique par le matériau tendre à base de schistes des Séries de la Yangana et de la Baba. Les intercalations de quartzites dégagées forment une ligne de collines orientées NNE. Les géologues expliquent la morphologie de la ville de Bangui (Fig. 23, 24 et 32), constituée de collines dominant vers l'Ouest l'unité 400-350 m (voir Fig. 2), par une tectonique cassante (WACRENIER et WOLFF, 1964 ; POIDEVIN, 1976, 1985 ; CORNACCHIA et GIORGI, 1986). Les plus belles failles s'observent dans la zone des reliefs intermédiaires séparant la *Surface centrafricaine* et la *Surface de Bangui*. Ces failles sont à grand rayon de courbure, formant un réseau complexe. Nous avons fait des transects depuis le Couloir de Ndress (cf. cimetière) jusqu'au point kilométrique 36, route de Damara, en passant par la piste du village Koukourou (pk 11) et par la route du village Yangana (pk 22). Les informations que nous avons collectées ont rendu possible l'interprétation des principaux traits des collines, particulièrement sur le prolongement de *Daouba-Kassaï*.

Nous constatons que les collines ont des versants raides à l'ouest, qui correspondent au rejet des failles ; à l'est, les versants sont relativement doux, et comportent parfois des cuvettes ou dépressions à l'intersection du sommet des collines et des pseudo-dômes ; elles sont incrustés dans un vaste ensemble de croupes convexes, voire polyconvexes. Les dépressions situées en contrebas des versants concaves des collines sont en général humides et favorisent l'épanouissement d'une végétation dense (Planche II).

Des ondulations avec une alternance d'anticlinaux et de synclinaux caractérisent ces collines, indiquant le plissement qui a affecté la Série de Bangui : ce paysage s'observe très bien dans les collines au centre même de la ville de Bangui. Nous pensons que ces ondulations découlent à la fois d'une tectonique de cisaillement avec direction des micro-plaques et de la phase distensive majeure qui a affecté la limite septentrionale du Craton d'Afrique centrale, créant des fossés tectoniques. Les quartzites en relief apparaissent comme des « **noyaux durs** » ayant résisté aux rejeux des structures tectoniques, et la dépression est calquée sur la zone de fracture matérialisée par les fossés. Pour POIDEVIN (1976), une double fracture en biseau à pendage oblique sépare le plateau de Daouba-Kassaï de la ville de Bangui.

Figure 32 Esquisse morphologique de la ville de Bangui (d'après BOULVERT, 1976, modifiée)

Ainsi, nous proposons quelques hypothèses pour interpréter la structure et la morphologie des collines quartzitiques à l'Est du site de la ville de Bangui :

1. Tectonique cassante avec rejet ;
2. Tectonique de cisaillement le long des failles aux pieds des collines ;
3. Tectonique souple, à mouvement négatif, provoquant l'effondrement ou l'affaissement de la partie moins résistante en dépressions dans lesquelles les noyaux durs sont constitués en dômes ou buttes isolées ;
4. L'érosion qui a évidé les matériaux tendres, en accusant la dénivellation entre les crêtes quartzitiques et les talwegs schisteux. Les cours d'eau auraient agi de même.

Non seulement les Collines de Bangui marquent et dominent les paysages environnants du site, elles influencent aussi le réseau hydrographique, notamment par la *densité de drainage* (voir V §1.3, p. 197).

2.3. Le Couloir de Ndress : entre les cotes 450 et 360

Cette « dépression » à l'intérieur des principaux alignements des collines de Bangui (Fig. 32) est le résultat des phases d'activité tectonique qui ont laissé leurs signatures dans les paysages. Elle présente une pente globale de 3 à 4 % en direction de l'Oubangui au sud. D'aucuns ont pensé que l'Oubangui aurait coulé dans cette dépression (bras mort ?), mais nous pouvons nous demander jusqu'à quel niveau puisque la ligne de partage des eaux Nguito-Ngoubagara est constituée par le piémont du quartier Boy-Rabé, où commence sur l'autre côté la Plaine de Bangui, avec un piémont tantôt rocheux, tantôt latéritisé, à une altitude comprise entre 400 et 360 m. Néanmoins, nous remarquons que l'Oubangui a anciennement coulé dans la partie aval de ce couloir, notamment à Ouango-Sao et à Gbangouma ; les indicateurs que nous avons observés à Ouango-Sao sont des dépôts de sables et graviers consolidés puis altérés par ferruginisation, montrant les extensions passées du cours d'eau à 300-500 m du lit actuel. A Gbangouma, on a relevé dans un puits localisé dans un ancien marécage qui est fréquemment inondé par les eaux pluviales, des bancs de graviers et sables d'une puissance variable à 3 à 4 m de profondeur. Nous avons fait les mêmes observations à La Kouanga (voir V §1.1.5., p. 190).

2.4. Morphologie des « témoins » de plateaux et de piémonts : la Surface 400-360 m

L'unité géomorphologique de transition entre les collines en amont et la plaine en aval est constituée par le *piémont* ou le *glacis de piémont*, auquel nous adjoignons les *plateaux* (ou leurs *témoins*) à cause de leurs caractères morphostructuraux et altitudinaux proches. Elle est formée d'abord par le *piémont* des collines qui amorce une dépression, et ensuite par les *plateaux* ou *buttes latéritisés*. Selon TRICART (1973), le piémont désigne un plan incliné au pied d'un relief, impliquant un contraste entre les deux : d'un côté une montagne assez vigoureusement disséquée, et de l'autre, une plaine où prédominent des accumulations. A Bangui, le *piémont* constitue le relief intermédiaire à l'ouest des collines de Gbazabangui, compris entre celles-ci et la plaine marécageuse. Il part du *rocher de l'Artillerie* [Note 18](#), aux confins de la Mpoko (route de Boali), et se prolonge vers la route Bangui-Damara, selon une direction NNE. Il s'agit d'une forme d'érosion en roche homogène (couple *ablation-remblaiement*). La genèse de cette unité de relief, selon TRICART (1973), s'échelonne sur quelques dizaines de millions d'années.

La **Surface d'érosion** de Bangui s'étend du pied des collines jusqu'au-delà de la Mpoko ; son **secteur amont est exondé**, occupant environ un tiers de son étendue. Les terrains dominants y sont latéritisés et cuirassés en surface et se recourent en profondeur. Elle correspond aux interfluves indurés et *glacis de piedmont*, jalonnés par des *témoins de plateaux* isolés à Fatima, à Ouango, au NNO de la ville de Bimbo, à Pélémongo, à Sakaï, au Nord de l'Aéroport de Bangui-Mpoko, à Boeing, à Gobongo ou au Golf en allant vers le point kilométrique 12. Cependant, sont qualifiées de **plateaux** les unités topographiques, morphologiquement et altitudinalement

proches les unes des autres (voir Figure 32), qui se trouvent disséminées dans la plaine : des exemples se trouvent à Fatima, à Pélémongo, à Bimbo, à Boeing ou à Sakai.

Nous considérons les unités intermédiaires entre le sommet et la surface plane au pied de ces reliefs comme des *bas-glacis* latéritisés ou rocheux, si nous admettons qu'il en existe de hauts. Les **glacis** sont un type d'aplanissement, au profil longitudinal concave mais tendu, fréquemment dominés par des reliefs aux flancs raides. Il existe des *glacis rocheux*, des *glacis d'ablation* et des *glacis de dénudation*. Ces formes se façonnent souvent dans des roches cohérentes et sont l'œuvre des processus de météorisation, qui combinent données lithologiques et conditions climato-hydrologiques (TRICART et al., 1972). Cela suppose que les écoulements soient sporadiques, avec un ruissellement diffus, discontinu mais efficace, dans l'espace et le temps. Sous ce régime, ne peut se développer une dissection qui perturberait la *pédimentation*. Il faudrait **une irrégularité climatique**. Ainsi sous climat tropical, les glacis ne se façonnent que dans les régions où il existe une saison sèche accentuée. Lorsque le climat devient humide, les processus s'arrêtent. En effet, la couverture végétale bloque le ruissellement diffus et stabilise les sols ou versants, l'érosion pluviale devient inefficace. Les *glacis* qui s'observent dans les régions humides sont un *héritage des périodes de climat plus sec*. Les glacis latéritisés ou rocheux de la région de Bangui sont interprétables dans la même logique.

La question de la latéritisation Note 19. à Bangui est d'actualité et jusque-l'on n'a pu faire la part entre les processus anciens et les processus en cours. Dans certaines régions tropicales humides, la présence de ces matériaux relève de l'action des paléoclimats, notamment très secs. Dans les lits des petits cours d'eau de la ville, nous retrouvons localement des cuirasses entre 1 et 2 m de profondeur ; avant leur curage effectué dans le but de favoriser le drainage pluvial, ces lits cuirassés sont masqués par des alluvions limono-sableuses qui favorisent la colonisation végétale des chenaux « naturels » et artificiels. D'après Y. BOULVERT (1996 b), l'induration ferrugineuse, encore actuelle et active en Centrafrique entre 4 et 8° Nord, semble passive au nord du 8^e parallèle : les résidus de cuirasses sommitales s'y démantèlent, le stock ferrugineux se reformant au bas de versant.

Du point de vue pédogénétique, la latérite est à distinguer des cuirasses qui sont des *carapaces* ou *lakéré*, équivalent centrafricain du *bowal* guinéen selon BOULVERT (1996). Cependant, morphologiquement, ce sol apparaît en surface comme une décomposition des cuirasses qui supportent en général la latérite, et inversement les cuirasses peuvent être le résultat de la recristallisation de la latérite à cause de la précipitation de sels en solution dans les eaux de percolation (NGUIMALET, 2000).

L'intérêt hydrologique des cuirasses latéritiques et de la latérite se révèle dans la porosité et la fissuration de ces terrains. Ces sols sont filtrants, par conséquent perméables, et GUYOT (1974) situe leur porosité entre 30 et 50 %. D'ailleurs, il existe des sources à Bangui, notamment en aval morphologique des cuirasses, qui alimentent les marais dans la partie de Surface inférieure à 360 m.

2.5. Essai d'explication des paysages de la Plaine de Bangui

En observant la figure 2 ou la figure 32, nous émettons donc deux hypothèses pour expliquer la morphologie actuelle de la Plaine de Bangui : 1) la tectonique récente et 2) l'érosion aréolaire ou géologique.

A l'origine, le niveau du glacis était probablement homogène (Figure 33), mais à la suite d'accidents tectoniques avec un réseau complexe de failles ou de rejeux, les paysages ont enregistré une nouvelle dynamique. En effet, ces accidents se sont traduits soit par un mouvement négatif au cœur de la Dépression, soit par un mouvement positif au niveau de ces témoins de glacis ou plateaux cuirassés isolés ; et donc les matériaux mobilisés et remaniés, consécutifs à ces épisodes dynamiques, ont pu être exposés à l'érosion.

1. La tectonique aurait affaibli et haché les matériaux, qui se seraient fragilisés par la suite. De par leur localisation topographique (cotes absolues inférieures à 360 ou 340), la vidange des matériaux a donné lieu au développement des bas-fonds marécageux qui naissent au pied de ces plateaux

cuirassés, filtrants, et dans des terrains argileux compacts et imperméables. L'infiltration des eaux de pluie ou de ruissellement dans les reliefs cuirassés ou latéritisés du fait de leur texture, bute sur l'imperméabilité des argiles ; à leur contact, l'eau apparaît en surface ; de ce fait, l'eau stagnante fait que le milieu fonctionne comme des étangs, des marécages et des marais. Le mécanisme se serait produit au Quaternaire, et pendant l'Holocène dont certains épisodes ont connu des précipitations importantes.

2. Quant à l'érosion, elle aurait amplifié les critères altitudinaux, accroissant la dénivellation entre les dépressions devenues marécageuses et les plateaux qui sont situés en général en amont morphologique de ces dépressions. Le type d'érosion en jeu, l'érosion en nappe, n'aurait pas efficacement disséqué la surface de la plaine : d'abord à cause de la faiblesse de l'altitude relative, ensuite, les sédiments fins ou grossiers charriés en amont sur versant, auraient contribué à en masquer les traces, du fait de la polarisation des eaux de ruissellement en fonction de la topographie. Ce phénomène devrait engendrer l'hydrocompaction et exposer davantage la roche de contact argileuse qui sous-tend en général les reliefs cuirassés dont les cotes absolues varient localement entre 400 et 370.

Figures 33 Schémas explicatifs de la morphologie actuelle de la Plaine du site de Bangui

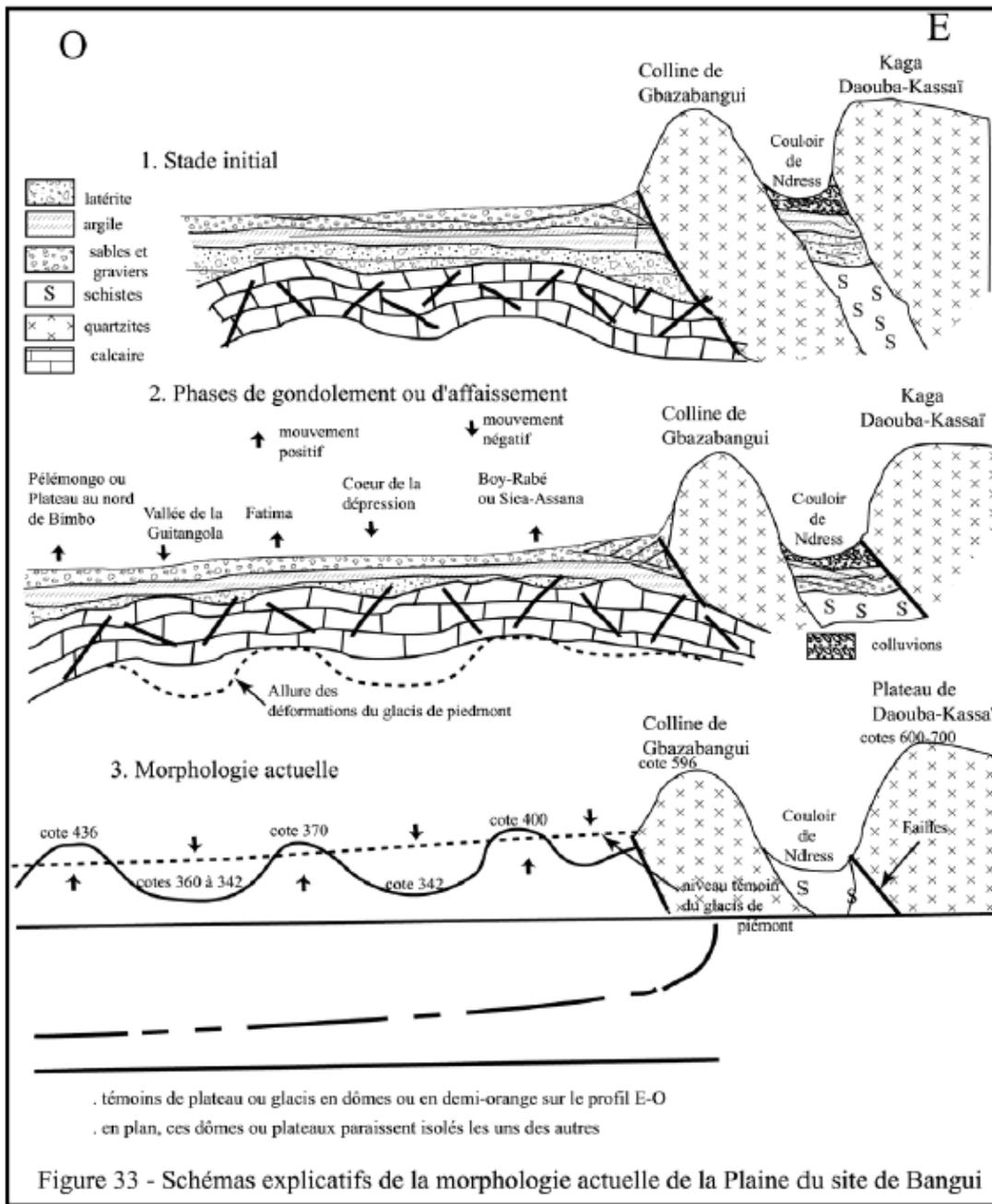


Figure 33 - Schémas explicatifs de la morphologie actuelle de la Plaine du site de Bangui

De fait, cette zone de plaine débute avec le piémont (400 m) et se prolonge par la Surface inférieure à la cote 360 ; la *dominance des marécages* suggère en outre l'idée d'une *karstogenèse profonde* toujours en cours dans le bassin de la Lessé (BOULVERT, 1996 b ; ALVAREZ, 2000). Il pourrait y avoir une communication entre le karst sous-jacent et la surface topographique.

2.6. La question de la karstogenèse profonde

La présence de nombreuses dépressions fermées laisse supposer l'existence de crypto-karsts anciens dans le bassin de l'Oubangui. Dans le site de Bangui, celles-ci se traduisent en surface par des marais et sont caractérisées par un mauvais drainage dans le secteur de plaine (voir §3.2.1., p. 95). En effet, les dépressions des plaines oubanguiennes semblent typiques du paysage des plaines en milieu tropical. La plupart sont peu profondes, et toujours développées dans des matériaux sablo-limono-argileux. Le processus montre qu'un blocage (rôle de la nappe phréatique) intervient rapidement et empêche les cuvettes de prendre de l'ampleur. De cette façon, avant d'atteindre la dépression, le ruissellement en nappe superficiel entraîne de l'humus et

des éléments fins argileux qui sont décantés au fond de la cuvette. Une mince pellicule puis un placage argileux plus consistant colmatent le fond de celle-ci et bloquent en partie le processus de blocage exercé par la nappe phréatique de sorte qu'**une mare se forme** (BOULVERT et SALOMON, 1988).

Parallèlement, la *suffosion* ou *piping* est évoquée pour expliquer la morphologie de ces cuvettes. Le ruissellement de surface pénètre dans les fentes de dessiccation et, si le gradient hydraulique est suffisant, il érode les parois de la fente en créant des ravines ou des conduits souterrains aux orifices circulaires. Une topographie *pseudo-karstique* en résulte. Pour KHOBZI (1972), c'est l'érosion chimique et mécanique qui détermine la formation des dépressions *pseudo-karstiques*, formées dans du matériel rocheux ou détritique, varié dans sa composition pétrographique : sédiments pyroclastiques andésitiques, diorite quartzifère, granite ou gneiss, alluvions de même nature, grès calcaires ou non. Pour leur part, BOULVERT et SALOMON (1988) estiment que ces dépressions ont leur origine dans les processus d'*hydrocompaction* ou de *soutirage karstique*.

Le processus de *karstogenèse profonde*, selon FOURNEAUX (1988), est lié à l'existence, pendant un temps bref, d'une répartition très hétérogène des pressions dans le massif au début de la recharge. Cette hétérogénéité permet l'expulsion d'eaux profondes plus minéralisées car ayant souvent séjourné longtemps dans l'aquifère, et donc le renouvellement des eaux contenues dans les cavités, chenaux, fissures et joints de bancs plus bas que l'exutoire. A propos des cavités, des effondrements surprises dans les années 70 survenus lors des travaux de génie civil, notamment la construction de *la piste de Bobangui* (4°02'20''N-18°08'E) et du *ranch de la Mballi* (4°42'40''N-18°15'E), ont été observés lorsque les engins lourds ont attaqué la voûte protectrice constituée par une carapace ferrugineuse. De même en pleine ville de Bangui, non loin de l'Office National de la Main-d'Oeuvre (ONMO), un effondrement survenu le 8 août 1977 a formé une cavité cylindrique de près de 18 m de diamètre et d'une profondeur de 20 m environ. Ce « trou » est rempli dans sa majeure partie par l'eau de la nappe phréatique dont le niveau hydrostatique est à peu près de 8 m au-dessous de la surface (LABROUSSE, 1977). De plus, les forages d'exploitation de l'usine UCATEX révèlent une cavité de 8 m de hauteur dans le soubassement calcaire.

Par ailleurs, NICOD et SALOMON (1990) évoquent le rôle de la *crypto-corrosion* dans la karstogenèse du Centrafrique. Avec le temps, le *kuppenkarst* ou karst à coupoles (ou à dômes) peut être enseveli sous une couverture détritique émanant des reliefs plus élevés. Si le recouvrement est total et le manteau détritique suffisamment épais pour isoler la roche carbonatée des eaux météoriques et d'infiltration, il peut complètement cesser d'évoluer. Mais si l'enfouissement est partiel ou léger, l'eau dans le sol peut continuer à opérer longtemps. Par exemple lorsque l'assise carbonatée se situe à l'aval morphologique d'un massif cristallin (cas très fréquent), le recouvrement comporte très souvent des sables siliceux et le manteau détritique joue le rôle d'une éponge plus ou moins acide : c'est la *crypto-corrosion*. Dans un autre cas, le relief peut être dégagé après avoir longtemps évolué sous la compresse détritique : apparaît alors un *crypto-karst* typique qui retrouve des conditions d'évolution à l'air libre.

Le modelé *pseudo-karstique* est un des traits morphologiques de la Dépression de Bangui, notamment avec les plateaux cuirassés ou latéritisés et le piémont des collines. Le processus de karstogenèse pose un problème évident pour les aménagements réalisés sur la surface topographique inférieure à 360 m, où en particulier l'habitat ne trouve guère les conditions d'assainissement et de drainage des eaux pluviales.

3. LES IMPLICATIONS POUR L'AMENAGEMENT

L'anthropisation, due à l'existence de la ville, apparaît comme un processus récent de l'évolution morphologique du site à l'échelle des temps géologiques, exacerbant du coup les problèmes d'aménagement, notamment dans les zones marécageuses inondables et sur les rives de l'Oubangui. Par ailleurs, la présence d'un substratum carbonaté très caverneux autorise l'exploitation double de la nappe profonde du socle et de la nappe superficielle de la colonne sédimentaire, mais elles ne sont pas toutes deux épargnées par les pollutions. Ainsi, nous mettons en exergue dans ce point 3 l'aptitude des terrains à fournir de l'eau potable et la nécessité

d'évacuer les eaux pluviales, dans l'intérêt des Banguissois.

3.1. Le potentiel hydrogéologique

3.1.1. Unités hydrogéologiques

D'après les travaux de RICOLVI (1987) et de CORNACCHIA *et al.* (1989), deux unités hydrogéologiques principales peuvent être distinguées à Bangui : il s'agit des **formations non-carbonatées** et des **formations carbonatées précambriennes** (PLESINGER, 1990) ; les formations non-carbonatées comprennent les formations superficielles dans lesquelles les puits exploitent l'eau. Toutefois, les prospections menées par la JICA (1999) en vue d'étudier les eaux souterraines de la ville de Bangui ont distingué une unité hydrogéologique : les **couches superficielles de latérite**, qui intègrent l'aquifère superficiel ; ce qui fera deux unités hydrogéologiques avec les formations carbonées, comme PLESINGER l'a défini.

3.1.1.1. Traits généraux

Les **formations non-carbonatées précambriennes** sont les plus étendues au Centrafrique (75 % du territoire) et les plus variées du point de vue géologique (PLESINGER, 1990). Elles comprennent tout le *Complexe de base* avec des roches fortement cristallisées (granite, gneiss, granulites, amphibolites, schistes, quartzites), de même que les roches peu métamorphiques du Précambrien supérieur (schistes, gréso-schistes, quartzites...) dans le site de Bangui.

Quant aux **formations carbonatées précambriennes**, développées localement au sein du Précambrien supérieur essentiellement *schisto-gréseux* (BOULVERT, 1996 ; BOULVERT et SALOMON, 1988), leur extension atteint environ 17 500 km², soit environ 3 % du territoire de Centrafrique, notamment sur le piémont de la Sangha, le piémont oubanguien et sur la Surface centrafricaine, dont 2 500 km² pour la région de Bangui (0,4 % du territoire). Elles sont relevées par photo-interprétation et confirmées par des forages d'eau à Bangui, et par des sondages de prospection minière à l'Est de Bakouma. Il s'agit des **affleurements calcaires** et de **dolomitiques** localisés à Bangui ou dans ses environs : ex-plantation Gallo (village Dongbé II) au Nord, secteur Massamba-Possel-Djoukou au NE, bassin de la Lessé et rives centrafricaine et congolaise de l'Oubangui au Sud (Figure 27, p 72).

3.1.1.2. Aspects hydrogéologiques

Les lithostratigraphies, variées, n'ont qu'une importance limitée sur l'aquifère. Car les mêmes types de roche peuvent contenir ou non de l'eau souterraine. Cette situation est responsable du caractère discontinu des aquifères. En effet, l'eau peut s'infiltrer et circuler uniquement dans les fissures, les fractures et les failles. Si des fissures ouvertes forment un réseau assez étendu, l'aquifère peut être assez important. Cela est prouvé par plusieurs forages, d'un débit de plus de 10 m³.h⁻¹, qui ont été réalisés dans les quartzites, les micaschistes, les granites ainsi que dans les migmatites et les amphibolites (PLESINGER, 1990). Du fait que les nappes phréatiques contenues dans les fissures et les failles des roches compactes du Précambrien sont surmontées par un recouvrement d'altérites généralement imperméable ou semi-imperméable (caractérisant l'aquifère superficiel), elles ont un caractère captif ou semi-captif. Le niveau piézométrique est cependant toujours au-dessous de la surface du sol, d'une profondeur relative comprise entre 5 et 20 m.

Selon leur lithologie, des **calcaires**, **calcaires dolomitiques** ou **dolomies** s'exposent à l'attaque de l'eau en profondeur. Ainsi par des actions mécaniques et chimiques des eaux souterraines (dissolution des carbonates), les fissures dans ce type de roche sont souvent élargies et forment des conduits et cavités qui peuvent atteindre de grandes dimensions : 8 m dans un forage à l'Usine UCATEX. La karstification est sans doute développée dans les formations carbonatées centrafricaines, créant les *paléo-crypto-karsts* du Centrafrique, alors que le *karst* classique (avec des gouffres, des cavernes et des grottes visibles en surface) n'est pas courant. A Bangui, les formations hydrogéologiques carbonatées renferment des aquifères importants qui peuvent constituer une

très importante ressource en eau. De plus, une réalimentation de l'aquifère par l'Oubangui est très probable, du fait que sur certains tronçons, son lit est modelé dans le calcaire.

Par ailleurs, les récentes recherches de la JICA ont confirmé les deux unités hydrogéologiques pour la ville de Bangui (Figure 34) : il s'agit de la **latérite** [Note 20](#), et du **socle** (voir Figure 111), soit la couche aquifère de la latérite et la couche aquifère du socle.

La roche-magasin de la **couche aquifère contenue dans la latérite** appartiendrait au système tertiaire, composé d'argile jaune intercalée de grès et de conglomérat. Ces matériaux se seraient transformés en argile latéritique, en sable argileux latéritique et en graviers argileux latéritiques par la décomposition des cuirasses latéritiques, du fait des conditions bioclimatiques régnant en milieu tropical humide. L'épaisseur de la couche aquifère dans la latérite est d'environ 50 m en moyenne, et de plus de 175 m aux environs de l'Aéroport Bangui-Mpoko.

Deux types d'aquifères sont reconnus dans le **socle** :

- la *première couche aquifère* s'est formée dans la partie superficielle altérée du socle fracturé. La puissance de cette couche est d'environ 30 m, d'après les résultats des forages de reconnaissance ;
- l'*autre type d'aquifère* est formé le long d'une faille dans le socle fortement fracturé.

La productivité de l'aquifère du socle (cf. grès-quartzite, schiste quartzeux, et calcaire) semble beaucoup plus élevée que celle de la couche latéritique (voir Figure 111, p. 301).

3.1.2. Perméabilité et exploitabilité des aquifères

Les **formations non-carbonatées précambriennes** du Centrafrique peuvent être considérées comme suffisamment productives pour l'approvisionnement en eau des villages et des villes (PLESINGER, 1990). Dans des cas favorables (d'après des pompages d'essai à Batangafo et aux Mbrés), les forages avec des débits exploitables de plus de 20 m³.h⁻¹ peuvent servir pour l'adduction d'eau. La quantité minimale de 0,5 m³.h⁻¹, suffisante pour l'installation d'une pompe manuelle, peut être trouvée dans la quasi-totalité des villages à condition que l'implantation des forages soit faite par des spécialistes. Parallèlement, la profondeur des forages a varié entre 30 et 60 m (aquifère profond).

Les eaux souterraines des **formations carbonatées** peuvent être exploitées pour alimenter en eau potable des agglomérations urbaines, ce qui revêt un intérêt pour Bangui située dans une région très prometteuse. Les forages n° 2 et 3 à réalisés à l'UCATEX (Figure 29 a), où les calcaires sont surmontés par une épaisseur importante de sédiments fluvio-lacustres (respectivement 119 et 153 m), ont eu des débits maximaux proches de 40 m³.h⁻¹ lors du pompage. Toutefois, si un rabattement de plus de 4 ou 5 m était permis, les débits augmenteraient au moins jusqu'à 60 m³.h⁻¹ (PLESINGER, 1990). Quant au forage du pk 4 sur l'avenue B. Boganda, il est entré dans une couche de *cherts* (niveaux silicifiés dans les calcaires) à 50 m de profondeur. Le niveau piézométrique s'est établi à -7,96 m (remontée de plus de 40 m) ; le pompage d'essai a donné un rabattement de 0,70 m seulement, pour un débit de 6,5 m³.h⁻¹. Le débit spécifique était quasiment le même qu'à l'UCATEX, à près de 10 m³.h⁻¹.m⁻¹. La remontée du niveau hydrostatique après le pompage a été si rapide qu'on n'a pu l'enregistrer. Considérant l'évolution de la population banguissoise, il faudrait, pour l'adduction, un débit de 885 m³.h⁻¹, si on admet une consommation de 50 l.habitant⁻¹.jour⁻¹. Si un seul forage est en mesure de donner 6 à 7 % de cette quantité, l'approvisionnement en eau souterraine peut être envisagé dans le futur. Une telle réalisation devrait faire baisser le coût élevé du traitement des eaux captées dans l'Oubangui, car l'eau des calcaires semble moins coûteuse ; toutefois cet aquifère est soumis à la pollution.

Selon la JICA, la **couche aquifère latéritique**, qui est la nappe superficielle, a une faible perméabilité (0,1 m.jour⁻¹) en raison de la présence d'argile, même dans les couches sablonneuses et graveleuses. Sa capacité spécifique varie de 4,8 à 93,6 m².jour⁻¹, et son coefficient de perméabilité est compris entre 0,1 et 0,8

m.jour-1, selon les données des forages ou puits existants. La perméabilité verticale devrait être beaucoup plus faible à cause de l'importance des couches d'argile, alors que la perméabilité horizontale pourrait être favorisée par de nombreuses alternances de bancs d'argile latéritique et de bancs de sables argileux.

En revanche, la perméabilité de la **couche aquifère du socle**, constituant la nappe profonde, est attestée par une distribution de la transmissivité basée sur les données disponibles des forages de reconnaissance et des tests de pompage (Figure 35). Cette transmissivité varie d'un endroit à l'autre, et un trop grand cloisonnement existe entre la valeur maximale (100 à 1000 m².jour-1) et la valeur minimale (0,1 à 1 m².jour-1). Il apparaît paradoxalement ici que la transmissivité n'est pas nécessairement plus élevée dans la roche calcaire.

En effet, une hétérogénéité de la transmissivité pourrait être due à la présence d'une zone très perméable le long des failles, reconnue par les études hydrogéologiques ; ainsi, *les zones à transmissivité élevée s'étendent sur ces lignes de failles* (Figure 35), l'une allant de l'Aéroport Bangui-Mpoko vers le SO de la ville de Bimbo via le quartier Fatima, l'autre de l'usine UCATEX vers le quartier Bakongo via le quartier Mustapha.

Figure 34 Carte hydrogéologique de la ville de Bangui (JICA, 1999 b)

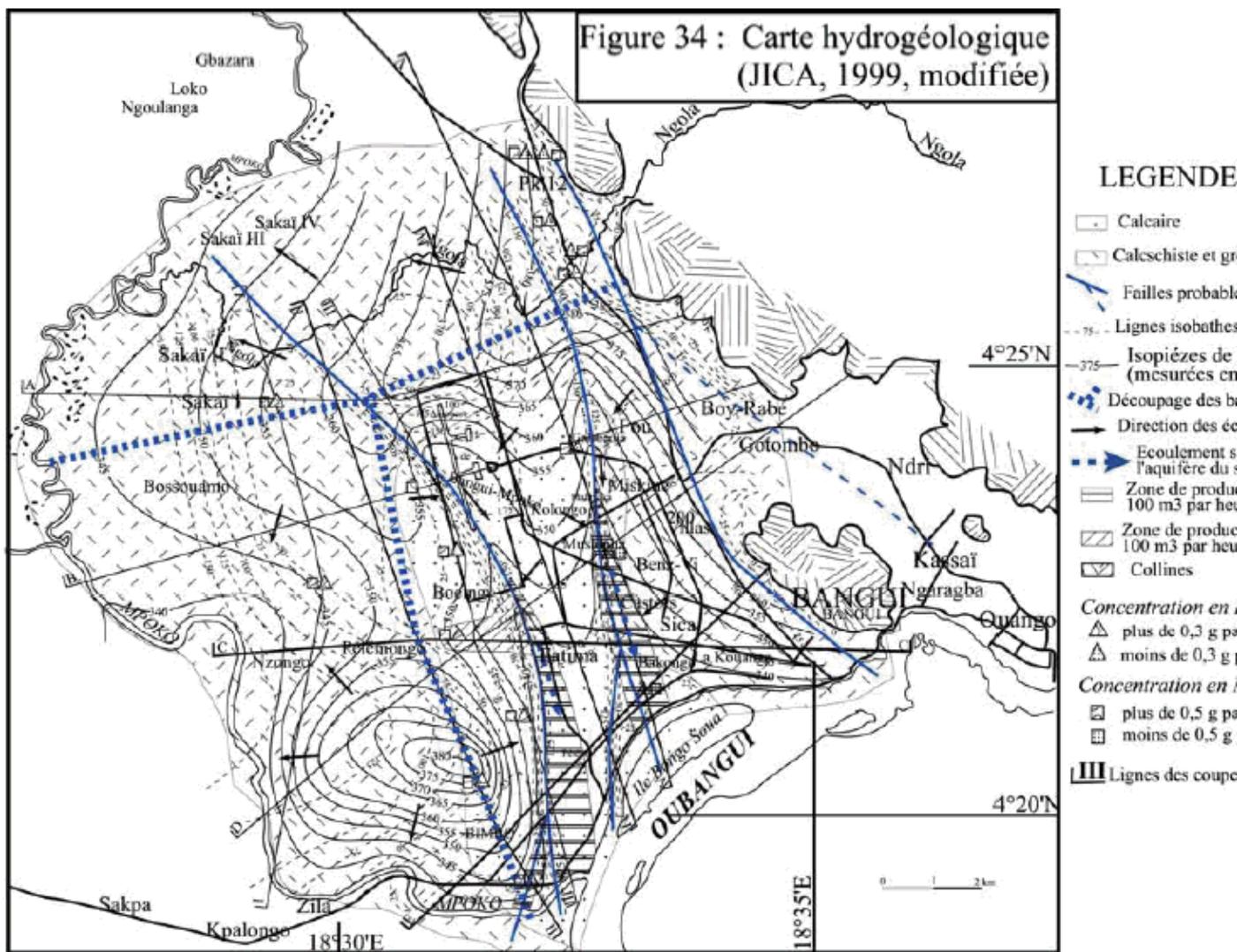
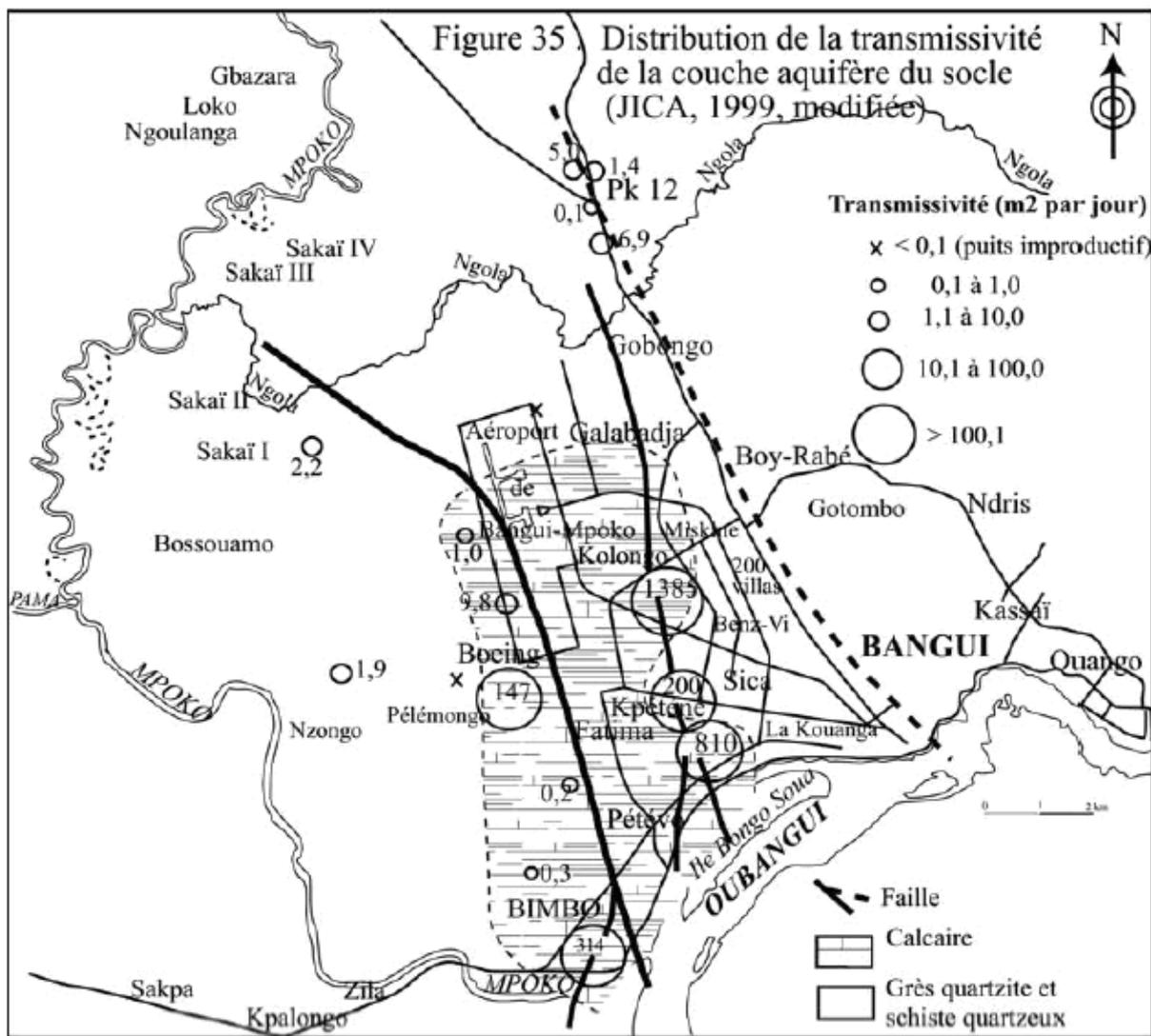


Figure 35 Distribution de la transmissivité de la couche aquifère du socle (JICA, 1999, modifiée)



Les informations que nous avons présentées renseignent sur les potentialités hydrogéologiques de la région de Bangui, lesquelles sont fonction de la porosité et de la perméabilité, paramètres expliquant la circulation de l'eau dans le sous-sol. Cependant, l'infiltration de l'eau vers les nappes dépend non seulement de l'abondance des pluies mais aussi de la texture du sol, de l'importance des vides présentés dans cette texture (GUYOT, 1974). Nous y voyons une évidente relation avec la pente ou la topographie, par conséquent avec la géomorphologie. Ainsi, des critères géomorphologiques servent à définir les bassins hydrogéologiques et hydrologiques, qui se superposent dans l'espace, selon l'orientation des réseaux d'écoulement (superficiel ou souterrain). Dans cette perspective d'aménagement, nous entendons le rôle de la géomorphologie par les conditions d'écoulement *lato sensu* (pluies, ruissellement, infiltration), rentrant dans le cycle global de l'eau à l'échelle de la capitale.

3.2. La difficulté d'évacuer les eaux superficielles

3.2.1. Genèse du processus et de la vulnérabilité physique

Les marais caractérisent la Plaine de la ville et se sont essentiellement étendus dans des terrains argileux. Ces dépôts se composent d'éléments fins colmatés, sans porosité, les pores ne laissant plus passer l'eau. Par contre, ils peuvent s'imprégner d'eau jusqu'à 50 % de porosité (cas de l'hydromorphie), mais l'eau ne peut circuler et la roche demeure imperméable. Dans un tel paysage, l'hydromorphie [Note 21](#), les fait fonctionner

comme des *surfaces contributives* lorsqu'il pleut, en favorisant l'augmentation du niveau des eaux de ruissellement dans les quartiers qui les occupent. Lorsque la nappe phréatique superficielle est proche de la surface (moins de 1 m) le phénomène se produit et le niveau hydrostatique peut varier de 0,80 m à 0,40 m, voire à 1 m, selon l'intensité et le volume des précipitations ; quelquefois, nous constatons que la nappe phréatique affleure sous forme de sources, ou alors le sol peut être bien imbibé d'eau sans affleurer ; ou bien à l'inverse, le niveau hydrostatique peut se situer à 5 cm, voire 10 cm au-dessus du sol, pendant plus de six mois de l'année. Les eaux sur cette surface s'écoulent à peine en raison de la pente. Leur stagnation, sous forme de lacs, flaques, ou étangs, favorise la prolifération des moustiques, des parasites intestinaux ; de plus elle pénalise la potabilité de l'eau souterraine superficielle des puits ; ceci crée en fait un problème d'assainissement.

3.2.2. L'état du drainage

Le drainage intègre les réseaux *naturels*(Figure 3) et *artificiels*(Figure 36), notamment avec l'humanisation de l'espace banguissois. La nécessité d'évacuer le surplus d'eau indésirable à Bangui s'était imposée avec l'essor démographique. En effet en 1953 par exemple, l'évolution de la ville posait déjà des problèmes d'assainissement (BOULVERT, 1989). Des caniveaux, des fossés et un collecteur traversant la ville (la Kouanga probablement ou son affluent de droite, la Bouagba) étaient aménagés. Mais ces travaux étaient handicapés par les difficultés liées à la topographie et au régime pluviométrique, car la ville est établie dans des marécages où les chenaux des marigots se distinguent à peine. Ainsi, la Kokoro, la Ngongonon, la Ngoubagara et la Sapéké constituent un même réseau ; la Bouagba et la Kouanga forment le réseau Sica-Saïdou. Seules la Nguito et la Ngola ont chacune un réseau encore *naturel*. Cependant, leurs bassins sont de plus en plus habités. En 1950 (avec la Kouanga, la Bouagba), en 1960 et au début des années 1970 (avec la Kokoro, la Ngongonon, la Ngoubagara, la Sapéké), l'aménagement des cours d'eau a donné une nouvelle orientation aux chenaux et changé la physionomie (Figure 36) et la hiérarchisation du réseau hydrographique de Bangui (PNUD-OMS, 1972).

3.2.3. Le réseau actuel

Un amalgame de chenaux « naturels » et de fossés, caniveaux... constitue le réseau actuel de drainage. Les lits des petits cours d'eau qui drainent le site urbain (Ngola, Ngoubagara, Ngongonon, Nguito...) représentent les chenaux « naturels » lorsqu'ils ne sont pas modifiés par le creusement de collecteurs et la construction d'ouvrages de franchissement, qui ont été réalisés à Bangui entre 1973 et 1979 (GROUPE HUIT, 1991). Ainsi le réseau actuel de drainage est constitué de trois principaux types de collecteurs (Figure 37) :

- les caniveaux et canaux à ciel ouvert, en terre, ou revêtus (totalement ou partiellement) ;
- les caniveaux bétonnés recouverts ;
- les canalisations enterrées, buses cylindriques ou ovoïdes.

Figure 36 Hydrographie actuelle ou ancienne de Bangui (d'après IGN, 1987, modifiée)

Ainsi, elles accélèrent le colmatage des fossés par sédimentation rapide, parallèlement aux dépôts d'ordures domestiques obstruant les linéaires artificiels.

Tableau VII : Les collecteurs aménagés, support du drainage à Bangui (GROUPE HUIT, 1991)

Collecteurs	Section (m ²)	Longueur traitée (m)	Extraction et mise en dépôt (m ³)	Aire extraite (ha)
Kouanga	20,5	1520	6230	1,5
Aviation	20,5, 14,3 et 7	2010	22772	7,5
Saïdou	6	870	5905	4,5
Sica	8 et 6	980	2443	-
Uzès II	5	1170	825	-
Total	87,3	6 550	45 575	13,5

Ces données nous montrent les limites de l'assainissement à Bangui, avec la déficience du drainage des eaux pluviales. Le sous-équipement est notable dans les quartiers populaires, lesquels par une croissance désordonnée et par la concentration d'habitations, augmentent le débit et le volume des eaux de ruissellement sur ces surfaces imperméabilisées. Les eaux de pluie n'ont pas d'exutoires (fossés, drains ou caniveaux). De ce fait, l'eau de ruissellement se déplace n'importe où, en charriant des débris organiques et en les déposant lorsqu'elle n'est plus compétente, particulièrement dans ces rares collecteurs ou drains mal entretenus dont la durée de vie n'est pas maîtrisée. Dans ce contexte, les Hommes et leurs biens sont exposés au risque d'inondation et peut-être de glissement de terrain...

Ce chapitre nous a permis de cerner les fondements de la dynamique hydrogéomorphologique du site de Bangui, en abordant les propriétés des formations géologiques, leurs potentialités hydrogéologiques et le façonnement de ces terrains par les facteurs tectoniques, paléoclimatiques et anthropiques, toujours actuels.

Figure 37 Réseau actuel de drainage (GROUPE HUIT, 1991, modifiée)



- Canal ouvert revêtu totalement ou partiellement
- - - Canal ouvert en terre
- Caniveau rectangulaire recouvert
- Canalisation enterrée
- - - Rivière ou talweg naturel

Figure 37 : Réseau actuel de drainage (GROUPE HUIT, 1991, modifié)

Notre étude des formations du *substratum* souligne une très forte tectonisation du site, qui se remarque au travers des principales unités topographiques (collines et plaine). L'intérêt hydrologique des roches dépend de la fracturation, des diaclases, des fissures et des failles qui rendent possible l'exploitation des eaux souterraines dans n'importe quel type de roche. Ainsi les principales unités hydrogéologiques sont des formations *fini-précambriennes* (carbonatées et non carbonatées), avec les séries sédimentaires fortement latéritisées. La transmissivité élevée, estimée le long des grandes failles N-S qui caractérisent le centre de la Dépression de Bangui, présente des débits encourageants au regard des pompages d'essai. Toutefois, d'un point de vue morphologique, nous constatons l'absence d'une circulation saine de l'eau en surface, se traduisant par une mauvaise hiérarchisation des cours d'eau en contexte *naturel*, d'où la présence des étendues marécageuses sur la majorité de la région. De plus, l'implantation de la ville dans cette situation fragile n'est pas aisée lorsque les réseaux d'évacuation ne suffisent pas pour évacuer l'excédent des précipitations, lequel est canalisé par les toitures en tôles d'aluminium (étant des *surfaces contributives imperméables*) qui augmentent le *risque pluvial* par une concentration simultanée et rapide des eaux de ruissellement. Cela montre l'intérêt de comprendre la dynamique des pluies dont les caractéristiques sont fonction du climat.

Chapitre III – LA DIVERSITE DE L'EAU A BANGUI : CYCLE ET POTENTIEL

« L'une des conséquences les plus visibles de l'urbanisation est l'imperméabilisation des sols qui limite très

fortement les possibilités d'infiltration de l'eau. Ce phénomène est très récent et entraîne une augmentation des volumes d'eau ruisselée. » EURYDICE (1991), **Réconcilier l'eau et la ville par la maîtrise** des eaux pluviales. Ed. de STU, Min. Equipement, Paris.

La présentation de l'eau dans le site de Bangui et de ses formes spécifiques (météorique, superficielle ou souterraine) doit se faire dans un cadre global. La circulation à l'interface ciel-terre dépend étroitement du climat qui commande les types de *cycles de l'eau*. Dans le **cycle de l'eau**, la permanence des échanges entre *l'eau de surface* et *l'eau atmosphérique* est soulignée par le jeu combiné de l'évapotranspiration et des précipitations. Ces échanges s'effectuent à l'échelle de la planète tout entière, mais le cycle de l'eau peut être abordé à une toute autre échelle qui est l'*échelle stationnelle* (COSANDEY et ROBINSON, 2000), à l'échelle de la ville de Bangui. Cette cité bénéficie de la régularité des pluies, qui explique la pérennité des cours d'eau et la luxuriance de la végétation pendant une bonne partie de l'année, voire l'existence des marais en relation avec la géomorphologie du site.

L'analyse et l'interprétation des données climatologiques (pluies, températures, humidité relative, évapotranspiration), recueillies depuis l'origine des stations qui jalonnent la ville, nous permettent d'*étudier le cycle de l'eau* et de voir *ses interrelations avec le potentiel disponible*, dans l'espace et dans le temps. Le chapitre est bâti autour *du cycle de l'eau et des caractéristiques climatiques de la ville de Bangui* ; nous y présentons aussi les eaux de surface (faisant partie des chapitres IV et V) et les eaux souterraines (chapitre VII), avec leurs problèmes, dans le but de donner un aperçu sur la diversité de l'eau à Bangui.

1. CYCLE DE L'EAU, SYSTEMES HYDROLOGIQUES

1.1. Généralités

Le cycle de l'eau est le cadre de la répartition et de la circulation de l'eau sur la terre. Il peut être étudié dans des territoires emboîtés, de tailles décroissantes : *globe terrestre, continents* ou *océans* et *systèmes hydrologiques*.

Les *systèmes hydrologiques* sont le résultat du fractionnement de l'espace en secteurs et en durées accessibles aux observations et mesures (CASTANY, 1998). L'étude du cycle de l'eau les situe dans leur environnement et permet d'analyser leur comportement hydrodynamique. Autrement dit, un système hydrologique est une fraction du cycle de l'eau.

Au plan spatial, les systèmes hydrologiques se définissent en trois domaines d'espaces interdépendants, emboîtés, circonscrits. Il s'agit, selon la décroissance de l'ordre de grandeur, de trois systèmes hydrologiques : le *bassin hydrologique*, le *bassin hydrogéologique* ou des eaux souterraines, dont les limites se superposent plus ou moins exactement à celles du bassin hydrologique, et l'*aquifère*, qui est le domaine des eaux souterraines, lequel peut comporter plusieurs nappes. De ce fait, à chaque système hydrologique correspond une fraction du cycle de l'eau, un type de bilan et une catégorie de ressource.

Le *bassin hydrologique* est circonscrit par les lignes de crête topographiques, délimitant le bassin-versant d'un cours d'eau et de ses affluents. Il correspond donc, en surface, au bassin hydrographique. Le bassin-versant est une unité hydrologique ou une portion d'espace drainée à partir d'un seul exutoire bien déterminé ; il rend possible la connaissance de la quantité d'eau qui est sortie du système par écoulement. La pluie qui tombe dans cet espace est généralement mesurée en un ou plusieurs points du bassin : c'est le cas de l'espace bangouais. En revanche, la dimension temporelle des systèmes hydrologiques nécessite de disposer des valeurs moyennes annuelles (année hydrologique). Les mesures doivent se rapporter à un intervalle de temps (période) commun à tous les paramètres du système. Le traitement des données implique l'acquisition des séries chronologiques continues (ou historiques) en répondant à deux conditions :

- la période hydrologique la plus longue possible, choisie en rapport avec la durée de l'historique des mesures, avec dix années au minimum ;
- la fréquence la plus courte possible, compatible avec celle des mesures : journalière, décadaire, mensuelle ou annuelle. Qu'en est-il du champ d'étude ?

1.2. Le contexte de la ville de Bangui

Les systèmes hydrologiques du site de Bangui impliquent les nappes d'eau libres ou de surface (cours d'eau, marais, lacs) et les eaux souterraines qui ont toutes une source d'alimentation pluviale ou fluviale. Ils constituent chacun des éléments du cycle de l'eau par leurs modes de recharge ou de transfert. Si nous considérons les trois domaines d'espaces interdépendants, emboîtés et circonscrits tels que définis par CASTANY (1998), le découpage en systèmes hydrologiques ne paraît pas si simple à adapter au site urbain de Bangui. Le bassin hydrologique est en effet celui de l'Oubangui dont la ville de Bangui n'occupe qu'une portion infime ; néanmoins, l'espace banguissois comprend cinq bassins de moins de 100 km² chacun (Ngola, Nguitto, Ngoubagara, Ngongonon,...). En revanche, le bassin hydrogéologique du site de Bangui n'est pas calqué sur les lignes de crête topographiques, et nous pensons que la forte tectonisation de l'environnement géologique a localement joué sur la délimitation (voir chapitre VII, p. 274).

Enfin, l'aquifère du site de Bangui est *double* : une *eau souterraine superficielle* ou *nappe libre* exploitée par les puits traditionnels et une *eau souterraine profonde* ou *nappe captive ou semi-captive*, qui est le plus souvent exploitée par forage.

Tous ces systèmes hydrologiques de la ville de Bangui sont régulés par une pluviosité abondante, dont les effets ont été sensibles depuis que la ville est née en 1889. GOULEE (1964) a signalé qu'avant la création des postes pluviométriques à Bangui en 1909 (en réalité en 1907), des phénomènes naturels exceptionnels ont été remarqués. Selon le Duc d'UZES (1894), les pluies très importantes de l'année 1891 ont provoqué une crue extraordinaire de l'Oubangui qui a nécessité le transfert du poste de la confluence de la Mpoko au site actuel de l'ex Rock Hôtel (voir figures 5, 11 et 12).

Le drainage principal à Bangui est assuré par l'Oubangui qui a les cotes d'altitude les plus basses du site. Les pertes saisonnières d'eau s'équilibrent annuellement par l'écoulement à l'exutoire des bassins hydrographiques ; néanmoins, les facteurs qui peuvent influencer l'écoulement à Bangui méritent d'être précisés.

1.3. Les facteurs de l'écoulement

L'étude de l'eau atmosphérique est fondamentale car elle conditionne l'existence des eaux de surface (rivières, lacs, marais) à Bangui. Or les cours d'eau sont étroitement liés au complexe géographique : relief, nature des roches et de leur manteau d'altération, climat, couvert végétal ; tout cela se reflète et se combine dans les traits de leur hydrologie (GUILCHER, 1979). Chacun d'entre eux est une résultante globale et subtile des caractères de la région qu'il draine. Ces influences du milieu sur les bassins peuvent être exagérées par les faits humains, et c'est l'écoulement qui en est le principal indicateur.

1.3.1. Les facteurs climatiques

Les facteurs climatiques dépendent des conditions météorologiques. Les échanges, entretenus par l'atmosphère et la terre, qui débouchent sur les précipitations, sont complexes et rendent aléatoires la production des phénomènes dans l'espace et dans le temps. L'importance relative de la pluviométrie (saison, durée, fréquence...) à l'échelle locale, zonale, voire régionale en est un indicateur. Ils sont les plus déterminants pour identifier les lames d'eau précipitées localement, et d'une région à l'autre. Un cours d'eau ne manifeste que les conditions exprimées dans l'atmosphère pour le cycle de l'eau. *Précipitations et*

évaporation se combinent pour déterminer l'écoulement, mais en amont ces paramètres sont soumis à l'influence des facteurs du climat. Cela entraîne par exemple que la relation *précipitations-évaporation-écoulement* fournit le bilan des rivières. Il est donc très important de préciser les combinaisons de la température et des précipitations dans leur relation avec l'évaporation qui est la fraction d'eau tombée sur la terre, échappant aux rivières. Les roches peuvent aussi avoir un comportement spécifique par rapport à l'eau qui s'écoule.

1.3.2. Les facteurs orographiques, morphologiques et lithologiques

Le *relief* influence le climat, et l'*altitude* accroît en principe les précipitations. Lorsque nous comparerons les données des stations pluviométriques situées au pied des collines à celles de la plaine (dénivellation d'environ 250 m), cette réalité sera vérifiée. En fait, le relief agit non seulement sur les précipitations, mais aussi sur l'écoulement : il restreint le déficit en abaissant la température et en accélérant l'écoulement du fait de l'accroissement de la pente. Plus l'eau coule vite, moins elle s'évapore ; cette évolution pourrait concerner la Ngoubagara qui gonfle souvent après les pluies. Le déficit d'écoulement est donc beaucoup moins fort en montagne qu'en plaine (GUILCHER, 1979). Par ailleurs, la morphologie du lit fluvial exerce une influence sur l'hydrologie du cours d'eau, notamment par des variables hydrauliques qui décrivent le lit majeur (plaine d'inondation), le lit ordinaire et le lit d'étiage. Ces différents lits peuvent se confondre lorsque la morphologie du chenal cadre avec un resserrement du lit (gorges). Nous notons qu'à Bangui, les aménagements de toutes sortes ont supprimé les plaines d'inondation en ce sens qu'ils ont permis la colonisation par les habitations, et les conséquences se traduisent par des débordements épisodiques après chaque pluie.

Les facteurs lithologiques définissent la perméabilité des terrains face à l'écoulement. Si la roche est perméable, elle peut jouer un rôle retardateur et pondérateur des crues en fonctionnant comme une *éponge*. A Bangui par exemple, les sols latéritiques ou gravillonnaires qui ne couvrent presque le tiers de la ville, pourraient avoir ces caractéristiques hydrodynamiques. En revanche, les terrains imperméables comme les roches cristallines, métamorphiques et les argiles, favorisent un ruissellement instantané : sur ces terrains, les cours d'eau de Bangui enregistrent des crues brutales (lors des pluies exceptionnelles ou de forte intensité), en particulier sur leurs parties amont quartzitiques et schisteuses, et sur leurs bassins, moyen et aval, argileux, défavorables à l'infiltration en dépit de la couverture végétale.

1.3.3. Les facteurs biogéographiques : la végétation

La *forêt* conduit en bien des cas à une atténuation sensible de la grande majorité des crues, mais il arrive qu'elle soit impuissante dans le cas d'averses exceptionnelles saturant le sol, et que, par conséquent, elle n'atténue pas les inondations les plus désastreuses (GUILCHER, 1979). Cet auteur montre aussi l'intérêt d'apprécier la différence de perméabilité des terrains en fonction de sa présence. Ceci montre que la forêt ne joue qu'en certains cas un rôle hydrologique que l'homme considère comme favorable ; en d'autres, la forêt n'est pas utile, lorsqu'elle serait sur un terrain perméable. Pour COSANDEY et ROBINSON (2000), « la forêt, à l'échelle des aménagements locaux, intervient sur le cycle de l'eau de deux manières : d'une part, par un enracinement souvent plus profond qu'un autre type de végétation et une interception plus importante de la pluie incidente ; d'autre part, parce que le type de couvert influe sur les cheminements de l'eau dans l'espace du bassin-versant, entre son point de chute et son apparition dans le talweg ». Cette influence se matérialise sur le volume de l'écoulement, lors de la sévérité des étiages. La modification des chemins de l'eau change les conditions de formation des crues, donc les volumes et les formes, et notamment la valeur des pics de crue.

Il y a plus d'un siècle, une forêt dense semi-caducifoliée, localement inondable, recouvrait le site de Bangui (VILLIEN, 1985). Il s'agissait de grands arbres tels que *Ceiba pentandra* (fromager), *Triplochiton scleroxylon* (Ayous), *Terminalia superba* (Limba)... dont les témoins ont subsisté de manière isolée. Le paysage actuel correspond donc à un défrichement récent et non à une savane, car les indices de la densité de la forêt sont encore remarquables sur le sommet des Collines de *Gbazabangui* au centre-ville. Certains auteurs parlent de « pauvre savane péreforestière guinéo-soudanienne à *Terminalia glaucescens* et *Albizia zygia* » (FRANQUIN

et *al.*, 1988). Selon des informations orales que nous avons collectées, dans les années 1940 et 1950, la vallée de la Ngoubagara par exemple était colonisée par des herbacées vivaces, de type roseaux, et il n'existait pas d'arbres. Ces graminées vivaces se trouvent encore localement dans la vallée. A l'entrée actuelle du quartier Dédengué V (Fouh), un îlot de forêt dense subsistait, semble-t-il, et c'est probablement après déboisement que la carrière actuelle a été installée. De même un lambeau de forêt dense entourait le marais de **Kalakpata** (NGUIMALET, 1999 b). Il semble que le déboisement du secteur centre-nord à nord de Bangui fut accéléré par l'activité des charbonniers dans les années 1950. La construction d'un aérodrome à Bangui entre 1925 et 1930 a entraîné une coupe de forêt dense sur l'actuelle avenue des Martyrs.

Se posent donc aujourd'hui à Bangui *des problèmes de ruissellement et d'écoulement* ; est-ce en raison du déboisement ou d'une gestion inefficace du territoire par les pouvoirs publics ? Cette question nous permet d'amorcer l'étude du climat et par la même des pluies.

2. LES GRANDS TRAITES DU CLIMAT ET DE L'EAU PLUVIALE A BANGUI

2.1. Contexte historique

Les premiers relevés météorologiques officiels remontent réellement au début du XXe siècle, hormis les observations ponctuelles des missionnaires ou explorateurs ; nous avons donc utilisé des sources historiques. Quelques températures extrêmes ont été signalées. Ainsi, le Lieutenant de vaisseau MIZON, dans un parcours réalisé entre 1890 et 1892, reconnut le 2 janvier 1892, à l'altitude de 1200 m, à 5 h du matin, une légère couche de glace sur le ruisseau de la Yarra (source de la Bénoué). De même, le Capitaine ROULET a noté dans le SE de l'actuel Centrafrique (rapport du 15 février 1900) que le groupe ethnique *Zandé* a deux expressions pour désigner la grêle et la neige ; le Capitaine HOSSINGER aurait vu tomber de la neige en mars 1896 sur l'interfluve Congo-Nil (FRANQUIN et *al.*, 1988). Ces données nous indiquent, au moins occasionnellement, des températures plus basses que de nos jours mais aucune mesure disponible ne nous permet de les infirmer, ni de les confirmer. Nous analyserons en premier lieu les hauteurs de pluie par station pluviométrique et leur répartition spatiale dans la ville de Bangui.

2.2. La pluviogenèse et les paramètres générateurs

L'eau d'origine météorique ne peut être bien cernée sans la compréhension de certains paramètres du climat tels que les températures, le vent ou l'évaporation, qui influencent non seulement les conditions de genèse, mais aussi la variabilité temporelle et spatiale. Nous présenterons les stations météorologiques et les données utilisées avant d'analyser les paramètres du climat et l'eau.

2.2.1. Le réseau de mesures et son évolution

De la création de la ville de Bangui à nos jours, six stations (Figure 38) ont mesuré les pluies et d'autres paramètres météorologiques (Tableau VIII). Les premières relèvent de l'ASECNA (Agence africaine pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) : des observations synoptiques, destinées à la prévision météorologique aéronautique, y sont effectuées. D'abord, la station *Bangui-Direction*, dont les relevés ont débuté en 1907, mais sont officiels de 1931 en août 1967 ; elle est située près des bureaux de l'ancienne Représentation de l'ASECNA et du Service Météorologique (près de l'avenue Nasser). Ensuite, une station synoptique, installée sur l'ancien aérodrome, a fonctionné de mars 1956 au 1er juin 1967 : on l'appelait *Bangui-Aviation*. Depuis le 1er juin 1967, la station officielle est celle de *Bangui-Mpoko*. Ces trois stations, appelées à un moment donné *Bangui-Météo*, fournissent encore l'essentiel des données climatologiques de la ville. La station Bangui-Km 22, rattachée à un centre d'expérimentation agronomique au nord de la ville (1929-1970), est historiquement la seconde créée. Dans le but de mesurer la variabilité des lames précipitées, d'autres stations ont été installées

suite à l'extension de la ville : il s'est agi chronologiquement de *Bangui-SAM* (1959-1966) et de *Bangui-Orstom* (ouverture en 1953 ; données ininterrompues depuis 1963). Plus à l'Est de Bangui, la station de la Landja, liée à un centre piscicole, a aussi fonctionné.

Tableau VIII : Caractéristiques spécifiques de chacun des postes pluviométriques de Bangui

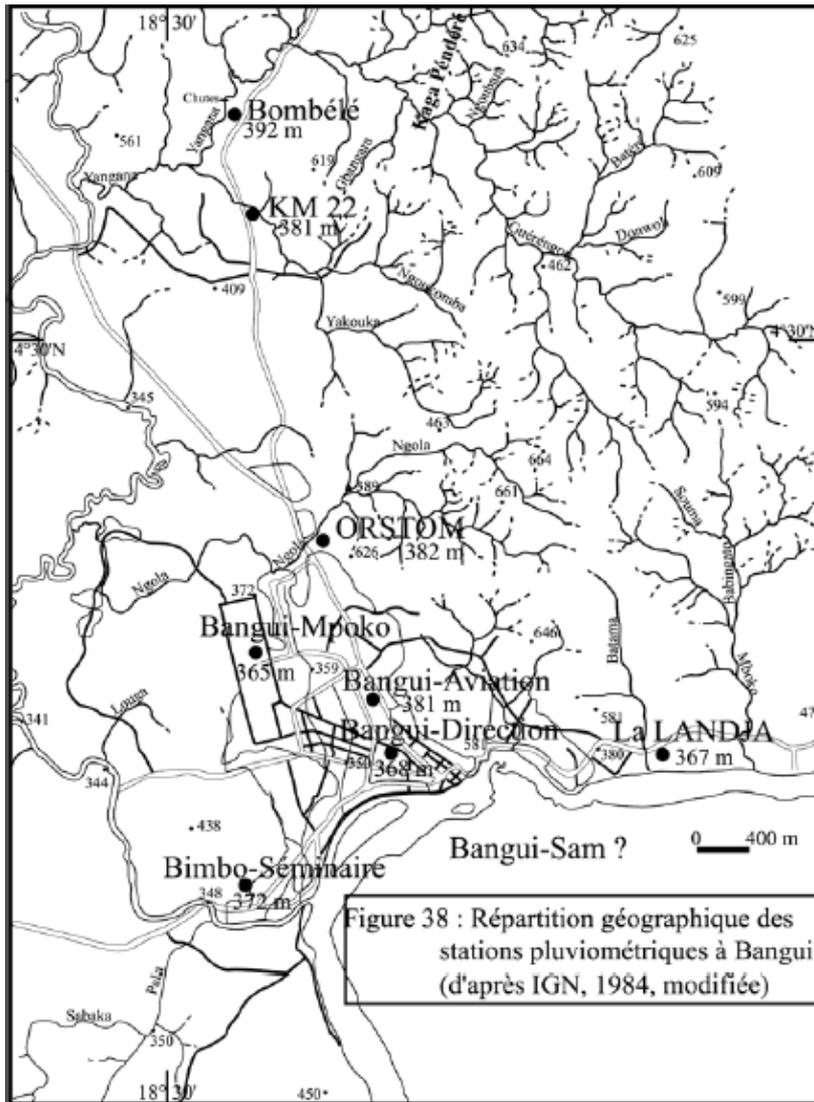
n°	Stations	Coordonnées géographiques	Altitude (m)	Dates	Durée de mesures	Pluies moyennes
1	Bangui-Direction	4°22'N-18°34'E	368	1907-1967	60 ans	1 615,5 mm
2	Bangui-Km 22	4°32'N-18°32'E	381	1929-1970	41 ans	1 551,6 mm
3	Bangui-Aviation	4°23'N-18°34'E	381	1956-1962	6 ans	1 472,2 mm
4	Bangui-SAM	-	-	1959-1966	7 ans	1 593,3 mm
5	Bangui-Orstom	4°26'N-18°32'43"E	382	1963-1999	36 ans	1 572,3 mm
6	Bangui-Mpoko	4°24'N-18°31'E	365	1964-1999	35 ans	1 545,8 mm
7	Bimbo-Séminaire	4°20'08"N-18°32'E	372	-	-	-
8	Bombélé	4°34'20"N-18°31'E	392	-	-	-
9	La Landja	4°23'N-18°39'E	367	1941-43,1961-79	23 ans	(1 337,5 mm)
Moy.	-	-	-	-	-	1 558,5 mm

N. B. : Nous n'avons pas inclus dans la moyenne des moyennes des pluies par station celle de La Landja en raison de nombreuses lacunes. Néanmoins, nous estimons que les pluies y sont globalement faibles par rapport à celles enregistrées dans les autres stations ; ceci serait dû à son enclavement car elle est quasiment encerclée par les collines.

2.2.2. La base de données : critique, traitement et analyse

Les données météorologiques et climatologiques que nous avons utilisées ont plusieurs sources : les recueils de pluies journalières et mensuelles en République centrafricaine (de l'origine des stations à 1980) publiés par l'OMM : Organisation Météorologique Mondiale (1990), la Direction de la Météorologie Nationale, le Service Technique de l'ASECNA, le Centre IRD (ex-ORSTOM) de Bangui, et des particuliers.

Figure 38 Répartition géographique des stations pluviométriques à Bangui (d'après IGN, 1984, modifiée)



Les données qui ont constitué le support de ce travail n'ont pas été collectées à la même période, ce qui pose la question du caractère comparable des paramètres observés. Les données pluviométriques ont été mesurées pour chaque station à des périodes bien différentes (Tableau VIII). Néanmoins, nous constatons que les moyennes annuelles entre les stations ne présentent pas beaucoup d'écart pour la région de Bangui quelle que soit la période de mesure. Cela peut révéler que Bangui est une région pluviométrique assez homogène. Ces indications sur les éléments du climat ont été obtenues dans le temps (Tableau VIII) et dans l'espace (Figure 38).

Tableau IX : Les indices interannuels de la variabilité des précipitations par station à Bangui

Stations	Moyenne annuelle (mm)	Ecart-type	CV (%) par période et par station	Maximum/minimum
Bangui-Direction (1907-1967)	1615,5	434,21	26,88	1,62
Bangui-Aviation (1956-1962)	1472,2	104,86	7,12	1,23
Bangui-SAM (1959-1966)	1593,3	245,77	15,43	1,19
	1551,6	245,12	15,80	1,65

Bangui-Km 22

(1929-1970)

Bangui-Orstom 1572,3 280,80 17,86 1,69
(1963-1999)

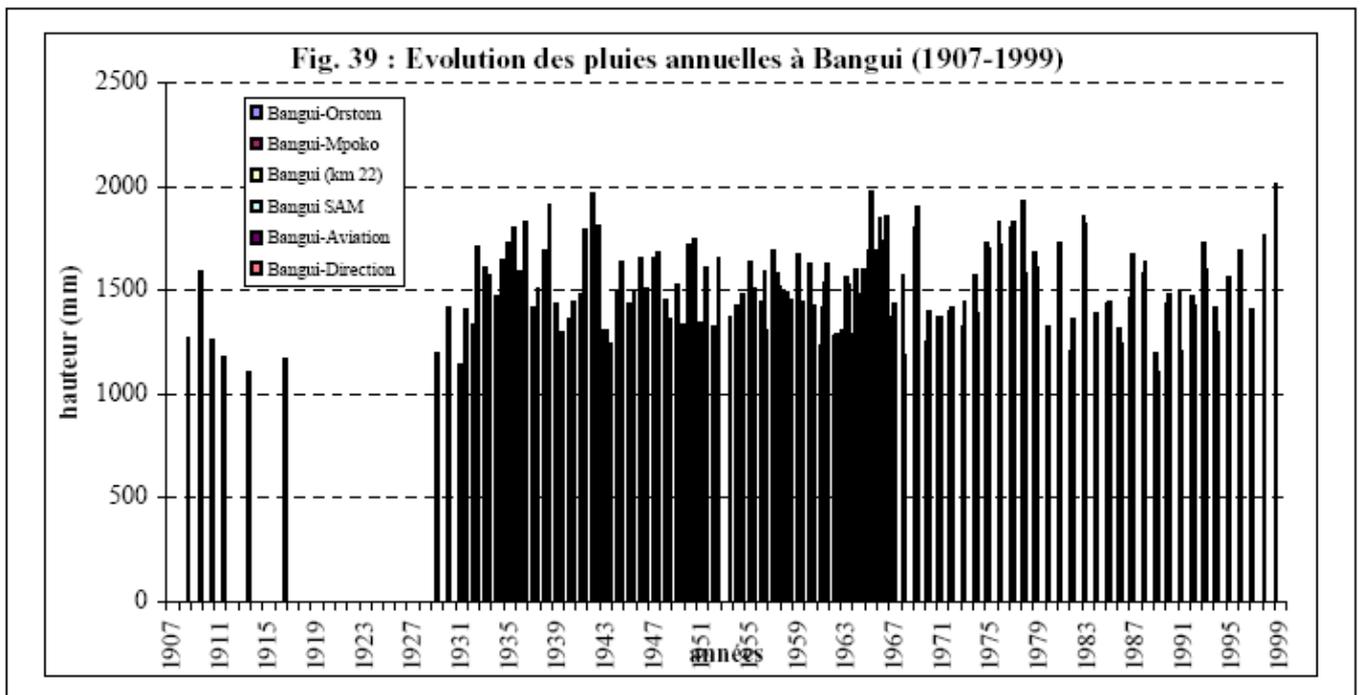
Bangui-Mpoko 1545,8 194,45 12,58 1,68
(1964-1999)

La Landja 1337,5 223,77 16,73 1,79
(1941-1979)

Les conditions différentes de mesure des paramètres selon les stations peuvent être à l'origine d'une hétérogénéité spatiale, ce qui nécessiterait de vérifier la régularité des données.

Des lacunes dans ces données pluviométriques seraient dues soit à l'insuffisance des mesures, soit à l'absence de mesures à l'échelle annuelle, mais nous ne les avons pas pris en compte dans le traitement. Ainsi, en nous reportant à l'origine des mesures, nous remarquons qu'il y avait beaucoup de lacunes avant 1931 ; elles ne rendent pas homogènes les moyennes, très fluctuantes. En revanche depuis 1931, la superposition des modules pluviométriques par station révèle des oscillations régulières et concordantes autour de 1500 mm (Figure 39).

Figure 39 Evolution des pluies annuelles à Bangui (1907-1999)



De cette façon, nous avons défini deux groupes de moyennes. Le premier comprend les moyennes situées entre 2000 et 1500 mm, qui correspondraient aux années excédentaires, et les moyennes comprises entre 1000 et 1500 mm, qui indiqueraient des années déficitaires.

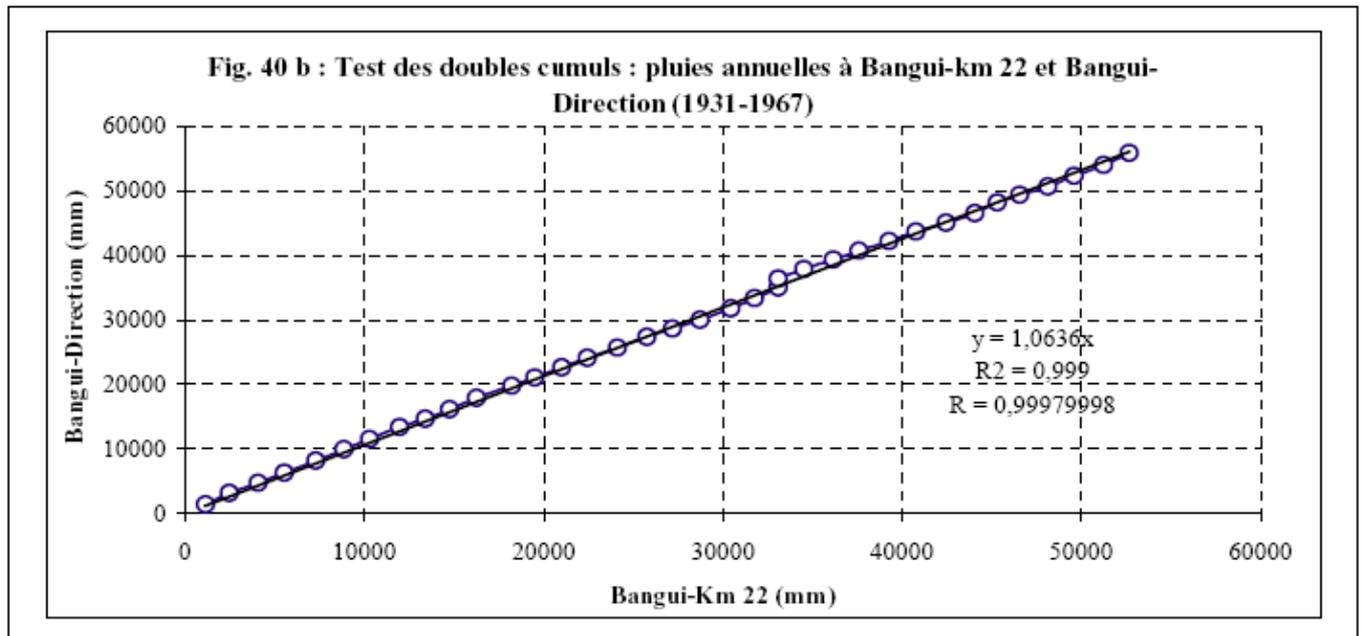
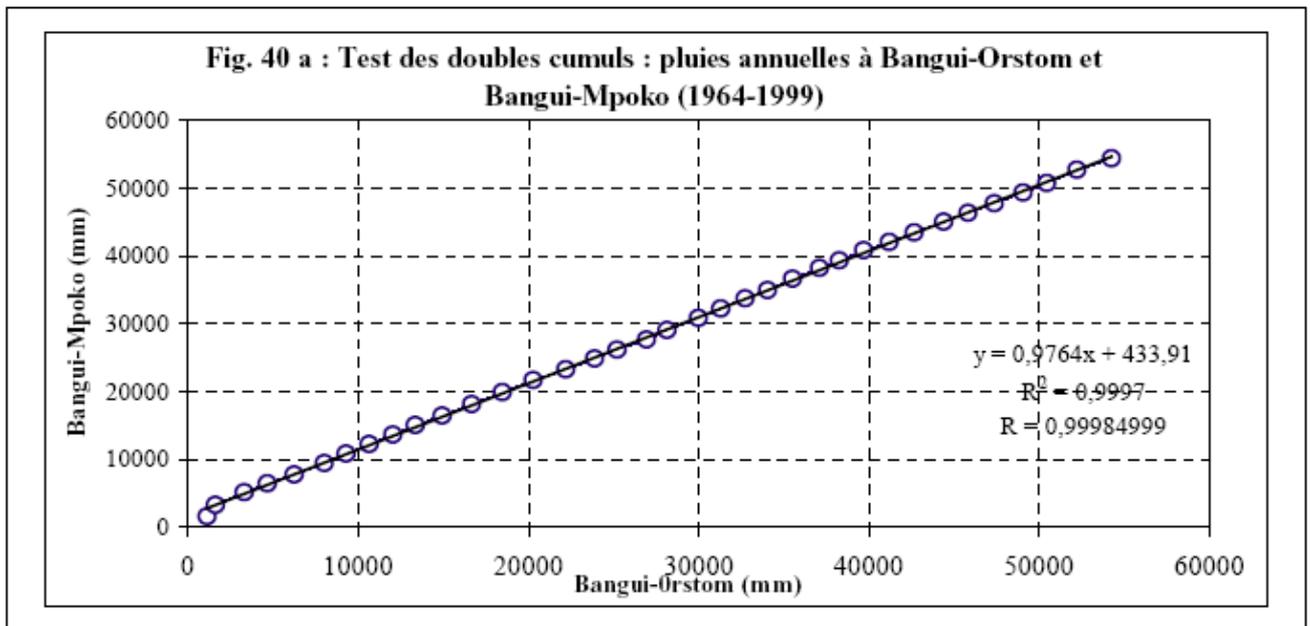
Nous avons utilisé le test des doubles cumuls pour déceler l'hétérogénéité dans les données pluviométriques (Figures 40), car le fait qu'une station se déplace par exemple d'un endroit à un autre a une incidence sur la qualité et la fiabilité des données. Cette méthode compare des totaux annuels cumulés d'une série de référence à une autre. Elle a décelé, aussi bien sur la période 1931-1967 que sur la période 1964-1999, des totaux annuels incomplets (en 1953 pour Bangui-Km 22) qui rendent hétérogènes les données. Malgré tout, la corrélation inter-postes pour ces périodes a donné un coefficient de corrélation r de 0,99. Ces résultats

montrent la fiabilité des données pluviométriques utilisées dans ce travail.

Figure 40 Tests des doubles cumuls :

a) Pluies annuelles à Bangui-Mpoko et Bangui-Orstom (1964-1999)

b) Pluies annuelles à Bangui Km 22-Bangui-Direction (1931-1967)



Nous avons également déterminé les fréquences ou périodes de retour des totaux pluviométriques

annuels et des pluies journalières (normales et exceptionnelles) de la ville de Bangui, en utilisant le logiciel HYFRAN (Hydrological Frequency Analysis), développé à l'INRS-ETE par l'équipe de la Chaire en hydrologie statistique (HYDRO-QUEBEC/ ALCAN/CRSNG).

Quant aux vents, les données sont mesurées à Bangui-Météo et à Bangui-Orstom (CALLEDE et ARQUISOU, 1972). Les informations sur les températures, l'évaporation, l'évapotranspiration et l'humidité relative ont la même source ; nous les avons complétées par les données issues des stations de Bangui-Mpoko et de Bangui-Orstom.

Ainsi pour l'étude des pluies, des températures, du vent, de l'humidité de l'air, de l'évaporation à Bangui, les données remontant à l'origine des stations depuis 1907 jusqu'à nos jours (pluies essentiellement) seront fractionnées en deux périodes : la première considère les différentes stations dans leur fonctionnement de leur origine à 1960 ; la seconde débute après 1960. Nous mettrons un accent particulier sur les stations de *Bangui-Mpoko* et de *Bangui-Orstom* (ou station de la Ngola) pour la longueur de leurs séries de mesure dans le temps et pour leur fonctionnement actuel. L'intérêt est de suivre la variabilité des pluies à l'échelle locale.

2.2.2.1. Le vent

D'après les observations faites sur la période 1957-1971 à Bangui-Météo (CALLEDE et ARQUISOU, 1972), le vent souffle, d'un mois de l'année à l'autre, à peu près toujours dans la même direction ; il est de **secteur Sud à Ouest**. Cette orientation du vent est due à la présence des collines aux alentours de Bangui, qui forment barrière aux vents de **secteur Nord et Est** (Figure 41), et qui abritent la ville contre les *lignes de grain* venant de l'Est. Par ailleurs, d'un mois à l'autre, nous notons que la force du vent ne varie guère et les calmes représentent un peu plus de la moitié des cas. Les vitesses maximales du vent sont assez fortes et correspondent aux coups de vent accompagnant un grain. A titre indicatif, un vent de 22 m.s-1 (maximum observé à Bangui) équivaut à 79 km.h-1. Cependant, RICHARD (1934) signale un grain orageux d'une rare violence le 27 mai 1932 (250 m de largeur sur 2 500 m de longueur) ; il a occasionné d'importants dégâts à la ville.

De même, la vitesse moyenne du vent varie peu d'un mois à l'autre à Bangui-Orstom sur la période 1972-1992, pour des mesures faites à 1 et 2 m au-dessus du sol (Tableau X). Ceci s'explique par l'obstacle des collines de Daouba-Kassaï au pied desquelles est la station. La vitesse du vent est un peu plus élevée à Bangui-Mpoko à cause probablement du caractère ouvert de la station. Les mois de mars et de décembre connaissent respectivement les vitesses les plus grandes et les plus faibles dans les deux cas.

Figure 41 Fréquence de la direction des vents au sol observés à Bangui-Météo (1957-1971) (CALLEDE et ARQUISOU, 1972)

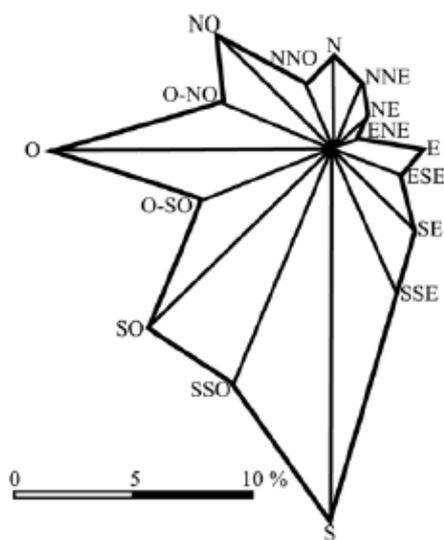


Tableau X : Vitesse moyenne du vent (m.s-1) à Bangui-Mpoko (1964-1993) et à Bangui-Orstom (1972-1992)

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy.
Bangui-Orstom	0,9	1,3	1,5	1,3	1,0	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9
Bangui-Mpoko	1,04	1,34	1,53	1,52	1,33	1,13	1,05	1,02	1,02	0,97	0,91	0,84	1,14

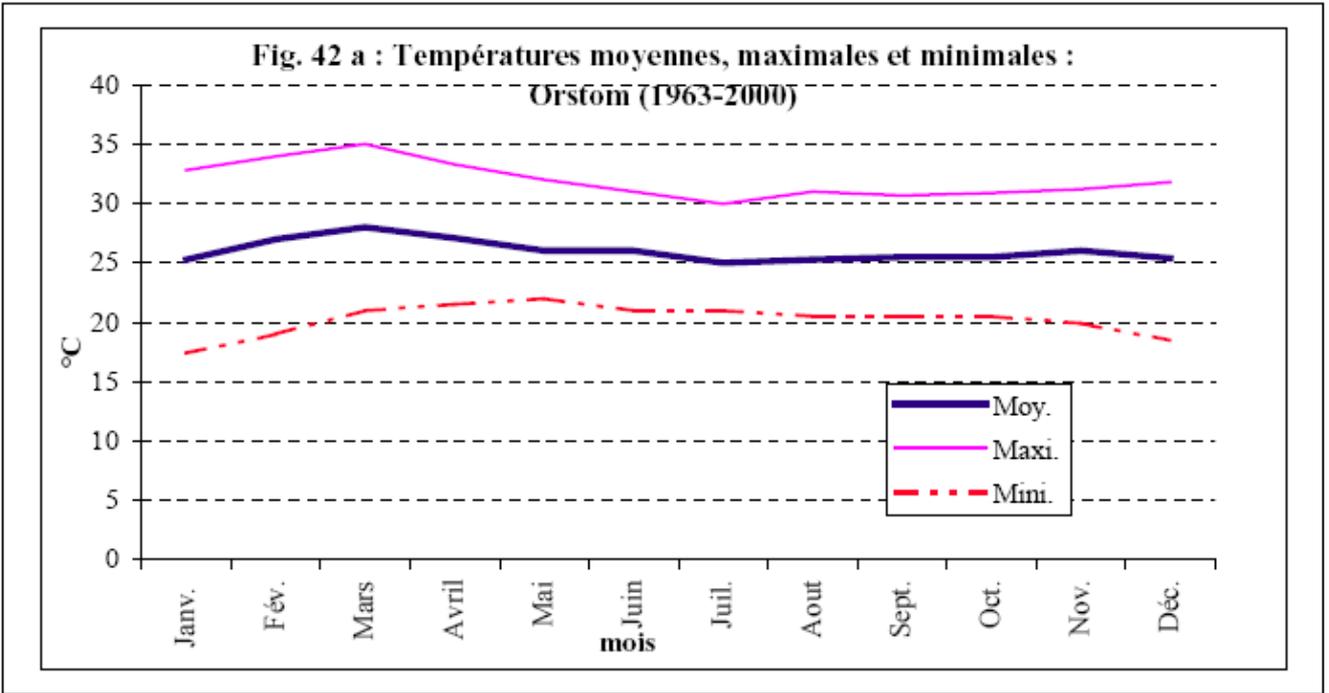
2.2.2.2. Les températures et leurs caractères

La température moyenne interannuelle est de 26,1 °C à Bangui. L'évolution interannuelle des moyennes nous montre une très faible variabilité des températures d'une année sur l'autre : l'écart type est de 0,48. Les données ont été acquises sous abri de 1931 à 1971 pour Bangui-Météo (ou Bangui-Mpoko) et de 1963 à 1999 pour Bangui-Orstom, qui dans cette période, manque de données sur la période 1972-1979. Le paramètre que nous étudions prend en compte les moyennes maximales et minimales.

Ainsi, nous observons une seule période chaude à Bangui, de février à avril (figure 42 a et b). Elle correspond au premier passage zénithal du soleil, alors qu'à Niamey, par exemple, le régime thermique est à deux maxima, résultant des oscillations zénithales (BECHLER-CARMAUX, 1998). La température se maintient selon une relative constance en saison pluvieuse, même lors de l'équinoxe d'automne. Nous pouvons expliquer ce régime *monomodal* par l'abondance des pluies à Bangui, d'août à octobre, qui abaisse la température, bien que le rayonnement solaire global augmente de 1600 J.cm⁻² en août à environ 1800 J.cm⁻² en octobre (CALLEDE et ARQUISOU, 1972).

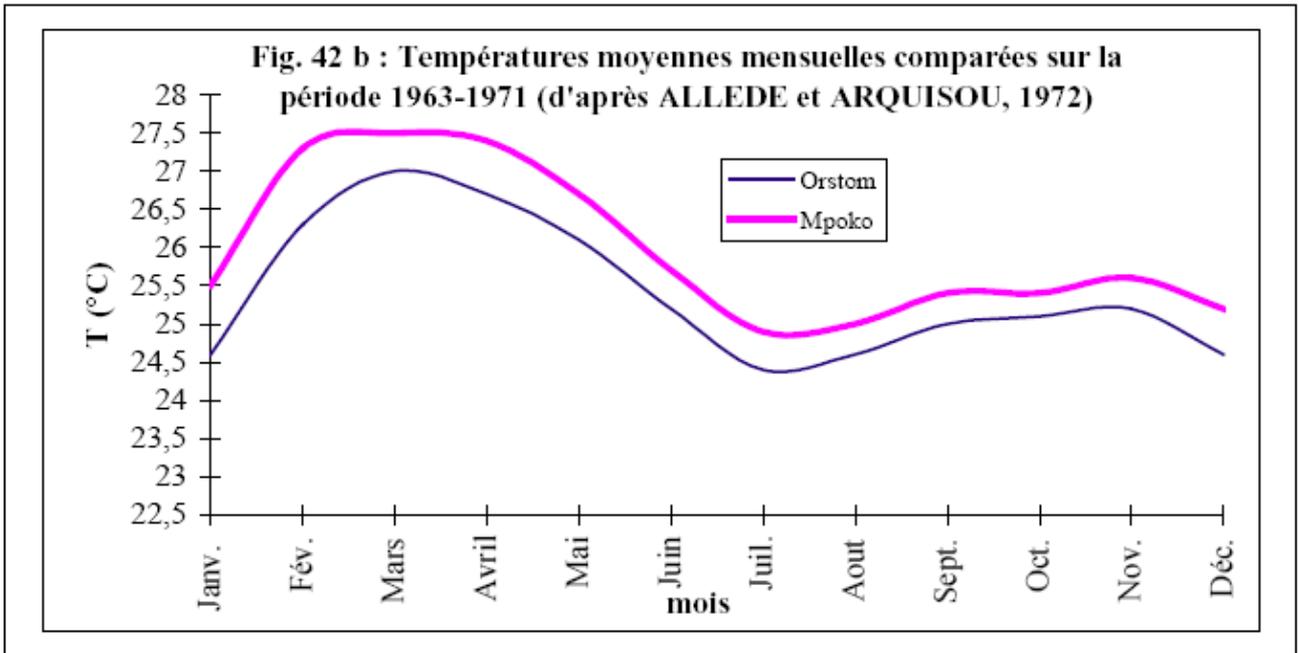
Les températures moyennes maximales journalières varient entre 37 et 39°C à Bangui au milieu de la journée (13 à 14h), et atteignent parfois 40°C (en avril 1967 à Bangui-Orstom). Les valeurs maximales moyennes mensuelles peuvent aller jusqu'à 36 ou 37°C, mais elles se situent souvent autour de 33°C ; la période chaude (février, mars, avril) se caractérise par un seul maximum (Figure 42 a). La température maximale moyenne interannuelle a probablement été de 31,9°C. Quant aux températures minimales, les minimales absolues ont été relevées aux alentours de Noël 1971 (CALLEDE et ARQUISOU, 1972), avec respectivement 9,9°C le 20 et 9,2°C le 24 décembre à Bangui-Orstom, alors que le minimum absolu jusque-là était de 10°C et 9,8°C à Bangui-Mpoko ; il faisait très frais ce soir-là (BOULVERT, 2001, communication orale) mais il n'y a jamais eu de gel à Bangui ; pourtant, depuis 1931, le minimum absolu n'a été que de 11,4°C à Bangui-Météo. Pour la période 1980-1999, les températures extrêmes sont de 11,7°C en janvier 1989 et de 37,4°C en mars 1990 à Bangui-Orstom, alors qu'elles sont respectivement de 12°C (janvier 1989) et de 37,8°C (mars 1983) à Bangui-Mpoko.

Figure 42 a) Températures moyennes, maximales et minimales : Bangui-Orstom (1963-2000) ; p. 112



Notre analyse des données de températures mesurées à la station de Bangui-Orstom (1963-1999) (Fig. 42 a), et à la fois, à la station de Bangui-Mpoko et à la station de Bangui-Orstom (1963-1971 : d'après CALLEDE et ARQUISOU, 1972), contribue à dégager des tendances locales. Bangui-Orstom a la température la plus basse en janvier et la plus élevée en mars ; elle a une évolution moyenne en mai. En revanche, Bangui-Mpoko enregistre la plus basse température en juillet ; elle s'explique par une forte nébulosité qui se maintient avec une constance relative jusqu'en décembre. Cette nébulosité coïncide avec le début de la saison sèche à cette période où des brumes sèches et l'évapotranspiration sont notables. Bangui-Orstom présente des températures légèrement plus élevées par rapport à Bangui-Mpoko, ce que leurs contextes bioclimatiques respectifs peuvent expliquer : le site de Bangui-Orstom est situé non loin du pied des collines de Bangui, et couvert de végétation alors qu'à Bangui-Mpoko, le milieu est ouvert. Par ailleurs sur la période 1963-1971 (Figure 42 b), Bangui-Mpoko enregistre des températures un peu plus élevées que Bangui-Orstom. Cependant, la mesure des températures se trouve affectée par les activités humaines (émission des gaz de toutes sortes) et les aires bâties qui dégagent de la chaleur.

Figure 42b) Températures moyennes mensuelles comparées (1963-1971)



D'un mois sur l'autre, les températures moyennes mensuelles varient peu : de 0,4°C en saison pluvieuse à 1°C en saison sèche ; l'amplitude annuelle n'est que de 3°C. Quant aux moyennes maximales et minimales, les écarts à l'échelle saisonnière décroissent de 15°C en janvier et février à 9°C en juin et juillet. Les températures élevées qui entretiennent le déficit hydrique par évaporation concourent à engendrer les pluies à l'échelle régionale.

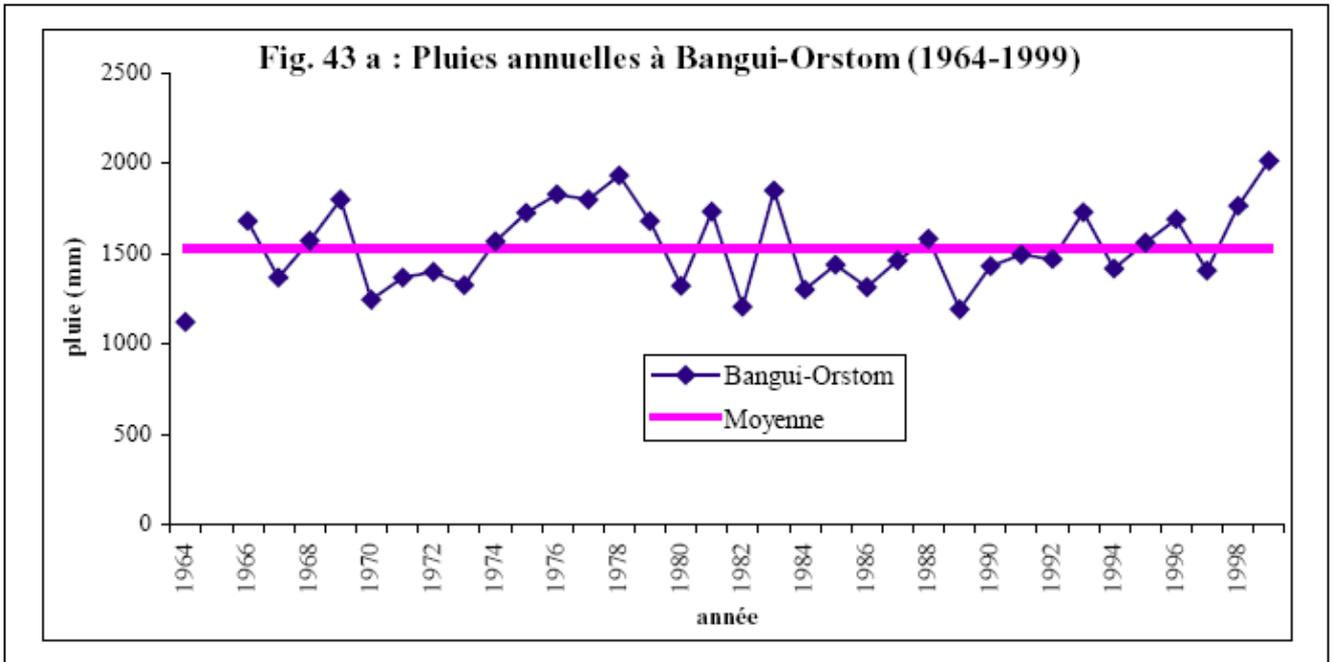
2.2.2.3. L'étude de la pluviométrie

Nous avons analysé la pluviométrie à l'échelle *annuelle* ou *interannuelle*, *mensuelle* et *journalière*. A travers cette étude des pluies, nous voudrions cerner leur *quantité* et leur *régularité* dans le temps et dans l'espace, qui sont susceptibles d'influencer les écoulements superficiels et souterrains.

2.2.2.3.1. Les totaux annuels

Les totaux annuels constituent le meilleur indicateur d'appréciation des hauteurs d'eau précipitées durant les deux saisons (pluvieuse et sèche) qui définissent le cycle annuel des pluies en Centrafrique. Les cycles annuels dont nous disposons présentent des totaux qui sont compris entre 1100 mm (l'année 1913, très sèche avec une moyenne de 1098,4 mm) et 2000 mm (pluviométrie exceptionnelle en 1999), d'après la moyenne de l'ensemble des totaux cumulés à Bangui (Figure 39, p. 109). La moyenne interannuelle donne **1558,5** mm. Par ailleurs, en comparant les stations de Bangui-Orstom et de Bangui-Mpoko depuis 1964 (Figure 43 a et b), nous estimons que les lames d'eau précipitées ont quasiment la même évolution, avec une légère augmentation des pluies à Bangui-Orstom : la moyenne sur la période 1964-1999 est de 1535,14 mm à Bangui-Orstom et de 1508,93 mm à Bangui-Mpoko. Cet exemple nous révèle une faible variabilité spatiale de la pluie sur l'aire de la ville selon la position topographique des stations : la dénivellation entre les stations de piémont et celles de plaine varie de 30 à 15 m. Sur le piémont, les stations (Bangui-Orstom, Bangui-Direction, Bangui-km 22) ont chacune un faible écart-type (Tableau VIII, p. 107) ; le fort écart obtenu à Bangui-Direction s'expliquerait peut-être par la dégradation du milieu physique (couvert végétal par exemple), comme le fort coefficient de variation le corrobore. La station Bangui-Mpoko, située dans la plaine, présente le plus faible écart-type de la série des moyennes, par rapport à Bangui-Orstom. Cette différence se remarque aussi dans les coefficients de variation, respectivement de 12,58 et 17,86 %.

Figure 43a) Pluies annuelles à Bangui-Orstom (1964-1999)



Aussi, dans le but de faire une analyse significative des pluies annuelles, avons-nous choisi trois années-types par station (Bangui-Orstom) selon les critères de faible, moyenne et forte pluviosité. Cette démarche nous a permis de retenir pour Bangui-Orstom, 1999 (2011 mm), 1968 (1569,7 mm) et 1989 (1187,7 mm) comme respectivement des années de forte, moyenne et faible pluviométrie (Figure 44). L'année 1989 est apparue comme l'année la plus faible de la série ; la moyenne interannuelle est de 1572,3 mm. Cette tendance pluriannuelle ne doit pas, pour nous, masquer l'évolution saisonnière ou annuelle ; nous envisageons ainsi l'analyse des données mensuelles.

Figure 43b) Pluies annuelles à Bangui-Mpoko (1964-1999)

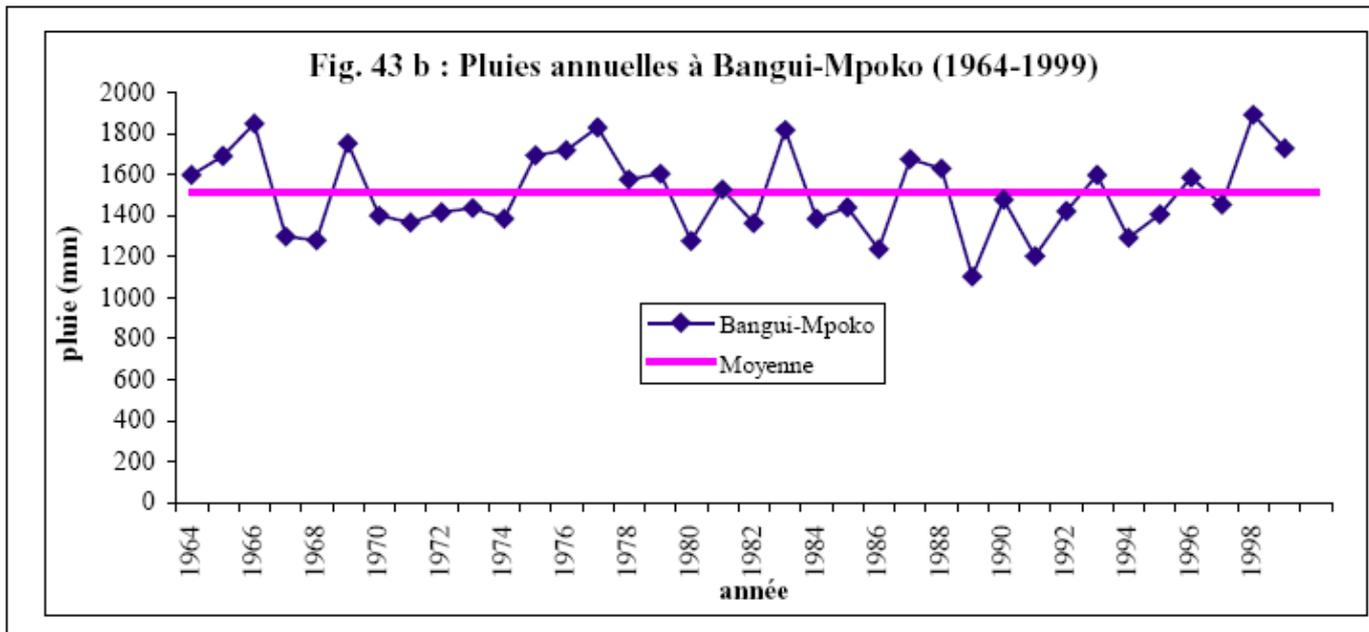
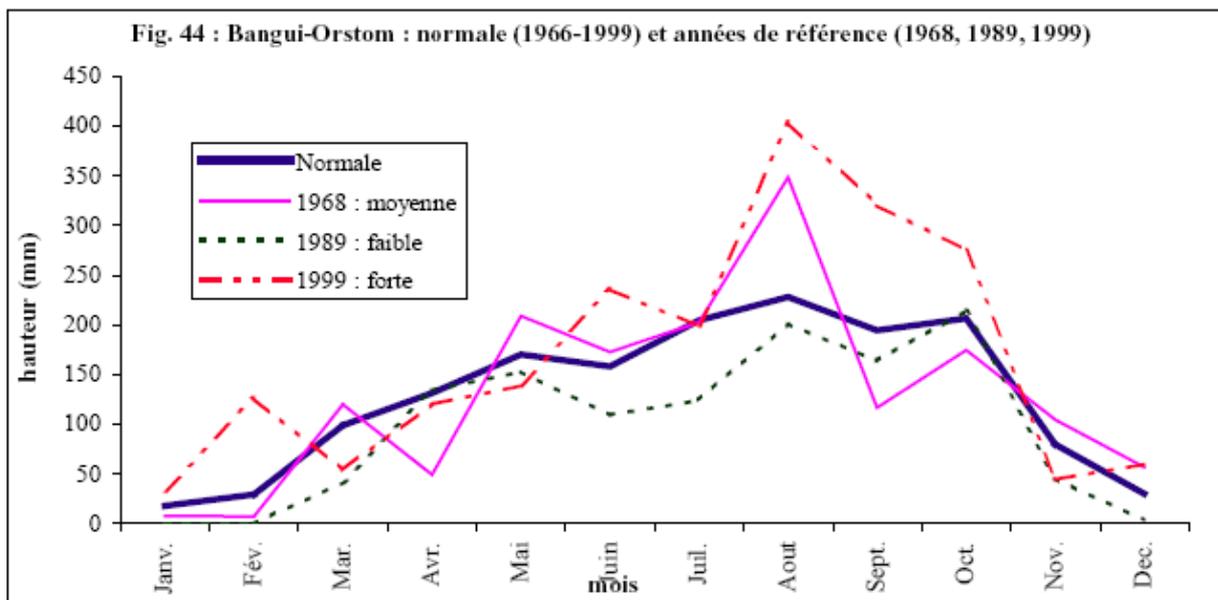


Figure 44 Bangui-Orstom : normale (1966-1999) et années de « référence » (1968, 1989 et 1999)



2.2.2.3.2. Les précipitations mensuelles

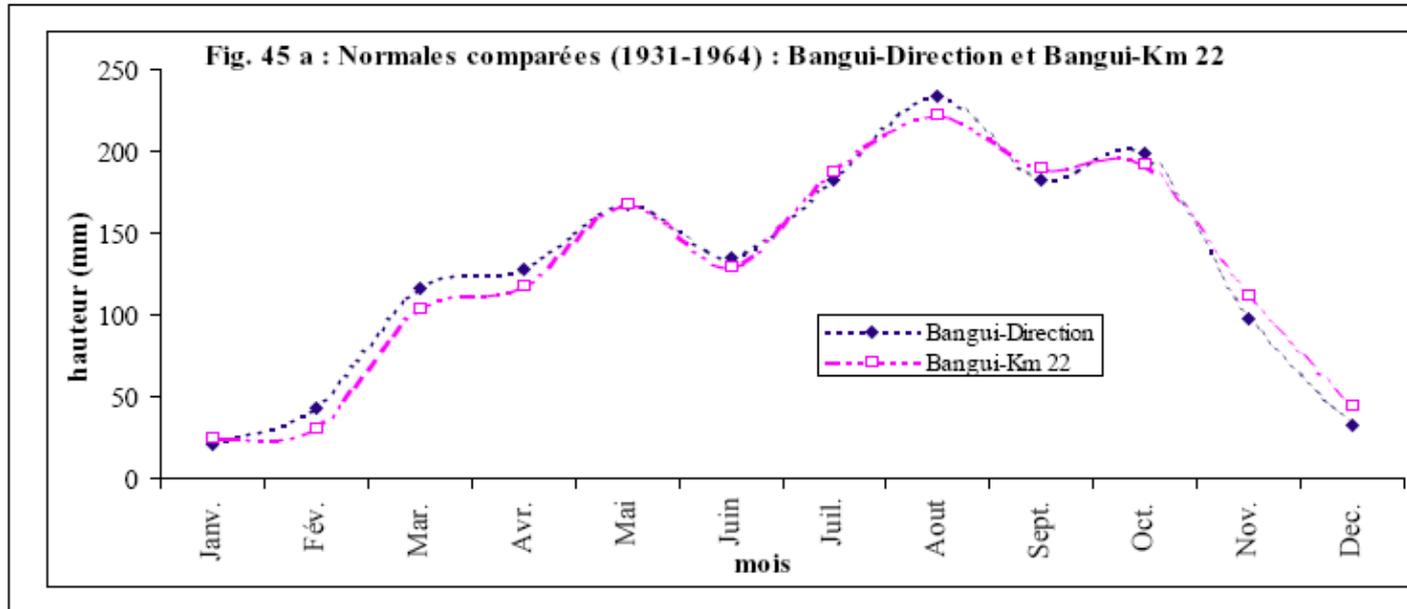
Le maximum mensuel à l'échelle du site fut mesuré à *Bangui-km 22* en juillet 1946 (536,8 mm). Pour Bangui-Mpoko, 516 mm furent enregistrés en octobre 1983 alors qu'à Bangui-Orstom à la même période, 449,3 mm seulement furent recueillis. Nous avons exposé certains caractères des pluies mensuelles dans trois stations de Bangui (Bangui-Mpoko et Bangui-Orstom) ; elles figurent dans le tableau XI.

Nous avons aussi réalisé une analyse des pluies mensuelles sur le long terme par le calcul des normales (33 ans) pour la période 1931-1964 (Bangui-Direction et Bangui-km 22) et la période 1966-1999 (Bangui-Orstom et Bangui-Mpoko) ; elle s'appuie enfin sur la comparaison des deux ensembles (Figures 45). La période 1931-1964 (Fig. 45 a) nous révèle une évolution à trois modes, centrés respectivement sur les mois de mai, août et octobre alors que la période 1966-1999 (Fig. 45 b) présente deux modes qui sont observés aux mois de mai et août. La normale de Bangui-Orstom durant ses « années de référence » (Figure 44) confirme cette tendance.

Tableau XI : Caractéristiques des pluies mensuelles à Bangui

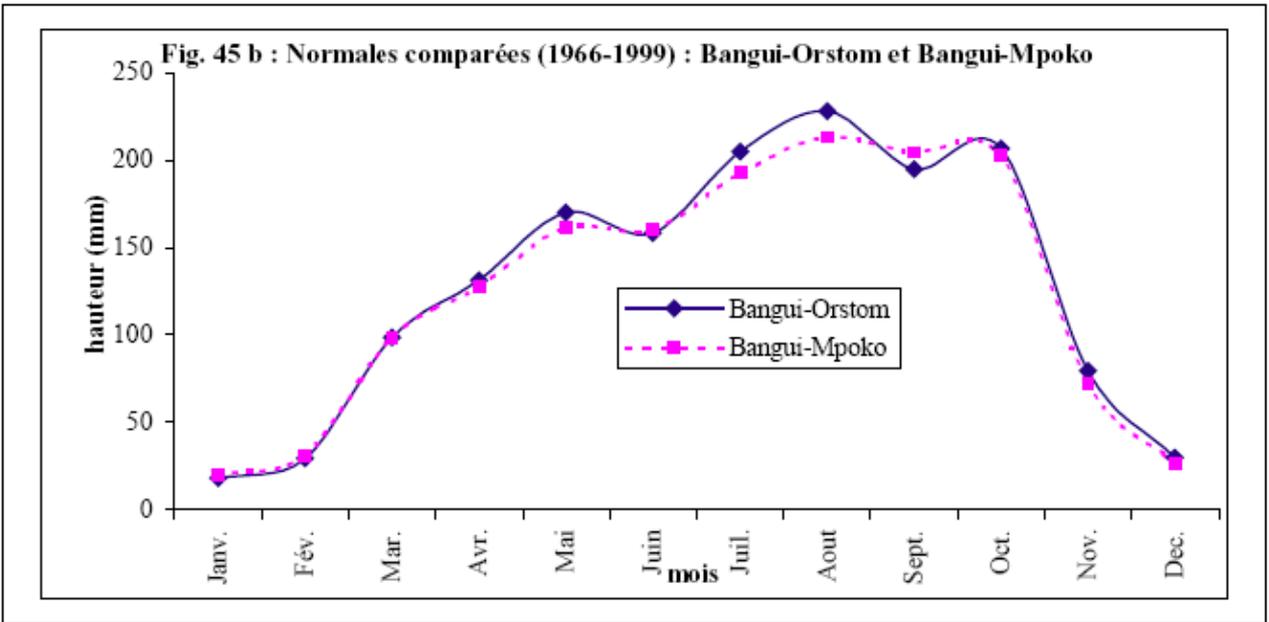
	Bangui-Mpoko				Bangui-Orstom			
	moyenne	écart type	maxi	mini	moyenne	écart type	maxi	mini
Janv.	19,84	31	152,6	0	17,9	24	84,7	0
Fév.	30,83	30,04	119,7	0	29,2	30,5	127	0
Mars	98,52	47,43	237,7	21,4	98,5	51,5	231	20,1
Avril	127,3	52,9	189,8	34,6	131	59	241	39,6
Mai	160,9	63,9	294,3	46,3	170	73,5	366	49,9
Juin	160,1	72,24	374,1	65,7	158	66	296	20,5
Juil.	192,6	68,5	313,4	97,1	204,9	84,9	355	76,8
Août	212,8	78,5	376,6	17,6	228	91,3	434	80,1
Sept.	204,1	62,23	345,6	62,8	194,6	66,7	321	94
Oct.	202,7	75,31	516	81,8	206,3	66,8	449	83,3
Nov.	71,7	34,5	155,6	0	79,4	43,8	189	15,7
Déc.	26,7	25,6	90,9	0	29,8	29,5	127	0

Figure 45a) Normales comparées des principales stations de Bangui en 1931-1964 (Bangui-Direction et Bangui-Km 22)



La variabilité mensuelle des pluies a également été étudiée par GOULEE (1964) qui met en évidence pour la ville de Bangui, selon les années, une courbe pluviométrique à un maximum (1943), à deux maxima (1955), à trois maxima (1945), voire à quatre (1932). Ceci traduit une réelle difficulté de modéliser le rythme mensuel des pluies. Aussi, la comparaison « année normale »-« années de référence » relève-t-elle les écarts entre les différentes variables. L'année faible (1989) s'individualise par des mois secs (janvier, février) et par leur faible hauteur d'eau par rapport à la normale. La pluviosité d'un mois sur l'autre retrace la variabilité de la quantité d'eau recueillie entre ces *années-vraies* et la *normale*. Les figures 44 et 45 nous indiquent l'évolution mensuelle des précipitations à Bangui.

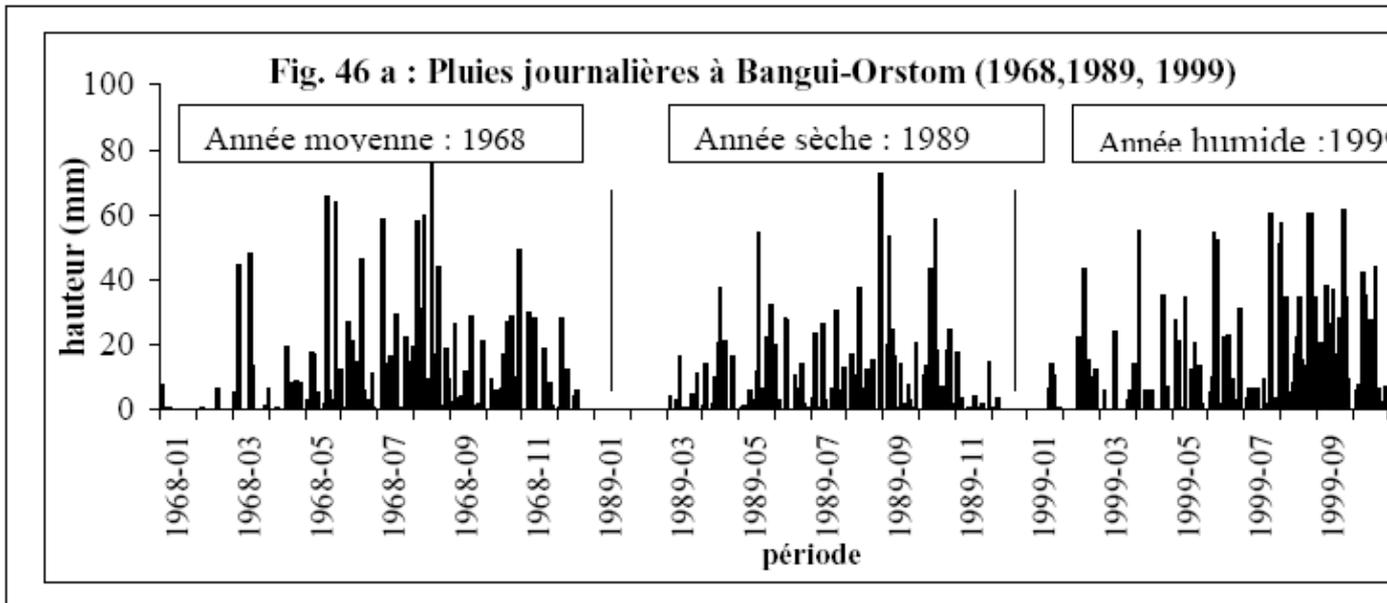
Figure 45b) Normales comparées des principales stations de Bangui en 1966-1999 (Bangui-Orstom et Bangui-Mpoko)



2.2.2.3.3. Les pluies journalières

La figure 46 a met en relief les rythmes saisonniers des événements selon que l'année est humide (1999), moyenne (1968) ou sèche (1989). Nous en dégageons une abondance/régularité des pluies en saison humide (juillet, août, septembre, octobre, et relativement juin), s'étendant sur 20 à 22 jours de pluie par mois, ou leur irrégularité de janvier à février (0 à 3 jours).

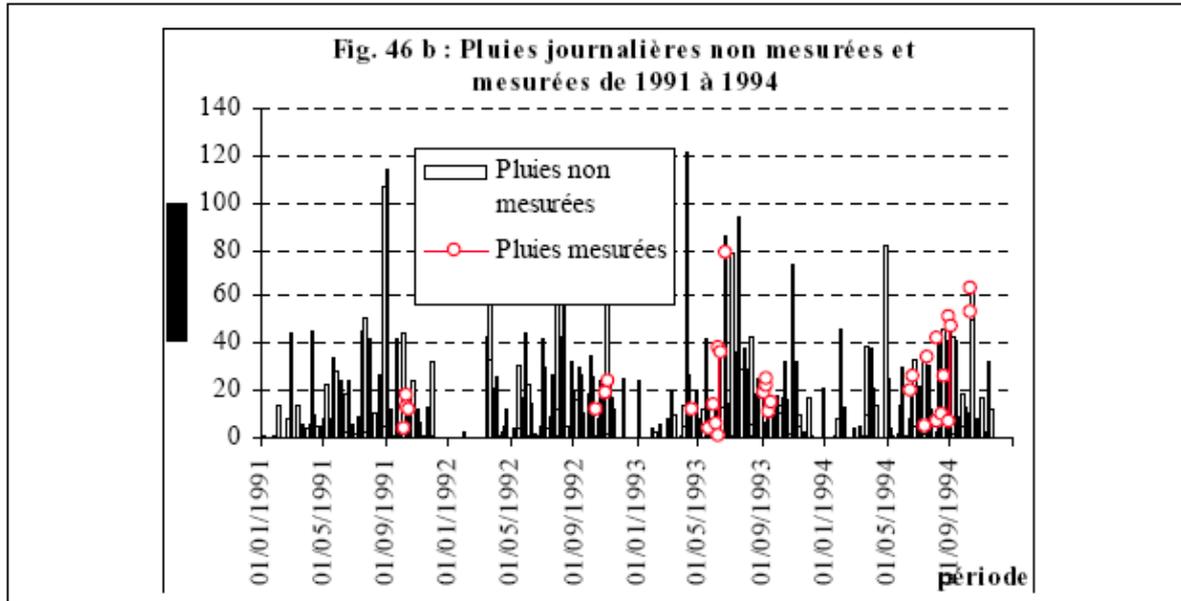
Figure 46a) Pluies journalières à Bangui-Orstom (1968, 1989, 1999)



Notre approche des pluies journalières de 1991 à 1994 à Bangui (Figure 46 b) révèle que la majorité des lames d'eau précipitées est comprise entre 0 et 20 mm ; ces pluies sont toutes mesurées à la station de Bangui-Orstom et non à la parcelle. Pour une année, les hauteurs de 40 mm se produisent pour 2 à 6 averses au maximum, et n'atteignent pas l'effectif total de 10 averses. A 50 mm de hauteur, les pluies se font rares dans une année. Cette tendance se confirme pour les averses mesurées et prises en compte dans la quantification du ruissellement et de l'érosion dans les collines (voir Tableau XIX). En effet, sur la période

considérée, les hauteurs de pluie extrêmes varient de 1 à 79 mm, alors qu'il y a eu deux pluies de plus de 100 mm en 1991 (106,3 mm le 26 août et 114 mm le 3 septembre), et une autre de 120 mm en 1993. Malheureusement, aucune mesure n'a été faite à ces moments pour connaître les coefficients de ruissellement (Kr), relier ces pluies aux volumes écoulés à l'exutoire, et évaluer leur puissance érosive pour ces hauteurs d'eau. Nous avons remarqué que ces pluies font largement déborder les cours d'eau collecteurs urbains, et ruissellent aussi bien sur des voies principales que dans les quartiers, entre 10 et 20 cm au-dessus du sol, voire à 30 cm, et peuvent atteindre 50 cm lorsque la topographie le rend possible.

Figure 46b) Pluies journalières ordinaires et mesurées de 1991 à 1994



Les mois les plus pluvieux ont plus de jours de pluie (16 à 18 jours en moyenne), tandis qu'en saison sèche, la moyenne mensuelle varie de 1 à 9 jours (Figure 46 c). L'effectif maximum absolu est observé de juillet en octobre (21 à 22 jours) ; le maximum de jours de pluie par an est de 142 jours (1979) à Bangui-Mpoko, et le minimum (97 jours) est mesuré à Bangui-Orstom en 1997. La fréquence maximale sur l'ensemble des années d'observation est connue à Bangui-Direction avec 150 jours de pluie (en 1950). Enfin, les fréquences extrêmes à Bangui-Orstom sont de 141 jours de pluie (1975) et 97 jours (1997), alors qu'à Bangui-Mpoko elles se situent respectivement à 142 jours (1979) et 99 jours (1980).

Une fréquence élevée ou faible ne détermine pas les totaux annuels : par exemple en 1999, une pluviométrie exceptionnelle de 2011 mm a été acquise en 128 jours à Bangui-Orstom, alors qu'une durée cumulée de 142 jours n'a fait tomber que 1602,8 mm d'eau en 1979 à Bangui-Mpoko. Des cas (parfois extrêmes) existent : 1187,7 mm sont précipités en 121 jours en 1989 alors que 1558,1 mm sont enregistrés en 97 jours en 1995 à Bangui-Orstom. Les caractéristiques de fréquence des deux stations (moyenne, écart type,...) sont présentées, selon l'échelle saisonnière, dans le tableau XII. L'écart-type est partout faible et varie de 1 en saison sèche à 3 ou 4 en saison pluvieuse.

Figure 46c) Nombre moyen de jours de pluie à Bangui-Orstom et à Bangui-Mpoko

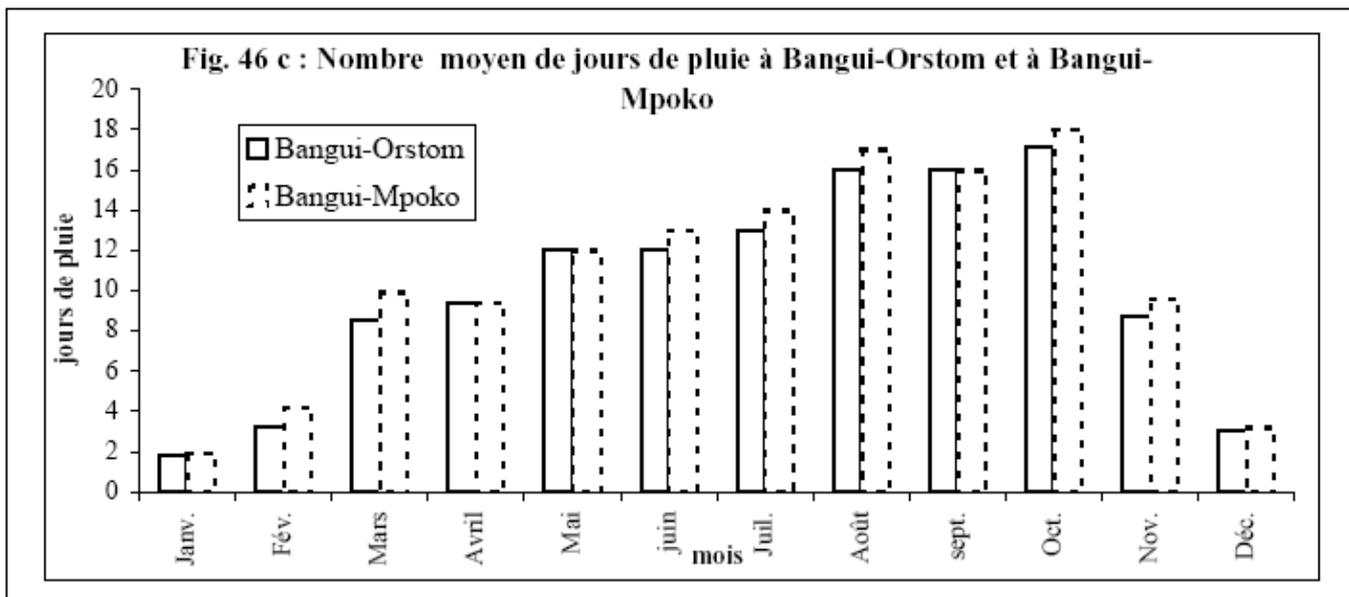


Tableau XII : Indicateurs sur la variabilité du nombre de jours de pluie à Bangui

	BANGUI-ORSTOM				BANGUI-MPOKO			
	moyenne	écart type	maxi	mini	moyenne	écart type	maxi	mini
Janv.	1,82	1,59	5	0	1,92	1,44	6	0
Fév.	3,2	2,23	7	0	4,20	1,63	7	1
Mars	8,5	2,38	13	3	9,92	2,80	16	6
Avril	9,4	2,59	15	4	9,40	3,2	14	4
Mai	12	2,57	16	7	12	2,72	17	8
Juin	12	2,41	16	8	13	2,10	17	9
Juil.	13	3,27	19	6	14	4,13	19	8
Août	16	2,82	21	11	17	3,12	22	10
Sept.	16	2,70	19	10	16	2,10	19	13
Oct.	17,1	2,97	22	9	18	2,63	22	13
Nov.	8,7	3,58	16	2	9,6	3,8	16	5
Déc.	3	1,85	6	0	3,2	0,84	6	0
	120				127			

Par ailleurs, un recensement par nos soins des pluies journalières maximales, supérieures ou égales à 100 mm, indique que ces événements n'apparaissent quasiment qu'en plein hivernage (mai, juin, juillet, août ou septembre). Le record est battu par une averse de 171,5 mm à Bangui-Orstom. Cette averse, qui a généré une crue extraordinaire de la Ngola avec un débordement au-dessus du pont, présentait une forte hétérogénéité spatiale (CALLEDE, 1969, 1970 ; CALLEDE et ARQUISOU, 1972), puisque l'on mesurait 82,2 mm à Bangui-Mpoko, 68,9 mm à Bangui-km 22, 104 mm à la Landjia (14 km au SE de la ville), 92,2 mm à Damara, et 17 mm à Kouzoundoro (pk 33 route de Boali). A titre comparatif, il y a eu des abats d'eau mémorables à Fort-Lamy le 12 août 1950 (181 mm) et à Bamako le 27 août 1954 (163,3 mm).

Les périodes de récurrence des plus fortes pluies observées à Bangui-Orstom (1966-1999) ont été calculées avec les lois d'ajustement suivantes : loi de Gumbel, loi Normale et loi Log Pearson III. Les résultats sont très proches les uns des autres pour des temps de retour inférieurs ou égaux à 50 ans. Au-delà, les différences sont notables et vont croissant (Tableau XIII).

Tableau XIII : Probabilités d'occurrence des P journalières maximums (mm) à Bangui-Orstom

Temps de retour	Loi de Gumbel	Loi Normale	Loi Log Pearson III	Valeurs maximales observées
2 ans	90,9	95,6	90,9	
5 ans	115	119	115	171 mm le 22 août 1967
10 ans	130	131	131	
20 ans	145	140	146	165 mm le 12 août 1975
50 ans	165	152	167	
100 ans	180	159	183	129 mm le 2 juillet 1990
500 ans	213	174	221	
1000 ans	228	180	239	126 mm le 12 mai 1978
10000 ans	276	197	301	

2.2.2.3.4. Les pluies maxima de l'année en jours consécutifs

Nous considérons ces pluies comme celles qui sont susceptibles d'entraîner des risques d'érosion, d'inondation, d'effondrement des habitations, d'où l'intérêt de les prendre en compte en termes de gestion des risques liés à l'eau. L'espace fragile du site qu'est la zone marécageuse, enregistre des dommages de tous ordres lorsqu'il pleut beaucoup ; le surplus d'eau tombant sur ces sols saturés ne peut engendrer que des désordres. Nous notons qu'à Bangui, le plus grand nombre d'épisodes de pluies consécutifs varie de 5 à 11 jours, mais les hauteurs recueillies sont disparates : elles sont de 24,7 mm en 8 jours (7 au 14 septembre 1968) à 210,8 mm en 7 jours (7 au 13 août 1975) à Bangui-Orstom (Tableau XIV). Selon les données dont nous disposons, le nombre maximum de jours successifs est de 11 du 8 au 18 août 1974 ; ils n'ont donné que 102,7 mm à la station Bangui-Mpoko, alors que du 26 juillet au 1er août 1977 (7 jours), 137,1 mm ont été relevés.

Tableau XIV : Durées et quantités des précipitations journalières en jours consécutifs

BANGUI-ORSTOM			BANGUI-MPOKO		
Dates	Jours de pluie	Pluie (mm)	Dates	Jours de pluie	Pluie (mm)
17-23.09.64	7	99	12-20.10.68	9	55,7
18-24.10.67	7	54	8-18.08.74	11	102,7
6-15.06.68	10	106	13-21.09.74	9	68,2
7-14.09.68	8	24,7	26.07-1.08.77	7	137,1
23-29.07.69	7	80,9	19-25.07.98	7	100,9
11-20.08.74	10	86,4	-	-	-
7-13.08.75	7	210,8	-	-	-
9-15.10.75	7	69,8	-	-	-
19-24.08.78	6	87	-	-	-

2.2.2.4. L'ETP

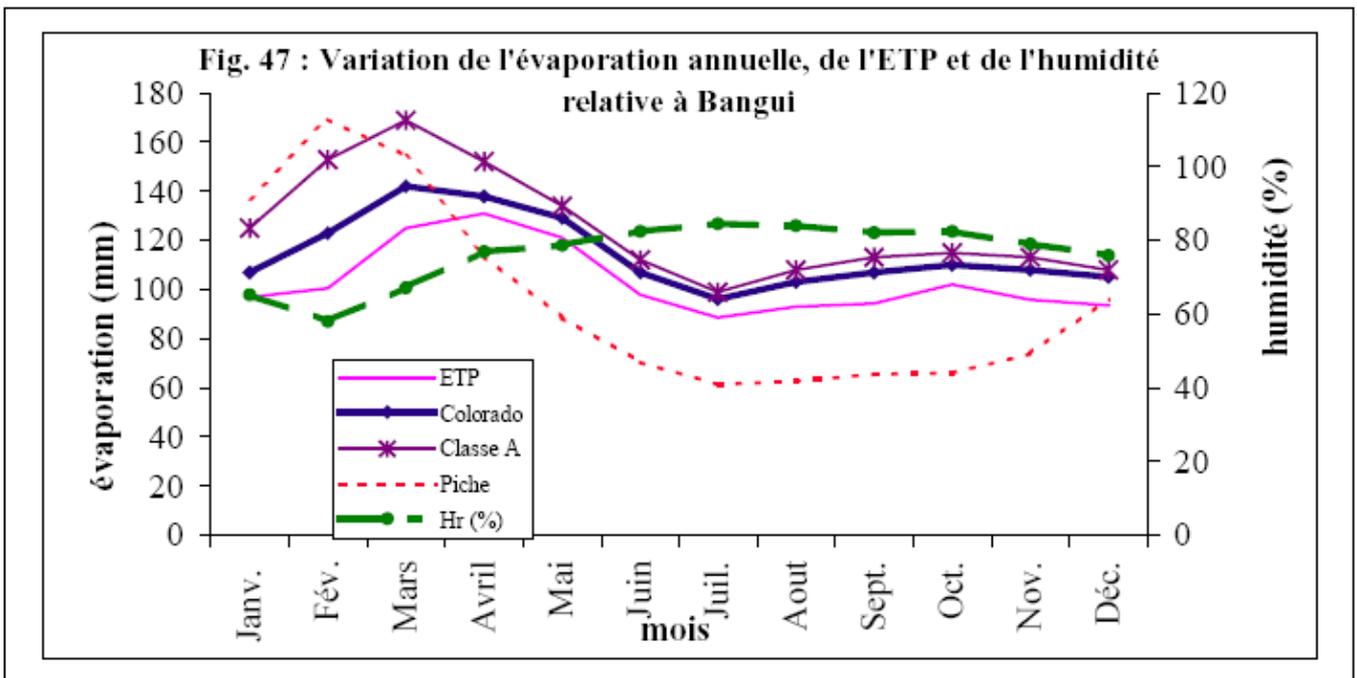
L'évapotranspiration potentielle (ETP) est un des paramètres climatiques qui est en étroite corrélation avec la température, le rayonnement global et l'eau. La connaissance de l'ETP vise à estimer les potentialités hydriques dans la programmation des projets d'aménagement. Elle apparaît donc très utile en termes de bilans hydriques, notamment pour la détermination des périodes à disponibilité ou à déficit hydriques à l'échelle annuelle, voire pluriannuelle ; l'évaporation est une transformation qui consomme de l'énergie. En Afrique humide, l'évaporation est un élément constant du temps, soumettant l'eau du sol à un mouvement vers le haut et maintenant une humidité atmosphérique très élevée (RIOU, 1975). Au sud du 10^e parallèle, l'évaporation est importante et augmente encore quand on se rapproche de l'équateur. Les données d'ETP, que nous avons obtenues à partir d'un *évapotranspiromètre* et utilisées (1966-1971), ont été recueillies à Bangui-Orstom (CALLEDE et ARQUISOU, 1972). L'évaporation est mesurée sur bac (Colorado et classe A) et par l'évaporomètre Piche (Figure 47). Les écarts entre les divers procédés de mesure signalés par nombre d'auteurs (ROCHE, 1963 ; RIOU, 1975 ; COSANDEY et ROBINSON, 2000) sont mis en évidence.

L'humidité relative, une variable de l'évaporation, mesure la quantité d'eau absorbée par une masse d'air donnée par rapport à la somme des besoins en eau, dans ces processus de pertes en eau, liés au pouvoir évaporant de l'atmosphère. Elle est synonyme de *déficit de saturation*, obtenu pour une masse d'air donnée par le quotient entre la pression de vapeur effective et la pression de vapeur saturante à la température de la masse d'air considérée (en %) (COSANDEY et ROBINSON, 2000). Pendant la période chaude (février, mars, avril), l'humidité relative est faible, ce qui se traduit par des pertes en eau importantes, lesquelles caractérisent les fortes moyennes d'évapotranspiration à Bangui. En saison pluvieuse par contre, l'ETP est relativement faible (surtout en juillet avec 104 mm) et l'humidité relative reste élevée (près de 80 %). A l'inverse de la température à cette période (l'été boréal), l'humidité relative est plus forte à Bangui-Orstom (87 à 88 %) qu'à Bangui-Mpoko (85 %), nous pourrions expliquer cette tendance par un environnement beaucoup plus « sec », dénudé, qui reçoit une quantité importante de rayonnement solaire. Ces indices peuvent jouer lorsqu'il s'agit de faire le bilan de l'eau à l'échelle stationnelle.

2.2.3. L'influence du milieu sur les apports en eau

L'eau qui tombe saisonnièrement peut être soumise à des contraintes locales (physiques ou humaines). Cette influence joue sur la quantité de l'eau dans le temps et dans l'espace. Nous analysons les *apports en eau* par leur interface que sont les intensités de pluie, l'érosivité et le bilan hydrique, afin de détecter les interrelations avec le milieu. Ceci nous amène à percevoir diversement les apports en eau ou du moins les potentialités hydriques liées à l'eau pluviale à Bangui.

Figures 47 Variation de l'évaporation annuelle, de l'ETP et de l'humidité relative à Bangui



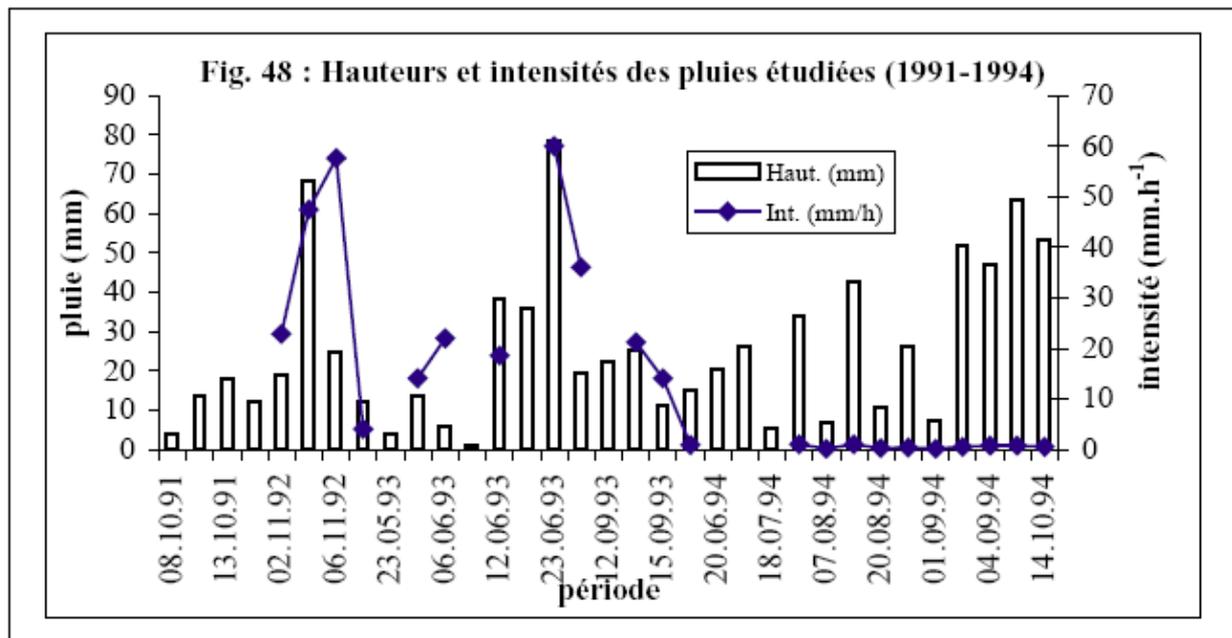
2.2.3.1. Le calcul des intensités de pluie

L'amalgame des données sur les pluies journalières maximales et leurs durées (Tableaux XII, XIII et XIV) pose donc la question de l'intensité, qu'il faudrait cerner à l'échelle *horaire* puisque l'intensité d'une averse se détermine en millimètres par unité de temps, et se calcule en fonction de la durée et de la hauteur de l'averse (mm.h⁻¹). Une intensité maximale correspond à un volume important d'eau tombé en de très courtes durées. Le tableau XIII montre des probabilités journalières des pluies, dont les hauteurs dépassent parfois de très loin les quantités enregistrées en jours consécutifs (Tableau XIV). En fait, très peu d'études d'intensité de pluies

ont été faites à Bangui (CALLEDE, 1970 ; CALLEDE et ARQUISOU, 1972 ; BABAU, 1986 ; KOKAMY-YAMBERE, 1994).

Avec une hauteur de pluie moyenne de 25,3 mm.jour⁻¹ et une intensité moyenne de 25,3 mm.h⁻¹ (valeurs obtenues par la moyenne arithmétique des pluies et de leurs intensités), les averses étudiées par KOKAMY-YAMBERE sont globalement de faible importance et intensité. Les averses tombées en 1992 et en 1993 sont les plus importantes de la série, avec des intensités maximales qui correspondent aux rares fortes pluies mesurées ; par contre, l'année 1994 présente des intensités nulles (à cause des problèmes d'enregistrement peut-être) pour des lames précipitées assez importantes : de 5 à 63,5 mm (Figure 48). Les *pluviogrammes* ne sont pas disponibles. Les averses observées à Bangui sont susceptibles d'influencer les processus de ruissellement et d'érosion aussi bien sur les versants des collines que dans l'espace urbain.

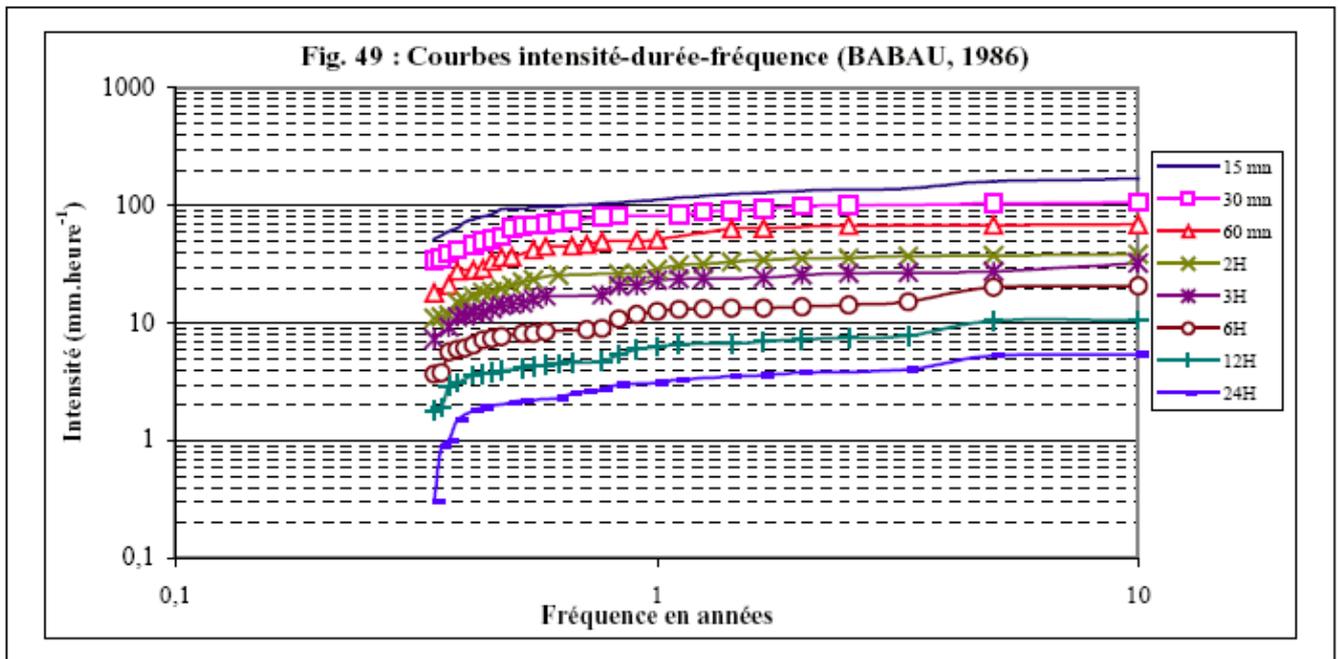
Figure 48 Hauteurs et intensités de pluies étudiées en 1991-1994



BABAU (1986) estime que le calcul des intensités ne consiste pas à définir des classes de hauteur de précipitations. Se servant de la *loi de Montana* : $I = .t$ où : - exprime la pente de la droite et est le coefficient de la courbe de période de retour un an, il a déterminé des intensités-durées-fréquences de pluie sur la période 1976-1985 d'après les pluviogrammes de la station Bangui-Orstom, qui est distante de celle de Bangui-Mpoko de 3 km à vol d'oiseau. Les intensités obtenues sont à l'échelle horaire, selon les périodes de 5, 10, 15, 30, 60 mn, etc. Elles sont indépendantes entre elles et ne sont pas liées à la hauteur totale de la pluie d'une durée quelconque t . Ainsi, par manque de pluies très importantes en 24 heures, les résultats obtenus montrent des intensités maximales pour 15 mn en janvier, 30 mn en mai, 60 mn en octobre, 120 mn en juillet (soit 2h), 180 mn en juin, 360 mn (soit 6h) en juin, 720 mn en juin, 1440 mn en mai... durant les dix années d'observation, et ont permis de définir des courbes intensités-durées-fréquences pour différentes pluies (Figure 49).

Les caractéristiques des pluies (hauteur, durée, intensités maximales) conditionnent pour partie le ruissellement et l'érosion en milieu urbain. Ces paramètres ont leur intérêt pour le calcul des crues dans les bassins-versants urbains, lequel permet le dimensionnement des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales issues du ruissellement. L'érosion hydrique qui s'ensuit dépend de la violence des gouttes de pluie, mais aussi de la préparation « anthropique » des matériaux sur versant.

Figure 49 Courbes intensité-durée-fréquence des pluies (BABAU, 1986)



2.2.3.2. Quelques indices de l'érosivité à Bangui

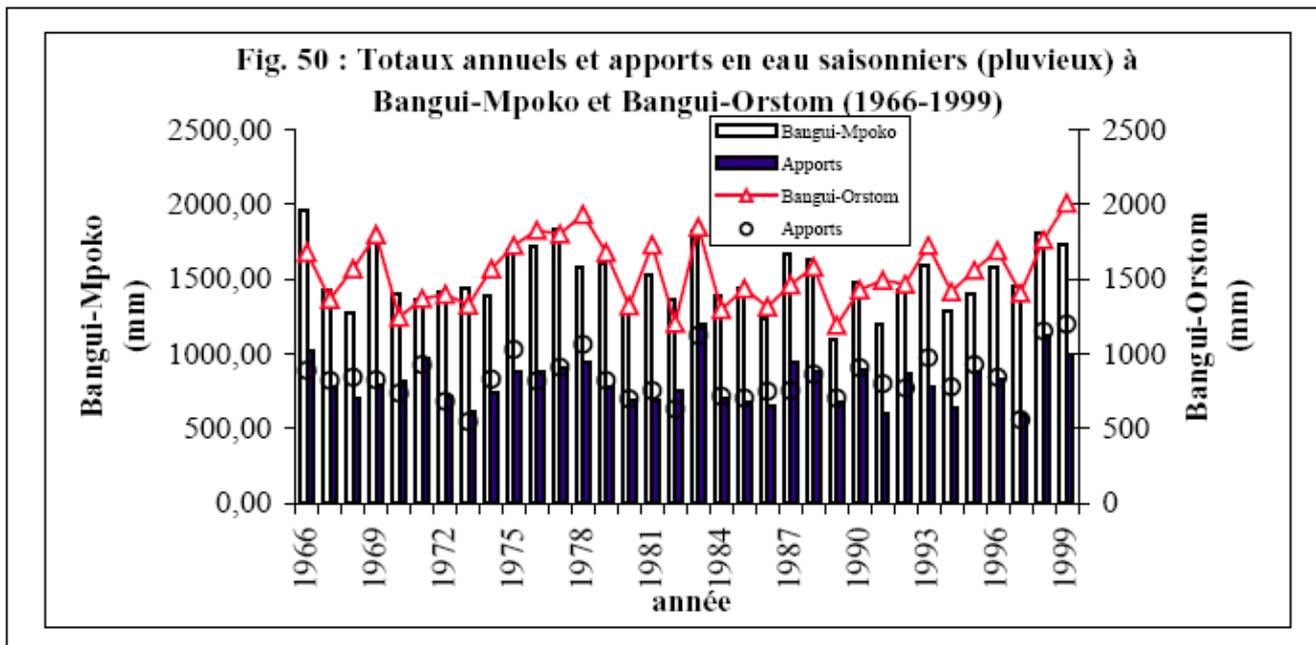
La mesure de l'agressivité climatique considère des paramètres tels que l'**énergie cinétique** des gouttes de pluie, qui est responsable de la *détachabilité* du sol par rejaillissement ou *splash*, de l'**intensité** des pluies, qui provoque un ruissellement lorsqu'elle est supérieure à la capacité d'infiltration du sol, et de la **hauteur** de pluie. Ainsi, la connaissance des caractéristiques intrinsèques de la pluie et du sol est incontournable pour la compréhension des processus.

Diverses approches d'évaluation quantitative de l'érosivité ont été proposées (WISCHMEIER et SMITH, 1958 ; FOURNIER, 1960 ; HUDSON, 1961, 1963 ; ROOSE, 1977). FOURNIER (1960) propose un coefficient qui prend en compte la concentration des précipitations dans le temps : $C = p^2/P$. Ce coefficient climatique s'exprime par le rapport entre la hauteur d'eau tombée pendant le mois de pluviosité maximum (p^2) et la pluviosité annuelle (P). Nous l'avons appliqué aux données pluviométriques de deux stations de la ville de Bangui. Il varie, selon les années, de 32 à 112 pour la station de Bangui-Orstom (coefficient moyen : 61) et de 24 à 147 à Bangui-Mpoko (coefficient moyen : 53). Nous pouvons admettre que pour la ville de Bangui le coefficient moyen est de 57. ROOSE (1975), appliquant la *méthode de Wischmeier* dans l'optique d'étudier les liaisons qui existent entre la hauteur de pluie journalière et l'indice d'agressivité climatique, a défini une relation simple entre l'indice annuel moyen (R_{am}) sur une période suffisamment longue (5 à 10 ans) et la hauteur de pluie moyenne (H_{am}) : $R_{am} / H_{am} = 0,50$. Ce travail lui a permis de calculer l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (RUSA de Wischmeier) en Afrique de l'Ouest et du Centre à partir des parcelles d'érosion. Il en ressort que la ville de Bangui a un indice d'érosivité de 800, ce qui est une valeur moyennement élevée. Ces taux d'érosivité dépendent du volume d'eau tombé.

2.2.3.3. Les apports et l'enjeu des besoins en eau

L'étude saisonnière des pluies montre un volume important d'eau tombé de juillet à octobre, avec plus de 50 % des lames d'eau précipitées par an (Figure 50).

Figure 50 Totaux annuels et apports en eau saisonniers pluvieux à Bangui-Mpoko et à Bangui-Orstom (1966-1999)



Cette proportion conditionne l'importance hydrologique de cette période quant à l'écoulement superficiel et à la recharge de la nappe phréatique de Bangui. A Bangui-Orstom, le volume d'eau moyen recueilli que nous avons estimé pendant ces quatre mois correspond à 54 % (soit 834,11 mm) du total annuel alors que les extrêmes se situent à 40 % (soit 547,4 mm en 1997) et 68 % (équivalent 1197,8 mm en 1973) ; la station de Bangui-Mpoko totalise aussi 54 % mais les extrêmes s'observent à 41 % (592,4 mm en 1997) et 66 % (1194,6 mm en 1983). Cependant, en estimant les lames d'eau précipitées en saison sèche (novembre, décembre, janvier, février, mars), nous remarquons que 17 % sont enregistrés aussi bien à Bangui-Orstom qu'à Bangui-Mpoko, alors que, à titre indicatif, Bangui-Direction et Bangui-km 22 ont successivement recueilli 21,2 % et 20 %. Ces taux donnent une idée des lames d'eau enregistrées durant l'hiver boréal à Bangui.

L'apport des années déficitaires (moyennes inférieures à 1500 mm) dans ce contexte semble le plus significatif avec des maxima (de juillet en octobre) atteignant 20 à 26 % de l'eau tombée en 1972, 1973, 1985, 1986, 1991, 1992. Celui des années excédentaires (moyennes supérieures à 1500 mm) est faible : il n'atteint pas 20 %, et oscille entre 10 et 16 %. Pour les années « normales » (moyennes égales à 1500 mm), les apports fluctuent entre 12 et 22 %. Toutefois, un faible apport en eau en période de fort déficit hydrique rendrait compte des sécheresses qui ont affecté la ville de Bangui et qui furent étudiées par certains auteurs (SIRCOULON, 1976 ; DJIBRINE, 1984). Car les sécheresses affectent les ressources en eau, en réduisant le stock disponible pour les usages, et peuvent avoir des conséquences économiques lorsque l'Oubangui par exemple, qui est navigable, voit ses débits d'étiage atteints, tels qu'en 1985 (avec 228 m³.s⁻¹) et en 1990 (avec 227 m³.s⁻¹). Ces faibles débits hypothèquent le trafic entre Bangui et Brazzaville, tandis que la population manque d'eau potable et d'eau pour les usages domestiques.

S'agissant de l'effet des débits minima critiques sur la navigabilité en période sèche, nous pouvons nous demander ce que le *projet de transfert d'eau de l'Oubangui vers le Lac Tchad*, s'il est réalisé, aura comme impact sur le trafic fluvial entre Bangui et Brazzaville. Car déjà pour ces débits critiques d'un peu plus de 200 m³.s⁻¹ en basses eaux, la continuité de la navigation fluviale n'est pas possible ; qu'en sera-t-il lorsqu'une partie des eaux de l'Oubangui sera transférée dans la cuvette tchadienne en soutien au *Lac Tchad* dont la superficie ne cesse de se réduire ? En effet, du fait de la dynamique démographique en cours, des millions de personnes seront confrontés à l'insuffisance de ses eaux, de même que la réalisation de projets d'aménagements hydrauliques.

Quant au manque d'eau potable et d'eau pour les usages domestiques à Bangui, il est directement lié à

l'insuffisance du réseau d'adduction, qui ne couvre pas toute la ville, et indirectement au faible volume d'eau fluviale pompée et traitée, qui alimente le réseau. Ainsi, ce ne sont pas les débits minima journaliers des basses eaux du cours d'eau qui posent problème à l'adduction en eau de la population (voir VII §4.2.1., p. 296) ; c'est plutôt l'insuffisance de la capacité de production qui est le principal problème à résoudre, car, quelle que soit la saison sèche, on peut pomper le volume d'eau fluviale qu'on veut pour le traitement et l'alimentation en eau des citoyens. Nous avons par ailleurs étudié un autre aspect de l'évolution des pluies journalières en établissant une corrélation entre la fréquence des pluies et les lames correspondantes des *années-vraies* i.e. des années de mesure (Tableau XV). Les résultats nous montrent qu'environ 80 % des pluies ont une hauteur comprise entre 0 et 20 mm, et 15 % entre 20 et 50 mm. Nous avons constaté que l'apport de la première catégorie des pluies est souvent au-dessous de 50 % des volumes annuels, surtout en période excédentaire, néanmoins les pluies de 0 à 20 mm de hauteur constituent ou frôlent la moitié des hauteurs annuelles recueillies en période déficitaire. A partir de 50 à 80, voire 90 mm, les pluies commencent à être rares, bien qu'elles soient de fréquence bisannuelle, et ne représentent qu'environ 4 ou 5 % des totaux annuels (1989).

Tableau XV : Corrélation entre la régularité des pluies et les lames correspondantes

Pluie par tranche (mm)	1966 (Mpoko)			1968 (Orstom)			1978 (Mpoko)			1989 (Mpoko)			1989 (Orstom)			1999 (Orstom)		
	ni	F (%)	H (mm)	ni	F (%)	H (mm)	ni	F (%)	H (mm)	ni	F (%)	H (mm)	ni	F (%)	H (mm)	ni	F (%)	H (mm)
0-10	82	59,9	295,8	96	68,6	304,8	76	61,4	256,1	82	73,2	312,8	81	67,5	225,7	71	55,5	308,6
11-20	24	17,6	362,6	22	15,7	347,1	17	13,7	256,9	15	13,4	230	23	19,2	370,3	18	14,1	277,7
21-30	13	9,5	309	10	7,1	273,4	17	13,7	429,3	6	5,4	152,6	8	6,7	204,7	14	10,9	336,5
31-40	4	3	149,7	1	0,7	31	5	4	186,8	6	5,4	206,3	3	2,5	106,4	13	10,1	449
41-50	5	3,6	233	5	3,6	230,4	6	4,8	272,4	1	0,9	45,6	1	0,8	42,9	3	2,3	129
51-60	5	3,6	264	3	2,2	175,7	2	1,6	108,3	-	-	-	3	2,5	165,4	8	6,3	449
61-70	1	0,7	63,2	2	1,4	128,7	1	0,8	66,9	-	-	-	-	-	-	1	0,8	61
71-80	1	0,7	80,3	1	0,7	78,6	-	-	-	1	0,9	73,7	1	0,8	72,3	-	-	-
81-90	1	0,7	83,5	-	-	-	-	-	-	1	0,8	82,1	-	-	-	-	-	-
91-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
101-110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111-120	1	0,7	114,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	137	100	1955,7	140	100	1569,7	124	100	1576,7	112	100	1103,1	120	100	1187,7	128	100	2011

Ni : nombre d'individus

F (%) : individus exprimés en %

H (mm) : hauteurs de pluie en mm

2.2.3.4. La détermination du bilan de l'eau

Les termes du bilan de l'eau à Bangui se fondent sur l'équation : $P-ETP$. Nous avons utilisé deux séries de données ETP. La première est calculée selon la formule de *Penman*, et relève de la station (officielle) de Bangui-Mpoko. Cette série est confrontée à la normale pluviométrique (1951-1989) de la station. En raison d'une insuffisance des données relatives aux deux stations en fonctionnement, les résultats obtenus sont peut-être loin d'être exhaustifs.

La dernière série, qui s'étend sur six années de mesure, nous permet de visualiser les bilans sur plusieurs années et de suivre la dynamique des mois humides (en grisé) et des mois secs (en blanc) d'une année à l'autre. Le traitement est fait d'après des relevés annuels de pluie et d'ETP à la station Bangui-Orstom, sur la période considérée (1966-1971). Selon les résultats (Tableau XVI ; Figure 51 a), lorsque $P > ETP$ le bilan est positif (pour le mois), et lorsque $P < ETP$ le bilan est négatif. Cela montre que les mois humides correspondent à $P > ETP$, et les mois secs à $P < ETP$. Nous remarquons aussi que le début et la fin des saisons sont variables d'une année à l'autre, et que parfois des mois secs interrompent la saison pluvieuse (avril 1969 et juin 1970),

alors qu'en 1971 la saison pluvieuse n'a duré que 4 mois (juillet à octobre). Sur cette période, la durée des pluies est très variable : 4 à 8 mois. Ceci peut être dû à la sécheresse qui a déterminé l'évolution hydropluviométrique depuis 1970 (WESSELINK *et al.*, 1995 ; SERVAT *et al.*, 1998) ; malheureusement, le nombre limité des années de mesure de l'ETP ne permet de suivre cette tendance sur une longue période. Nous avons alors assimilé des mesures sur *bac Colorado* à l'ETP, ce qui nous a permis d'obtenir des résultats semblables (Figure 51 b). Ainsi la variabilité saisonnière du nombre de mois humides (en grisé) par rapport aux mois secs (en blanc), ou l'inverse, devrait avoir un intérêt beaucoup plus agronomique qu'hydrologique ; les trames noires représentent les lacunes sur la figure 51 b.

Figure 51a) Calendriers des mois humides et des mois secs à l'échelle pluriannuelle à Bangui : Détermination des mois humides et secs à Bangui-Orstom

Années												
1971												
1970												
1969												
1968												
1967												
1966												
	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	mois											

Figure 51 a : Calendrier des mois humides (en grisé) et des mois secs (en blanc) à Bangui-Orstom

Tableau XVI : Différence entre pluie et évapotranspiration potentielle à Bangui-Orstom

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
P	19	42	116	125	169	147	184	231	190	195	89	30	1537
ETP	86,6	103,7	134,3	128,7	122,8	103,3	95,3	102,6	110,7	115,5	99,4	91,8	1294
P-Etp	-67,6	-61,7	-18,3	-3,7	46,2	43,7	88,7	128,4	79,3	79,5	-10,4	-61,8	243

Figure 51 b) Des mois humides calculés à Bangui-Orstom partant de l'évaporation Colorado

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
P	19	42	116	125	169	147	184	231	190	195	89	30	1537
ETP	86,6	103,7	134,3	128,7	122,8	103,3	95,3	102,6	110,7	115,5	99,4	91,8	1294
P-ETp	-67,6	-61,7	-18,3	-3,7	46,2	43,7	88,7	128,4	79,3	79,5	-10,4	-61,8	243

Années

1999													
1998													
1997													
1996													
1995													
1994													
1993													
1992													
1991													
1990													
1989													
1988													
1987													
1986													
1985													
1984													
1983													
1982													
1981													
1980													
1979													
1978													
1977													
1976													
1975													
1974													
1973													
1972													
1971													
1970													
1969													
1968													
1967													
1966													
1965													
1964													
1963													
	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	

mois

Pour la ville de Bangui, les bilans sont globalement positifs à l'échelle annuelle, mais c'est à l'échelle saisonnière qu'ils peuvent être négatifs, notamment pour les mois secs. Nous pouvons le vérifier par la *méthode de Thornthwaite* qui est la plus efficace (Figure 51 c ; Tableau XVII), car elle intègre les données de P et ETP mensuelles. Cette méthode des bilans hydriques se fonde sur les lois suivantes (RIOU, 1975) :

Un facteur intervenant dans l'étude du bilan hydrique est la réserve en eau du sol (R). RIOU considère trois valeurs de la réserve en eau selon que des grands groupes de sols existent dans un contexte climatique donné : une valeur moyenne de 225 mm, une valeur forte de 300 mm et une valeur faible de 150 mm. Le bilan hydrique sera calculé à partir de quelques hypothèses simples, sachant que la valeur de la réserve en eau que nous avons retenue pour Bangui est de 150 mm :

- Quand l'ETP est supérieure à la pluie, on admet l'égalité $ETR = P$;
- Quand la pluie devient supérieure à l'ETP, on suppose que $ETR_{maxi} = ETP$;
- Quand $P < ETP$, on admet que l'ETR reste durant dix jours (durée d'évaporation d'une pluie) à son niveau maximum ou ETP.

Au début de la saison sèche ($P < ETP$), l'ETR consomme la réserve du sol + P, le $R < 0$. En fin de saison sèche, la réserve est vide, $ETR = P$; l'épuisement de R entraîne un déficit. En saison des pluies (mois où $P > ETP$), $ETR = ETP$; la réserve se remplit ($R > 0$) jusqu'à 150 mm ; c'est cette hauteur d'eau de 150 mm que nous retiendrons pour le calcul du bilan de l'eau à Bangui. Au-delà, l'eau est disponible pour l'écoulement (nappes, cours d'eau...).

Les mois secs (123,7 mm en janvier, 109,8 en février, 63,5 en mars et 11 mm en avril) accusent un déficit cumulé de 308 mm (qui manque à l'alimentation des ressources en eau et à l'équilibre de la végétation), alors que les réserves commencent à se reconstituer en mai ($P - Etp = 36$ mm). La quantité maximale de la réserve est atteinte en juillet (150 mm) ; les surplus des mois d'août, septembre et octobre contribueront à l'écoulement superficiel et souterrain (428,4 mm).

Tableau XVII : Calcul du bilan de l'eau (1951-1989) d'après la *méthode de Thornthwaite*

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	
Pluie (mm)	17,9	29,2	98,5	131	170	158	204,9	228	194,6	206,3	79,4	29,8	1547,5
Etp (mm)	142	139	162	142	134	113	104	111	112	118	122	136	1533
P-Etp (mm)	-124,1	-109,8	-63,5	-11	36	45	100,9	117	82,6	88,3	-42,6	-106,2	+14,5
R (mm)	-1,2	0	0	0	+36	+45	+69	0	0	0	-42,6	-106,2	
Rétention par sol (mm)	0	0	0	0	36	81	150	150	150	150	107,4	1,2	
Etr (mm)	19,1	29,2	98,5	131	134	113	104	111	112	118	122	136	1227,8
Excédent (mm)	0	0	0	0	0	0	31,9	117	82,6	88,3	0	0	319,8
Déficit (mm)	123,7	109,8	63,5	11									308

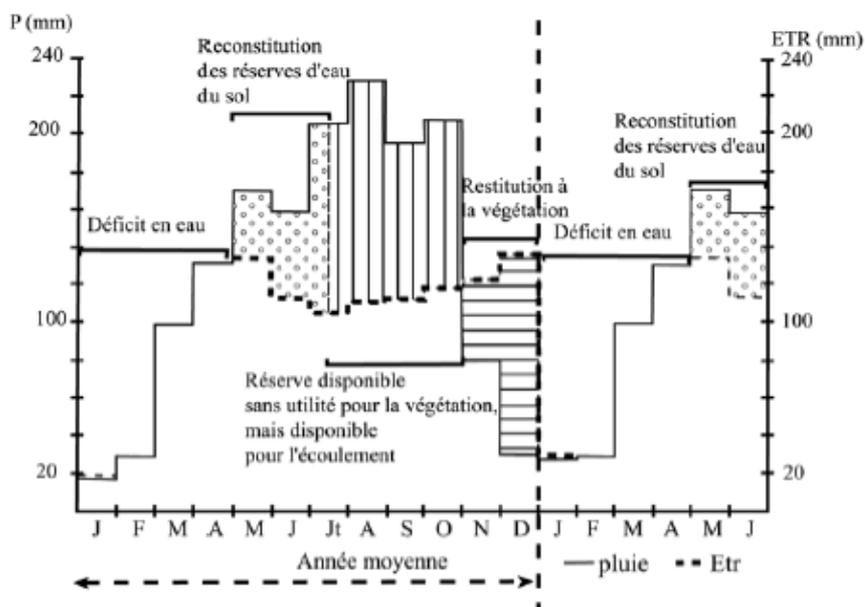
FRANQUIN *et al.* (1988) ont étudié la dynamique de la réserve en eau au SO de Bangui, à Sakpa sur la route de Mbaïki ($4^{\circ}19'N-18^{\circ}27'E$), dans un sol ferrallitique profond qui a un régime de drainage permanent en saison pluvieuse, avec de faibles variations de taux d'humidité du sol. Le stock d'eau varie très peu en saison des pluies selon la profondeur du sol. Sa valeur est très loin du niveau de saturation dans les deux cas.

Figure 51 c) Le bilan de l'eau (1951-1989)

Profondeur du sol (m)	Stock en saison de pluies (mm)	Saturation (mm)
0 à 1,20	220 à 240	570
0 à 2,40	500	1100

Figure 51 c) Le bilan de l'eau (1951-1989)

Figure 51 c : Bilan de l'eau (1951-1989) d'après la méthode de *Thornthwaite*



Les stocks d'eau évoluent proportionnellement à l'intensité de la saison sèche sur deux années de mesure : la première est d'une rigueur exceptionnelle (1982-1983), l'autre est moins sévère (1983-1984).

	0-120 cm	0-240 cm
1982-1983	140 mm	330 mm
1983-1984	166 mm	414 mm

Le stock d'eau au point de flétrissement permanent se situe à 130 mm pour 0-120 cm et à 320 mm pour 0-240 cm. Ces résultats sont proches de ceux que nous avons obtenus par la méthode *Thornthwaite* (Tableau XVII).

3. LES EAUX DE SURFACE ET LEURS PROBLEMES

La présence des eaux de surface est tributaire de l'abondance de la pluie mais aussi de la géomorphologie. Le site de Bangui est principalement riverain de l'Oubangui, un des principaux affluents du Congo au nord du bassin, et de la Mpoko. En complément, les cours d'eau à caractère torrentiel tels la Nguitto, la Ngongono ou la Ngoubagara donnent les eaux courantes du site, de même que la Kokoro, la Guitangola, la Sapéké (Figures 3, p. 9, et 36, p. 97). Des eaux de surface stagnantes, tels les marais et étangs, existent aussi sur près des trois-quarts de l'étendue de l'espace banguissois. Nous remarquons que les problèmes posés par les eaux superficielles sont de plusieurs types et s'amplifient avec l'artificialisation de l'espace (extension de la ville, occupation anarchique du sol, insuffisance d'aménagements...). Ces maux se manifestent par des inondations, l'insalubrité due au mauvais drainage, la pollution découlant des rejets urbains, l'interconnexion probable entre les eaux superficielles et souterraines.

Le drainage « naturel » des eaux se fait mal lorsque les chenaux se confondent avec les bas-fonds marécageux en raison de la platitude du relief (Figure 6, p. 27), mais cela n'empêche pas le drainage artificiel des zones humides du site. Ceci provoque la divagation de l'écoulement lorsque, en dessinant de nombreux méandres, ces cours d'eau dissipent leur énergie, abaissent leur pente, et perdent leur torrencialité. Ainsi, la Ngola^{Note22}, la Ngoubagara, la Nguitto... dévalent les versants escarpés des collines vers la plaine^{Note23}, où les transferts d'eau causent souvent des débordements. Les inondations répétées le long des petits cours d'eau façonnés en collecteurs sont dues d'abord à un manque de curage, ensuite à une insuffisance d'ouvrages^{Note24}. Ces cours d'eau fonctionnent presque comme des *oueds* de par leur régime irrégulier : en saison sèche, l'écoulement est

intermittent alors qu'en saison pluvieuse, il est permanent mais les débits ne se gonflent que par le ruissellement des eaux pluviales, avec des charges solides de granulométrie très hétérométrique. Quant à l'Oubangui, ses eaux n'inondent plus régulièrement la ville à cause peut-être des aménagements qui ont exhaussé quelque peu le niveau de sa rive droite, mais celles qui ont lieu de temps en temps montrent que ce phénomène n'est pas enrayé. *Aucune étude hydrologique de l'Oubangui ne met en relief les différentes inondations du cours d'eau.* Toutefois depuis 1960, les inondations ont eu lieu à Bangui en 1961 avec 14 400 m³.s⁻¹, en 1962 avec 12 900 m³.s⁻¹, en 1964 (14 100 m³.s⁻¹), en 1969 (12 000 m³.s⁻¹), en 1974 (10 800 m³.s⁻¹), en 1975 (12 700 m³.s⁻¹) et plus récemment en octobre-novembre 1999 (12 088 m³.s⁻¹). Une étude des crues historiques catastrophiques de 1911 à nos jours est en cours (NGUIMALET, 2003 a).

Les étendues marécageuses participent également aux phénomènes d'inondation par leur comportement de surfaces saturées, par leur topographie, et en ce qu'elles trouvent leur exutoire dans les cours d'eau collecteurs. En concentrant le gros des eaux pluviales, elles exposent les habitations situées sur leurs marges. Ces marais incarnent les difficultés du choix d'un emplacement favorable à l'installation de la ville. En effet, ces milieux hydromorphes entraînent des conditions d'insalubrité car les eaux sont quasiment stagnantes durant les mois humides. Si elles étaient drainées, le désengorgement des terrains offrirait un cadre de vie sain, permettant d'éviter les risques de paludisme et de maladies d'origine hydrique.

Ainsi des prélèvements et analyses des eaux superficielles montrent-ils une forte pollution des marais et cours d'eau urbains selon ABDOULAYE (1996). Leurs eaux sont exposées aux poussières, à la chute des débris, aux rejets urbains de tous ordres et au ruissellement. La détection de composés volatiles met en relief une décomposition des matières organiques dans les eaux superficielles. La demande chimique en oxygène (DCO) de la Kokoro, de la Ngoubagara et de la Ngongonon s'élève à 87 mg.l⁻¹. Ceci montre une très forte pollution de leurs eaux, entraînant une vie microbienne intense. Pour l'Oubangui, en revanche, la pollution paraît bien moindre du fait de sa grande capacité autoépuratoire et de la grande dilution qu'il assure. La pollution des eaux superficielles peut affecter les eaux souterraines par infiltration et par des forages mécaniques, lorsque certaines précautions ne sont pas prises. Nous n'avons malheureusement pas d'autres données sur la pollution des eaux superficielles pour étayer l'argumentation ; *leur collecte peut toutefois faire l'objet de projets futurs.*

4. LES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines sont constituées par l'ensemble des eaux du sous-sol accessibles par des puits, des forages ou par des sources. Dans le site de Bangui, les sources, les eaux qui alimentent les marais, ainsi que celles des puits et forages participent à l'écoulement souterrain. Leur principal mode de renouvellement est l'*infiltration à partir des eaux météoriques* qui tombent et ruissellent. Les ressources en eaux souterraines de la ville de Bangui ne devraient pas être limitées étant donnée l'abondance des pluies. Leurs potentialités sont déjà exposées dans le chapitre II (§3.1.), mais c'est l'exploitation qui demeure encore très insuffisante pour répondre aux besoins de la population en matière d'eau potable. Jusqu'à présent, les eaux de l'Oubangui sont exploitées et distribuées par la SODECA ; la population qui accède à cette eau potable est estimée à 158 500 habitants sur plus de 700 000 personnes en 2000, dont 11 000 abonnés seulement. *Ceci montre l'intérêt de valoriser les ressources en eau souterraine pour alimenter la majeure partie des habitants.*

Nous constatons par ailleurs que la proximité des latrines et des puits traditionnels a pollué la nappe superficielle. Puisque deux aquifères sont reconnus à Bangui, il semblerait nécessaire de recourir aux ressources en eau souterraine profondes pour rétablir l'équilibre de production et combler les besoins qui peuvent s'exprimer certaines années, durant la saison sèche. Ainsi, l'approche méthodologique pour comprendre la dynamique des eaux souterraines passe par la définition de leur typologie et des caractéristiques de leur renouvellement.

4.1. Les types d'eau souterraine

D'après une étude spéciale des forages ou puits existants, et des sondages électriques (CORNACCHIA et al., 1985 ; JICA, 1999), deux couches aquifères sont mises en évidence dans la région de Bangui : une *nappe superficielle* et une *nappe profonde* (voir II § 3.1.1.2, pp. 93-94).

- La première, *superficielle*, est principalement captée par les puits traditionnels. Cet aquifère est relativement proche de la surface (moins de 1 m à 5 m, voire plus), et exposé à la pollution. Les débits ne semblent pas importants du fait qu'en saison sèche les eaux peuvent complètement tarir au terme de variations saisonnières considérables du niveau hydrostatique. Selon la topographie, les fluctuations du niveau hydrostatique sont très accusées entre les puits situés sur plateaux ou sur piémont, très profonds, et les puits établis en plaine qui sont en général moins profonds.
- L'*aquifère profond*, sans doute indépendant de l'aquifère superficiel, se trouve dans les séries détritiques (bancs graveleux, argiles latéritiques...) qui constituent les niveaux de base du remplissage fluvio-lacustre, et dans les formations calcaires du Précambrien Terminal. A Bangui, cet aquifère a une profondeur qui varie de 25 à plus de 150 m, alors qu'en dehors de l'espace urbain, le niveau hydrostatique oscille entre 3,5 et 26 m^{Note 25}. Les analyses chimiques montrent que l'eau de l'aquifère calcaire pourrait être utilisée sans aucun traitement pour l'approvisionnement en eau de Bangui à condition que l'eau des deux nappes ne soit pas mélangée (on fait référence à une partie de la nappe superficielle qui est polluée par l'ex-usine UCATEX et par les matières fécales... à l'échelle urbaine).

4.2. L'alimentation des eaux souterraines

L'alimentation renouvelle les stocks d'eau et entretient l'écoulement souterrain. La source unique de recharge du bassin hydrologique, supposé clos, est procurée par les *précipitations efficaces*. Elles représentent la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible à la surface du sol, après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle (ETR). Cette dernière est liée à l'ETP : l'ETR est inférieure ou égale à l'ETP. Les précipitations efficaces, PE, sont égales à la différence entre les précipitations et l'ETR : $PE = P - ETR$. D'après l'ETR que nous avons calculée par la *méthode de Thornthwaite* (Tableau XVII), les PE à Bangui sont de 320 mm en moyenne, avec des valeurs toujours positives en saison pluvieuse ; elles sont supérieures à 0 de mai à octobre, avec comme valeurs extrêmes 117 mm en août et 36 mm en mai (Figure 51 c ; Tableau VII).

L'étude des pluies et de leur variabilité temporelle et spatiale nous montre que la ville de Bangui dispose de bonnes potentialités hydriques. Selon l'évolution saisonnière des pluies, plus de 50 % de l'eau tombe en saison pluvieuse (juillet, août, septembre, octobre) chaque année. Ceci montre l'importance hydrologique de cette période quant à la constitution des ressources en eau superficielles et souterraines de la localité. C'est à ce moment que s'observent les risques liés à l'eau, telles les pluies violentes ou d'intensités maximales, les inondations, l'érosion en nappe.

Toutefois, en saison sèche, l'eau est déficitaire ($P < ETP$) à cause de la faible fréquence des pluies, de leur faible hauteur et d'une forte température. L'apport des précipitations est estimé à moins de 20 % de la demande durant cette période, lorsque les années sont excédentaires ou normales. Par contre, lorsque l'année est déficitaire, la quantité d'eau tombée dépasse 20 % de la demande en saison sèche. Cela montre que le fort pouvoir évaporant de l'air en période chaude à Bangui (février, mars) conditionne le renouvellement de l'eau qui peut manquer, selon les années (1983, 1984 mais aussi 1973, 1974, même bien au-delà en 1963 semble-t-il) pour les usages domestiques et également pour la navigation sur l'Oubangui. Cet indice justifie la distinction entre saisons sèches et humides selon la disponibilité de l'eau.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette partie a présenté, retracé et analysé les composantes : population, espace, sous-sol... sur lesquelles se fonde l'étude morphodynamique de l'eau et des spécificités de sa gestion liées à diverses vulnérabilités dans la ville de Bangui. Nous amorçons le travail par la définition des facteurs qui peuvent influencer la distribution et l'organisation de l'eau qui tombe : occupation du sol et caractéristiques hydrodynamiques des terrains. En effet, l'histoire de l'occupation humaine du site révèle les débuts de l'impact humain sur les eaux du site. Cet impact semble très récent puisqu'il remonte à la fondation de la ville en 1889. La ville suscite l'essor démographique et spatial qui modifie les conditions d'écoulement dans le site par les différentes formes d'aménagement (réseaux hydrauliques, carrières d'extraction, nudité du sol, déforestation...). Ces facteurs conditionnent l'*imperméabilisation du sol urbain* qui favorise plus le ruissellement et l'érosion que l'infiltration des lames d'eau précipitées. Ainsi, la circulation de l'eau en surface et en profondeur peut en être affectée. Cependant, le contexte morphostructural n'influence pas de la même manière la circulation de l'eau suivant les principales unités topographiques du site. En surface, les eaux qui dévalent les versants des collines et plateaux sont mal drainées dans la plaine à cause de la faiblesse de la pente. En outre, les réseaux d'évacuation ne suffisent pas pour drainer l'eau du ruissellement excédentaire, exposant ainsi les habitations installées dans les bas-fonds marécageux au risque d'inondation et à celui d'effondrement des habitations. En revanche, l'eau semble bien circuler dans les unités hydrogéologiques fini-précambriennes (carbonatées et non carbonatées) à cause de la fracturation, des diaclases, fissures et failles qui les caractérisent.

L'analyse de la diversité de l'eau à Bangui nous indique par ailleurs des potentialités par l'abondance des pluies, mais celles-ci ne sont pas bien réparties selon les saisons. Ceci peut affecter l'alimentation en eau en saison sèche à cause de la faible quantité d'eau recueillie par rapport aux besoins. Du moment où nous savons que l'eau qui tombe à Bangui génère des contraintes, l'étude détaillée des traits de sa dynamique se fera selon un emboîtement d'échelles. Ainsi, le mouvement de l'eau sur versant et en lit fluvial sera abordé dans la deuxième partie.

DEUXIEME PARTIE : LA DYNAMIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES ET DES LINEAIRES D'ECOULEMENT, ET L'ESPACE URBAIN

« Chaque année, des inondations catastrophiques sont signalées par les médias... A cette occasion, sont souvent évoquées des responsabilités humaines : aménagements des rivières mal conçus, augmentation du ruissellement sur le bassin-versant, travaux de régulation des débits insuffisants etc. »

C. RIOU (In Préface L'eau : milieu naturel et maîtrise, Tome I, 1999)

INTRODUCTION

La pérennité de l'eau en surface à Bangui est un avantage lié au climat et le fait du substrat que la saturation imperméabilise en causant le ruissellement. *Nous fondons cette partie sur l'étude hydrodynamique des eaux pluviales depuis les versants jusqu'aux lits fluviaux, notamment les petits cours d'eau urbains.* Le mouvement superficiel de l'eau s'accompagne en général de la dégradation du sol. Ce transfert de matières (liquides et solides) suit un cheminement complexe avant d'atteindre le niveau de base local que constitue l'Oubangui. Le ruissellement qui se déclenche sur les versants, en nappe puis concentré dans le sens de la pente, érode, transporte ou charrie, et dépose les particules. La rugosité de surface ou du fond des chenaux des cours d'eau à Bangui, liée à la végétalisation et à l'irrégularité de surface des cuirasses qui les tapissent, crée des turbulences et contribue au piégeage des sédiments.

Depuis la fondation de Bangui en 1889, nous avons vu s'instaurer une nouvelle dynamique : le défrichement de la forêt dense sur l'aire de la ville a laissé le sol nu, sur lequel les eaux de ruissellement s'écoulaient selon les

réseaux anthropiques (voiries, réseaux hydrauliques) lesquels modifient la structure hydrologique naturelle issue de la seule géomorphologie (OBLED, 1999). Nous remarquons que les potentialités de ruissellement dans la ville de Bangui sont en relation avec la nudité du sol et sa compaction due aux différentes formes d'occupation du sol. Ainsi, la mobilisation de l'eau et des sédiments crée des pertes de matière dans l'espace urbain par les processus de transfert. Il peut aussi causer des risques d'inondation, soit parce que le volume d'eau ruisselé dépasse la capacité des ouvrages d'évacuation, soit parce que le colmatage des ouvrages par les sédiments et les déchets ménagers raccourcit la période de retour du phénomène en aval. Pour ce faire, nous étudions donc l'eau de la parcelle à l'exutoire en développant deux points : le premier traite du ruissellement et de l'érosion mesurés sur parcelle et à l'exutoire de la Ngoubagara (chapitre IV) ; le second présente les cours d'eau urbains et leurs caractéristiques morphodynamiques vis-à-vis des eaux de ruissellement (chapitre V).

Chapitre IV – RUISSELLEMENT ET EROSION A BANGUI : DU VERSANT AU LIT FLUVIAL

« Le développement de nos sociétés dans le sens de la concentration urbaine a donné naissance à des situations de danger et de crise susceptibles d'atteindre dangereusement les populations. Il s'agit en particulier des problèmes liés aux réseaux... ». C. Colin, Préface de l'ouvrage « **Risques et réseaux techniques** », Coll. CERTU, 1998, 189 p.

Le ruissellement et l'érosion sont deux phénomènes intimement liés à l'échelle de la parcelle et/ou du bassin-versant. Ils expliquent les pertes en eau et en sol d'un milieu donné, et sont particulièrement actifs en *milieu urbain*, notamment de par les *précipitations* et *l'écoulement qui les engendrent*, mais *les données sont rares sur l'érosion urbaine dans le monde tropical*.

Les premiers travaux sur l'érosion pluviale ont débuté vers la fin du XIXe siècle (Mc GEE, 1897), et ont pris un tournant avec ELLISON (1944). Dans ce contexte, l'ORSTOM (actuel IRD) a développé dans les années 1950 un réseau de parcelles expérimentales en Afrique de l'Ouest. La mise en œuvre de cette méthode a fait l'objet de plusieurs publications (DABIN et LENEUF, 1958 ; FAUCK, 1954, 1956 ; LAMACHERE et SERPENTIE, 1991 ; ROOSE, 1967, 1976, 1977, 1984 ; ROOSE et BERTRAND, 1971). Cependant très peu d'entre elles traitent spécifiquement du milieu urbain ou périurbain (SOYER *et al.*, 1982 ; LE BARBE, 1982 ; BOUVIER, 1990 ; TCHOTSOUA, 1995 ; HINGRAY, 1999).

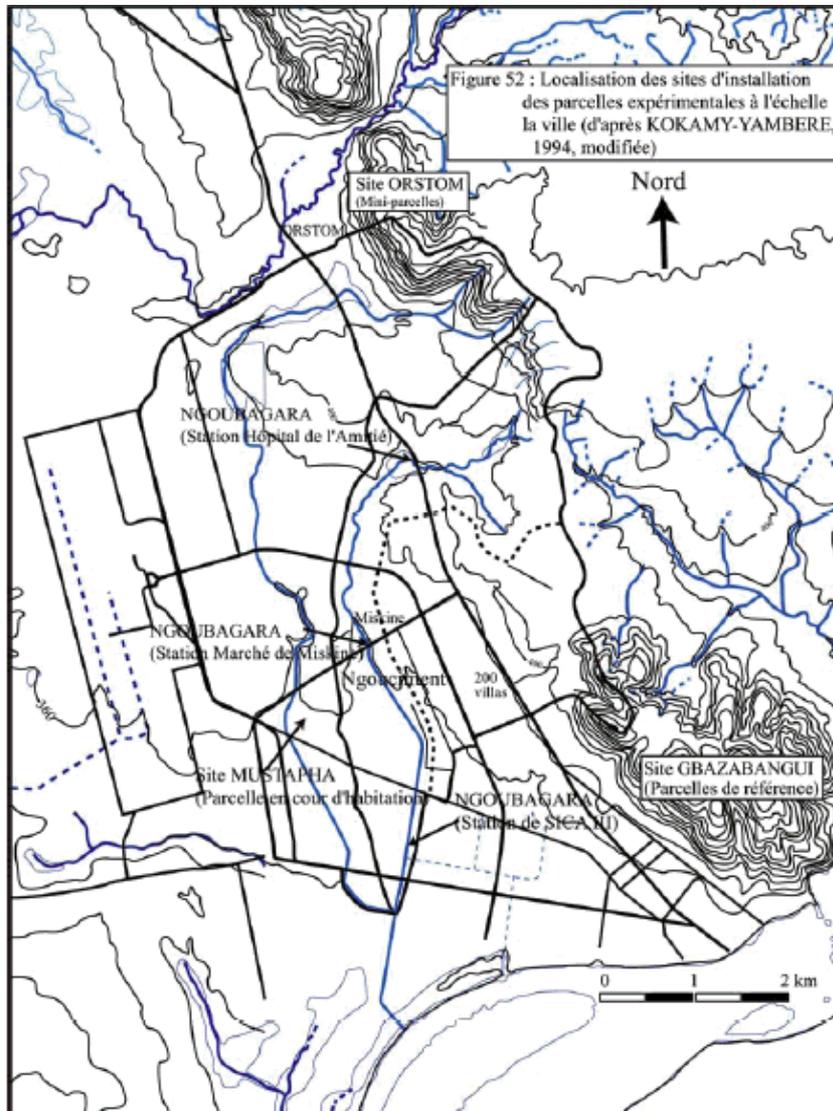
En Centrafrique, les mesures de l'érosion sont peu nombreuses (QUANTIN et COMBEAU, 1962 ; MOREL et QUANTIN, 1972 ; GAC, 1980 ; ORANGE *et al.*, 1993). Récemment, KOKAMY-YAMBERE (1994, 1995) a mesuré le ruissellement et l'érosion à Bangui (sur parcelle et à l'exutoire)(Figure 52). Les données constituent le nœud du chapitre que nous proposons en présentant successivement les processus et les facteurs entraînant la genèse du ruissellement et de l'érosion hydrique, le site de l'étude et les dispositifs de mesure, ainsi que les principaux résultats.

1. DE LA GENESE DU RUISSELLEMENT A L'EROSION HYDRIQUE

1.1. La genèse du ruissellement

Le ruissellement désigne le mouvement de l'eau à la surface du sol suite à une pluie. Trois hypothèses permettent d'expliquer la genèse du ruissellement (COSANDEY, 1990) : le ruissellement d'après HORTON (1933), le ruissellement selon les aires contributives, et l'occurrence d'organisations pelliculaires superficielles (OPS).

Figures 52 Localisation des sites d'installation des parcelles expérimentales à l'échelle de la ville (d'après KOKAMY-YAMBERE, 1994, modifiée)



- Le ruissellement *hortonien* se produit lorsque l'intensité des pluies dépasse la vitesse d'infiltration des sols. Les premières pluies provoquent dans le sol la saturation d'un horizon superficiel à travers lequel l'infiltration se stabilise à la valeur de la conductivité hydraulique à saturation (K). Il se produit en général sur des sols faiblement perméables, sur des sols tassés en surface (chemins, zones de pâturages...), et lors des expérimentations de simulation de pluie sur des sols végétalisés ;
- Le ruissellement selon le concept des *aires contributives* s'explique par la combinaison de certaines conditions topographiques et géomorphologiques qui font « subalterner » la nappe phréatique. Lorsqu'il pleut sur ces surfaces imperméabilisées par saturation, l'eau ruisselle. A Bangui, les terrains marécageux sont des aires contributives en saison humide. Il en existe une grande variété, alimentées de façon discontinue par l'écoulement hypodermique ; leur extension change au cours d'un événement pluvieux et suivant la topographie locale ;
- Le ruissellement de type *OPS* s'observe lorsque l'impact des gouttes de pluie (*splash*) provoque un tassement de la surface nue du sol, un éclatement des agrégats et une redistribution des particules, conduisant à la fermeture des pores et donc à l'*imperméabilisation* du sol. L'eau qui tombe sur cette *croûte de battance* ruisselle de manière diffuse et colmate les micro-dépressions de la surface du sol en y entraînant les particules fines. Ainsi, le taux de couverture du sol, son état de tassement,

l'intensité et la durée des pluies, la stabilité structurale des sols, sont des facteurs qui conditionnent l'importance du ruissellement.

Selon CROS-CAYOT (1996), les processus de ruissellement sont amorcés (i) lorsque le sol est saturé ou quasi-saturé, (ii) lorsque les aspérités du sol sont remplies d'eau, et (iii) lorsque les forces gravitaires sont capables de vaincre les tensions superficielles. Ces conditions induisent une non-linéarité des processus de genèse du ruissellement, avec des interconnexions entre flaques et une hétérogénéité du champ de vitesse, qui se produisent avec la mobilisation des sédiments.

1.2. Les processus de l'érosion hydrique

SOUCHERE (1995) présente l'érosion hydrique comme un phénomène qui rend compte de certains processus (détachement des particules, transport et dépôt) induits par l'action simultanée de la pluie et du ruissellement, de la résistance du milieu et de la topographie.

Ainsi, la *détachabilité* ^{Note 26} est déterminée par la violence des gouttes de pluie ; en rejaillissant, elles mobilisent les fines particules du sol sur un rayon de 20 à 30 cm maximum, d'après nos estimations à partir des observations des impacts de gouttes de pluie à Bangui. La vulnérabilité des sols au *splash* ou au ruissellement dépend de la stabilité structurale qui atteste du degré de cohésion des sols. L'action du ruissellement, qui reprend les particules en mouvement, dépend de la vitesse de cisaillement effective de l'eau.

Le *transport*, qui est l'entraînement et la mise en mouvement des particules, s'effectue par effet *splash* ou par l'écoulement de l'eau. Les sédiments peuvent être exportés plus loin mais le plus souvent par *processus-relais*, soit le long d'un versant, soit dans les talwegs. La longueur du ruissellement dans les rigoles ou ravines conditionne la distance parcourue par un matériel depuis son point de départ, et indique l'importance du déplacement. Sa compétence, ou sa capacité à prendre en charge les sédiments, détermine le transport par suspension ou par charriage : les fines, qui rendent troubles les eaux de ruissellement, sont transportées plus loin et se décantent en aval.

La *sédimentation* indique une baisse de compétence de l'écoulement. Ce phénomène, lié au ralentissement de sa vitesse, s'explique par plusieurs causes : rupture de pente, présence d'un obstacle ou d'une dépression, élargissement du canal, diminution du débit par arrêt des pluies ou augmentation des possibilités d'infiltration.

Ces processus varient en fonction de l'échelle à laquelle les mesures sont faites : parcelle, versant ou bassin-versant. Ils n'engendrent pas les mêmes formes d'érosion (en nappe ou linéaire) de la parcelle au bassin-versant.

1.3. Les facteurs du ruissellement et de l'érosion

Les précipitations, le relief, la nature du sol et la végétation sont des facteurs qui influencent le ruissellement et l'érosion sans le contrôle de l'homme. En milieu urbain, l'anthropisation est telle que l'homme devient le facteur potentiel d'exacerbation du ruissellement et de l'érosion.

L'impact des *précipitations* dans ces processus est lié au climat (ROOSE, 1977). En région tropicale humide comme en Centrafrique, il tombe 1500 à 1600 mm d'eau en moyenne par an. L'agressivité de la pluie sur un sol urbain nu ou sur les sols en début de culture s'apprécie par le *diamètre* et la *violence* des gouttes. Dans les études du ruissellement, la *fréquence d'apparition* et le *temps de retour des averses* jouent un rôle primordial. Ces paramètres montrent les potentialités de l'érosion pluviale à Bangui. Le ruissellement par saturation, par exemple, dépend avant tout du cumul des averses et de l'histoire du sol préalablement à un événement pluvieux (COSANDEY, 1990 ; CROS-CAYOT, 1996).

Quant à la *topographie*, son influence sur l'érosion hydrique se fait par la *pente*, selon son intensité, sa longueur et sa forme (ROOSE, 1977). Les paysages de Bangui (collines et plaine) prédisposent à un transfert significatif de matières, notamment les versants escarpés et ponctués de carrières d'extraction de pierres qui évacuent leurs déchets de taille vers la plaine mal drainée. L'allongement de la pente engendre une chaîne de processus que nous avons observée : ruissellement diffus, en nappe puis concentré, passage d'une érosion par rejaillissement à une érosion en nappe puis à une érosion linéaire. L'absence de la végétation exacerbe ces processus.

Le *couvert végétal* a plutôt un rôle stabilisateur sur le milieu, mais sa dégradation par l'homme amplifie les pertes en eau et en sol d'un espace donné. Le couvert végétal a une influence notable sur les phénomènes du ruissellement et d'érosion sur les versants à fortes pentes, et conditionne la nature des états de surface du sol. Ainsi, en faisant un bilan de la dégradation du couvert forestier de la zone des collines par la comparaison des levés photographiques de 1977 et de l'image satellitale SPOT de 1988, KOKAMY-YAMBERE (1994) a montré que sept (7) aires géographiques ont évolué de manière négative de la forêt humide à la dégradation ultime (Tableau XVIII). Cette disparition progressive des végétaux (ligneux puis strate herbacée) est liée à l'installation des cultures, des carrières de pierres de construction, à l'approvisionnement de la ville en bois, à l'habitat...

Par ailleurs, les caractéristiques de la surface du sol, la dégradation de son état structural et de sa stabilité sont des paramètres qui rendent compte de l'incidence de l'état du sol sur le ruissellement et l'érosion. L'infiltration et le ruissellement des eaux de pluie répondent à certaines particularités, de même que la rugosité du sol. Lorsque l'eau ruisselle, l'humidité initiale du sol est déterminante (CROS-CAYOT, 1996). Quant à la dégradation de l'état structural, la mobilisation des particules par humectation (éclatement dû à la compression de l'air dans les agrégats secs subitement humectés, la dispersion pour des sols sableux ou argileux, et une fissuration partielle) et l'énergie cumulée des gouttes de pluie affectent la formation de la croûte de battance ou structurale qui altère les caractéristiques physiques et hydrauliques de la surface du sol.

Tableau XVIII : Evolution de la végétation dans le secteur des collines de Bangui entre 1977 et 1988 (KOKAMY-YAMBERE, 1994, modifié)

Types de végétation	Superficie (ha) en 1977	Superficie (ha) en 1988	% d'évolution	Aires dégradées (ha)
Forêt humide	2500	1700	32	544
Forêt claire	1400	1380	1,4	19,32
Savane arborée	1500	650	57	370,5
Savane arbustive	3400	3400	0	0
Cultures et jachères	4000	5200	30	1560
Habitations	1350	1800	35	630
Carrières de pierres	5	25	500	125

La stabilité structurale des sols s'apprécie par la teneur en argile et en matière organique (SOUCHERE, 1995). Cette dernière augmente la cohésion des agrégats, tandis qu'une baisse de la teneur en argile augmente la porosité structurale. La vitesse d'extension des croûtes structurales est corrélée à la quantité des particules fines mobilisées.

Le secteur de Bangui comporte une assez grande diversité de sols (BOULVERT, 1976). Les sols dominants sont ferrallitiques, de couleur vive, et caractérisés par l'abondance de nodules ferrugineux qui préludent souvent aux carapaces ferrugineuses (KOKAMY-YAMBERE, 1994). Il en existe des gravillonnaires, des indurés de surface (<50 cm) ou de profondeur (>50 cm), des appauvris... Au-delà de cette classification, quelques spécificités se dégagent en fonction de la topographie du site :

- des *sols squelettiques* (pierrosité importante, manque de profondeur) caractérisent les collines et leurs escarpements. Ceci nécessite leur protection vis-à-vis de l'érosion alors que les formes actuelles de

- l'occupation du sol les expose ;
- des *sols pénévulés* d'origine fluviale se trouvent dans les vallées, le long des cours d'eau collecteurs et aux abords des marécages ;
- des *sols hydromorphes* occupent les zones basses ; ils sont malsains pour l'implantation humaine.

Sur les versants, on observe des sols limono-argileux au sommet des collines à sableux à leur pied, comportant une forte proportion d'éléments grossiers (64 %) ; ils sont acides et moyennement organiques. Le sable de bas de pente provient du colluvionnement et de la décomposition des quartzites. Ainsi cette chaîne de sols montre la combinaison de divers facteurs et agents qui leur ont donné naissance *in situ*.

1.4. La propagation du ruissellement et de l'érosion

Les paramètres que sont la rugosité, la pente, la longueur et l'angle de la pente, la morphologie du versant, et aussi la présence humaine, ont un impact sur la vitesse de propagation du ruissellement et de l'érosion (CROS-CAYOT, 1996).

La rugosité influence le ruissellement et l'érosion par la nature de l'état de surface du sol : micro-relief, broussailles, présence de nodules ferrugineux. Les phénomènes sont diffus.

La pente et l'angle de la pente peuvent expliquer la concentration du ruissellement et l'efficacité de l'érosion par *splash*. Aussi, la longueur et l'angle de la pente peuvent-ils tantôt augmenter, tantôt réduire le ruissellement, dans ce dernier cas en accroissant l'infiltration. Par contre, l'érosion peut augmenter avec la pente, mais jusqu'à un certain seuil, puis s'inverser. La forme de la pente (convexe ou concave) y est déterminante.

2. ANALYSE DES FACTEURS SPECIFIQUES A LA VILLE

Ce paragraphe a pour objet de faire ressortir les éléments qui jouent dans les mouvements de l'eau et des sédiments à Bangui. Les facteurs qui influencent le ruissellement et l'érosion sont les formes de dégradation liées à l'humanisation du site. En effet, la dynamique actuelle de l'espace bangouais induit divers façonnements : carrières d'extraction de latérite et de pierres de construction (Fig. 21, pp. 53 et 54), divers terrassements pour la construction des routes, des grands édifices... Cette chaîne de transformations de la topographie prédispose l'espace urbain à un flux considérable de matières lorsqu'il pleut, à cause de l'imperméabilisation du sol.

Les *facteurs anthropiques* qui expliquent l'accroissement du ruissellement à Bangui, au-delà des caractéristiques hydrodynamiques du sol, sont à notre avis les toitures en tôles d'aluminium qui se comportent comme des surfaces imperméables (non saturées) vis-à-vis des eaux pluviales, même de faible intensité. La collecte de ces eaux sur l'aire des toitures se fait selon une ligne perpendiculaire à la limite de la toiture au sol, ou selon des gouttières. Ainsi, leur concentration devient instantanée au sol et le ruissellement s'ensuit, même lorsque le seuil de saturation du sol n'est pas encore atteint. Interconnectés les uns aux autres, les eaux des toitures peuvent soit arriver aux principaux talwegs collecteurs, soit se constituer en flaques d'eau éparses dans des concessions privées ou sur les voies (routes, rues, ruelles et pistes) qui comportent des *nids de poules*, comme cela a été mis en évidence dans la ville de Yaoundé par TCHOTSOUA (1995), ou des secteurs déprimés. Nous constatons que ce phénomène est très actif dans les quartiers populaires (non lotis) en raison de la densification des habitations et de leur proximité par rapport aux quartiers résidentiels ; nous remarquons que des aires engazonnées, ou quelquefois l'épandage du gravier, en minimisent l'effet. D'ailleurs, l'étendue des quartiers populaires à Bangui (Fig. 10, p. 35) fait qu'ils fournissent probablement le gros du volume des eaux par rapport aux quartiers résidentiels et lotis. La dominance de la nudité du sol traduit un manque de « culture de l'espace vert », (voir chapitre I, p. 53) ; l'absence de végétation facilite le ruissellement qui emprunte des itinéraires variés selon la pente. Ceci fait que les eaux traversent des concessions et des voies.

L'amont des bassins-versants urbains est constitué par les collines de *Gbazabangui* et de *Daouba-Kassai*. Toutefois, l'exposition des sols de collines, induite par la dégradation du couvert forestier, augmente les phénomènes d'amont en aval. La nudité du sol et la pente (sur versant quartzitique, piémont latéritisé...) font que l'eau qui tombe ruisselle et transporte les sédiments de toutes tailles Note27, dont la taille dépend de la hauteur et de l'intensité des précipitations.

Par ailleurs, la préparation anthropique des matériaux disponibles pour l'érosion dans la ville de Bangui suit plusieurs modes : l'extraction des pierres et de la latérite, le balayage des concessions, les aires de jeux des enfants ou de football, les cheminements piétonniers et les voies non bitumées.

L'*extraction des pierres de construction et de la latérite*, dont l'origine coïncide avec les travaux d'aménagement de la ville, se fait dans des carrières mais les procédés ne sont pas homogènes. Sur les versants des collines, les pierres sont extraites de deux manières. La première consiste à identifier sur les versants des pinacles que les extracteurs, au nombre de 2 ou 3, excavent ou concassent en blocs avec des masses ; puis ils font dégringoler ces blocs dans le talweg qui sert de point de chute et d'axe de collecte. Le passage des blocs détruit la broussaille qui protège et fixe la mince pellicule d'humus de ces *lithosols*, en créant un couloir (Planche III, Photos A, C, D, E et F). Ce dernier s'agrandit et s'approfondit selon l'intensité de son usage ; quand il pleut, l'eau qui le suit l'entaille et évacue les débris mobilisés par le frottement et la friction dus aux déplacements des blocs. La deuxième manière d'extraire est le creusement des carrières dans les dômes quartzitiques en utilisant des burins, des masses pour concasser les filons ou les blocs de roches *in situ*. Les itinéraires d'évacuation des pierres vers les points de collecte ont les mêmes caractéristiques morphodynamiques que les couloirs précédents. Les fragments et débris fins sont ensuite transportés par l'eau et aussi par le vent. Quant à l'extraction de la latérite, des engins lourds sont utilisés (type caterpillar, camions...) pour l'excavation et le transport des matériaux vers les chantiers de construction des routes et vers d'autres destinations. Par cette forme de *conditionnement anthropique*, la latérite entre dans le complexe érosif.

Un processus non négligeable est « l'altération » des débris et leur préparation à l'érosion par le *balayage des cours de concessions* Note28. Ce processus peut ameublir 1 à 2 mm de la couche superficielle du sol par jour, selon les cas, sous forme de fines, limon, sable et gravier lorsque le sol est gravillonnaire ou latéritisé, comportant des gravillons. Cette préparation du matériel à l'érosion ressemble aux processus observés sur les aires de jeux des enfants ou les terrains de football établis sur sols limono-argileux et/ou latéritisés ; l'activité pratiquée ameublir la couche superficielle du sol ; lorsque l'eau et la pente le permettent, les matériaux s'en vont.

Les *cheminements piétonniers et les voies non bitumées* se prêtent à l'érosion par leur usure et par leur caractère linéaire. Les piétons, par d'incessants va-et-vient, détachent avec les semelles de leurs chaussures des particules fines ou grossières. Ceci est valable pour des voies faites en latérite ; les passages répétés des voitures et autres engins provoquent la détérioration des agrégats du sol et la dispersion des matériaux par gravité (saltation ou poussières) le long des voies ou dans les rigoles. TCHOTSOUA (1995) a observé et étudié ce phénomène à Yaoundé (Cameroun). Sur les pistes piétonnières à Bangui, la perte de cohésion des sols fournit des particules argilo-limoneuses en surface, et quelquefois des gravillons. Après le passage d'une pluie, nous observons que des particules sableuses peuvent être mises en mouvement ; les eaux de ruissellement suivent les linéaires que les voies contribuent à entailler. Le cas des routes en terre a été exposé dans le chapitre I (§5.6, pp. 57 et 58) ; il révèle qu'à défaut d'urbanisation, les eaux pluviales n'empruntent que des voies, ce qui entraîne pour ces dernières de l'érosion et de la sédimentation. Dans ce contexte, l'activité des animaux mérite d'être soulignée comme l'un des facteurs de préparation du matériel à l'érosion : l'exemple le plus évident est donné par les poules qui quotidiennement grattent le sol pour donner à manger à leurs poussins...

3. LE SITE D'ETUDE, LA METHODE ET LES DISPOSITIFS DE MESURE

Le site retenu est constitué par les *Collines de Bangui* et de *Daouba-Kassai* (Figure 52). Ces collines sont comprises entre 4°22' et 4°28'N, et entre 18°32' et 18°39'E. Nous supposons que le choix de ce site par l'ORSTOM se justifie par la pression anthropique qui entraîne leur dénudation, laquelle rend très active l'érosion par ruissellement alors que les quartiers occupant les bas-fonds sont visités par des inondations répétées en raison de la déficience du drainage des eaux pluviales. Cette étude a consisté à évaluer qualitativement et quantitativement le ruissellement et l'érosion sur les collines et dans la plaine. Pour cela, les travaux ont été menés par KOKAMY-YAMBERE aussi bien en amont qu'en aval des collines :

- en amont, sur les collines même, des parcelles expérimentales ont été installées dans le but de quantifier les diverses formes de ruissellement et d'érosion (Planche IV, Photos C, D, E et F) ;
- en aval dans la plaine, les transferts de matières liquides et solides ont été jaugés à l'exutoire des collecteurs urbains.

3.1. Méthode et dispositifs de mesure

Un lot de six parcelles (nues et couvertes) d'une surface de 1 m² chacune a servi à mesurer la lame d'eau ruisselée, sa concentration en éléments fins (argiles, limons, sable) provenant des collines durant une averse ou une série d'averses pour lesquelles les intensités-durées-fréquences étaient connues. Ces mesures ont été faites entre 1991 et 1994 par KOKAMY-YAMBERE (1994, 1995).

3.1.1. Parcelles expérimentales et diversité des conditions de mesure

Les parcelles n'ont pas été ouvertes au même moment. Sur les trois sites, six parcelles expérimentales ont été créées en relation avec les différents bassins-versants urbains, et se décomposent comme suit : deux sur sols nus, deux sur jachère, une en forêt humide, et une autre dans une cour d'habitation (Figure 52). Le premier site d'expérimentation a été établi en 1991 au flanc des collines de *Kaga-Daouba-Kassai*, au voisinage du site ORSTOM, au « pk 10 ». Il comportait deux micro-parcelles : l'une était en jachère (« parcelle couverte n°1 ») et l'autre était nue (« parcelle n°1 ») (Planche IV).

En 1992, deux autres parcelles (« couverte n°2 » et « nue n°2 ») ont été installées sur le même site ; elles prennent en compte les variations de pente et de types d'occupation du sol (cultures, jachères, OPS : organisations pelliculaires de surface, etc). Puis en 1993, de nouveaux sites ont été créés :

- le site des collines de *Gbazabangui*, en zone de forêt humide au centre-ville, abrite une micro-parcelle dite « parcelle de référence », et a l'intérêt de mesurer le ruissellement et l'érosion en secteurs escarpés, couverts de forêt proche de l'état naturel. Ce site est à cheval sur le bassin urbain de Sica-Saïdou et le bassin du Centre-ville ;
- le site du quartier Mustapha au cœur de Bangui, avec une micro-parcelle, donne l'occasion de caractériser l'érosion urbaine. Il se localise dans le bassin de la Ngongonon, alors que c'est le bassin de la Ngoubagara qui était concerné par les mesures précédentes.

3.1.1.1. Les parcelles nues

Elles sont au nombre de trois (KOKAMY-YAMBERE, 1994) ; deux sont localisées sur le site ORSTOM dans le bassin-versant de la Ngola (Figure 52), l'autre est dans le quartier Mustapha (bassin-versant de la Ngongonon).

- La *première* parcelle nue se situe à la cote 469, et sa pente moyenne du versant est de 53 % ; à l'échelle même de la parcelle, la pente est ≤ 10 %. Le sol est gravillonnaire dans les horizons de

surface (47 % de gravillons), et cuirassé à 60 cm de profondeur ; quelques blocs pierreux affleurent.

- La *seconde* a été installée à la cote 444 en juillet 1992 (parcelle nue n°2), sur une pente générale voisine de 50 %. Les sols ont quasiment les mêmes traits (15 à 20 % de gravillons) que dans la première parcelle.
- Enfin, la *parcelle expérimentale* de la cour d'habitation du quartier Mustapha a été installée en août 1993 (parcelle nue n°3) *sur sol nu* : le terrain est plat et le sol possède une hydromorphie de profondeur.

3.1.1.2. Les parcelles couvertes

Elles sont trois au total, comme les parcelles nues (KOKAMY-YAMBERE, 1994, 1995).

- La *première parcelle couverte* est située dans les mêmes conditions que la parcelle nue n° 1. La végétation est un recrû de jachère constitué d'*Eupatorium odoratum* ou *Chromolaena odorata* (herbe du Laos) et de *Pueraria javanica*.
- La *parcelle couverte n°2* se localise dans un environnement comparable à celui de la première. La végétation est constituée de strates herbacées denses à dominance d'*Anadelphia arecta* et de *Monocymbium cerasiiforme*.
- La *dernière* est la seule ouverte sur les collines de *Gbazabangui* en forêt humide (parcelle couverte n°3) alors que les deux premières sont installées sur les collines de *Daouba-Kassaï* en zone de jachère. Cette parcelle se localise sur une topographie semblable à celle de la parcelle nue n°1. Les sols sont de couleur rouge vif, non gravillonnaires et non pierreux en surface. La végétation est une forêt semi-caducifoliée mésophile à *Celtis mildbraedii* et dégradée en formation secondaire à *Triplochiton scleroxylon* (ayous) et à *Terminalia superba* (limba).

3.1.2. Les dispositifs expérimentaux

Les *parcelles expérimentales* ont été matérialisées par un cadre métallique de 1 m² enfoncé de cinq (5) cm dans le sol. Ce cadre comporte sur sa face inférieure une dizaine de petits trous qui permettent l'écoulement ou l'évacuation des eaux de ruissellement de la mini-parcelle vers le réceptacle au travers d'un tuyau d'amenée, d'une longueur approximative de 1 m, qui relie les deux unités.

KOKAMY-YAMBERE a utilisé un pluviographe à siphon de marque CASELLA à mouvement de rotation régulier. Cet instrument est calé sur un massif aménagé à cet effet. Le pluviographe n'a cependant pas bien fonctionné durant la campagne. Les valeurs n'ont guère été utilisables.

3.1.3. Mesure du ruissellement et du charriage sur parcelles et à l'exutoire

3.1.3.1. Sur parcelles

Pour recueillir les matières liquides et solides, KOKAMY-YAMBERE a utilisé une cuve installée en aval de chaque micro-parcelle ; elle était surmontée d'un limnigraphe qui enregistrait le ruissellement dans le but d'obtenir l'hydrogramme de crue de la parcelle. Les eaux recueillies ont été entièrement prélevées et passées au tamis de 50 µ en laboratoire pour la collecte de la fraction sableuse et ensuite filtrées à 0,2 µ pour recueillir les fractions argileuse et limoneuse. Les sédiments ont été séchés à 105° C à l'étuve et pesés pour la mesure de la turbidité. Ensuite, une analyse chimique des eaux ruisselées a été réalisée pour quantifier les pertes en cations métalliques durant les averses enregistrées. La même méthode a été appliquée aux eaux recueillies à l'exutoire de la Ngoubagara.

3.1.3.2. L'exutoire : le cours de la Ngoubagara

La Ngoubagara est l'un des cours d'eau qui drainent les collines de Bangui (*Gbazabangui* et *Daouba-Kassai*), avec un bassin-versant de 8,94 km² (KOKAMY-YAMBERE, 1994), au pont de l'hôpital de l'Amitié peut-être ^{Note 29}. ? En effet, c'est le premier exutoire au niveau duquel les études hydrologiques ont été réalisées en zone urbaine, mais le second pour le secteur de Bangui. Le bassin-versant représentatif de la Ngola au nord de Bangui (TIXIER, 1953), d'une superficie de 27 km², constitue le premier du Centrafrique où aient été menées des études hydropluviométriques. La Ngoubagara traverse toute la ville et son aménagement systématique devrait substantiellement résoudre la question de l'évacuation des eaux pluviales. D'amont en aval, son chenal apparaît comme un *réceptacle naturel* pour les eaux pluviales et les débris charriés, à cause de sa connexion, pour une bonne partie de son haut et moyen bassin, au piémont et au flanc ouest des collines de Bangui.

Si nous ne considérons que l'exutoire d'évacuation des matières liquides et solides transférées depuis les collines, cette étude devrait en principe s'appliquer au seul bassin-versant de la Ngoubagara. Toutefois, l'installation involontaire des parcelles sur d'autres bassins urbains et surtout l'intégration des données qu'elles produisent dans ce travail, donnent un caractère multiscalaire au ruissellement et à l'érosion urbains. Les trois stations de jaugeage installées sur cet exutoire sont : la station du Pont de l'hôpital de l'Amitié (bassin de 3,9 km²), la station du Marché de Miskine (bassin de 6,8 km²) et la station du pont de Sica III (bassin de 11,7 km²) (Figure 53).

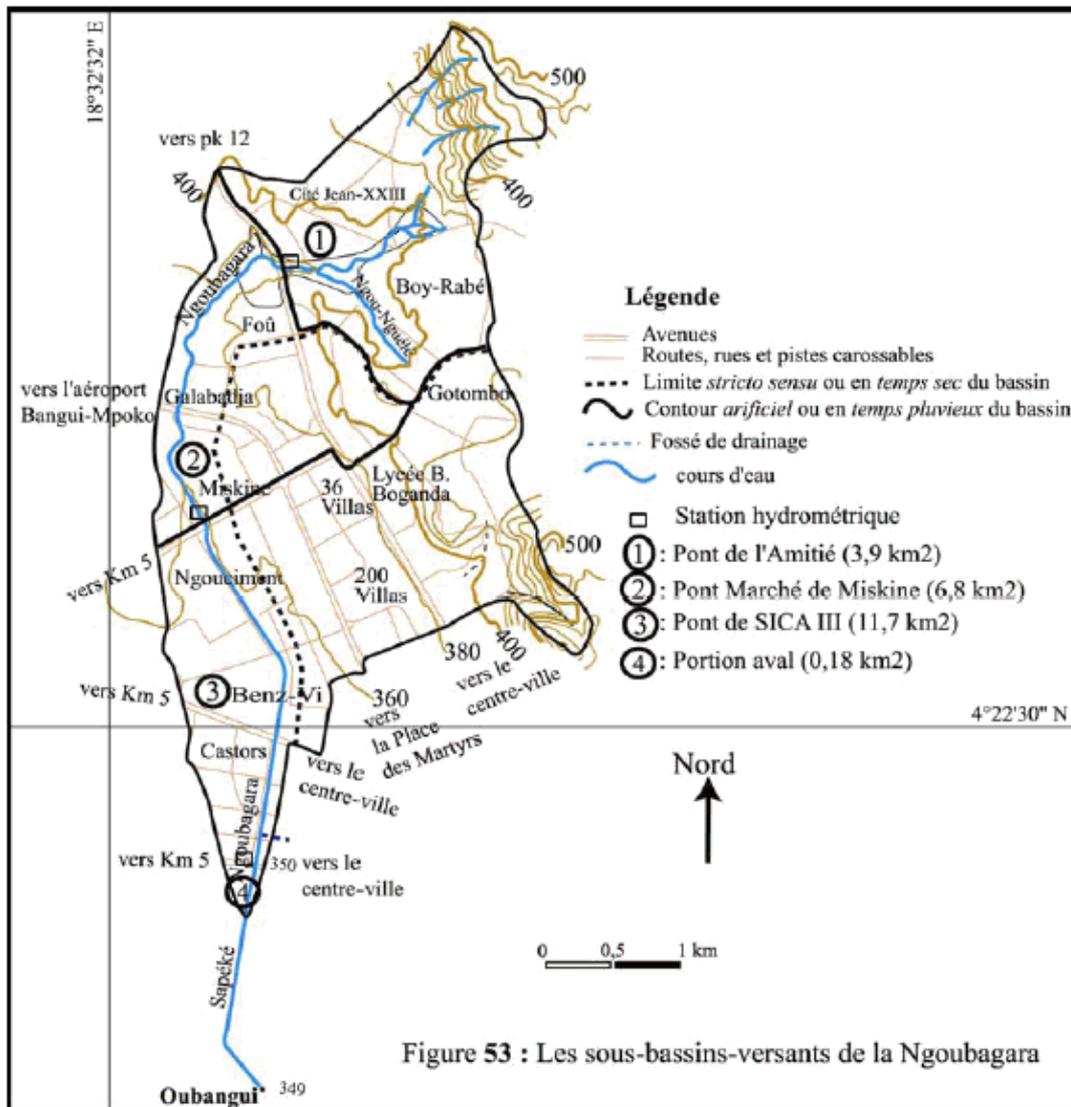
La *station de jaugeage du Pont de l'hôpital de l'Amitié* est située sur le piémont et a eu l'intérêt de mesurer à chaque orage les débits liquides et solides provenant directement des collines. Elle était équipée d'un limnigraphe. Des jaugeages effectués au moulinet et aux flotteurs pendant la montée et la descente des eaux ont servi à l'étalonnage.

La collecte des matières en suspension a été faite à chaque crue en prélevant un litre (1) d'eau dans un bidon toutes les montées et les descentes de 15 cm. Les heures et la cote à l'échelle limnimétrique sont indiquées, avec un prélèvement au maximum de la crue. Au laboratoire, les échantillons d'eau prélevés à l'exutoire (par station) ont subi les mêmes traitements que ceux provenant des parcelles expérimentales.

La *station de jaugeage du Marché de Miskine*, dotée d'une échelle limnimétrique, est installée en pleine ville pour quantifier les apports urbains. Elle a une section de mesure d'une largeur de 6,5 m et d'une hauteur de 2 m, soit 13 m². Son étalonnage a été fait grâce aux jaugeages effectués au moulinet en trois points équidistants pendant les montées et les descentes des eaux, à différentes profondeurs.

La *station du Pont de Sica III* a été installée en 1994. La médiocrité des pluies de jour cette année là n'a pas aidé à la répétition des opérations de jaugeage. La courbe de tarage a été dressée grâce à quelques crues de moins de 50 cm de hauteur (voir Figure 64 c). Ces résultats méritent donc d'être confirmés par de nouvelles mesures, selon KOKAMY-YAMBERE.

Figures 53 Les sous-bassins-versants de la Ngoubagara



3.2. Critique et exploitation des données

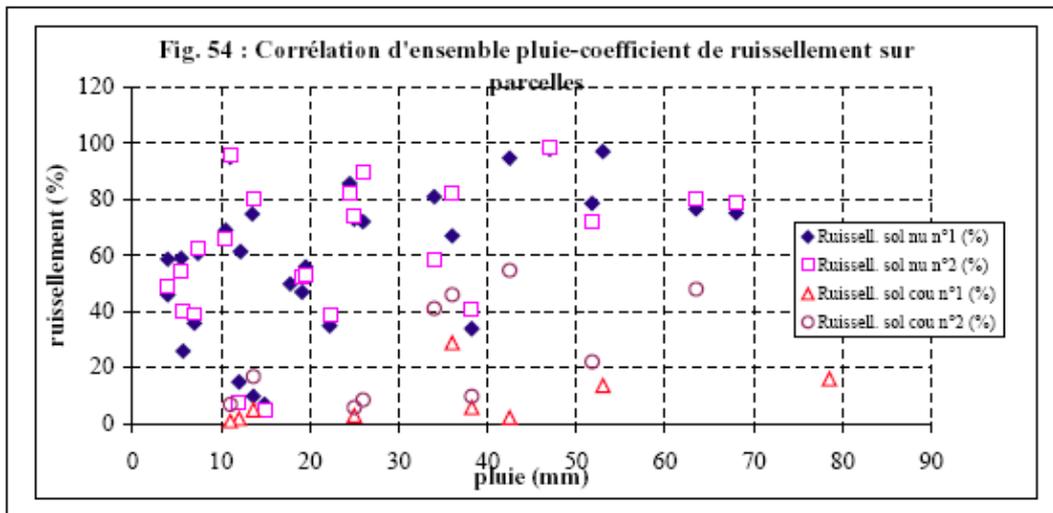
Les données que nous utilisons dans ce travail ont été collectées au moment des événements pluvieux ; elles ne paraissent pas assez complètes pour une analyse fine des paramètres, qui irait du pas de temps journalier au pas de temps mensuel, puis annuel voire interannuel, afin d'apprécier la dynamique des eaux pluviales du versant au lit fluvial. Si nous passons en revue les données obtenues par épisode pluvieux (elles sont présentées dans le tableau XIX), nous constatons que certains paramètres (ou variables) n'ont pas été observés pour certaines averses, ce qui est responsable d'un manque de données sur la période considérée. Néanmoins, nous avons fait le cumul des données existantes pour obtenir des totaux mensuels que l'on a mis en rapport avec les hauteurs mensuelles de précipitations observées.

La qualité des données sédimentologiques et pluviométriques fait qu'un biais existe dans l'analyse et l'interprétation de la morphodynamique du site de Bangui en raison de leur caractère incomplet. Quelquefois, les informations n'existent que pour une période très courte, et sont incomplètes de surcroît (parcelle nue n° 3 par exemple), ce qui rend difficile la tâche de dégager une tendance ; quant aux données sur le ruissellement en sols couverts, il n'y a pas assez de mesures... Ainsi, nous ne prendrons en compte que les informations disponibles et qui sont susceptibles de contribuer à la connaissance du milieu. Ces données sont classées en fonction de la succession des événements pluvieux dans le temps, lesquels rendent possible l'observation des deux paramètres : le ruissellement et l'érosion. En partant du pas de temps journalier, nous avons cumulé les moyennes ou les totaux pour chaque paramètre afin d'obtenir un ordre de grandeur à l'échelle mensuelle et

annuelle. L'irrégularité des pluies ne permet pas d'avoir en continu les données mesurées du ruissellement et de l'érosion puisqu'il ne pleut pas durant tous les jours de l'année. Ceci fait que nous avons disposé les données selon la récurrence des épisodes à l'échelle du mois durant une année (Tableau XIX). Ainsi, l'évolution des paramètres est suivie à l'échelle calendaire, puis les données quantitatives d'une année à l'autre sont comparées à titre indicatif. Toutefois, au-delà de l'aspect discontinu des données, le ruissellement est bel et bien fonction des pluies selon la corrélation d'ensemble établie (Figure 54), ce qui est aussi valable pour l'acquisition des débits de la Ngoubagara.

L'étude des crues à l'exutoire de la Ngoubagara passe par certains événements pluvieux et les *hydrogrammes* de crue ont été d'une grande utilité. Les mesures effectuées à chaque station par KOKAMY-YAMBERE ont uniquement porté sur la descente de la crue. Notre analyse de ses données portera sur le *temps de réponse* (début de la crue par à l'épisode pluvieux), le *temps de parcours* (ou de ruissellement) jusqu'à l'exutoire, et le *temps de latence* ^{Note30} à une station, et d'une station à l'autre. Ceci vise à cerner la *dynamique des eaux pluviales en milieu urbain*, notamment à travers les sous-bassins disposés d'amont en aval (cf. Ponts de l'Amitié, Miskine et Sica III : Figure 53).

Figures 54 Corrélation d'ensemble pluie-coefficient de ruissellement sur parcelles



Les données de débits journaliers, mensuels et annuels de la Ngoubagara n'existent pas, ce qui ne permet pas d'établir un bilan hydrologique annuel ou pluriannuel. Elles sont ponctuelles, car relatives aux pluies, encore que toutes les averses ne sont pas mesurées à l'exutoire. Ces raisons limitent davantage les termes du bilan hydrologique sur ce cours d'eau.

La linéarité entre la pluie (mm) et le coefficient de ruissellement (%), que nous avons calculée, a donné une mauvaise corrélation : $r = 0,4729693$; ceci laisse penser, comme on peut s'y attendre, que le ruissellement ne dépend pas que de la pluie, et intègre d'autres facteurs dans son processus (Figure 54). Par la suite, nous avons déterminé la lame ruisselée en mm à partir des coefficients de ruissellement, afin de la corrélérer aux différentes hauteurs de pluie acquises en mm.

Tableau XIX : Relations de la pluie avec le ruissellement et l'érosion sur parcelles (KOKAMY-YAMBERE, 1994 et 1995)

Date	Pluie			Ruissellement (%)				Erosion (g.m ⁻²)			
	Hauteur (mm)	Int. Mx (mm.h ⁻¹)	IK (mm)	Sol nu n° 1	Sol nu n° 2	Sol cou n° 1	Sol cou n° 2	Sol nu n° 1	Sol nu n° 2	Sol cou n° 1	Sol cou n° 2
08.10.91	4	-	-	58,7	-	-	-	281,3	-	-	-
10.10.91	13,5	-	-	74,9	-	-	-	728,3	-	-	-
13.10.91	17,8	-	-	49,8	-	-	-	717,9	-	-	-
17.10.91	12,2	-	-	61,5	-	-	-	781,14	-	-	-
02.11.92	19,1	22,8	8	46,9	52,3	-	-	200	244,96	-	-
04.11.92	68	47,4	10	75,1	79	-	-	450	607,48	-	-
06.11.92	24,5	57,6	29	85,7	82	-	-	276,76	516	-	-

21.04.93	12	4	0	15	8	2	-	10,82	19,44	2,28	-
23.05.93	4	-	4,21	46	49	-	-	5,36	9,28	-	-
02.06.93	13,6	14	0,05	10	80	5	17	67,13	109,9	0,78	12,16
06.06.93	5,7	22	1,85	26	40	-	-	9,91	27,69	-	-
11.06.93	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.06.93	38,2	18,6	0,38	34	41	6	10	140,8	214,2	322,11	14,43
14.06.93	36	-	14,2	67	82	29	46	185,55	358,56	85,36	100,25
23.06.93	78,5	60	14	69	65	16	53	577,2	734,44	18,01	93,89
07.09.93	19,5	36	1,06	56	53	-	-	60,05	111,45	-	-
12.09.93	22,2	-	1,68	35	39	-	-	19,14	49,2	-	-
13.09.93	25	21,2	14,48	73	74	3	6	54,86	87,35	10,82	4,06
15.09.93	11	14	14,52	95	96	1	7	19,9	27,64	0,1	16,65
20.09.93	14	0,89	2,1	7	5	-	-	2,95	1,53	-	-
20.06.94	20,3	-	0,1	-	-	-	-	29,6	42	-	-
22.06.94	26	-	7,4	-	-	-	-	296,2	219,1	0,5	8,8
18.07.94	5,5	-	0,1	59,1	54,6	-	-	7,6	16,6	-	-
20.07.94	34	1	2,1	80,9	58,7	-	41,2	324,1	139,8	-	23,6
07.08.94	7	0,07	0,1	36	39,3	-	-	11,5	15,27	-	-
09.08.94	42,5	1	2,6	94,7	-	2,3	54,7	191,3	-	1,4	10,1
20.08.94	10,5	0,3	0,1	69,1	65,9	-	-	26,4	54,6	-	-
23.08.94	26	0,37	3,9	72,1	90	-	8,7	40,7	111,4	-	1,4
01.09.94	7,4	0,1	4,3	60,7	62,3	-	-	8,2	23,1	-	-
02.09.94	51,8	0,52	7,1	78,7	71,9	-	22,3	42,9	258,5	-	13,3
04.09.94	47	0,77	21,7	97,9	98,4	-	-	110,5	402,4	-	-
12.10.94	63,5	0,7	0,1	76,6	80,3	-	48	124,5	261	-	22,6
14.10.94	53	0,56	23,4	97	-	13,7	-	184,8	299,8	5,8	-

Cette piste a donné une bonne corrélation (0,931289) entre la pluie et le ruissellement sur parcelle nue, comme l'a aussi montré KOKAMY-YAMBERE. La présentation des lames ruisselées en mm permet également d'apprécier la capacité de ruissellement des pluies journalières d'un événement à un autre. En effet, l'état de saturation d'un sol est un facteur important pour expliquer les intensités du ruissellement et de l'érosion relatives à une averse donnée.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Nous présentons les principaux résultats et les extrapolons en montrant d'abord le ruissellement à travers l'influence de la pluie sur le ruissellement, en analysant ensuite les volumes ruisselés et le seuil du ruissellement, puis la relation *pluie-intensité-ruissellement*, enfin le temps écoulé entre deux pluies. L'écoulement à l'exutoire que nous montrerons plus loin s'insère dans l'étude du ruissellement. Ensuite, nous discuterons les pertes en terre et leur régime ; nous les esquisserons selon les pas de temps annuel, mensuel et

4.1. L'apport des parcelles expérimentales

4.1.1. Influence de la pluie sur le ruissellement

La pluie est un facteur primordial, mais non exclusif, du ruissellement et de l'érosion lorsque des mesures sont effectuées sur des parcelles de 1 m² ; ces dispositifs présentent l'inconvénient d'être situés trop en marge des lignes d'écoulement pérennes pour être réellement en relation fonctionnelle avec elles. Les ruissellements que nous étudions sont reliés aux épisodes pluvieux connus et mesurés (Figure 46 b, p. 119). L'eau météorique explique en effet leur fonctionnement, et révèle surtout une disparité dans les comportements hydrodynamiques des parcelles à sols nus et à sols couverts.

Ainsi, nous observons les ruissellements les plus importants sur les sols nus qui sont exposés au risque d'érosion pluviale (*splash*). Les sols couverts sont, par contre, à l'abri de l'influence des pluies et de leurs gouttes, avec des valeurs de ruissellement beaucoup plus faibles (Tabl. XIX). Cette réalité met évidence le rôle protecteur du couvert végétal en termes de lutte anti-érosive, ce qui est classique. Ces résultats nous montrent *a priori* la disproportion entre les parcelles couvertes et les parcelles nues dans les transferts de matières liquides et solides, aussi bien à l'échelle de la parcelle qu'à l'exutoire. Ils traduisent de très bonnes corrélations entre la pluie et le ruissellement sur sols nus (0,931289 sur parcelle n° 1 et 0,796304 dans la parcelle n° 2) alors que sous forêt, les corrélations atteignent 0,585064 dans la parcelle n°1 et 0,771686 dans la parcelle n° 2 (Figures 55). Nous retenons que les valeurs du ruissellement sur sols couverts sont proches de 0 pour des pluies qui varient entre 0 et 20 mm, alors que pour des averses d'environ 40 mm, le ruissellement devient important à cause vraisemblablement de la saturation des sols en eau et du rôle de la pente. Toutefois le ruissellement sur sols nus augmente en fonction des hauteurs de pluie.

Dans cette dynamique, l'intensité instantanée maximale des averses ne paraît pas capitale pour rendre compte de l'importance du ruissellement (Figure 56). L'influence de l'intensité maximale des averses est effective pour les parcelles nues et couvertes, et les volumes ruisselés en sont influencés.

Figure 55a) Relation pluie-ruissellement sur sol nu n° 1 (1991-1994)

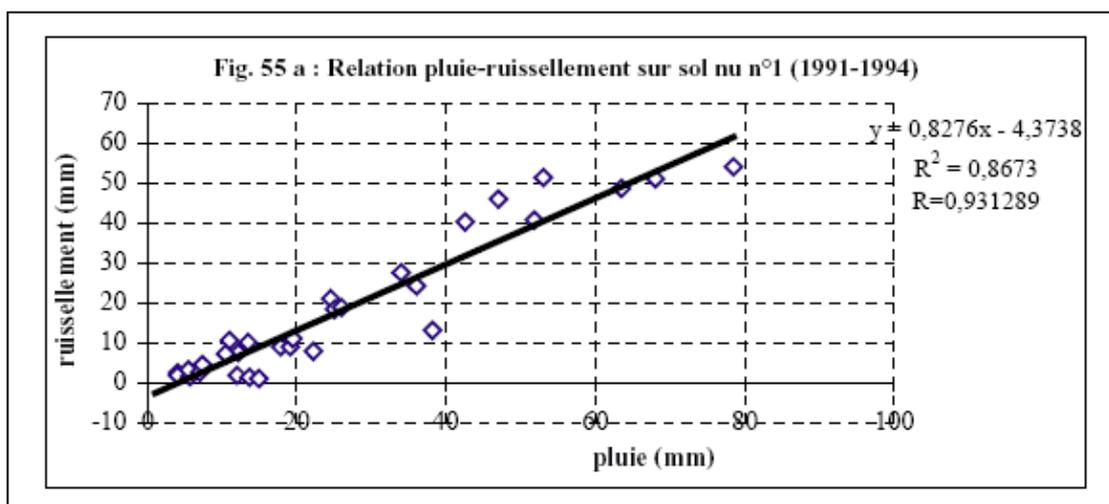


Figure 55b) Relation pluie-ruissellement sur sol nu n° 2 (1991-1994)

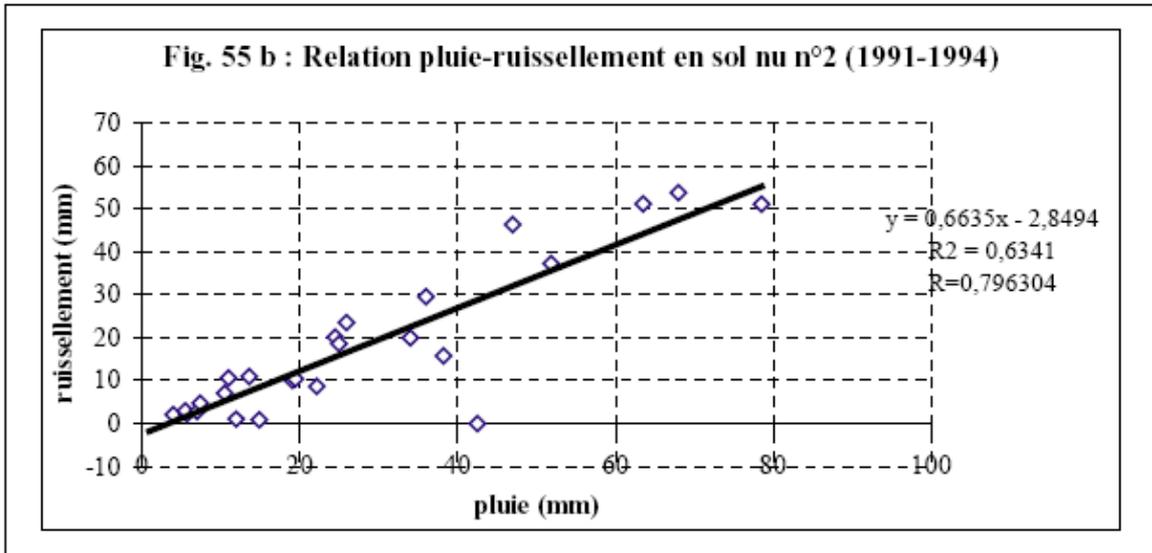


Figure 55c) Relation pluie-ruissellement sur sol couvert n° 1 (1991-1994)

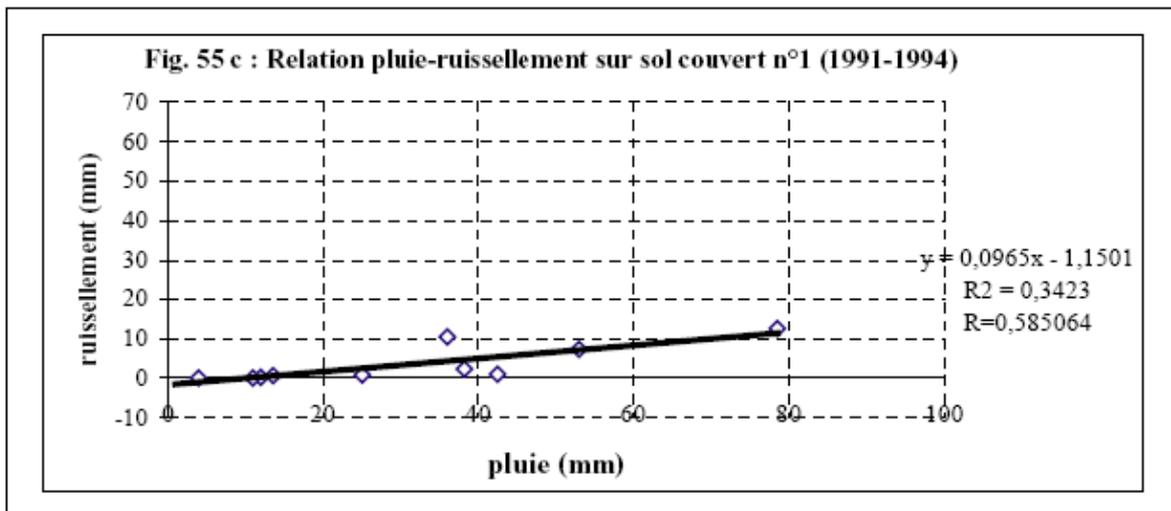
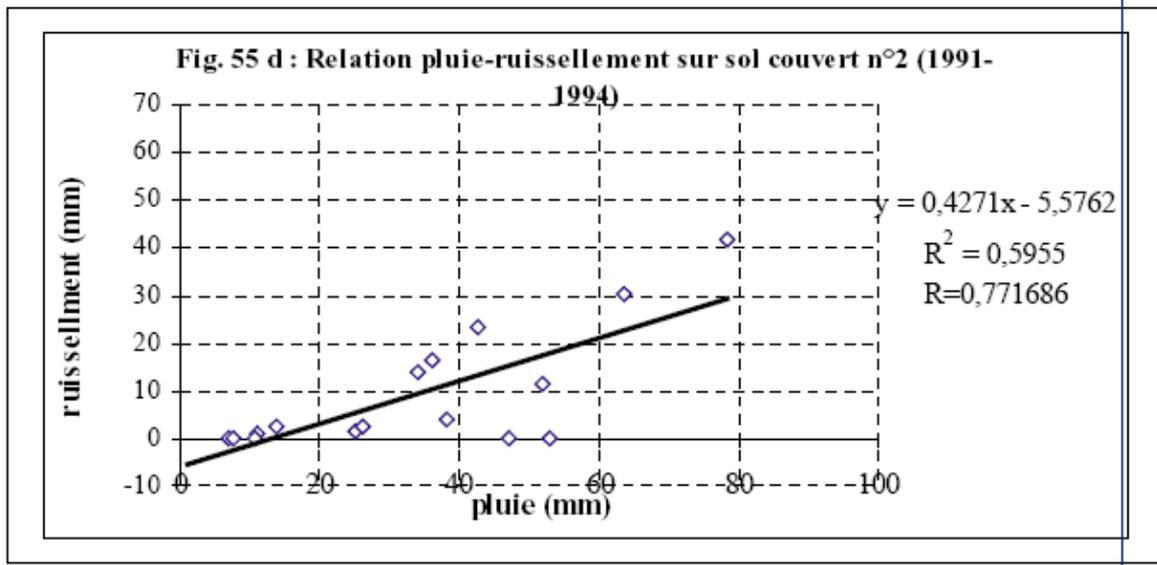
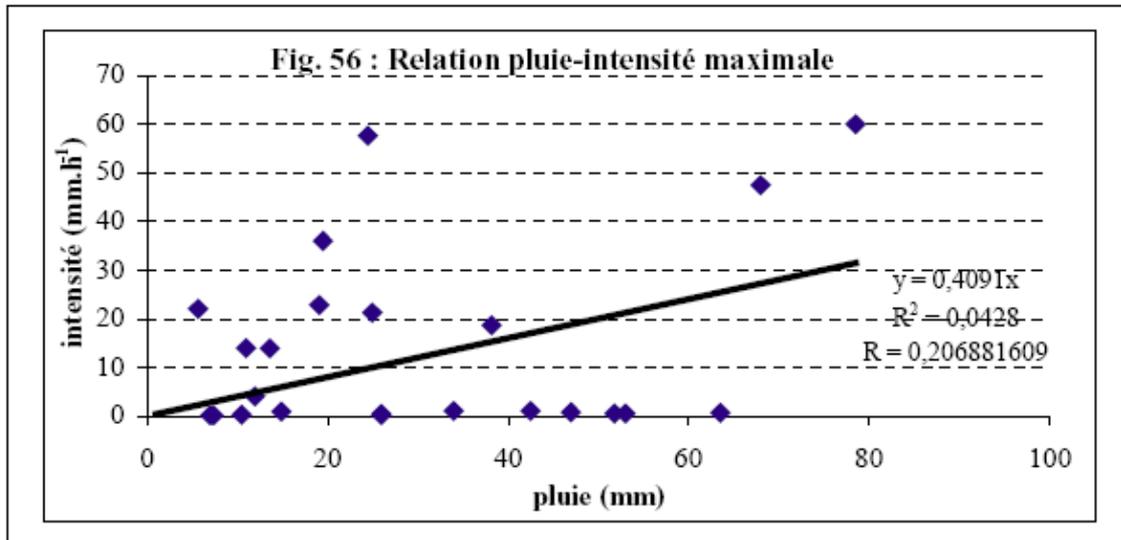


Figure 55 d) Relation pluie-ruissellement sur sol couvert n° 2 (1991-1994)



Figures 56 Relation pluie-intensité maximale



4.1.1.1. Les volumes ruisselés (et infiltrés)

Nous avons bâti ce paragraphe pour comprendre la question de l'eau ruisselée ou infiltrée en partant des pluies mesurées. Le *coefficient de ruissellement* (Kr ou Cr) constitue une estimation indirecte du volume d'eau infiltré dans le sol, et tient compte des pertes par interception et par rétention de surface dont une partie participe à l'évaporation (ROCHE, 1963). Autrement dit, le Cr est le rapport entre la *pluie nette* P_n et la *pluie brute* P_b (MUSY, 1998). Par ces approches, le volume ruisselé peut être estimé avec précision sur les parcelles pour une averse brute donnée. L'état de saturation préalable du sol est un facteur déterminant, mais les Cr sur sols nus varient globalement entre 30 %, lorsqu'il n'a pas plu durant une ou deux semaines, et 97 % lorsque le sol est saturé (Tableau XX) : s'il tombe 40 mm de pluie, nous avons respectivement 12 mm et 38,8 mm. Ainsi, le ruissellement est important quand le sol est nu et quand le sol est préalablement saturé. Des Cr très faibles sur sols nus sont aussi observés : 10 ou 15 % lorsque les valeurs de l'IK (indice de Köhler) sont nulles (0,05 mm). Sur les sols couverts, les Kr sont en général faibles à très faibles (6 à 15 % en moyenne). Les fortes valeurs du Cr, qui varient entre 29 et 55 % devraient être imputables, d'abord à la saturation du sol par l'effet d'interception de la pluie par le couvert végétal, ensuite à la pente (10 % environ pour les parcelles).

Car l'eau interceptée saturerait très vite les sols peu profonds et gravillonnaires des versants raides des collines, ce qui induirait le ruissellement du surplus de l'eau.

Pour les averses étudiées, les intensités maximales ne nous permettent pas d'avoir d'érosions importantes même sur sols nus : elles sont en moyenne faibles sur la période considérée, notamment en 1994 où les plus faibles valeurs ont été observées (moins de 2 mm.h⁻¹) ; lorsque des intensités horaires de 60 mm.h⁻¹ (23.06.93), de 47,4 mm.h⁻¹ (04.11.92) et de 57,60 mm.h⁻¹ (06.11.92) sont atteintes, l'érosion est forte. Un étalement des pluies dans le temps justifierait cette faiblesse des intensités maximales. Par ailleurs, la *pluie nette* (quantité de pluie qui participe au ruissellement) ou volume ruisselé, ne définit pas la fraction qui se serait infiltrée, en général déduite de la *pluie brute*. En effet, l'estimation du taux d'infiltration se fonde sur le volume ruisselé, et si pour une averse 97 % de l'eau ruisselle, la part due à l'infiltration serait très faible puisque dans cette tranche de la pluie non ruisselée, l'évaporation est comprise. De ce fait, la détermination précise du taux d'infiltration devient délicate par rapport au ruissellement.

4.1.1.2. Le seuil de ruissellement

KOKAMY-YAMBERE (1994) a défini un seuil de ruissellement à partir des mesures sur parcelles, au-dessous duquel les pluies d'une intensité maximum inférieure à 3,0 mm.h⁻¹ ne paraissent pas érosives. Le ruissellement et l'érosion ne sont engendrés que lorsque se succèdent les événements pluvieux (Tableau XX), au-delà du seuil de 3,0 mm.h⁻¹ : il peut arriver que rien ne se produise lorsque le sol est très sec, mais c'est rare. Par ailleurs, quels que soient la rareté des pluies et l'état hydrique du sol, les phénomènes se déclenchent quand l'intensité des pluies atteint et dépasse 12,0 mm.h⁻¹. De ces interprétations, il ressort que la pluie et ses caractères (hauteur, intensité...) expliquent le ruissellement et l'érosion en parcelles, bien que l'état de saturation et les états de surface des sols... contribuent aussi à la définition de ce seuil. Si par exemple les parcelles sont installées sur des sols poreux et profonds, ce seuil de ruissellement serait virtuellement surestimé ou sous-estimé, alors que les pluies peuvent être abondantes, intenses.

Tableau XX : Répartition des pluies et des pluies érosives selon des intensités instantanées maximales sur sols nus des parcelles de collines (KOKAMY-YAMBERE, 1994)

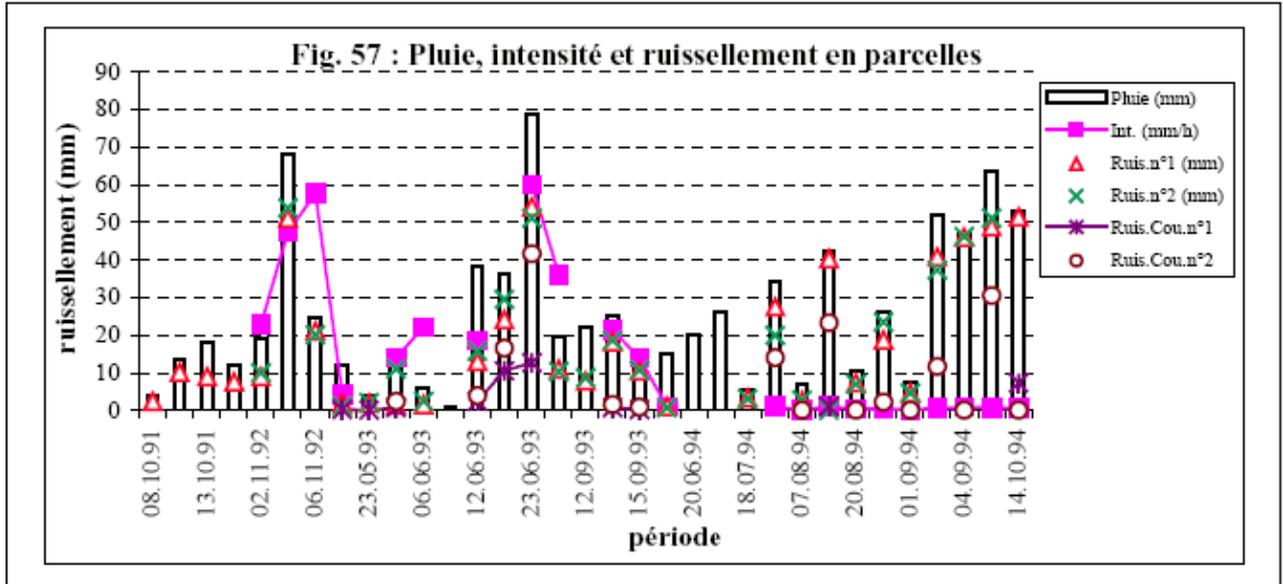
Année	Classe d'intensité instantanée maximale (mm.h ⁻¹) / Paramètres	0-3	4-12	13-24	25-36	>36
1992	Nombre de pluies	30	17	10	7	5
	Nombre de pluies érosives	4	15	10	7	5
	% des pluies érosives	13	88,2	100	100	100
	Erosion annuelle (g.m ⁻²)	14	875	1006,1	1609,7	2676,1
	% érosion annuelle	0	14,15	16,27	26,06	43,29
1993	Nombre de pluies	16	17	15	9	14
	Nombre de pluies érosives	3	13	14	9	14
	% des pluies érosives	18,75	76,47	93,33	100	100
	Erosion annuelle (g.m ⁻²)	24,26	218,9	804,26	1103,8	2391,42
	% érosion annuelle	0,01	0,05	17,7	24,3	52,64

4.1.1.3. Relation pluie-intensité-ruissellement

Nous avons appliqué aux données du ruissellement, des pluies et de leurs intensités une approche par corrélation pour comprendre les valeurs importantes du ruissellement pour de fortes intensités maximales de pluie. Les résultats obtenus sont mitigés : $r^2 = -0,2685$ sur la parcelle « sol nu n° 1 », $r^2 = -0,6102$ sur la parcelle « sol nu n° 2 », $r = 0,684324484$ sur la parcelle « sol couvert n° 1 » et $r = 0,87429972$ sur la parcelle « sol couvert n° 2 ». Ils nous montrent que la relation linéaire est très mauvaise sur sols nus ; elle est relativement très bonne sur sols couverts, et serait proche de 1 lorsque les intensités maximales de pluie sont plus fortes.

Cependant, le ruissellement sur les parcelles dépend plus du volume des pluies que de leur intensité (Figure 57), et il est plus important sur sols nus que sur sols couverts, ce qui paraît normal, et pour de très faibles intensités. Le ruissellement est aussi notable sur les sols couverts en particulier dans la parcelle n° 2. Et si du temps s'écoule entre deux pluies, quelles leçons pouvons-nous en tirer pour la détermination des formes de ruissellement dans les parcelles ?

Figure 57 Pluie, intensité et ruissellement en parcelles



4.1.1.4. Effet du temps écoulé entre deux pluies

Nous voulons ici mettre en évidence le comportement des parcelles dans le temps vis-à-vis du ruissellement. Car la dynamique observée dans les parcelles entre n averses fait penser *a priori* que l'indice de saturation du sol est susceptible de changer dans le temps.

Notre examen des effets hydrodynamiques des pluies considérées montre que le *temps écoulé entre deux averses* semble très peu influencer sur le ruissellement. Ce dernier dépend plus de la hauteur des averses que de leur intensité et de l'indice de saturation. Cet argument a sa justification dans les coefficients de ruissellement fournis soit par des pluies successives espacées de 24 ou 48 heures, soit par des pluies tombées après un temps relativement long, qui nous indiquent des valeurs quasi-similaires à n'importe quel pas de temps (horaire ou journalier). En effet, les valeurs des Cr sont tellement dispersées vis-à-vis du *facteur temps écoulé entre deux averses* successives qu'il nous paraît difficile d'en dégager une conséquence particulière. En guise d'exemples, les pluies tombées les 1^{er} et 2 septembre 1994 ont des Cr respectifs de 61 et 75 % en moyenne sur sols nus, alors que deux jours plus tard (4 septembre), une pluie a produit 98 % du ruissellement. Toutefois, les averses consécutives des 12, 13 et 15 septembre 1993 nous montrent des coefficients de 37, 74 et 96 % sur sols nus, avec des valeurs croissantes ; ce qui tend à démontrer le contraire (Figure 46 b, p. 119, et Tableau XX). Ces dernières pourraient nous révéler l'impact non négligeable de l'*indice de saturation du sol*. Ceci est observé lors de pluies des 2, 4 et 6 novembre 1992 qui ont produit un ruissellement respectif de 49 %, 77 et 84 % en moyenne ; de même pour les pluies du mois de septembre 1993 (7, 12, 13, 15 et 20), la variabilité dans le temps des Cr devrait être tributaire de l'indice de Köhler, donnant lieu à 55 % suite à la pluie du 7, 37 % le 12, 74 % le 13, 96 % le 15, et 6 % seulement le 20 septembre.

4.1.1.5. Capacité de ruissellement des pluies journalières

Nous observons la dynamique du ruissellement à travers les coefficients de ruissellement estimés sur des parcelles (sols nus et sols couverts). Ainsi, la capacité de ruissellement identifiée sur chaque type de parcelles paraît disproportionnée, entre les sols nus et les sols couverts, et suggère que les sols nus se prêtent mieux au ruissellement que les sols couverts. Ceci détermine une différence de comportement hydrodynamique des sols et met en relief l'importance d'un facteur autre que la pluie, le *couvert végétal*, qui influence le ruissellement aux côtés de nombreux autres. Dans le cas où les parcelles nues fourniraient le gros du ruissellement, elles sont plus soumises à l'agressivité des pluies que les parcelles couvertes. Ainsi, la capacité de ruissellement des pluies journalières apparaît comme un *indicateur* qui nous permet d'apprécier les influences de la pluie sur les différents secteurs des collines, des piémonts et des *témoins* de plateaux dans l'optique de la prédétermination des risques érosifs. Nous avons par ailleurs comparé les données du ruissellement (Cr) en parcelles et à celles à l'exutoire de certains sous-bassins à l'occasion de quelques événements pluvieux (Tableau XXI). Nous avons déterminé ces Cr à partir des volumes écoulés par station que KOKAMY-YAMBERE a estimés. Les résultats nous montrent une forte variabilité des ruissellements selon les variables de contrôle (sols nus ou couverts, sous-bassins...) considérées. La tendance globale nous montre que les Cr sont plus importants sur parcelles qu'à l'exutoire. Nous expliquons cet hydrodynamisme par une forte hétérogénéité spatiale (du volume et de l'intensité des pluies, et d'une diversité de réponse des secteurs qui composent l'*impluvium* à la production du ruissellement) au sein des sous-bassins et leurs tailles, induisant la réalité de plusieurs processus. Or les parcelles sont très petites (1 m²), occasionnant davantage le transfert d'eau surtout qu'elles sont délimitées par un cadre métallique.

Tableau XXI : Quelques éléments de comparaison des Cr en parcelles et à l'exutoire

Jours pluvieux	Cr parcelles (%)	Cr exutoire (%)	Pluie (mm)
6.10.93	-	Amitié : 37,1 Miskine : 62,9	-
12.10.93	-	Amitié : 29,3 Miskine : 70,7	17,2
14.10.94	Nue n° 1 : 97 Couverte n° 1 : 13,7	Amitié : 28,5 Miskine : 37,1 Sica III : 34,4	53

Toutefois, la capacité de ruissellement à l'échelle des collines obtenue sur parcelles semble trop restrictive pour donner une image réelle de ce processus dans la diversité des paysages humanisés qui les caractérise. L'une des raisons tient à ce que les terrassements réalisés sur les versants pentus pour l'habitat ne participent pas de la même manière au ruissellement que les parcelles étudiées, par exemple.

4.1.2. Dynamique des matières solides

Le transfert des matières solides à l'échelle des parcelles est lié à l'importance relative du ruissellement. Ce constat résulte de la différence de fourniture en matériaux enregistrée entre les parcelles nues à fort ruissellement et les parcelles couvertes à faible ruissellement. Nous analyserons dans ce paragraphe la dynamique érosive à plusieurs niveaux ; de plus nous avons extrapolé les érosions sur parcelles à des pas de temps annuel et interannuel, mensuel et journalier, afin de suivre les régimes correspondants.

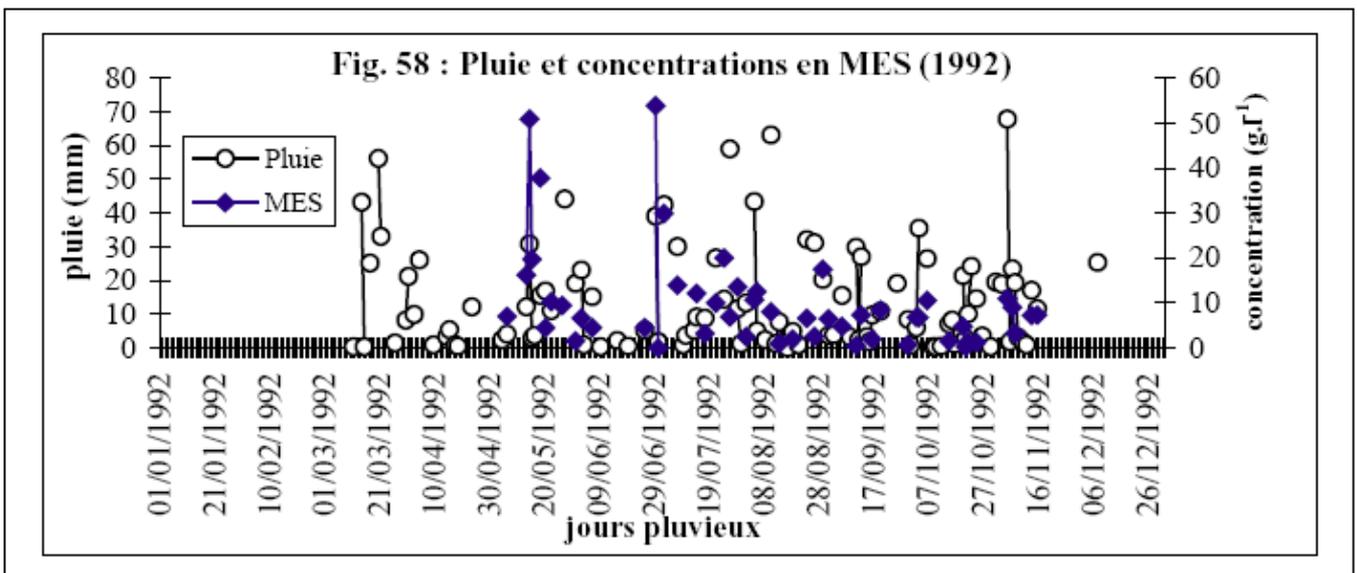
4.1.2.1. Les concentrations moyennes en matières en suspension (MES)

Nous pouvons mesurer le rythme annuel de l'érosion par la variabilité des concentrations moyennes en MES des eaux ruisselées, à l'échelle de l'épisode de crue. La nature des états de surface des sols conditionne probablement les types de concentrations en MES que nous avons relevés en établissant le graphe pluie-concentrations (Figure 58). L'évolution des concentrations en MES ne présente pas de variation linéaire

avec les hauteurs de pluie et leur intensité dans l'espace et dans le temps, témoignant d'interrelations complexes entre les différents paramètres en jeu. Les taux de concentration en grammes par litre (g.l-1) sont fluctuants d'une averse à l'autre, et l'interprétation des résultats nous paraît délicate : les fortes concentrations sont respectivement de 51 g.l-1 (14 mai 1992) et 54 g.l-1 (30 juin 1992), et les plus faibles sont inférieures à 1 (0,5 g.l-1 au 10 septembre, et 0,3 g.l-1 au 23 octobre 1992). Ces écarts entre les valeurs ne montrent pas un *continuum* dans la succession des événements. C'est peut-être cette éventualité qui a amené KOKAMY-YAMBERE (1994) à définir trois périodes (3) pour caractériser l'évolution des MES à l'échelle annuelle :

- la *première*, survenue dans la deuxième décennie du mois de mai, révèle des concentrations moyennes très élevées. Elles s'expliquent par le remaniement du sol des parcelles par l'énergie cinétique des gouttes de pluie en début de saison des pluies, et également par l'activité faunique ; mais également le matériel est disponible, après la saison sèche ;
- pour la *deuxième période* (les deux premières décades du mois de juillet), les valeurs de concentration restent encore élevées, montrant l'érodibilité des sols au niveau des collines lorsqu'ils ne sont pas couverts. Les concentrations enregistrées auraient dû être logiquement faibles du fait que les sols ont en principe été nettoyés lors de la première période ;
- la *dernière* (les mois de septembre, octobre et novembre) voit chuter les valeurs de concentrations moyennes des eaux ruisselées, à cause de l'enherbement des parcelles et de l'encroûtement des horizons de surface des sols. Ainsi, l'enlèvement, le transport et le dépôt des particules fines hors des parcelles par ruissellement suivent un processus qui mérite d'être exposé.

Figure 58 Pluie et concentration en MES (1992)



4.1.2.2. Dynamique érosive sur sols nus et couverts

Le couplage érosion-lame ruisselée, que nous avons établi pour la plupart des parcelles expérimentales n'a que partiellement donné de bonnes corrélations. La relation n'est pas linéaire pour la parcelle nue n° 1 ($r = 0,22472205$), en revanche, de bonnes et assez bonnes corrélations sont obtenues sur les parcelles nue et couverte n° 2, respectivement $r = 0,832406151$ et $r = 0,611924051$ (Figures 59 a, b et c) ; alors que KOKAMY-YAMBERE a trouvé de bonnes corrélations.

Figure 59a) Relation érosion (sol nu n° 1)-lame ruisselée ; p. 164

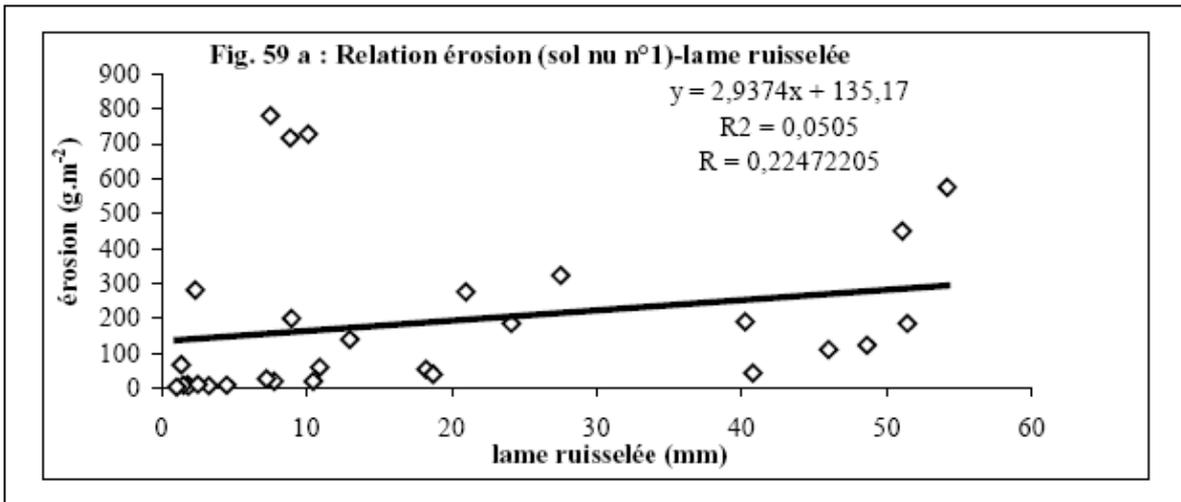


Figure 59b) Relation érosion (sol nu n° 2)-lame ruisselée

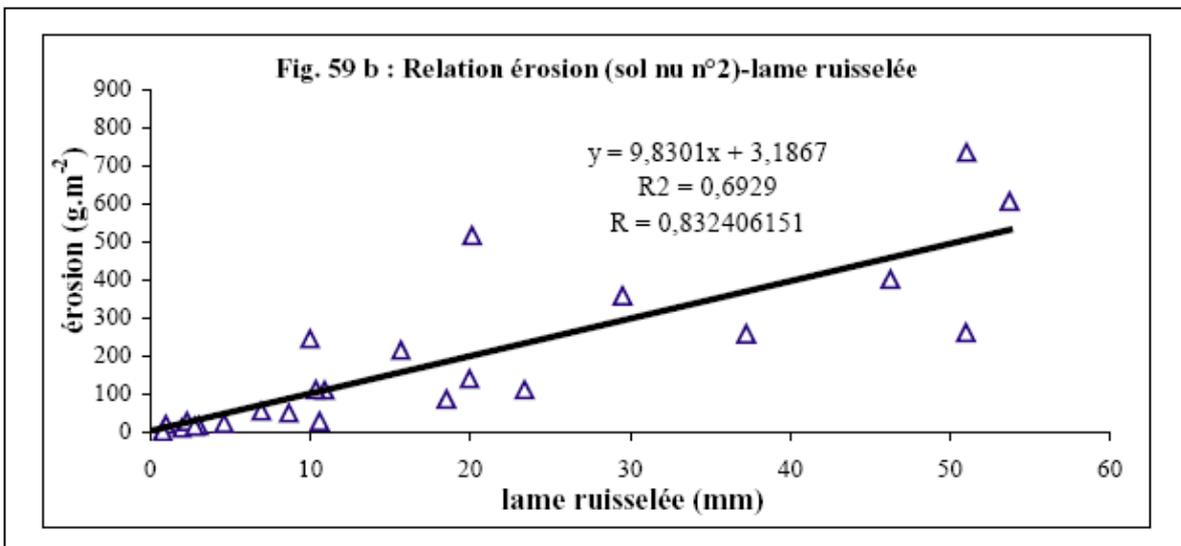
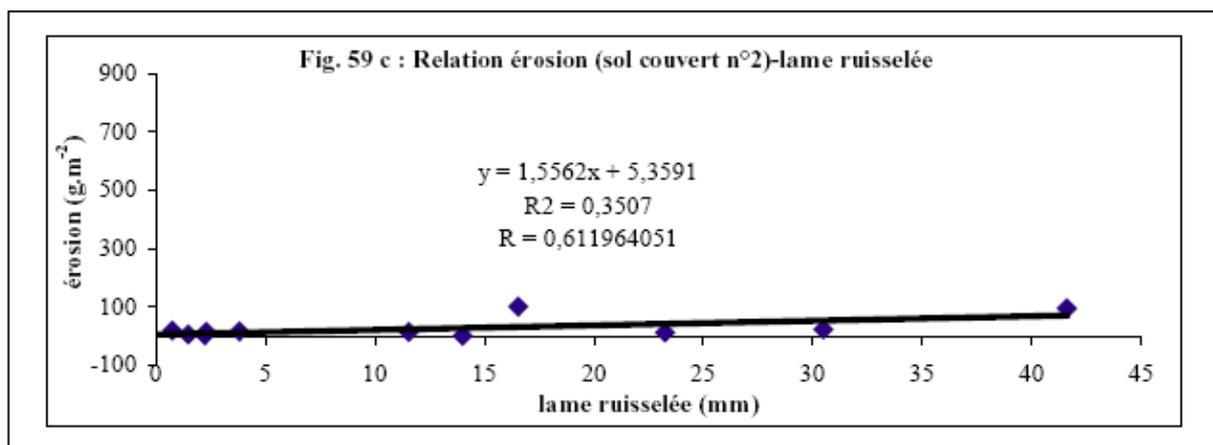
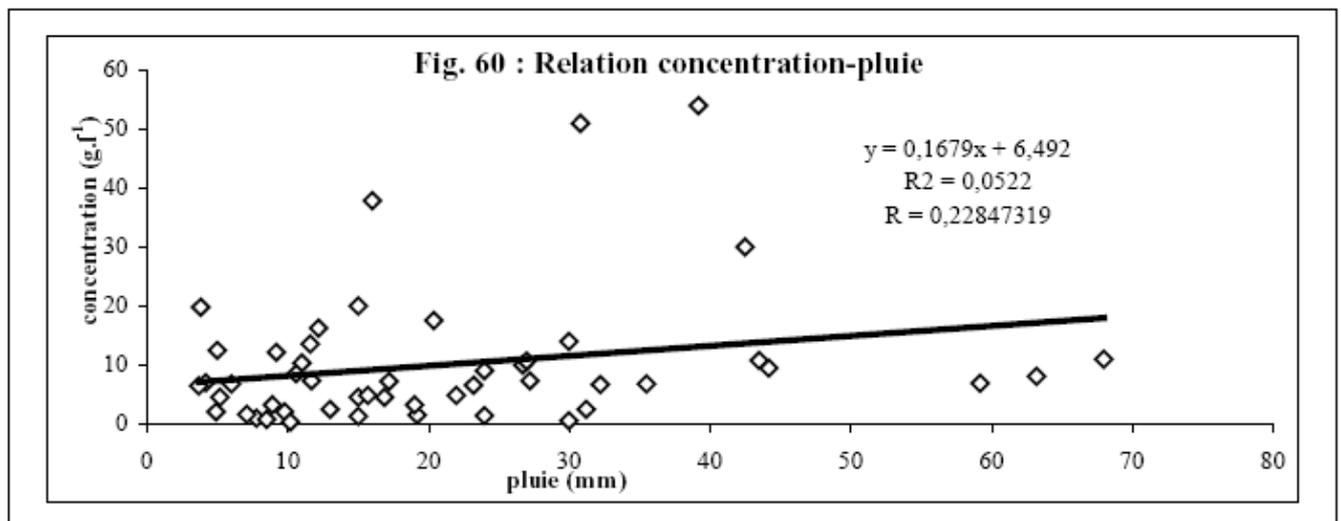


Figure 59c) Relation érosion (sol couvert n° 2)-lame ruisselée



Nous remarquons que l'érosion augmente moins vite pour des valeurs élevées de lames ruisselées. Ce phénomène, qui s'expliquerait par la saturation du sol au début de l'averse, entraîne un ruissellement diffus et en conséquence, une érosion en nappe. KOKAMY-YAMBERE considère que la lame d'eau formée à sa surface joue le rôle d'écran ; elle protège le sol contre le *splash*. De ce fait, la faible longueur des parcelles (1 m) et leur pente relative (environ 3 à 5 %) réduisent la vitesse du ruissellement, ce qui limite davantage la force d'arrachage des particules. Pour cette raison, nous notons que le ruissellement concentré induisant l'érosion linéaire qui est prépondérante lorsque la pente est forte, ne peut se développer et laisse place à l'érosion en nappe qui résulte de la diffusion de l'écoulement. Ce type d'érosion se fait sur des particules très fines et des *ions* solubles du sol, et évacue particulièrement les fines et les sables selon la compétence du ruissellement, laissant *in situ* les gravillons qui ne peuvent être déplacés. Nous avons observé et mesuré ce lavage du sol en nappe en analysant la concentration des eaux ruisselées en éléments solides suspendus (Figure 60). Les valeurs de concentrations moyennes augmentent conjointement avec celles des lames ruisselées, et semblent décroître pour des crues résultant d'averses très fortes. Ceci confirme le rôle d'écran que joue la nappe de ruissellement vis-à-vis de l'érosion du sol. La dispersion de certains points sur la figure serait due à la saturation préalable des sols (valeurs élevées de IK) par suite d'une succession de pluies.

Figure 60 Relation concentration-pluie



De ces analyses, nous déduisons que le couplage *lame d'eau précipitée-taux d'érosion* sur ces parcelles n'est pas du tout simple. L'érosion est certes générée par le ruissellement pluvial mais au cours des événements, l'intégration d'autres processus complique et limite dans le temps l'arrachage des particules du sol. Ceci met en relief les limites de la pluie pour expliquer l'importance de l'érosion, d'où l'adjonction d'autres mécanismes pour la compréhension globale du phénomène, notamment sur sol nu. Car la figure 58 nous montre que les valeurs moyennes de concentrations des eaux ruisselées ne sont pas absolument proportionnelles à l'importance de la lame précipitée, d'où des valeurs de concentrations discontinues malgré un enregistrement continu des averses dans le temps.

4.1.2.3. Bilans des érosions et des dépôts

Les données brutes que nous analysons ici ont été collectées par KOKAMY-YAMBERE par événement pluvieux. Celui-ci est source de la mobilisation des matériaux à l'échelle du versant, et rend compte du rythme d'érosion au niveau des parcelles. Ainsi, la fourniture de sédiments suit globalement le rythme saisonnier des précipitations, de même que le ruissellement, mais des spécificités d'une année à l'autre subsistent. Notre approche de ces bilans passe par l'analyse de l'évolution annuelle et interannuelle, des taux moyens mensuels et des taux d'érosion à l'échelle journalière.

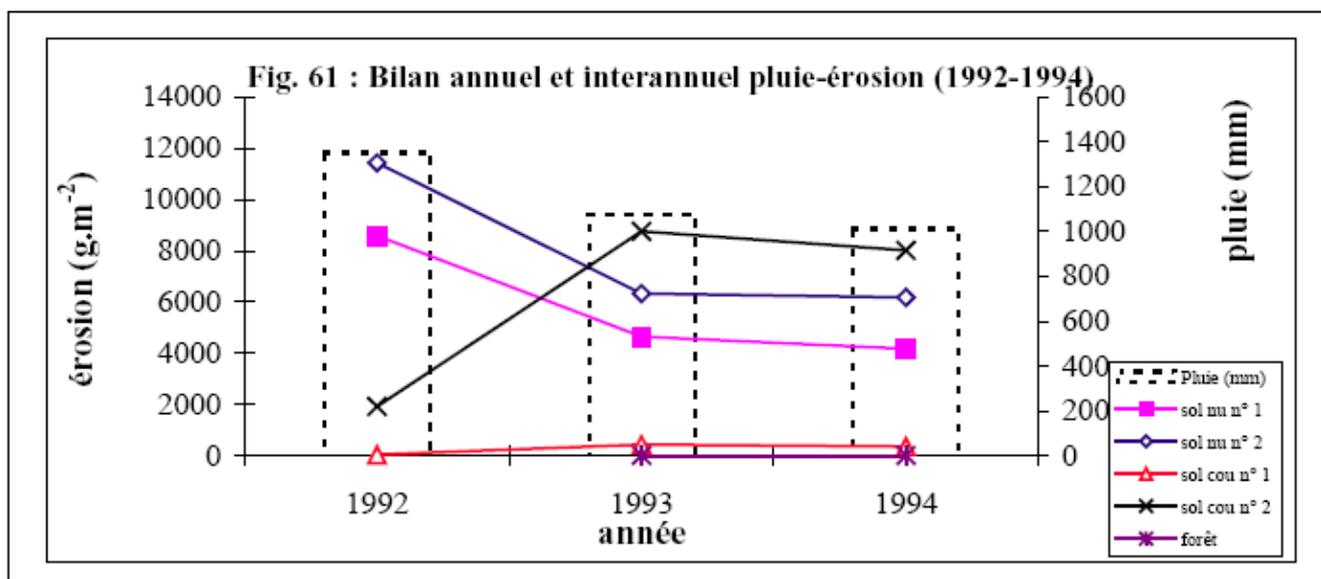
4.1.2.3.1. Evolution annuelle et interannuelle de l'érosion sur parcelles

A l'échelle annuelle, l'érosion la plus forte a été enregistrée en 1992, notamment sur les sols nus (86 à 114 t.ha⁻¹). Ces valeurs ont baissé de moitié en 1993 avec respectivement 46 t.ha⁻¹ produites par la parcelle nue n° 1 et 63 t.ha⁻¹ par la parcelle nue n° 2. La parcelle nue n° 1 (avec 47 % de gravillons) s'est moins érodée que la seconde, avec des sols peu gravillonnaires (15 à 20 % de gravillons). Ceci montre l'intérêt des graviers en terme de lutte anti-érosive. Quant aux parcelles couvertes, les pertes en terres sont faibles et varient de 4 à 9 t.ha⁻¹ en 1993, et se stabilisent en 1994. Une dispersion caractérise ces résultats qui sont fonction du type de végétation et du degré de la couverture des sols. Ainsi, la parcelle couverte n° 1, entièrement colonisée par des légumineuses, *Eupatorium odoratum* associée à *Pueraria javanica*, a moins fourni de matériaux (environ 3,8 t.ha⁻¹.an⁻¹) que la parcelle couverte n° 2 qui est envahie par des graminées telles qu'*Anadelphia arecta* et *Monocymbium cerasiiforme* (environ 9,2 t.ha⁻¹.an⁻¹). Ces éléments traduisent le rôle anti-érosif des couverts végétaux.

Dans ce bilan annuel et interannuel pluie-érosion (1992-1994), nous définissons deux tendances (Figure 61) en fonction de deux groupes de résultats :

- la *première* indique une baisse de la pluviométrie entre 1992 et 1994 (de 1354,85 mm à 1010,9 mm) qui explique simultanément le rythme d'érosion sur sols nus (parcelles n° 1 et n° 2). Ceci nous semble logique du fait que l'érosion dépend de la hauteur, de l'intensité et de la durée des précipitations, et que la diminution de la pluviométrie entraîne une réponse positive des parcelles dans le temps et dans l'espace ;

Figure 61 Bilan annuel et interannuel pluie-érosion (1992-1994)



- la *seconde tendance* est liée aux différentes réponses morphodynamiques des autres parcelles (les trois couvertes). L'érosion est nulle sur la parcelle en forêt, très faible sur le sol couvert n° 1, et faible sur le sol couvert n° 2, ce qui était prévisible en raison de la couverture végétale.

Nous déduisons de cette argumentation que certains schémas, scientifiquement établis pour suivre la dynamique superficielle de l'écorce terrestre, ne peuvent s'adapter sans précaution à certains contextes locaux, en raison de la dispersion des résultats obtenus. Ainsi, l'analyse des données mensuelles apportera quelques indications.

4.1.2.3.2. Valeurs mensuelles : régime de concentration

Nous remarquons que chaque parcelle se comporte de manière originale selon ses spécificités hydro-morphodynamiques (Figures 62 a, b et c). En général, la production sédimentaire suit le rythme de la pluviométrie mensuelle, qui présente deux modes aux mois de juillet et d'août des années 1992 et 1993 (respectivement 264,4 mm et 380,8 mm) ; ce phénomène n'a pas été observé en 1994 à cause de la faiblesse des lames précipitées (le mode mensuel atteint 172,7 mm) par rapport aux deux années précédentes.

Figure 62a) Pluie et érosion mensuelles en 1992

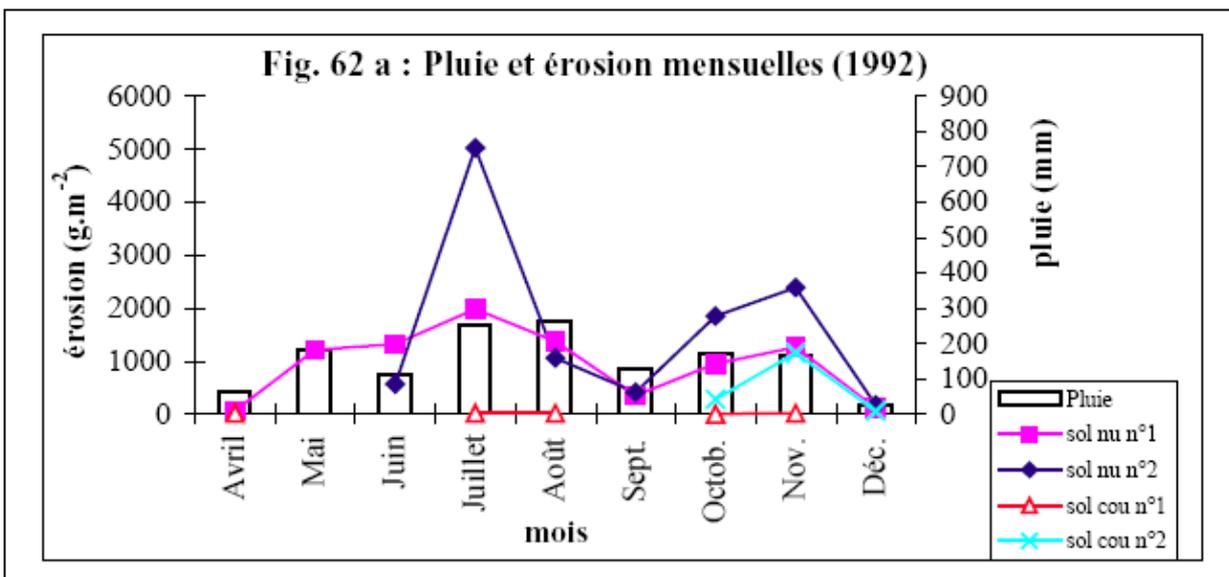


Figure 62b) Pluie et érosion mensuelles en 1993

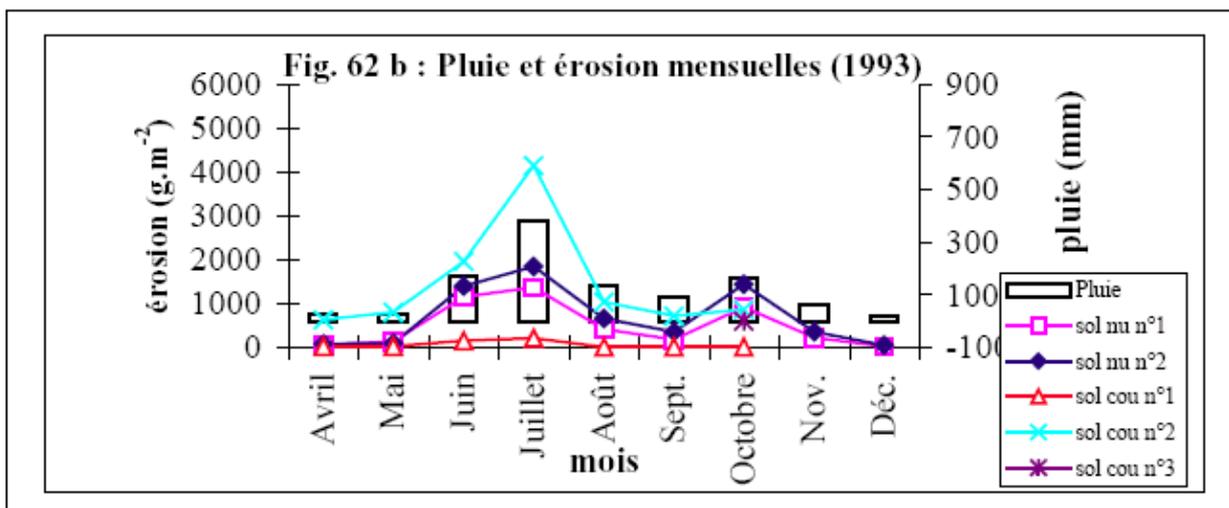
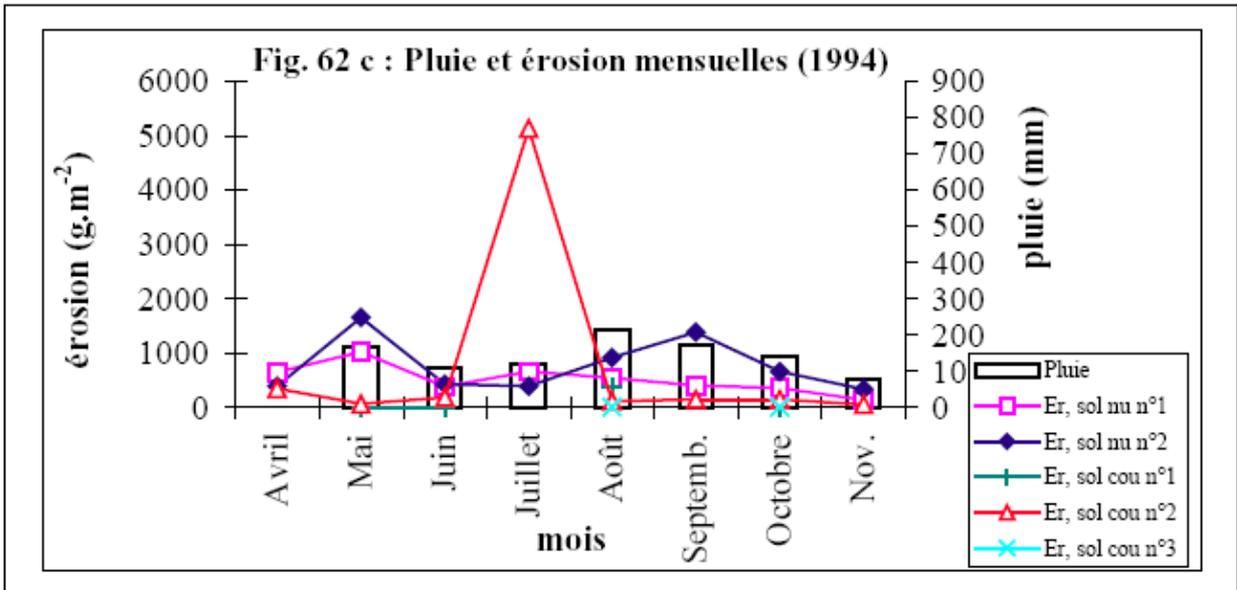


Figure 62 c) Pluie et érosion mensuelles en 1994



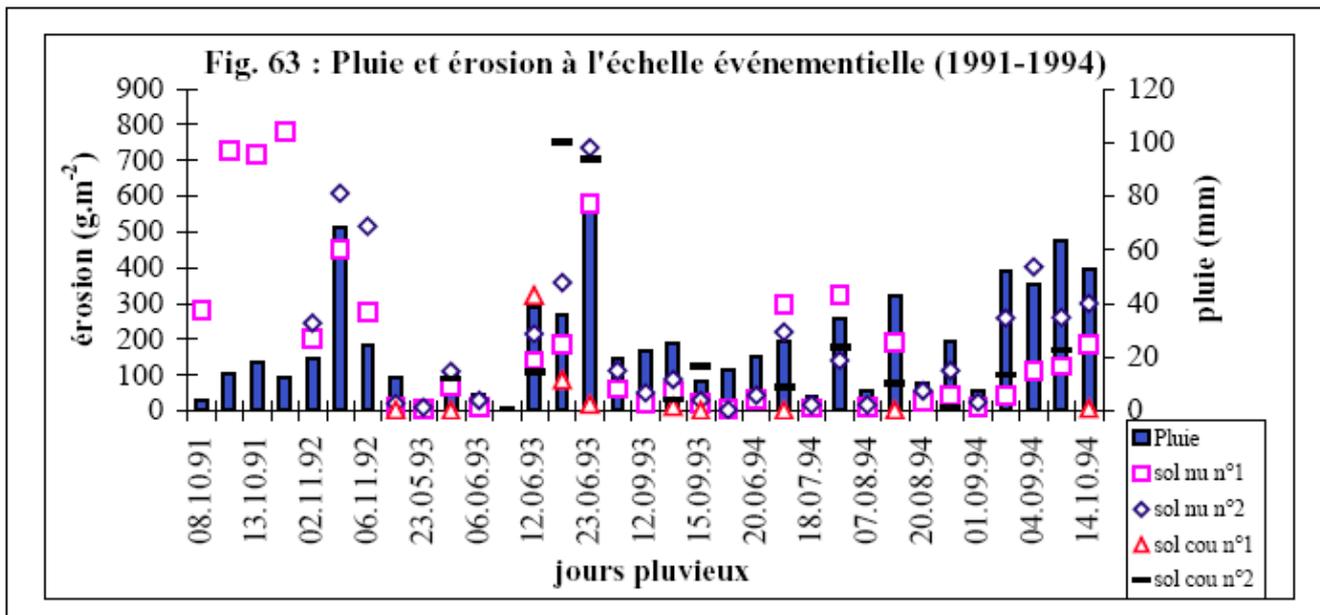
Le bilan mensuel de l'érosion nous montre des taux plus importants avec deux pics, d'abord en juillet et novembre 1992, puis en juillet et octobre de l'année 1993. Entre temps, des « creux » interviennent dans les deux cas, notamment aux mois d'août et de septembre. Nous corrélons cette situation avec la diminution de la pluviométrie qui occasionnerait un assèchement relatif des sols, alors que les premiers pics d'érosion sont enregistrés trois mois après le début de la saison pluvieuse, en situation de saturation du sol. Ce phénomène s'est reproduit aux mois d'octobre et de novembre lorsque les pluies ont augmenté à nouveau. Sur ces deux années, les sols nus n° 1 et 2 ont produit plus de matériaux que les sols couverts, mais la parcelle nue n° 2 a été la plus érodée de toutes. Pour les sols couverts, l'érosion a été nulle pour la parcelle n° 1 en 1992, et a atteint environ 216,98 g.m⁻² en juillet 1993, alors que la parcelle n° 2 s'est relativement distinguée avec un taux de 592,52 g.m⁻², et en novembre 1992 (173,14 g.m⁻²).

En 1994, les tendances sont les mêmes sauf que le mois de mai a été le plus érosif (1653,4 g.m⁻²), et que l'érosion sur le sol couvert n° 2 a atteint 770,1 g.m⁻² au mois de juillet, soit moins de 10 t.ha⁻¹.an⁻¹, ce qui représente l'érosion maximale pour cette parcelle. Le second mode d'érosion s'observe au mois de septembre en 1992 et en 1993, et correspond à la même dynamique. Le comportement des parcelles affiche un *régime unimodal*. Le rythme de concentration nous montre donc des fluctuations à l'échelle mensuelle selon la hauteur des précipitations, qui peuvent être plus prononcées à l'échelle journalière.

4.1.2.3.3. Les données journalières de l'érosion

Nous avons pris tous les jours de pluie mesurés (Figure 63) sur la période 1991-1994 (ce que nous appelons *échelle événementielle*). L'évolution temporelle et spatiale de l'érosion par averse nous suggère trois types de dynamique :

Figure 63 Pluie et érosion à l'échelle événementielle (1991-1994)



- la première s'observe dès l'ouverture des parcelles nues (1 et 2) qui enregistrent des taux d'érosion importants pour des précipitations inférieures ou égales à 20 mm. Ceci se justifie par le remaniement des sols lors des travaux d'installation des parcelles qui auraient fragilisé les particules fines du sol, et les auraient exposées à l'érosion hydrique. Cette tendance correspond à la tendance globale et interannuelle ;
- par la suite, au milieu de la période (1993), l'érosion tend à être proportionnelle à la hauteur des averses, et montre une séquence de stabilité relative avec une érosion moyenne d'environ 200 g.m⁻² pour une pluie de 36 à 38,5 mm;
- enfin, les tendances se sont inversées vers la fin de la campagne : les précipitations sont plus importantes et l'érosion reste faible à très faible. Cela montre que les parcelles ont atteint une certaine stabilité, si nous considérons que l'expérimentation apparaît comme une perturbation dans leur dynamique, de sorte que l'homme est un facteur d'évolution morphologique. Car l'érosion « naturelle » n'a pas le même rythme que celle causée par l'anthropisation. Si les fines particules des sols sont évacuées et si le potentiel de fourniture se réduit, les valeurs d'érosion s'abaissent. L'horizon B peut être atteint, ou bien des graviers, des gravillons ou des carapaces latéritiques se trouvent sur les parcelles, pouvant freiner le processus d'érosion.

Les pertes d'eau et de sédiment enregistrées en amont sur les parcelles contribuent à alimenter en aval, concomitamment aux apports urbains, l'exutoire de la Ngoubagara qui effectue le gros des transferts liquides et de charges solides à l'échelle de la ville. Néanmoins, le transfert des sédiments n'est pas si simple car des *relais* sont observés dans le cheminement des sédiments avant leur arrivée à l'exutoire, ce qui n'est pas le cas pour le flux liquide.

4.2. Ecoulement et étude des crues de la Ngoubagara à l'exutoire

4.2.1. L'étalonnage des stations

KOKAMY-YAMBERE a installé et étalonné trois (3) stations sur la Ngoubagara. Sur cette base, nous avons délimité des surfaces de bassins-versants correspondantes (Figure 64 a, b et c) : la Station du pont de l'hôpital de l'Amitié (3,9 km²), la Station du pont du marché de Miskine (6,8 km²), et la Station du pont de SICA III (11,7 km²). L'intérêt de cette approche est de suivre d'amont en aval la dynamique du ruissellement pluvial, qui cause momentanément des inondations sur une partie de la ville ou du bassin étudié. Les résultats

(Annexes I) permettent de suivre le comportement de la rivière, notamment à la station de Miskine où la turbulence apparaît lorsque la crue atteint et dépasse 32 cm à l'échelle. Ce phénomène est lié aux apports urbains (KOKAMY-YAMBERE, 1994). Les débits sont importants en aval (station du pont de SICA III) avec $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dès qu'est atteinte la hauteur d'eau de 20 cm.

Figure 64 a) Courbes d'étalonnage des stations hydrométriques de la Ngoubagara, Station de l'Amitié (bassin de $3,9 \text{ km}^2$)

Figure 64 b) Courbes d'étalonnage des stations hydrométriques de la Ngoubagara, Station de Miskine (bassin de $6,8 \text{ km}^2$)

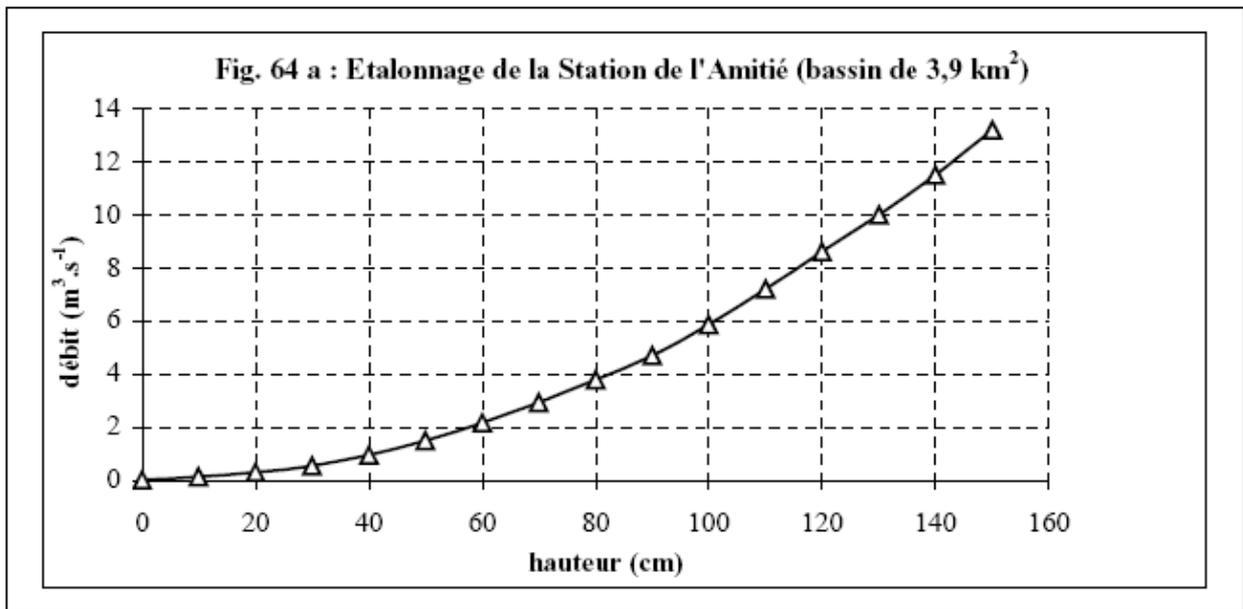


Figure 64 b) Courbes d'étalonnage des stations hydrométriques de la Ngoubagara, Station de Miskine (bassin de $6,8 \text{ km}^2$)

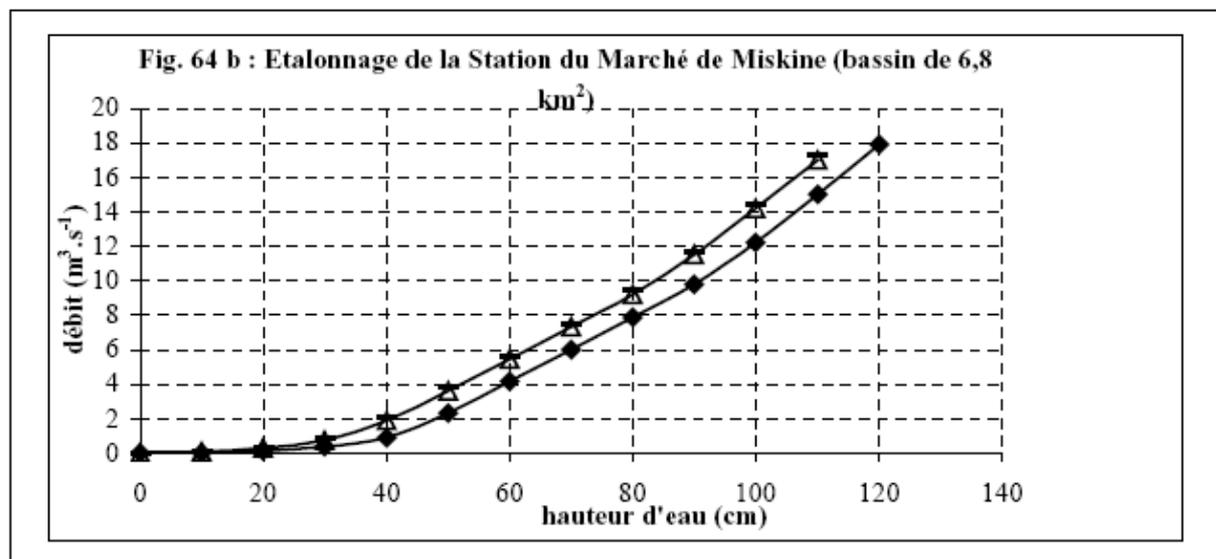
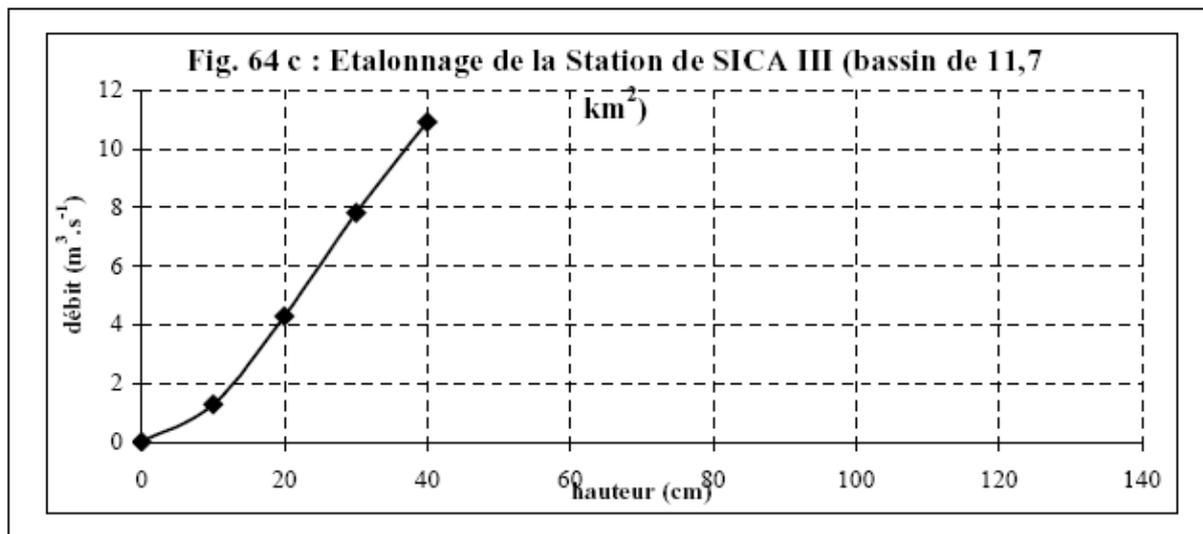


Figure 64 c) Courbes d'étalonnage des stations hydrométriques de la Ngoubagara, Station de SICA III (bassin de $11,7 \text{ km}^2$)



4.2.2. L'enregistrement des événements pluvieux aux différentes stations

En raison de la forte variabilité temporelle, parfois spatiale, des pluies (intensités, hauteurs et durées), la forme de chaque crue est fournie par l'hydrogramme déduit du limnigramme enregistré à l'exutoire.

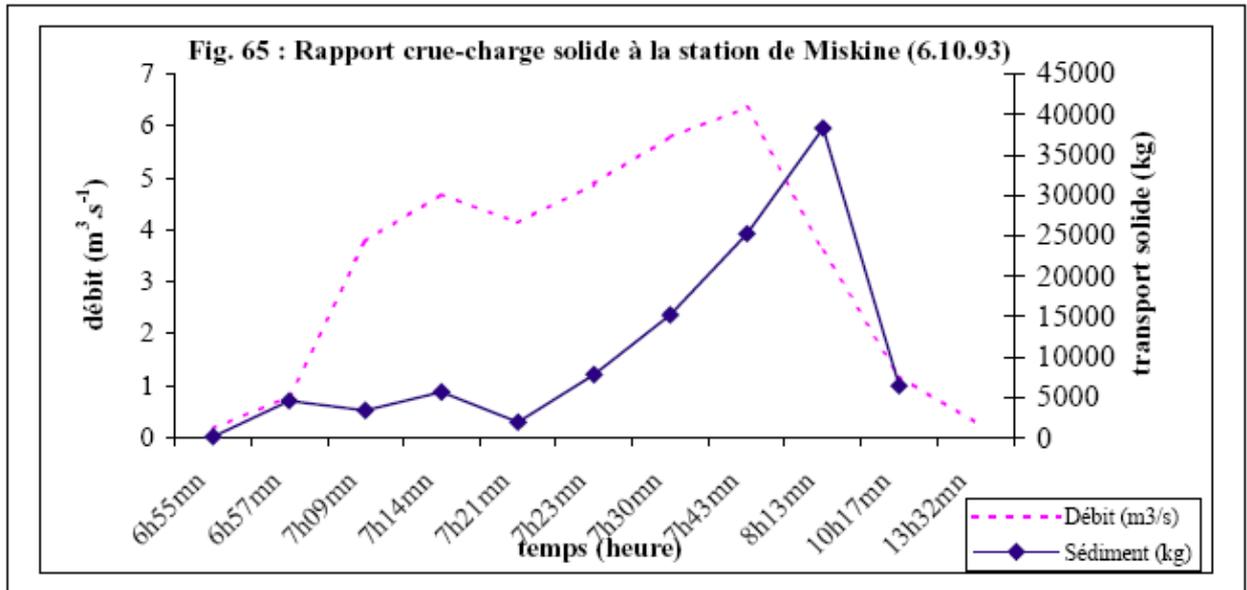
KOKAMY-YAMBERE a établi une corrélation d'ensemble « **Averse-Crue-Transport solide** » pour apprécier l'importance des matières solides directement arrachées aux collines, en prenant en compte les événements les plus importants sur la période d'étude. Nous analysons dans ce paragraphe les principaux résultats en considérant seulement la crue et le transport solide. La notion de *crue* est liée à celle du temps *de concentration des eaux pluviales* sur un bassin (ROCHE, 1963). Pour étayer les argumentations, des exemples axés sur deux stations sont d'abord pris, et des cas mesurés isolément, ensuite.

4.2.2.1. Les crues d'amont en aval, ou d'une station à l'autre

Les crues présentées sont celles du 6.12.93 et du 12.10.93 (station de l'Amitié et station de Miskine), puis celle du 14.10.94 (stations de Miskine et de SICA III)(Figures 65, 66 et 67). Le moment de la mesure est différé d'une station à l'autre, avec un décalage de 20 à 30 minutes entre la mesure dans une station amont et la mesure à l'aval, pour une même averse. Ceci met en relief des temps de montée de crue différés.

La **crue du 6.10.93** résulte d'une pluie d'importance moyenne, car le volume d'eau précipité est estimé à 38 376 m³ sur le bassin-versant amont, et le ruissellement atteint un volume de 28 203,30 m³ à la station du pont de l'Amitié, puis 47 662,32 m³ à la station de Miskine. L'augmentation du débit à la station de Miskine provient non seulement des apports urbains (eaux des cours d'habitation), mais aussi de l'augmentation de l'aire du bassin (de 3,9 à 6,8 km²) qui met en communication les réseaux hydrauliques anthropiques, par rapport au haut bassin moins étendu et partiellement couvert. Toutefois, ces eaux ruisselées sont moins troubles à la station intermédiaire : 2,60 g.l⁻¹ à la station de l'Amitié et 2,28 g.l⁻¹ à celle de Miskine. Nous l'expliquons par la faiblesse de la pente dans la plaine argileuse. Très fréquemment, les particules fines déjà mobilisées (§ IV.2, p. 146) se déposent progressivement le long des linéaires d'écoulement avant d'atteindre les principaux talwegs ou exutoires. Les débits sont très faibles, variant de 1,63 à 3,7 m³.s⁻¹ à la station de l'Amitié ; ils sont proches du double à la station de Miskine (6,36 m³.s⁻¹) et compris entre 0,18 et 6,36 m³.s⁻¹ (Figure 65). L'augmentation du débit suit celle de la charge solide. Parallèlement la charge solide a une évolution dissemblable : dans le premier cas le pic (14 191,8 kg) apparaît en début de crue, alors que dans le second (24 597 kg), il n'intervient qu'en fin de crue et en différé.

Figure 65 Rapport crue - charge solide à la station de Miskine au 6.10.93



Quant à la **crue du 12.10.93** (Figure 66 a et b), les débits liquides et solides indiqueraient une pluie d'importance moyenne. Le volume d'eau qu'elle a produit à la station de l'Amitié est de 24 017,37 m³ ; il double à la station de Miskine avec 57 919,47 m³ ; l'érosion est faible à la station de Miskine (1,64 g.l-1) et élevée à la station de l'Amitié : 2,77 g.l-1.

Nos observations du rapport crue-charge solide montrent que les pics de transport solide n'apparaissent qu'en début de crue ; ils se produisent moins d'une demi-heure après les premières gouttes de pluie. L'apparition des courbes de crue est presque simultanée dans les deux stations et nous indiquerait des averses très intenses au début de l'événement : à la station de l'Amitié (Figure 66 a), la crue présente deux pics (3,96 et 3,45 m³.s-1) sensiblement de même importance qui sont entrecoupés d'un creux (2,9 m³.s-1), alors qu'à Miskine (Figure 66 b) du pic à 9,78 m³.s-1. Ainsi, le débit a doublé de l'Amitié à Miskine, ce qui est normal.

Figure 66a) Rapport crue - charge solide à la station de l'Amitié au 12.10.93

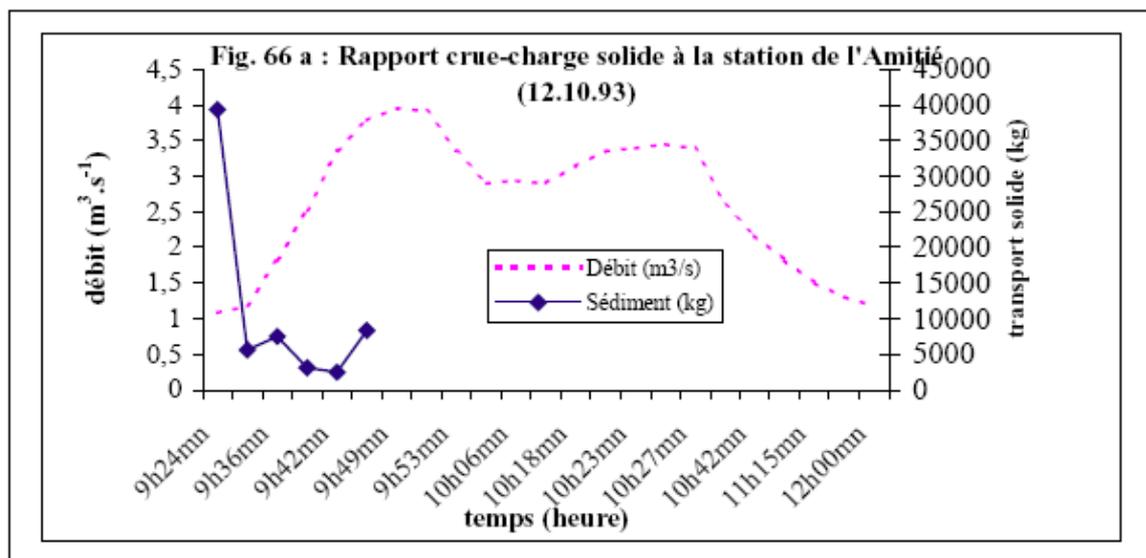
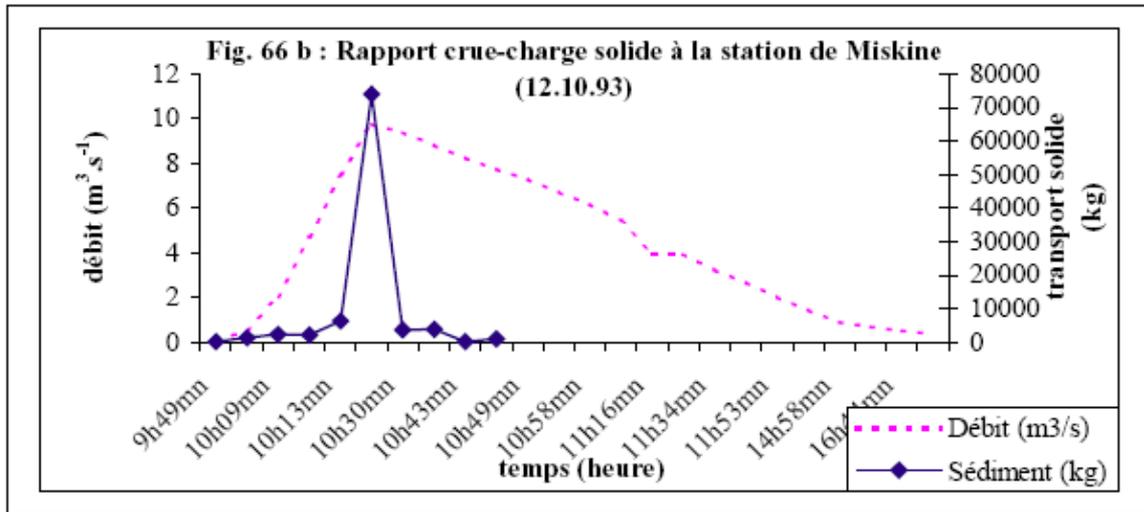


Figure 66b) Rapport crue - charge solide à la station de Miskine au 12.10.93



L'événement pluvieux du 14.10.94 (Figures 67 a et b) a donné une lame précipitée de 53 mm et a provoqué une crue pour laquelle seules les stations de Miskine et SICA III ont été observées, notamment à la descente des crues (KOKAMY-YAMBERE, 1994). Cette pluie intervient après celle du 12.10.94. Ainsi, le *temps de réponse* (début de crue) en amont à la station de l'Amitié est de 4 mn, le *temps de parcours* jusqu'à la station de Miskine est de 31 mn, et de Miskine à SICA III, la propagation de la crue a duré 24 mn. Dans ce temps de réponse-parcours, l'alimentation locale participe au gonflement du niveau des eaux.

La somme des trois mesures est estimée à environ 700 448 m³ d'eau répartis ainsi : 199 916 m³ pour le sous-bassin de l'Amitié, 259 700 m³ ajoutés à Miskine, et enfin 240 832 m³ à SICA III. Le taux de ruissellement serait de 52 % à la station de SICA III, donnant environ 363 625,80 m³. Les MES exportées présentent une concentration de 3,64 g.l⁻¹ à la station de Miskine et 3,70 g.l⁻¹ à la station de SICA III, montrant une certaine stabilité.

Figure 67a) Rapport crue - charge solide à la station de Miskine au 14.10.94

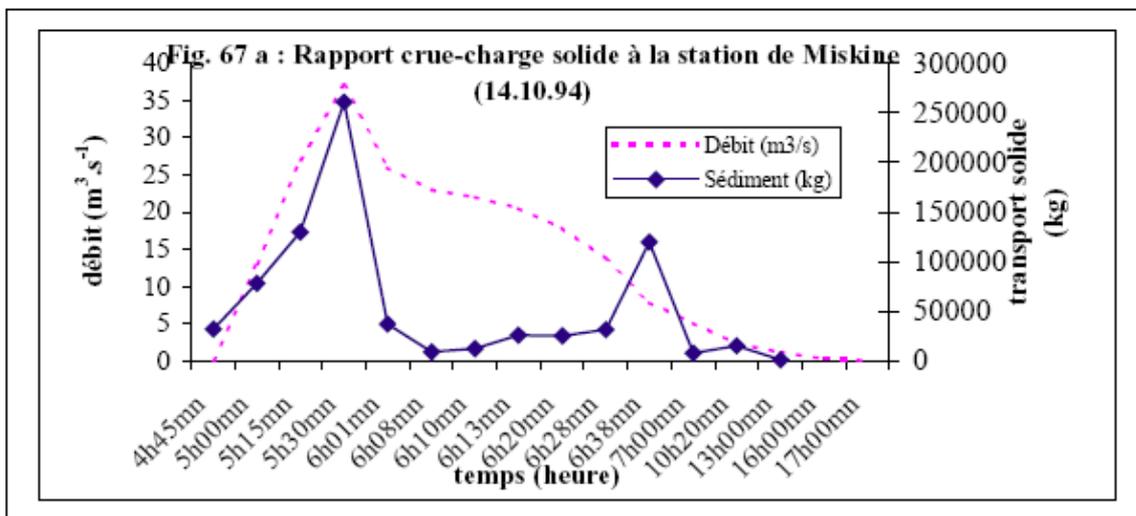
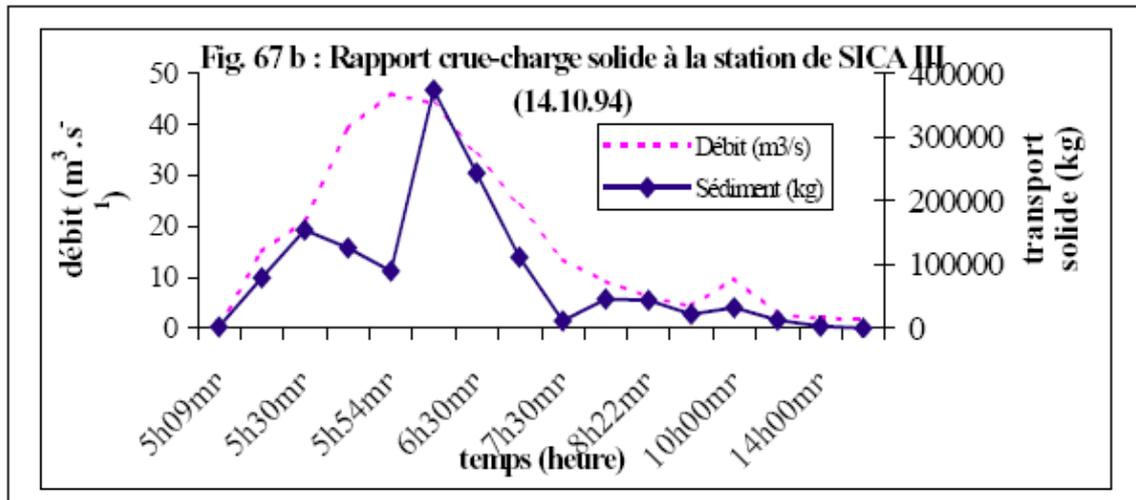


Figure 67 b) Rapport crue - charge solide à la station de SICA III au 14.10.94



Entre la station de Miskine et celle de SICA III, existent très peu de fossés latéraux de drainage qui feraient communiquer les eaux des surfaces urbaines et celles venant de l'amont ; les premières constituent souvent des flaques dans les quartiers de plaine (Miskine, Malimaka, Basse-kotto, Ouatala, Mustapha...),. A partir de Miskine, l'eau est de moins en moins turbulente, ce qui favoriserait un dépôt des fines par le piégeage de la végétation du chenal.

Cependant, nous notons que le Cr est plus élevé à la station de SICA III (52 % environ). Cette augmentation du volume d'eau est imputable aux eaux des cours d'habitation et aussi des surfaces imperméabilisées ou peu perméables que sont les routes. Quant à la charge solide, le volume transporté s'explique par une reprise par l'érosion pluviale des dépôts de curage stockés le long du collecteur par les Services de la Voirie.

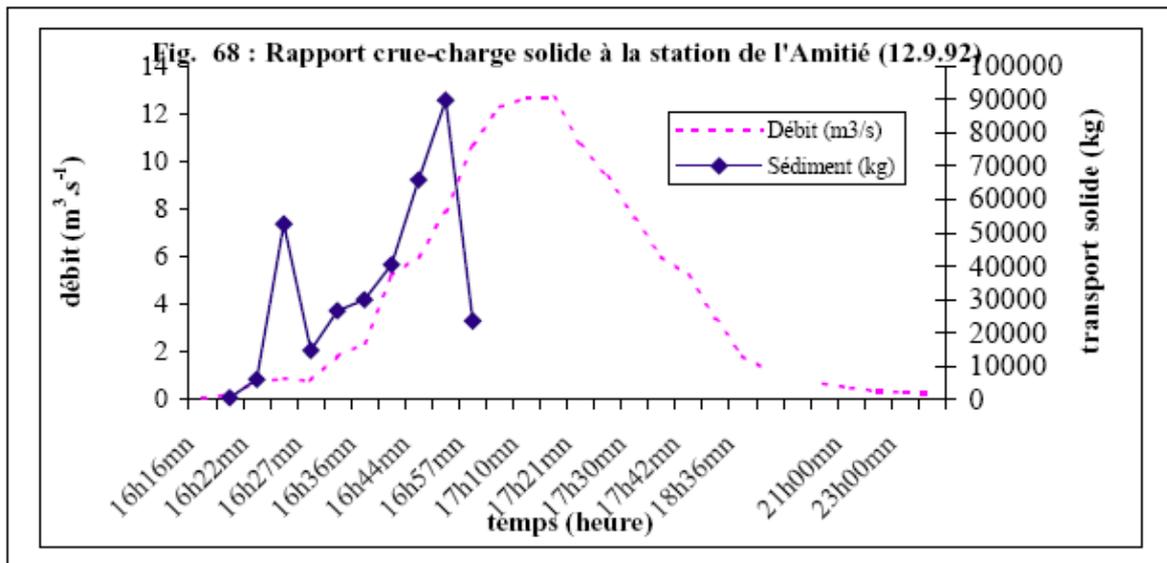
Dans les deux cas, l'érosion présente deux pics, un grand ou un petit selon les cas : les grands pics n'ont pas des valeurs inférieures à 250 tonnes, et les petits, font au moins 100 tonnes. Les pics de crue sont *unimodaux* et correspondent grossièrement aux principaux pics de transport solide. L'apparition des pics de crue en début d'événement nous fait penser à des averses très intenses dans les premières minutes : avec respectivement 37 m³.s⁻¹ à Miskine et 46 m³.s⁻¹ à SICA III, ces débits, sans doute les plus forts de la série étudiée, sont enregistrés à un quart d'heure d'écart dans le temps. Ceci nous montre le caractère brutal des crues urbaines, notamment sur ce petit bassin-versant.

4.2.2.2. Les événements pluvieux pris isolément

L'autre catégorie d'événement pluvieux étudiée est constituée par les averses qui ont engendré des crues isolées qui n'ont été observées qu'à une station donnée, ce qui empêche de les suivre d'amont en aval. Il s'agit des événements pluvieux du 12.09.92 et du 4.11.92.

L'événement pluvieux du **12.09.92** succède à celui du 11.09. Le volume total d'eau qui en résulte est de 135 720 m³ au niveau du bassin-versant à la station de l'Amitié, dont 42,5 % ont ruisselé, soit 57 758 m³. Les MES exportées ont un taux de concentration de 6,06 g.l⁻¹. Dans ce bassin amont, nous remarquons que l'hétérogénéité des matériaux soumis à l'érosion (sols gravillonnaires ou latéritiques dominants), et la pente expliquent le fort taux de concentration des eaux ruisselées en MES, car l'érosion porte préalablement sur les fines et ne s'étend aux sables, graviers ou gravillons que lorsque la concentration de l'écoulement le permet. Le rapport crue-charge solide (Figure 68) nous révèle un décalage entre les pics de transport solide (respectivement 52,74 t et 89,775 t) et celui de la crue (12,7 m³.s⁻¹).

Figure 68 Rapport crue - charge solide à la station de l'Amitié (12.9.92)

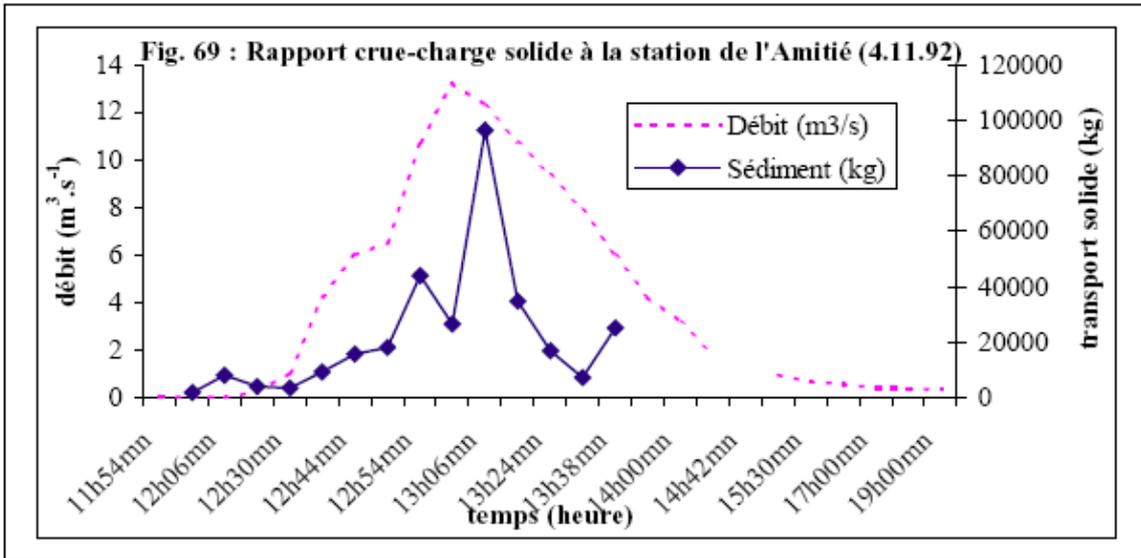


La curiosité est que l'érosion a été forte pour de faibles débits, variant entre 0,9 et 7,8 m³.s⁻¹, alors que le début du pic de crue (10,7 m³.s⁻¹) correspond à un transport solide de 23,647 t : cette dynamique peut s'expliquer d'abord par l'état de saturation du sol dû à la pluie du 11.09, et ensuite par une averse d'intensité forte qui a entraîné une forte érosion en une demi-heure. La crue a correspondu à la baisse du transport solide (les données du pic de la crue manquent).

Quant à l'épisode du **4.11.92**, il est caractérisé par une averse qui a transporté à l'exutoire de l'Amitié 311 tonnes de MES ; le volume de l'averse est estimée à 221 227 m³ sur le bassin. Les pertes dues au ruissellement sont de 55 485 m³, soit un Cr de 25 %. Il paraît plus faible que le taux obtenu pour l'averse du 12.09.92, qui est proche du double (42,5 %). Le comportement de cette crue vis-à-vis de la charge solide (Figure 69) est différent du premier exemple où les pics de crue et d'érosion sont différés. Nous observons que les pics (d'érosion à 963,333 tonnes et de crue à 13,2 m³.s⁻¹) ont une même allure globale bien que celui de la crue apparaisse en premier par rapport à celui de l'érosion. Toujours lorsque le débit est proche de 0 m³.s⁻¹, le transport solide atteint 1795 kg; la crue a évolué par la suite en dents-de-scie, alors que les débits augmentent régulièrement jusqu'à 13,2 m³.s⁻¹, avec une certaine homogénéité, pour baisser de la même façon. Par ailleurs, cette crue qui a duré 1h06 mn a entraîné un stockage de 12 038 m³ d'eau dont le tarissement s'est fait presque sur le même pas de temps que pour le stockage (1h04 mn).

Dans les deux catégories d'événement pluvieux étudiées, nous remarquons que les crues sont généralement de très courte durée (pas de temps horaire), pour des débits atteignant rarement 10 m³.s⁻¹ (3 seulement ont entre 10 m³.s⁻¹ et plus). Ces données traduisent bien les impacts de l'imperméabilisation du sol urbain sur l'infiltration, lesquels se manifestent à travers la réaction spontanée du système fluvial aux précipitations. De ce fait, quelles conséquences hydrologiques pouvons-nous tirer de ces crues ?

Figure 69 Relation crue - charge solide à la station de l'Amitié (4.11.92)



4.2.3. Les manifestations hydrologiques

Le caractère spontané de la réponse du bassin de la Ngoubagara aux épisodes pluvieux pose un problème réel concernant l'hydrologie (urbaine) du cours d'eau qui a changé dans le temps et dans l'espace, avec l'installation de la ville. A travers les quelques courbes de crue analysées (Figures 65, 66, 67, 68 et 69), le cycle hydrologique de la Ngoubagara serait plus proche de celui des *torrents* en régions de montagne et des *oueds* en zone semi-aride, bien que cette rivière se trouve dans un milieu qui est bien arrosé. Les débits importants ou moyens ne sont enregistrés que lorsqu'il pleut, en revanche, le cours d'eau est presque à sec s'il ne pleut pas (même en saison pluvieuse), et l'écoulement de base ne se produirait que par l'apport de la nappe phréatique superficielle, avec un écoulement très faible. Il nous faudrait donc des mesures de débit sur le plus long terme pour une bonne caractérisation hydrologique de la Ngoubagara. Néanmoins, nous pouvons, à la lumière de ces courbes de crues urbaines, avoir une idée de l'importance du ruissellement pluvial à Bangui, qui se situe au cœur de la question de l'assainissement.

4.2.3.1. Les types de crues (pointe et volume)

C'est le type de temps qui permet de détecter les types de crues selon les périodes de l'année de façon à les classer en fonction des causes qui les engendrent (GUIGO, 1979).

Cette dynamique particulière semble caractéristique pour les crues dont les débits maximaux n'atteignent pas $10 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, alors que si les débits dépassent ce seuil, les hydrogrammes de crue ont une forme tendant à être homogène. Cette situation nous amène à distinguer deux types de crues selon les événements pluvieux analysés : le *premier* donne un hydrogramme à un seul pic et homogène (Figures 66 b, 67 a et b, 68 et 69), et le *second* met en relief deux pics et des intensités inégales (Figures 65 et 66 a).

Le premier cas suppose des pluies et une réponse du bassin versant homogènes. L'eau qui tombe ruisselle instantanément ; en principe, un tel mécanisme ne se produit en « milieu naturel » que si le sol est saturé en eau de sorte que la réponse du bassin est immédiate.

Dans le second cas, les pics de crue peuvent être dus à l'hétérogénéité de la répartition des pluies sur le bassin ou à des variations d'intensité de la pluie. Ceci expliquerait des écoulements différés ou faibles en fonction des lames précipitées, ou ferait peut-être varier les débits sur le pas de temps horaire auquel les hydrogrammes sont établis.

4.2.3.2. Le temps de ruissellement et la relation précipitations-écoulement

Le temps de ruissellement est détecté par les diagrammes de débits horaires présentés à l'échelle logarithmique. Lorsque la courbe horaire prend l'allure d'une droite, cela indique la cessation du ruissellement à l'état concentré, et les différents points d'inflexion pour chacune des crues marquent des temps de montée, de stabilité et de baisse de débits (GUIGO, 1979).

Les données de débits horaires sont indispensables à l'établissement du temps de réponse des cours d'eau lors des averses. Elles servent aussi à expliquer la violence des crues qui occasionnent les transports solides. De même le ruissellement rend compte de l'érosion linéaire qui fournit des matériaux aux cours d'eau. La brutalité de la montée des eaux est donc la conséquence d'un ruissellement rapide et la possibilité d'un transport solide (suspendu ou de fond) est importante.

La relation précipitations-écoulement permet de connaître le mécanisme de transfert de l'eau, de la pluie au débit, dans le but de déterminer les types de transfert suivant l'intensité des phénomènes à l'échelle saisonnière ou annuelle. Une telle étude nous permet de voir à partir de quelle précipitation, les débits se produisent car c'est essentiellement le *ruissellement pluvial* qui alimente la Ngoubagara. Ce ruissellement issu de la pluie pose un problème d'évacuation du fait de l'insuffisance des infrastructures. A travers les hydrogrammes, nous notons l'influence de la totalité des précipitations sur l'écoulement. La lecture du temps de concentration des eaux y est possible et est à corrélérer avec la facilité de formation du ruissellement. En général, le temps de réponse à la pluie est plus long pour les averses de faible intensité et durant la période où le sol est sec, pourvu que les pluies ne soient pas trop violentes.

Conclusion : l'impact d'urbanisation sur l'écoulement ?

La discussion des résultats de mesure du ruissellement et de l'érosion à Bangui permet de retenir que ces processus sont dans l'ensemble importants à l'échelle urbaine (ou périurbaine). Les taux obtenus aussi bien sur parcelles qu'à l'exutoire sont sensiblement de même ordre (Tableau XIX), mais les résultats sur parcelles sont difficilement extrapolables à l'échelle du bassin-versant pour rendre compte des pertes réelles en eau et en sol. Car l'érosion hydrique croît avec la dimension de la parcelle, et plus particulièrement avec la longueur de la pente, ce qui fait que *les mesures sur parcelles ne montrent qu'une image partielle des processus* (BERNARD, 1992). Néanmoins, les phénomènes étudiés montrent bien l'impact de l'homme à travers les processus d'urbanisation et les modes d'occupation du sol (collines, versants, piémonts, plateaux, interfluves...). Ceci rend plus actifs les phénomènes dans un espace soumis à l'emprise humaine, dont les indices patents sont la nudité et la compaction du sol urbain.

Les sédiments qui se déposent, se redéposent ou qui sont piégés par la végétation du lit sont dans la plupart des cas extraits par les riverains citadins pour des travaux d'aménagement ou de construction. Ils peuvent aussi être repris par l'érosion dans leur cheminement vers l'aval i.e. par *processus-relais*, lorsque les débits à pleins bords se produisent ou qu'ils sont exceptionnels.

Chapitre V – LES ORGANISMES FLUVIAUX (URBAINS) DE BANGUI

« Les grandes agglomérations sont généralement solidaires de cours d'eau importants ». **J. Labasse**, 1989 : **Réflexions sur le couple Ville-Fleuve**. Coll. La Ville et le Fleuve, CTHS, 3, 9-22.

Les cours d'eau sont des organismes très sensibles aux perturbations des écoulements et des flux sédimentaires enregistrées dans les bassins-versants. Cette dynamique est d'autant plus accentuée que les bassins-versants sont urbanisés. En effet, les rivières du site de Bangui ont changé de comportement et de morphologie en raison des façonnements de toutes sortes qu'elles ont subis durant l'évolution de la ville. Ceci

est perceptible dans l'évolution de la physionomie du réseau hydrographique (Figures 3 : p. 9, 6 : p. 27, et 36 : p. 97).

La question que posent ces lits fluviaux urbains se résume à leur capacité à évacuer le gros du volume des eaux de ruissellement qui engendrent momentanément des crues débordantes, des inondations à l'échelle de la ville. Ce nouveau comportement des cours d'eau est né avec la ville et s'auto-entretient avec la croissance spatiale, car avant, les rivières étaient en symbiose avec leur milieu. L'implantation humaine révèle donc le caractère lâche du système de drainage dans la plaine marécageuse du site, avec une déficience du réseau d'écoulement par rapport aux eaux pluviales que l'impluvium urbain produit selon la hauteur et l'intensité des pluies. Nous présentons dans ce chapitre les systèmes fluviaux et analysons donc la morphodynamique actuelle des hydrosystèmes urbains, en insistant particulièrement sur la pente et la morphologie des chenaux qui déterminent l'écoulement superficiel durant les crues et les étiages.

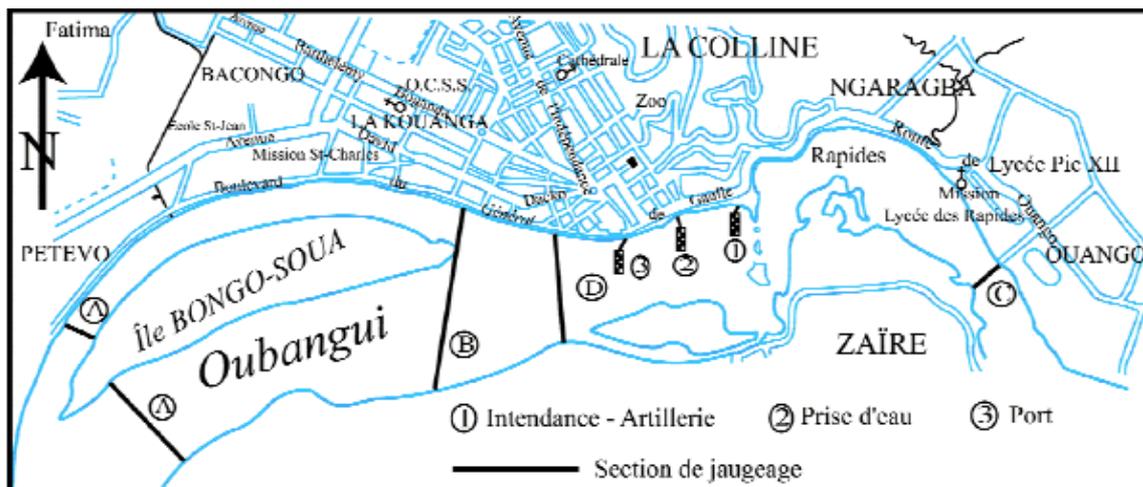
1. LES TRAITS PRINCIPAUX DES SYSTEMES FLUVIAUX DE BANGUI

1.1. L'Oubangui à Bangui

L'Oubangui est le premier affluent de rive droite du Congo, formé par la jonction de deux grandes rivières : l'Uele, entièrement en ex-territoire zaïrois (RDC) et le Mbomou, qui prend sa source sur l'interfluve Congo-Nil. L'Oubangui apporte au Congo $5\,800\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (YAYER, 1951) ; son module à Bangui a été de $4\,443\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1971, $4\,355\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en 1974, et nous l'avons révisé à la baisse sur la période 1935-1999 avec $3\,783\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

La station hydrométrique de Bangui contrôle un bassin-versant de $488\,500\text{ km}^2$ (CALLEDE *et al.*, 1992), et se situe à 600 km de la confluence avec le Congo et à $1\,900\text{ km}$ de la source de l'Uele (ex-Zaïre). C'est une station de référence internationale pour l'hydrologie africaine ($4^{\circ}22'N-18^{\circ}35'E$), qui possède la plus longue série d'observations hydrologiques d'Afrique centrale (WESSELINK *et al.*, 1994). L'échelle limnimétrique se trouve au niveau de l'hôtel Sofitel (promontoire rocheux), en aval immédiat des Rapides de Bangui. La référence altimétrique actuelle est le repère de Nivellement Général installé sur le soubassement du bâtiment du Commissariat Spécial de Police du Port de Bangui, à $1\,080\text{ m}$ en aval de l'échelle du Sofitel (Figure 70). Sa cote d'altitude actuelle, ou **zéro** de l'échelle, est de **336,12 m** (IGN, 1957).

Figure 70 Emplacement des stations hydrométriques de l'Oubangui à Bangui



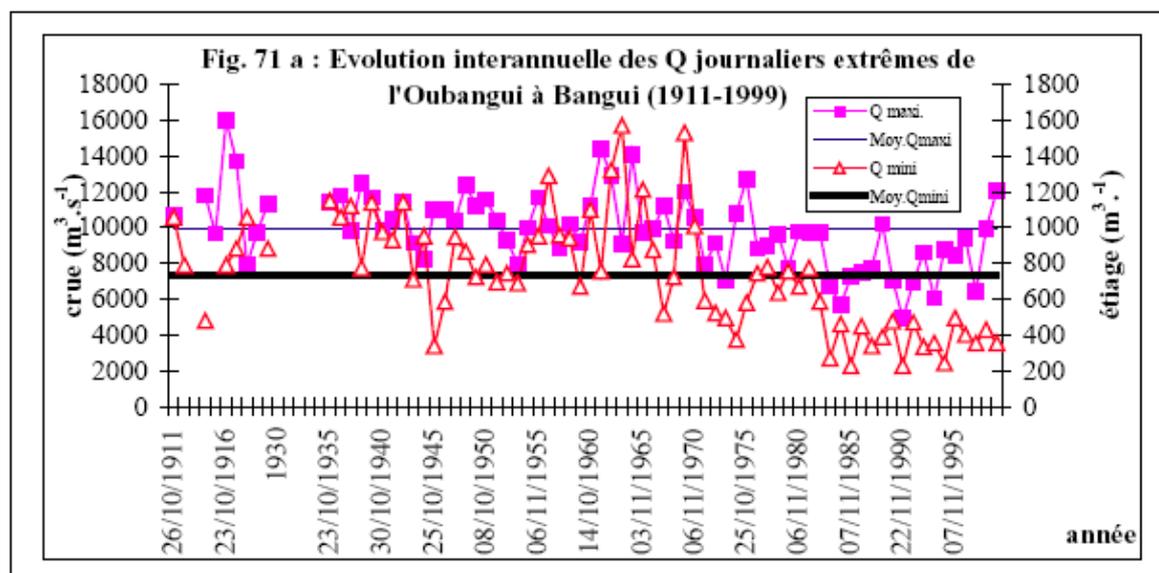
1.1.1. Les hauteurs d'eau et les débits

D'après CALLEDE et al. (1992), la station hydrométrique de Bangui est stable pour les moyennes et hautes eaux depuis les origines des observations. Cependant, les barèmes ont changé pour les basses eaux, notamment sous la cote 280 cm. Ainsi, pour les étiages, la courbe de tarage a baissé de l'origine à 1971 : ceci met en évidence l'instabilité du lit, car à la même cote s'écoule moins d'eau, et de faibles apports pour le débit de base. Ceci, nous l'expliquerions plus par une baisse du volume des ressources en eau que par une tendance au comblement du lit telle que suggérée par ORANGE et al. (1995) dans la période d'avant 1971. En revanche, le lit s'est creusé depuis 1971 selon ces auteurs, traduisant une autre dynamique de la charge de fond de l'Oubangui qui pourrait se comprendre par une augmentation de la compétence du fleuve (bien que le débit n'ait pas réellement augmenté), et aussi un changement de barème prenant en compte la cote 50 cm, au lieu de la cote 280 cm.

Selon les jaugeages réalisés (CALLEDE et al., 1992 ; WESSELINK et al., 1994), des classes de hauteur d'eau et de débit sont définies pour les principales périodes hydrologiques du fleuve à l'échelle annuelle : ce sont les hautes, moyennes et basses eaux. Les *hautes eaux* sont comprises entre les cotes à l'échelle 630 et 900 cm, ce qui correspond à des débits respectifs de 9 800 m³.s⁻¹ et 16 300 m³.s⁻¹ ; ce dernier n'étant jamais atteint à Bangui. Quant aux *eaux moyennes*, elles s'observent entre les cotes 300 et 630 cm pour lesquelles les débits équivalent à 4 000 et 9 800 m³.s⁻¹. Enfin, en *basses eaux* les cotes varient de 300 cm à -100 cm, correspondant à des débits respectifs de 4 000 et 200 m³.s⁻¹.

L'évolution interannuelle des débits extrêmes, que nous avons établie (Figure 71 a), montre une baisse régulière depuis la fin des années 60 jusqu'au début des années 90 ; depuis lors les débits tendent à augmenter, sauf pour les étiages où de très faibles débits s'enregistrent encore. Ce cycle hydrologique se traduit par l'inaptitude de la bathymétrie du fleuve à assurer le trafic fluvial à l'étiage.

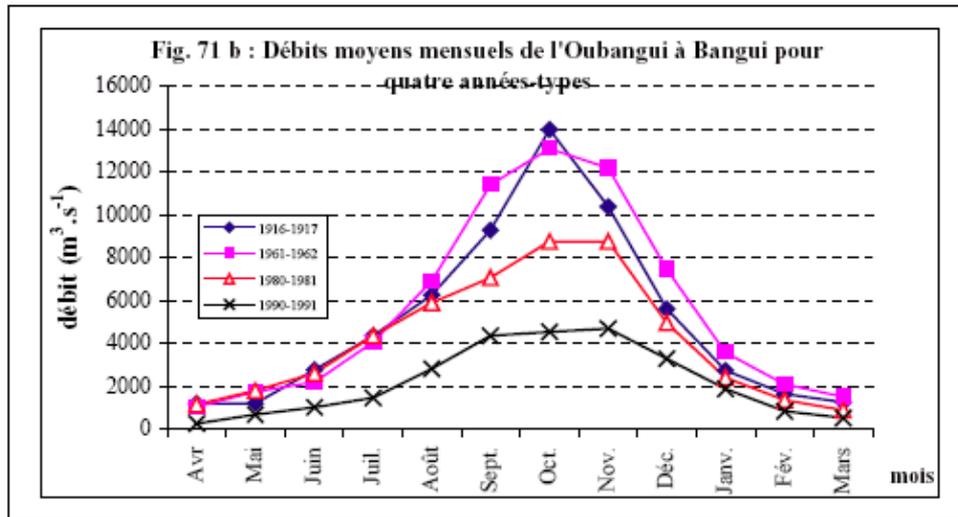
Figure 71a) Evolution interannuelle des Q journaliers extrêmes de l'Oubangui à Bangui (1911-1999)



Le régime de l'Oubangui présente un maximum en septembre, octobre ou novembre (Figure 71 b), et peut être assimilé au régime tropical boréal. Les crues annuelles se produisent fréquemment en octobre d'abord et en novembre ensuite, comme la fréquence mensuelle des crues nous le montre : 36 % en octobre, 29 % en novembre, et 8 % en septembre. Les étiages sont caractéristiques des mois de mars (34 %) et avril (33 %) ; la fréquence des minima est faible en février (2 %) et mai (3 %). Le choix de quatre années hydrologiques types nous permet d'observer l'importante variabilité des débits moyens mensuels de crue sur la période 1911-1999.

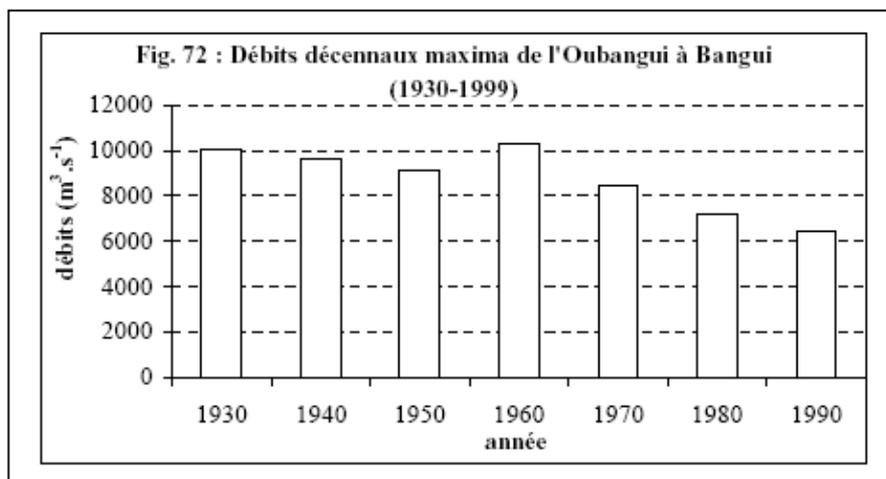
Depuis 1970, les modules de l'Oubangui ne cessent de baisser, révélant la sécheresse qui caractérise l'évolution hydroclimatique de ces dernières décennies (WESSELINK *et al.*, 1995 ; SERVAT *et al.*, 1998). La baisse est de 60 % pour les débits d'été et de 39 % pour les modules annuels (ORANGE *et al.*, 1995). Ces déficits pluviométriques ont touché l'ensemble du bassin-versant de l'Oubangui (SIRCOULON, 1976) bien que la pluie (P) n'ait pas changé à Bangui ; ceci s'explique par le fait que l'Oubangui est tributaire de la pluviométrie sur l'ensemble de son bassin. Si les lames précipitées sont relativement faibles sur l'ensemble du bassin, l'hydrologie à Bangui s'en ressent car elle dépend des apports du système.

Figure 71b) Q moyens mensuels de l'Oubangui à Bangui pour quatre années-types



Notre examen des données antérieures révèle un épisode déficitaire entre 1910 et 1922 et un autre, excédentaire, entre 1922 et 1936 ; ces indications soulignent l'existence d'une alternance de périodes sèches et humides, mais la diminution de la pluviométrie depuis 1970 a eu une incidence sur les modules du fleuve à Bangui (Figure 72). Ainsi, l'évolution des débits décennaux de l'Oubangui que nous avons établie montre deux séries de baisse de 1930 à 1960 et de 1970 à aujourd'hui, qui sont elles-mêmes entrecoupées d'une rupture durant la décennie 1960 car la ville de Bangui a connu quatre inondations dans cette période, responsable de forts débits annuels.

Figure 72 Débits décennaux de l'Oubangui à Bangui (1930-1990)

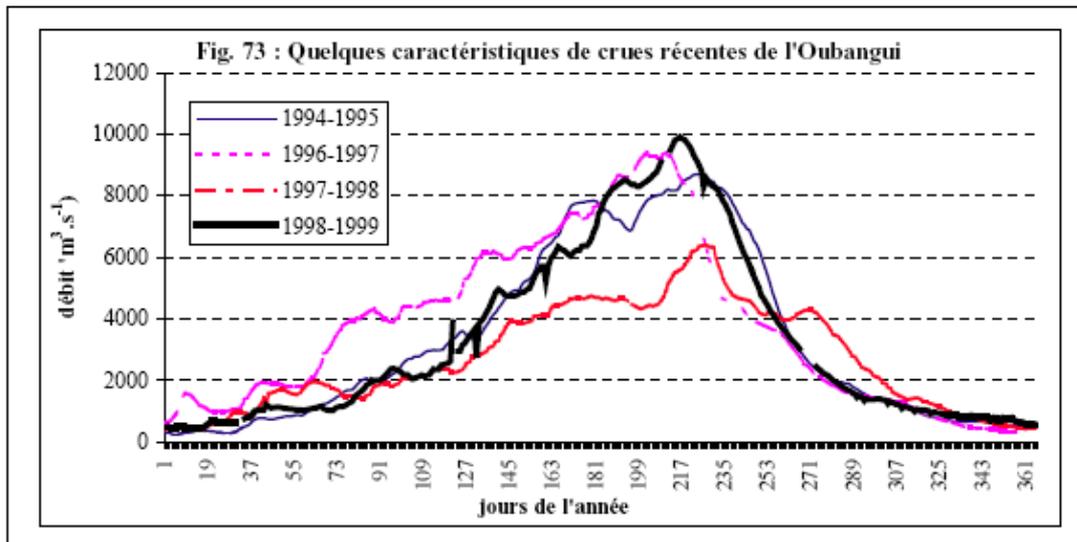


1.1.2. L'analyse des pics de crue et la détection des phases de débordement fluvial

Nous avons réalisé un historique des débits maximums de crues de l'Oubangui à Bangui (NGUIMALET, 2003 a) dans le but d'estimer les débits qui ont provoqué des inondations dans le passé (Figure 71 a). Nous avons utilisé les débits moyens journaliers maximums des débordements du fleuve réellement mesurés. Sur la période 1935-1999 par exemple, les crues semblent avoir été globalement beaucoup plus fortes entre 1935 et 1970, car les débits moyens maxima journaliers dans l'ensemble ont fréquemment dépassé la barre des 10 000 m³.s⁻¹ (en 1935, 1936, 1938, 1939, 1941, 1942, 1945, 1946, 1948, 1949, 1950, 1955, 1960, 1961, 1962, 1964, 1967 et 1969), ce qui pourrait révéler une régularité des débordements avec risque d'inondation fluviale. RODIER (1964) ayant estimé le débit médian annuel de crue de l'Oubangui à Bangui à 10 250 m³.s⁻¹, nous avons choisi comme débit seuil 10 000 m³.s⁻¹. Depuis 1970 les crues se sont situées en deçà de ce seuil fixé, à l'exception des années 1970, 1974, 1975 et 1999. La moyenne interannuelle des débits de crue de l'Oubangui à Bangui depuis l'origine des mesures jusqu'à nos jours est de 9 900 m³.s⁻¹ ; après la crue de référence de 1916 qui a atteint un maximum de 16 000 m³.s⁻¹, vient celle de 1961 avec 14 400 m³.s⁻¹, puis celle de 1964 avec 14 100 m³.s⁻¹, celle de 1917 avec 13 710 m³.s⁻¹ et celle de 1999, avec 12 088 m³.s⁻¹.

Ayant connu la crue de 1999 et connaissant de source orale celle de 1969 (12 000 m³.s⁻¹), nous pouvons estimer que la crue de 1975 (12 700 m³.s⁻¹) aurait causé une inondation de l'Oubangui plus importante qu'en 1999, et qu'elle est donc la crue de référence des trois dernières décennies. Dans les années 1960, les débordements des eaux du fleuve auraient été enregistrés quatre (4) fois : en 1961, 1962, 1964, et 1969. L'Oubangui aurait débordé une seule fois dans les années 1940 : en 1948 (12 400 m³.s⁻¹), alors que les années 1950 n'auraient pas connu d'inondations si nous ne considérons que les débits des sinistres sont ≥ 12000 m³.s⁻¹. Or de par ce que nous avons remarqué lors de la crue de 1999, nous pourrions proposer que pour un débit $\geq 11 500$ m³.s⁻¹, l'Oubangui puisse produire une inondation à Bangui. Ainsi, au vu de la dispersion des valeurs de débits qui ont provoqué les inondations sur l'Oubangui, nous pouvons supposer déduire qu'à plus de 10 500 m³.s⁻¹, nous aurions le débit à *pleins bords* (Q_{pb}). Les crues et les inondations ne semblent pas brutales sur ce fleuve ; elles sont progressives, s'étalent dans le temps et les pics peuvent durer de la semaine aux mois (Figure 73). Nous les avons ici présentées selon l'année hydrologique, qui va d'avril en mars. La figure 73 présente en effet les types de débordement de crue de l'Oubangui, mais il n'y a pas eu d'inondation dans cette période. Le plafonnement de crue de 12 088 m³.s⁻¹ en 1999 ne ressort pas ici. Ainsi, d'après notre analyse des durées de crue de ce cours d'eau, les plus faibles durées sont observées en 1911 (9 jours) et en 1920 (8 jours) alors que les plus fortes se remarquent en 1961 (70 jours), en 1962 (60 jours), en 1914 (60 jours), en 1946 (56 jours), en 1916 (55 jours), etc. Nous remarquons aussi que les fortes crues ne correspondent pas forcément aux fortes intensités, bien que certaines crues relativement importantes telles que celles de 1969 aient enregistré l'une des durées les plus élevées avec 65 jours.

Figure 73 Quelques caractéristiques de crues récentes de l'Oubangui à Bangui



1.1.3. Etude fréquentielle des Q journaliers maximums

Nous avons effectué une analyse statistique pour la détermination des périodes de récurrence i.e. des temps de retour des crues maximales journalières recueillies durant la période 1911-1999 (Tableau XXII). Les traitements sont effectués à l'aide du logiciel HYFRAN^{Note3L}. A titre indicatif, les tendances présentées par ces débits de crue (Fig. 71 a) nous amènent à fractionner les données en périodes spécifiques (1911-1969, 1935-1999, 1935-1969, 1970-1999 : Annexes IV). Ceci a été fait pour comprendre certaines manifestations détaillées de crues que l'étendue de la période 1911-1999 masquerait, car les périodes de retour de ces débits critiques sont importantes en termes de risque d'inondation fluviale et de dommages corrélatifs. Les lois d'ajustement et les méthodes de paramétrage que nous avons utilisées sont :

- la loi de Gumbel, méthode du maximum de vraisemblance ;
- la loi de Weibull, méthode du maximum de vraisemblance ;
- la loi Normale, maximum de vraisemblance.

Les quantiles sont calculés pour des temps de retour compris entre 2 et 10 000 ans (Tableau XXII ; Annexes IV).

Tableau XXII : Probabilités d'occurrence des Q moyens journaliers maximums annuels ($m^3.s^{-1}$) sur la période 1911-1999

Temps de retour	Loi GUMBEL	Loi WEIBULL	Loi NORMALE	Valeurs maximales observées
2 ans	9610	9990	9900	
5 ans	11900	11800	11700	16 000 $m^3.s^{-1}$ en 1916
10 ans	13400	12600	12600	
20 ans	14900	13300	13300	13 710 $m^3.s^{-1}$ en 1917
50 ans	16800	14000	14200	
100 ans	18200	14500	14800	14 400 $m^3.s^{-1}$ en 1961
500 ans	21400	15400	15900	
1000 ans	22900	15700	16400	14 100 $m^3.s^{-1}$ en 1964
10000 ans	27500	16600	17700	

Les résultats nous paraissent approximatifs pour des périodes de retour allant de 2 à 50 ans. Sur la période de référence 1911-1999, le débit maximum calculé pour une période de retour de 2 ans est par exemple de 9 830 $m^3.s^{-1}$ en moyenne, et le débit mesuré est de 9 890 $m^3.s^{-1}$. La période de retour de 5 ans est caractérisée par un débit maximum journalier moyen de 11 733 $m^3.s^{-1}$; ce débit peut donner des inondations à Bangui à la

lumière de nos expériences vécues du 6 novembre 1999. A cette date, nous avons effectué une excursion vers la confluence Mpoko-Oubangui lorsque la hauteur d'eau à l'échelle était de 710 cm, le débit étant de 11 440 m³.s⁻¹ ; nous avons gagné la confluence *via* le Port Pétrolier grâce à une pirogue. Or un débit de crue de 10 ans de période de retour, soit 12 800 m³.s⁻¹, est générateur de dégâts importants ; pour preuve en 1999, un débit moyen maximum journalier de 12 088 m³.s⁻¹ avait fait une dizaine de milliers de sinistrés. La crue cinquantennale moyenne calculée à 14 867 m³.s⁻¹ correspond à peu près au maximum observé à Bangui le 23 octobre 1916 : 16 000 m³.s⁻¹. Toutefois au-delà de 50 ans, les différences apparaissent entre les débits calculés et ce pour les différentes lois. Alors que les résultats obtenus par les lois de Weibull et Normale sont proches, ceux de la loi de Gumbel montrent des débits beaucoup plus importants. Les écarts vont croissant pour les périodes de retour entre 50 ans et 10 000 ans. Nous avons calculé manuellement l'adéquation de la série d'observation aux lois d'ajustement. Il se trouve que les données s'ajustent mieux à la loi de Gumbel (Annexes IV). Nous constatons sur le graphique que quatre points seulement sur les 73 sont en dehors de l'intervalle de confiance à 80 % ; cela suppose que 95 % des points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance, donc la loi peut être acceptée.

1.2. La Mpoko à Bossélé-Mbali ou à Bimbo

La Mpoko est équipée de deux stations hydrométriques principales dans la région de Bangui (Figure 74) : la station du pont de *Bossélé-Mbali*, à 27 km sur la route de Boali, et la station du pont à *Bimbo* ou *Nzongo*[Note32](#), sur la route de Mbaïki (4°22'N-18°29'E : bassin-versant de 23890 km² ; Tableau XXIII). La *seconde* est la station de Bossélé-Mbali[Note33](#), (bassin-versant de 10460 km²). La Mpoko revêt une grande importance pour les ressources en eau. La pluviométrie moyenne sur tout son bassin-versant est de 1600 mm en moyenne ; de plus, un barrage hydroélectrique a été construit en novembre 1990 sur un de ses principaux affluents, la Mbali, juste en amont de la ville de Boali (4°46'N-18°7'E). Ce lac artificiel stocke de l'eau disponible pour les usages. En amont de Bangui, le débit de la Mpoko est aussi renforcé par l'apport de la Pama en amont de la confluence avec l'Oubangui. CORNACCHIA et GIORGI (1985 b) ainsi que les Experts de la JICA ont projeté le pompage des eaux de la Mpoko pour une alimentation en eau de la population de l'Ouest de Bangui.

1.2.1. Le bassin-versant, le profil en long

La Mpoko prend sa source à 80 km au NNO de Bossembélé (Fig. 75 a), à la cote 690 (5°56'N-17°20'E) sur le revers de la Surface centrafricaine (BOULVERT, 1987). Elle coule d'abord vers le nord sur 15 km, en direction de l'Ouham (cuvette tchadienne), mais un brusque changement, d'origine structurale, l'entraîne vers l'ESE : sa pente est de 12,5 m.km⁻¹ sur les quatre premiers kilomètres et atteint 1,5 m.km⁻¹ au pk 27 (cote 606), puis 0,8 m.km⁻¹ en aval (pk 214). Elle reçoit le **Oualembou** (pk 72) au NE et oblique vers le sud, puis reprend la direction SE, dans le prolongement de son petit affluent, le **Boué**. Ensuite son cours s'encaisse et se trouve entrecoupé par une succession de rapides (entre les pk 216 et 239, et entre les cotes 440 et 360) : sa pente dans ce tronçon est de 2,7 m.km⁻¹. Après avoir franchi la route Bangui-Bossembélé, elle reçoit l'apport de la **Pama** (cote 341, pk 332), dessine entre temps de nombreux méandres avant de se jeter dans l'Oubangui à l'aval immédiat de Bangui, à Bimbo. Longue de 350 km, la Mpoko a une pente moyenne de 1 m.km⁻¹. Le profil en long de la **Mpoko** est dans l'ensemble de type torrentiel en amont sur les premiers km, puis devient régulier sur la Surface centrafricaine (Figure 75).

Figure 74 Bassin-versant de la Mpoko avec les principales stations hydrométriques

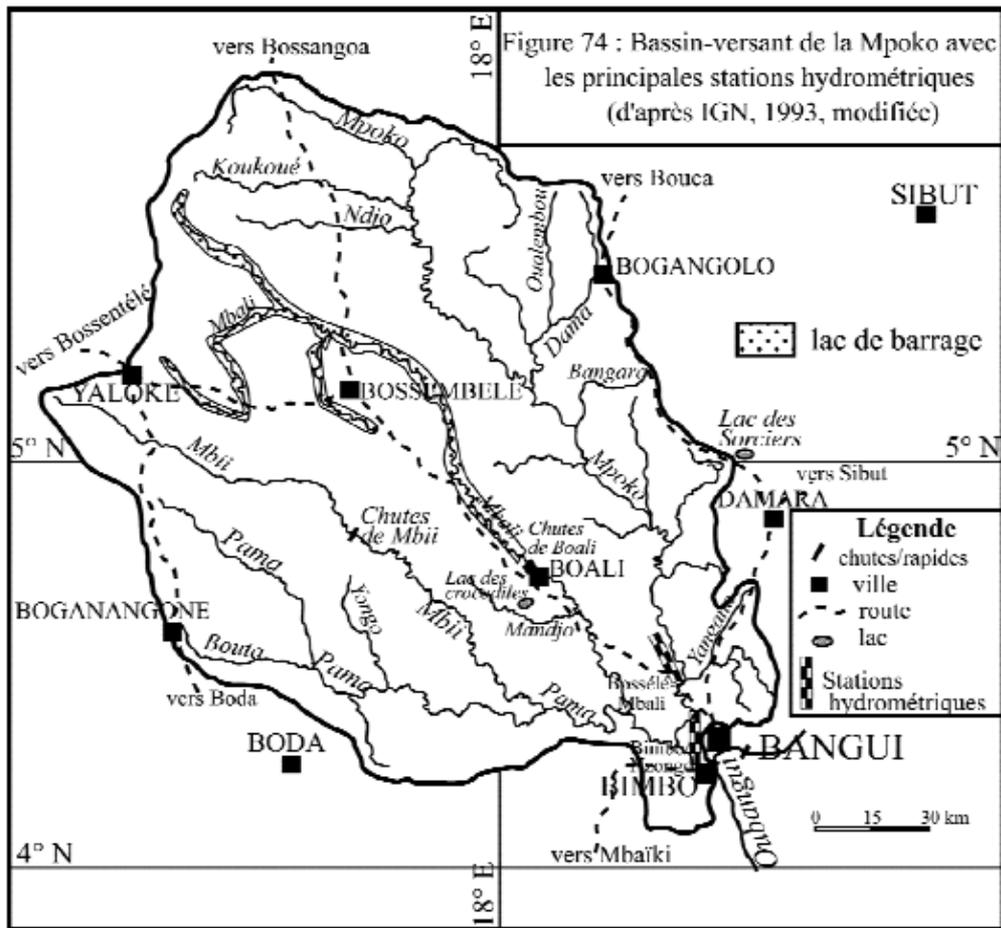


Figure 75a) Le profil en long de la Mpoko avec ses affluents (d'après BOULVERT, 1987, modifié) ;
 Figure 75b) Séquence du profil de la Mpoko depuis la route de Boali

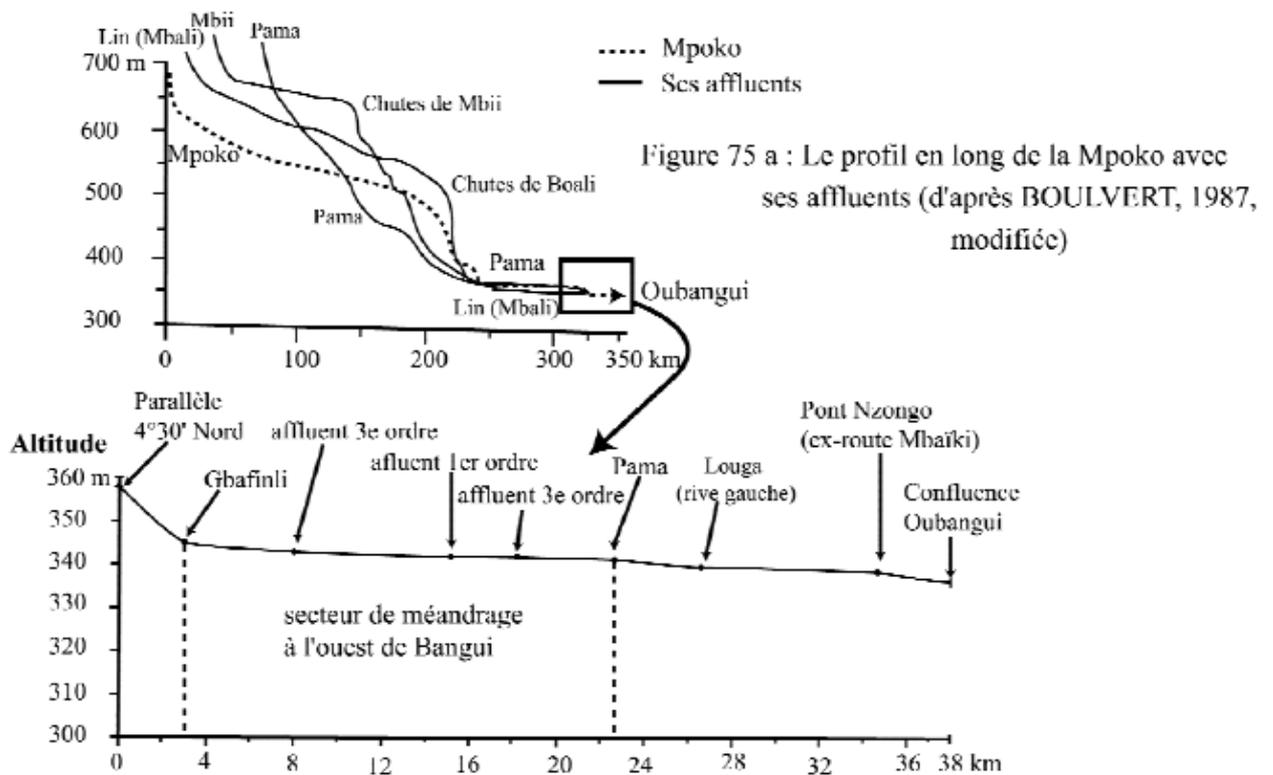


Figure 75 a : Le profil en long de la Mpoko avec ses affluents (d'après BOULVERT, 1987, modifiée)

Tableau XXIII : Morphométrie du bassin-versant de la Mpoko à Bangui (ORANGE, 1995)

Superficie (km ²)	Périmètre (km)	C	L (km)	Ip	Ig (m.km ⁻¹)	Altitudes			Rivières	
						max	moy	min	L (km)	P (m.km ⁻¹)
23890	752	1,32	287	0,039	1,33	809	613	345	350	1

Sur le rebord de la surface, le profil est irrégulier avec des chutes et rapides, et au niveau de la plaine de l'Oubangui où la Mpoko reçoit la Pama, nous relevons un profil plat jusqu'au confluent avec l'Oubangui. A proximité de Bangui, nous avons mesuré une longueur de 37,2 km du tronçon aval de la Mpoko ; entre les cotes 345 et 336 (niveau de base local) au confluent avec l'Oubangui (Fig. 75 b), nous notons une faible dénivellation (9 m), accompagnée d'un style à méandres : sa pente est de 0,24 m.km⁻¹. De *Bossélé-Mballi* à *Bimbo*, le débit de la Mpoko passe de 103 à 330 m³.s⁻¹, montrant un apport considérable de la **Pama** que Y. BOULVERT (1987) suppose de débit supérieur à celui de la **Mpoko**.

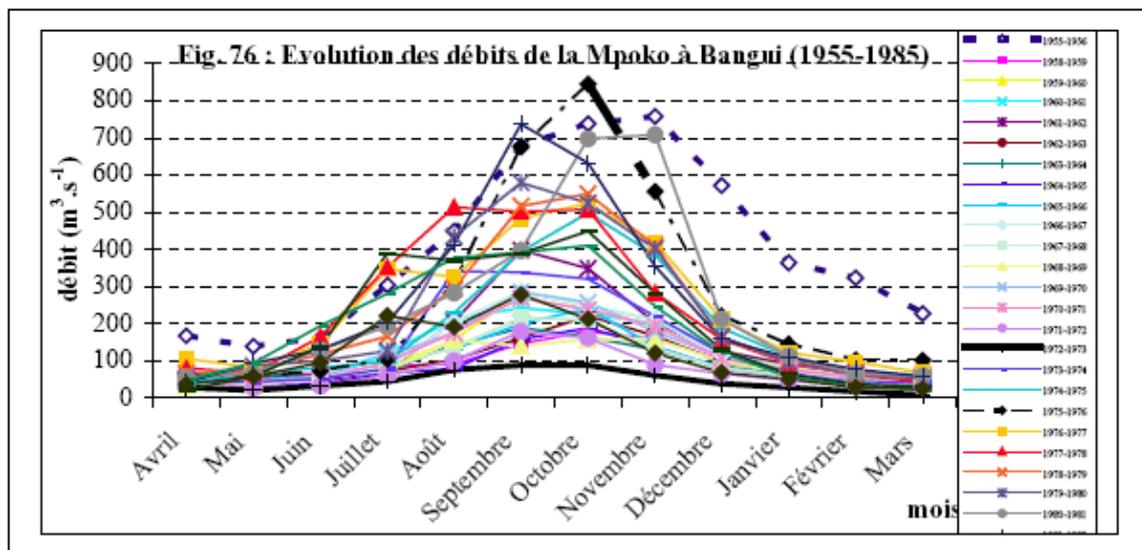
1.2.2. Les débits et les apports à l'Oubangui

La chronique des débits moyens mensuels et annuels de la Mpoko [Note34](#), que nous avons établie entre 1955 et 1973 montre que ce cours d'eau possède un régime de crue à un seul mode, observé entre septembre et novembre (Figure 76). L'année hydrologique 1955-1956, puis celle de 1975-1976, ont été exceptionnelles, avec un débit maximum de près de 800 m³.s⁻¹, de période de retour centennale. L'année 1961-1962 correspond à un cycle humide normal, alors qu'en 1972-1973, les plus faibles débits sur cette période ont été enregistrés et s'expliqueraient par le début de la période de sécheresse climatique qui a influencé l'hydrologie des cours d'eau tropicaux ces dernières décennies. Dans l'ensemble, la variabilité hydrologique du régime est considérable.

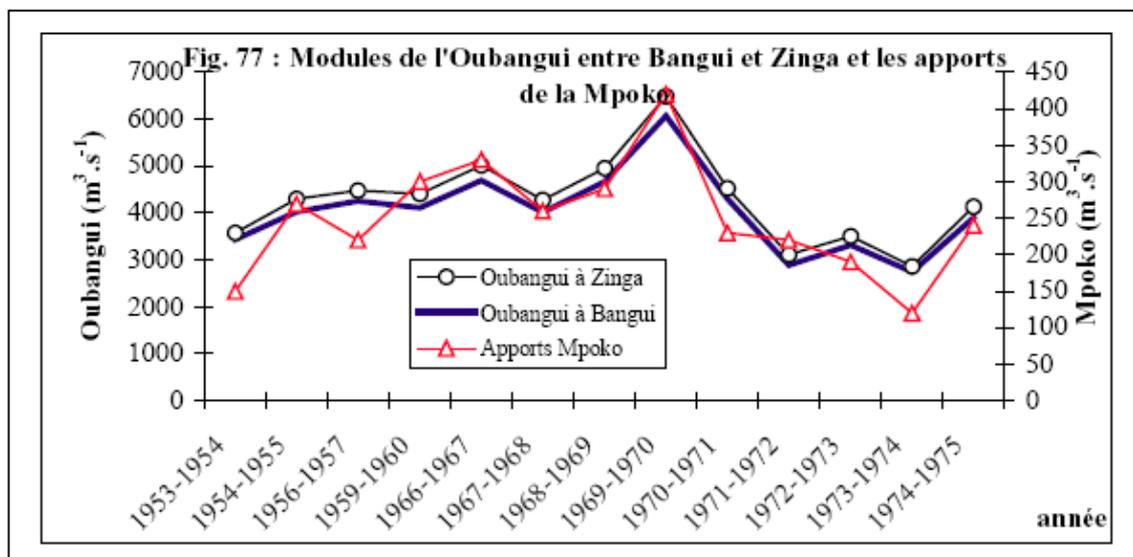
Par ailleurs, les modules de la Mpoko ont été calculés par la méthode du bilan hydrologique (ORANGE, 1995) dans le but de déterminer les apports de son bassin-versant dans l'Oubangui entre deux stations (Figure 77) : Oubangui à Bangui (bassin de 488 500 km²) en amont et Oubangui à Zinga en aval (bassin de 521 900 km²). ORANGE (1995) a déterminé indirectement ces modules [Note35](#), en utilisant ceux de l'Oubangui à

Bangui et à Zinga, puisque le principal tributaire de l'Oubangui entre ces deux stations est précisément la Mpoko. Il a aussi tenu compte des apports de la Lésé et du bassin-versant compris entre Bangui et Zinga (7770 km²).

Figure 76 Evolution des débits de la Mpoko à Bangui (1955-1985)



Figures 77 Modules de l'Oubangui entre Bangui et Zinga (aval) et les apports de la Mpoko (d'après ORANGE, 1995)



Les résultats indiquent que les apports de la Mpoko sont notables à la station de Zinga, et sont proportionnels aux modules de l'Oubangui, selon les années hydrologiques (Tableau XXIV). Un module interannuel de 249 m³.s⁻¹ est obtenu par cette méthode tandis que les mesures donnent un module de 278 m³.s⁻¹. Or, la station est influencée par la proximité et le niveau de l'Oubangui [Note 36](#) ; de ce fait, un autre mode d'estimation que la simple lecture de l'échelle de Bimbo est nécessaire. Le déficit d'écoulement sur le bassin de la Mpoko est compris entre 1110 mm et 1382 mm par la méthode du bilan, et entre 989 mm et 1439 mm par les mesures. Nous nous rendons compte d'une différence entre les deux démarches (mesure et méthode du bilan hydrologique) : les mesures surestiment les débits écoulés alors que l'autre procédé les minimise. Ces résultats

nous montrent bien la similitude du régime mais les échelles ne sont pas volontairement les mêmes (Figure 77). Ces volumes d'eau écoulés aussi bien par l'Oubangui (mesurés) que par la Mpoko (calculés) sont largement supérieurs à ceux des systèmes fluviaux urbanisés de Bangui.

Tableau XXIV : Calcul des modules de la Mpoko par le bilan hydrologique (ORANGE, 1995)

	Oubangui à Zinga	Oubangui à Bangui	Apports Mpoko	Pluie (mm)	Coef. (%)	Lame écou. (mm)
1953-1954	3580	3430	150	1417	113	122
1954-1955	4300	4030	270	1518	124	240
1956-1957	4480	4260	220	1597	132	188
1959-1960	4410	4110	300	1670	140	266
1966-1967	5020	4690	330	1986	175	287
1967-1968	4280	4020	260	1597	132	228
1968-1969	4960	4670	290	1758	149	253
1969-1970	6490	6070	420	1822	157	381
1970-1971	4530	4300	230	1399	110	203
1971-1972	3110	2890	220	1532	129	188
1972-1973	3510	3320	190	1350	105	164
1973-1974	2870	2750	120	1497	121	90
1974-1975	4140	3900	240	1536	129	208
	4283	4033	249	1590	132	216

1.3. Les systèmes fluviaux urbains et périurbains

Ils présentent un intérêt du fait qu'ils sont soumis à l'évacuation des eaux pluviales. Leur étude morphométrique nous aidera à apprécier le mauvais drainage *naturel* que l'occupation humaine de la région de Bangui aggrave. Ces cours d'eau ont un réseau hiérarchisé en amont sur quartzites et schistes, en revanche en aval sur argiles, le réseau est lâche. Dans le but d'avoir une idée précise de l'état du drainage dans le site de Bangui en relation avec les principales formations géologiques dans lesquelles les cours d'eau se sont façonnés, nous avons calculé la **densité de drainage**. Elle consiste à rapporter la longueur totale des chenaux (km) sur la superficie totale (km²) d'un hydrosystème donné ; la longueur des cours d'eau a été, de ce fait, mesurée au curvimètre sur une carte topographique au 1:50 000e (IGN, 1988). Nous avons appliqué cette méthode au bassin-versant de la Ngola [Note 37](#). (Figure 78) qui est considéré comme un bassin de référence au vu des contrastes lithologiques qui caractérisent le site de Bangui (quartzites et schistes, argiles et cuirasses). Ainsi, la densité de drainage sur la partie amont du bassin de la Ngola (collines quartzitiques et schistes) est de 3,03 km.km⁻², révélant un drainage dense, alors que dans le bassin aval (Plaine de Bangui), elle est faible, de l'ordre de 0,81 km.km⁻². La densité de drainage moyenne pour tout le réseau hydrographique est de 2,14 km.km⁻². Ce chiffre nous montre en fait un réseau important de chenaux ou talwegs.

Figures 78 Bassin-versant de la Ngola (d'après IGN, 1988, modifiée)

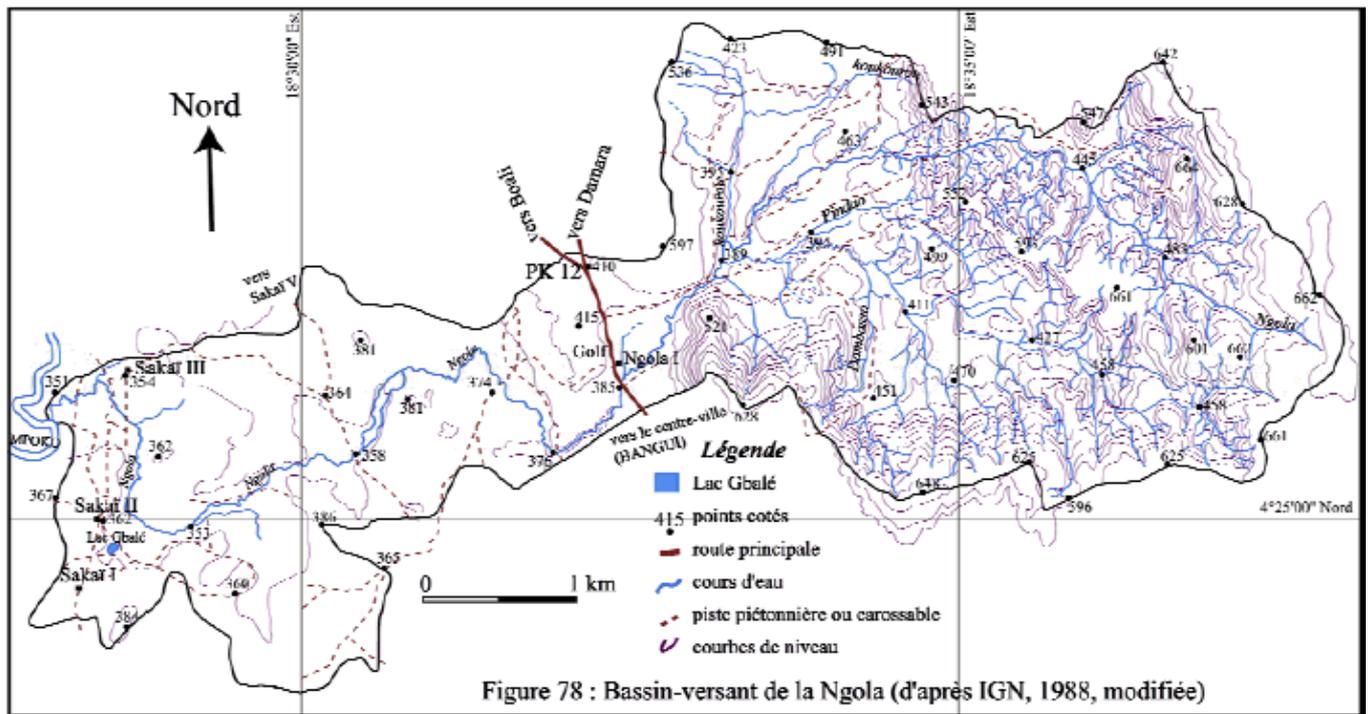


Figure 78 : Bassin-versant de la Ngola (d'après IGN, 1988, modifiée)

1.3.1. Les données morphométriques

Hormis le bassin-versant de la Yangana qui se trouve au nord de Bangui, les autres bassins sont compris dans l'actuelle et dans la future zone urbaine (Tableau XXV).

Tableau XXV : Données morphométriques des bassins fluviaux urbains et périurbains

Données/ Rivières	Superficie (km ²)		Longueur (km)	Altitude source (m)	Altitude confluence (m)	Dénivelée (m)	Pente moyenne (m.km ⁻¹)	Orien-tation	Forme du bassin	P (km)	Densité drainag (km.km ⁻¹)
	Stricto Lato	Sensu									
Guitangola	-	11,01	4,95	360	340	20	4,04	N-S	-	1,2	0,45
Nguitto	29,24	-	9	580	345	235	26,1	N-S	1,1	-	1,96
Ngoubagara	7,1	11,88	13,8	600	344/341	276/271	20/19,64	EO-NS	1,5	1,9	1,29
Ngongonon	11,4	13,48	11,95/12,75	580	346	234	19,6	EO-NS	1,7	1,5	1,04
Ngola	70	76,6	35	660	343	317	9,06	E-O	1,8	60,1	2,14
Yangana	598,24	-	-	600	360	240	-	-	1,3	-	143,1
Kokoro	-	6,84	3,9	355	346	9	2,31	O-SE	-	1,1	0,77
Sica-Saïdou	-	7,87	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-
Centre-ville	3,3	-	-	-	-	-	-	-	1,3	-	-

N.B. : *Sticto sensu* (S. S.) = bassin défini à partir des lignes de crêtes topographiques ; *Lato sensu* (L. S.) = bassin-versant comprenant les modifications du réseau de par les aménagements.

La superficie de chacun de ces bassins n'atteint pas 100 km², sauf pour celui de la Yangana (affluent de la Mpoko : Figures 38 : p. 108, et 76) qui fait environ 600 km² : le bassin de la Ngola constitue plus du double de celui de la Nguitto, et environ sept fois celui du bassin de la Ngongonon et du bassin de la Ngoubagara. La Ngola est plus longue (34,6 km) que la Ngoubagara (13 km) et la Ngongonon (11,95 km), de même que la Nguitto (9 km), la Kokoro (3,9 km) et la Guitangola (4,95 km).

Les altitudes à la source sont comprises entre les cotes 660 (Ngola) et 355 m (Kokoro), et à la confluence, entre 360 (Yangana) et 340 m (Guitangola) : l'Oubangui étant à la cote 336 à Bimbo. Elles donnent des dénivelées allant de 235 m (Nguitto) à 11 m (Kokoro) ; les pentes moyennes varient de 26,1 m.km⁻¹ (Nguitto) à 2,82 m.km⁻¹ (Kokoro). L'orientation générale de ces rivières est Nord-Sud, puisqu'elles se jettent dans l'Oubangui, y compris pour la Mpoko et ses affluents. Cependant, la densité de drainage pour ces bassins va de 1,04 km.km⁻² (Ngongonon) à 2,14 km.km⁻² (Ngola), à l'exception de celle de la Kokoro (0,77 km.km⁻²).

D'après cette morphométrie, les petits bassins semblent relativement moins escarpés et aussi relativement moins bien drainés, mais les détails issus des observations de terrain démontrent tout autre chose, notamment dans les caractères de leur hydrologie.

1.3.2. Aspects hydrologiques

Les caractères premiers de l'hydrologie de ces cours d'eau urbains et périurbains sont analysés sur la Ngoubagara (IV, § 4.2 : p. 171), qui demeure avec la Ngola (TIXIER, 1953), la seule rivière étudiée. L'intérêt de l'étude de la Ngola Note38 était de connaître les crues et les conditions générales de l'écoulement en région de savane boisée guinéenne, à relief assez accentué. D'après des mesures réalisées en 1952 et 1953 (TIXIER, 1953), l'étalonnage provisoire de la station (pour un bassin de 27 km²) est donné par dix jaugeages pour des débits de 0 à 6 m³, soit pour des hauteurs d'eau de 0,50 m à 1,65 m. Les plus fortes crues observées sont de l'ordre de 15 m³ pour une hauteur de 3 m, mais ces jaugeages ont été difficiles à cause de la rapidité à la fois de la crue et de la décrue.

En fait, si nous comparons les débits jaugés des deux rivières (Ngola et Ngoubagara), ils sont apparentés du fait que les crues et décrues sont rapides, à la différence près que le bassin de la Ngola (Fig. 78) est encore partiellement boisé ou couvert, et celui de la Ngoubagara, dénudé. Ces facteurs peuvent expliquer les crues soudaines et parfois catastrophiques de ces bassins urbains et périurbains. A l'époque, la Ngola avait un régime tropical, avec des basses eaux durant 4 mois, coupées tous les ans de crues notables : l'étiage est relativement abondant, donnant 3 l.s⁻¹.km⁻² (TIXIER, 1953). Lors des hautes eaux, qui durent 5 mois, ce petit bassin enregistre une série de fortes crues successives Note39.

Les caractéristiques hydrologiques de ces cours d'eau en milieu urbain ou périurbain, telles que ci-dessus présentées, nous permettent d'appréhender leur comportement. L'urbanisation, en accroissant le ruissellement, rend complexe l'évacuation des eaux. Car si la morphologie des chenaux n'est pas adaptée au transfert d'importants volumes de matières, alors que l'espace urbain en produit, des problèmes se posent. C'est ainsi qu'une analyse détaillée de la structure de ces linéaires nous aidera à mieux circonscrire leurs limites.

2. STRUCTURE DES LINEAIRES ET DU RELIEF

Les dimensions longitudinales et transversales des linéaires sont des variables à définir dans le but de comprendre le flux des matières de l'amont à l'aval des cours d'eau. Ces variables, par lesquelles s'expriment les degrés de liberté des chenaux : largeur, profondeur et pente du chenal (GILVEAR et BRAVARD, 1993), sont en étroite relation avec la nature des terrains et la pente du profil en long, qui déterminent la mise en place et la forme des linéaires. Leur prise en compte dans les lits fluviaux de Bangui devrait rendre compte du poids de la structure géologique et de la paléogéographie dans leur disposition actuelle.

2.1. Les profils longitudinaux des cours d'eau

Le profil en long d'un cours d'eau présente un équilibre entre la capacité de transport d'une part, le volume et le calibre de la charge solide d'autre part. Il peut évoluer à cause de l'efficacité de l'érosion linéaire. A l'échelle des bassins, les ajustements ne peuvent se faire que sur la longue durée, alors que des ajustements peuvent se réaliser à un pas de temps plus court à l'échelle des tronçons (BRAVARD et PETIT, 1997). En

général, le profil longitudinal est concave pour les cours d'eau pérennes (c'est plus le cas en milieu tempéré), car l'augmentation du débit vers l'aval rend possible le transport de la charge sur des pentes progressivement plus faibles. Mais aussi la régularité des profils en long est fortement influencée par la présence d'affleurements rocheux, qui constituent des hauts-fonds dans les cours d'eau tropicaux.

Nous avons établi les profils en long des rivières urbaines et périurbaines (Figures 79) à partir des mesures faites au curvimètre sur les feuilles topographiques au 1:50000^e de la région de Bangui (IGN, 1988) ; nous avons réalisé le calage des cotes d'altitude en confrontant les cartes topographiques au 1:50000^e et celle au 1:20000^e de la ville et de la région. Ils concernent la Nguitto, la Ngoubagara, la Ngongonon, la Ngola, la Kokoro et la Guitangola (Figures 3 : p. 9, et 36 : p. 97).

2.1.1. La Nguitto

La Nguitto est un cours d'eau dont le bassin-versant, qui est vaste de 29,24 km² (Tableau XXV ; Figure 36), occupe la partie orientale de la ville de Bangui, notamment à l'est des Collines de *Gbazabangui* et dans le *Couloir de Ndress*. Elle s'écoule du Nord au Sud, et prend sa source à la cote 580 (pk 0) au NNE de Boy-Rabé, sur un escarpement de la *kaga* Daouba-Kassaï (*kaga* en langue Banda signifie *rocher* ou *relief rocheux*). De la source à un pont situé dans la Cité Jean XXIII (cote 421), la Nguitto n'a parcouru que 0,5 km, et de là au pont de la route des Ndress (du nom des NDRIS), où se trouve un marécage (cote 380) en aval de Boy-Rabé, elle est longue de 1,5 km : sa pente est de 100 m.km⁻¹. A ce niveau, un affluent de 2^e ordre, prenant sa source à la cote d'altitude 420 à l'est du quartier Gotombo (Boy-Rabé), se jette dans la Nguitto en rive droite. Après avoir franchi le marais où des bassins piscicoles sont aménagés, la Nguitto reçoit au pk 4, soit 2 km en aval, la Kokpa un affluent de rive gauche (cote 365), puis un autre à la cote 351 (pk 6), toujours en rive gauche : la Yangou-Mballa. Ce cours d'eau, qui descend l'escarpement SO de *Daouba-Kassaï*, passe à l'ouest du Camp Kassaï. Bien avant de parvenir à la confluence à la cote 365, un affluent d'ordre 3 (en provenance de l'altitude 540 m à l'Est des collines de Bangui suivant une direction NE) rejoint la Nguitto en rive droite. De la cote 351 à une autre confluence en pleine ville (pk 7,5 ; cote 348), la Nguitto est grossie par un affluent qui, venant de la cote 500 et parcourant l'est du Camp Kassaï sur le prolongement du rebord sud du Plateau de Daouba-Kassaï, s'embranchement par un coude à près de 2 km du confluent Nguitto-Oubangui en rive gauche. Elle se jette dans l'Oubangui en amont des Rapides à la cote 345. Pour une longueur de 9 km, sa pente moyenne est de 26,11 m.km⁻¹ (Tableau XXV ; Figure 79 a).

Nous constatons que le profil de la Nguitto est proche de la concavité depuis la cote d'altitude 420. A l'amont, il a un caractère torrentiel, comme sur la plupart des cours d'eau des hauts bassins.

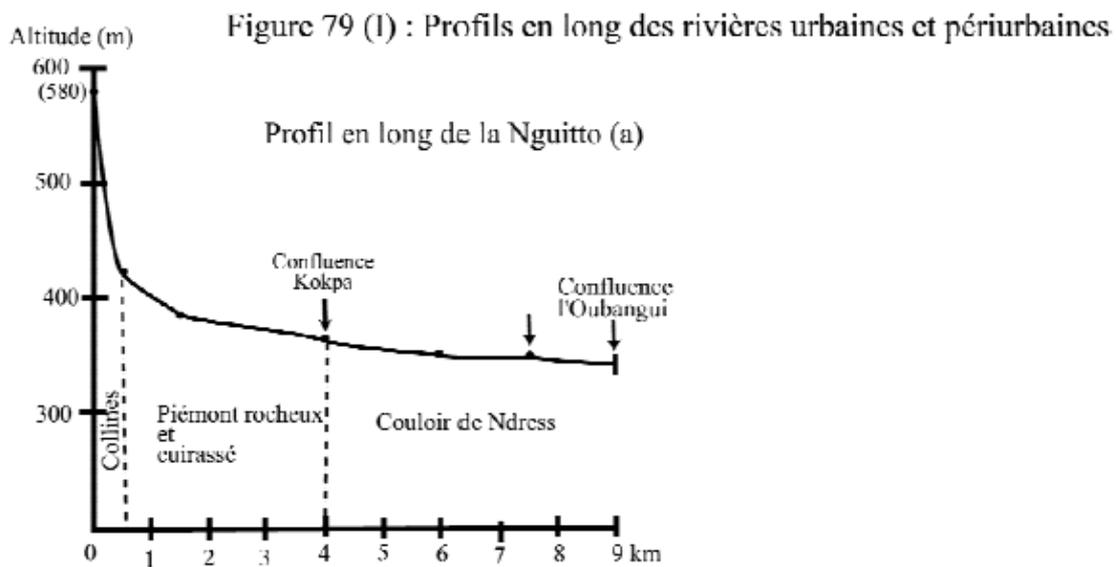
2.1.2. La Ngoubagara

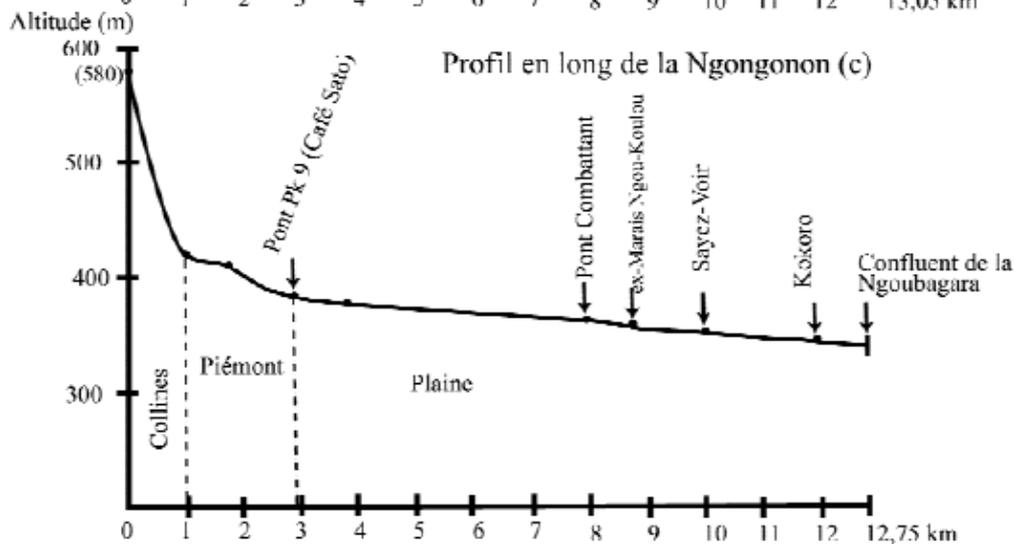
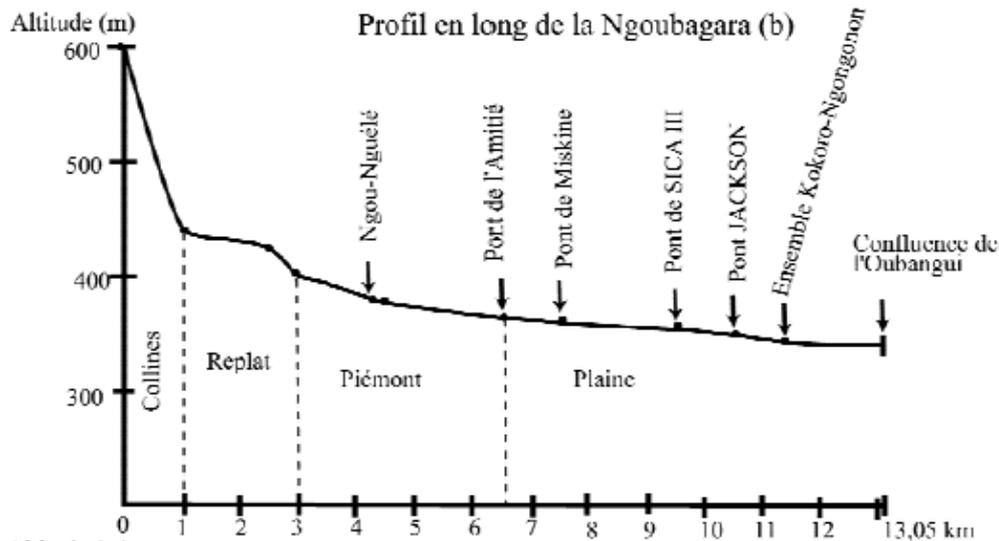
La Ngoubagara draine un bassin-versant de 11,88 km² que nous avons morcelé en trois sous-bassins dans les études hydrologiques (Figure 53 : p. 153) : Ngoubagara à l'Amitié (3,9 km²), Ngoubagara à Miskine (6,8 km²), Ngoubagara à Sica III (11,7 km²), et une Portion aval (0,18 km²). Elle prend source au Nord de Boy-Rabé à la cote 600 (pk 0) et reçoit un premier affluent après un kilomètre de parcours selon une direction E-O (cote 440), puis un autre au pk 1,5 (cote 425), et le troisième à 3 km de long (cote 400) depuis la source (Figure 79 b). A 300 m en aval de cette confluence (pk 3,3 ; cote 398), le cours de la Ngoubagara présente une digitation (chenaux doubles), à caractère anastomosé^{Note40} : le tronçon de droite est long de 300 m et celui de gauche, de 200 m ; de là à 1 km en aval, passant par l'embranchement principal de la rive droite, la rivière est grossie par un principal affluent, la **Ngou-Nguélé**, en provenance de l'ouest du Marché de Boy-Rabé sur la rive gauche (pk 4,3 ; cote 380). A la cote 378, se trouve le pont de l'hôpital de l'Amitié qui correspond au premier sous-bassin de la Ngoubagara (3,9 km² : pk 4,55). Juste en aval, dans le bas-fond, un ruisseau, long de 100 m, rejoint la rivière en rive droite. Entre le pont de l'Amitié et le pont sur l'Avenue des Martyrs (pk 6,55 ; cote 365), non loin du Commissariat du 8^e Arrondissement, le chenal est sinueux à subrectiligne, et quelquefois encastré dans d'épais bancs cuirassés qui sont affectés par la foliation, en se débitant en bancs subhorizontaux. Le lit est sableux, à fond mobile sur les trois-quarts du tronçon, et cuirassé à 80 m en amont

et 100 m en aval du pont. Jusqu'au pont du Marché de Miskine où se cale le deuxième sous-bassin (6,8 km² : cote 361, pk 7,55), le lit est essentiellement cuirassé, avec des sinuosités de type méandres ancrés ; et de ce point au pont de Sica III (bassin-versant : 11,7 km², cote 354, pk 9,55), le chenal est aménagé et rectiligne, et passe par le pont de l'Avenue B. BOGANDA (cote 348, pk 10,55). Cette morphologie artificielle se poursuit jusqu'au confluent avec la Kokoro-Ngongonon (cote 344, pk 11,5), de même qu'à la confluence avec l'Oubangui (cote 341, pk 13).

La longueur totale de la Ngoubagara varie de 11,5 km à la confluence de son cours avec la Kokoro-Ngongonon, à 13 km au confluent de l'Oubangui. La dénivelée dans le bassin-versant varie de 271 à 276 m de hauteur, pour une pente moyenne respective de 20,8 et 21,2 m.km⁻¹.

Figures 79 (I) Profils en long des rivières urbaines et périurbaines ; (a) et (b)





Contrairement à la Nguitto, la Ngoubagara présente un profil longitudinal, caractérisé par une terrasse qui relie les versants abrupts des collines et le piémont proprement dit avant d'arriver dans la zone plane où les pentes sont faibles.

2.1.3. La Ngongonon

Ce cours d'eau draine un bassin-versant de 13,48 km². La Ngongonon prend sa source à la cote 400 au pied de l'escarpement ouest, prolongement du Plateau Daouba-Kassai le long de la première grande faille N-S qui sépare les collines de Bangui à l'ouest de celles de Daouba-Kassai à l'est (Figure 79 c). Il existe un glaciais-replat induré de piedmont. De la source (pk 0) au premier confluent, la Ngongonon fait 1 km (cote 420), et au second, 1,8 km (cote 410), puis respectivement 2,4 km (cote 390) et 2,9 km (cote 384) pour les troisième et quatrième confluents. Le quatrième affluent, de rive droite, se jette dans la rivière juste à la limite amont du marais du pk 10 de la ville de Bangui (cote 384), en allant vers le km 12, où des bassins piscicoles sont aménagés. De là au cinquième affluent (cote 379), le lit fluvial est long de 3,75 km : il se trouve en plein marais, et est difficilement distinguable. La Ngongonon atteint le pont du Marché Combattant sur la route de l'Aéroport (pk 7,95, cote 363), puis le marais **Ngou-Koulou** en plein quartier Malimaka, qui est maintenant aménagé, à la cote 359 (pk 8,75), et le pont *Sayez-voir* sur l'avenue KOUDOUKOU au pk 9,95 (cote 353). Entre ces cotes d'altitude, le chenal est très sinueux, ne dessinant pas de méandres classiques, car la faiblesse de la pente dans cette partie de la plaine marécageuse de Bangui influence la forme en plan du lit. Un talweg

argileux à limoneux alterne avec un talweg cuirassé qui semble être moins dominant dans cette longue section de la rivière. Depuis le pont du Marché de Combattant, en passant par *Sayez-voir*, jusqu'au pont Jackson sur l'avenue B. BOGANDA (pk 11,45, cote 348) où confluent juste en aval la Kokoro et la Ngongonon (cote 346, pk 11,95), le lit est aménagé, avec un chenal rectiligne au profil en U légèrement évasé, jusqu'à la confluence avec la Ngoubagara (cote 344, pk 12,75). La Ngongonon est, de ce fait, longue de 11,95 km, ou 12,75 km de sa confluence avec la Kokoro à celle avec la Ngoubagara, et pour une dénivelée de 234 m, sa pente moyenne est de 19,6 à 18,4 m.km⁻¹.

Le profil en long de la Ngongonon ressemble à celui de la Ngoubagara, dessinant aussi une marche d'escalier, mais moins importante que dans le premier cas ; il s'en distingue par la longueur de son lit dans le secteur de plaine par rapport au lit de la Ngoubagara. Tous deux s'opposent au profil plus ou moins régulier de la Nguitto.

2.1.4. La Ngola

Le bassin-versant de la Ngola occupe une superficie de 76,6 km². Nous l'avons subdivisé en deux sous-bassins. Le bassin amont sur schistes et quartzites fait 46 km² au pont du pk 10. L'autre sous-bassin est situé dans la plaine, constituée de terrains argileux et latéritisés ; il a une superficie de 30,6 km² entre le pont du pk 10 et la confluence avec la Mpoko (Figures 38 et 78).

La Ngola (Figure 79 d) prend sa source (pk 0) à la cote 660, et reçoit un affluent d'ordre 3 (pk 3, cote 483) en rive droite, puis un autre affluent de 3^e ordre, la **Koukourou**, toujours en rive droite (cote 445, pk 5). La **Pindao**, qui est un cours d'eau de 4^e ordre selon la méthode de *Strahler*, grossie de la **Dambassa**, se jette dans la Ngola au pk 12 (cote 389), en amont du pont pk 10, route du km 12. De la source à la cote 389, nous remarquons que le chenal de la Ngola est essentiellement rectiligne à subrectiligne, mais à environ 2 km en amont de cette cote, le lit commence à présenter des sinuosités, des brisures. Toutefois, à partir du pont du pk 10 (pk 15,5 ; cote 385), après 1,5 km de parcours dans la faille E-O qui est à l'origine du couloir perpendiculaire à l'alignement des collines de Daouba-Kassaï, la Ngola entre dans la Plaine ou Dépression de Bangui qui se termine à la limite de la plaine de la Mpoko. A la cote 376 (pk 18), le lit dessine beaucoup de brisures, et le cours de la Ngola présente un coude et oblique brusquement vers le Nord, alors que depuis sa source, la rivière suit une direction générale E-NO, du moins à environ 3,5 km en amont de la cote 389. De là, elle s'écoule du NE au SSO jusqu'à la cote 376. Peu après, le cours de la Ngola est façonné en chenaux doubles. En amont de cette digitation (pk 22,5 ; cote 368), le chenal affiche beaucoup de sinuosités avec deux coudes brusques distants de près de 500 m l'un de l'autre, et situés à environ 1 km en amont du dédoublement du lit. La division du chenal s'est réalisée dans un *flat* marécageux, vaste de 1,58 km² : le chenal de gauche est long de 1,3 km, et celui de droite, 1,5 km. Le terminus aval de la digitation est situé à environ 500 m en amont du pont sur la piste de Sakaï IV et V (cote 358, pk 25,55) : la traversée du pont se trouve dans le flat marécageux, appelé *Nakassindi*, qui s'étend encore sur 500 m de large en direction de Sakaï, et sa limite aval sur la Ngola est à la cote 353.

A la cote 353 (pk 29,05), un affluent de rive gauche de 1^{er} ordre est long de 1,5 km ; il délimite à l'ouest le *flat* marécageux, se jette dans la Ngola (Figure 79 d). A près de 1 km en aval de la cote 353, la Ngola dessine un coude et se dirige vers le Nord où elle reçoit en rive droite un petit affluent d'environ 1 km de long. De là, elle bifurque vers le NO en façonnant un autre coude et de nombreuses sinuosités (méandres), avant de se jeter dans la Mpoko en direction du SO : la confluence se trouve à la cote 343 (pk 34,55).

Sur les collines, le lit de la Ngola est long de 13 km, et dans la plaine, il fait 22 km, ce qui nous donne une longueur totale de 35 km. Avec une dénivelée de 317 m sur son bassin, la Ngola a une pente moyenne de 9,06 m.km⁻¹. La Ngola donne un profil en cascade formé de trois (3) segments de droite : le premier correspond au sommet des collines, le second à la zone de subsidence au cœur du bassin ou zone d'érosion différentielle dans un ensemble schisto-quartzitique (Figure 78), et enfin, à la zone de transition piémont-plaine.

2.1.5. La Kokoro et la Guitangola

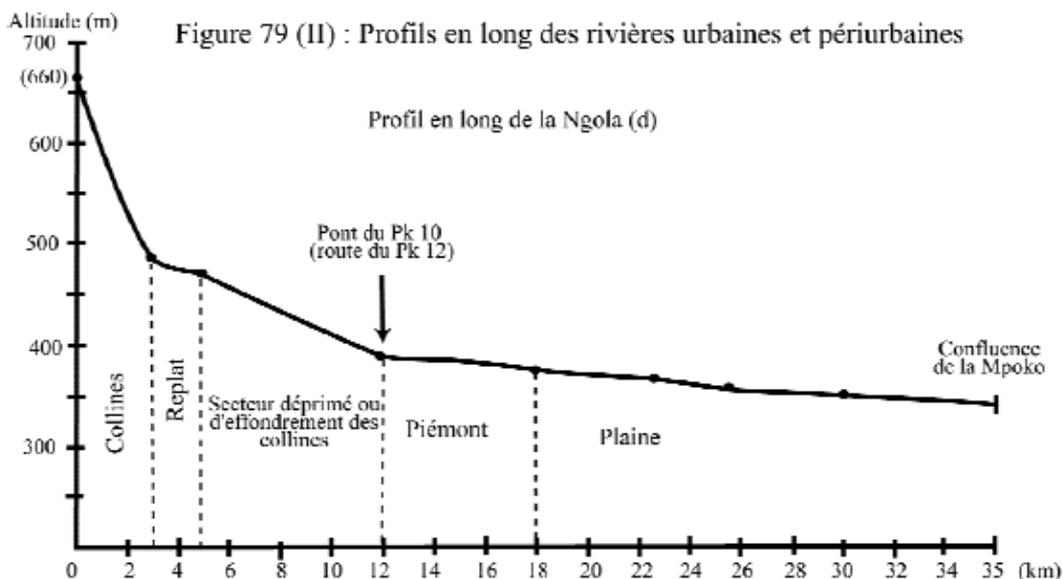
La Kokoro et la Guitangola sont deux cours d'eau qui drainent respectivement des bassins-versants de 6,84 km² et 11,01 km². Elles prennent leur source au NO et à l'Ouest du Plateau de Fatima, dans la partie occidentale de la ville. Avant le développement du site de Bangui, ces cours d'eau se jetaient dans la Mpoko (Figure 2 : p. 8), presque à la confluence avec l'Oubangui, mais l'artificialisation du réseau d'écoulement conduit la Kokoro à se jeter plutôt dans l'Oubangui (Figure 36 : p. 97).

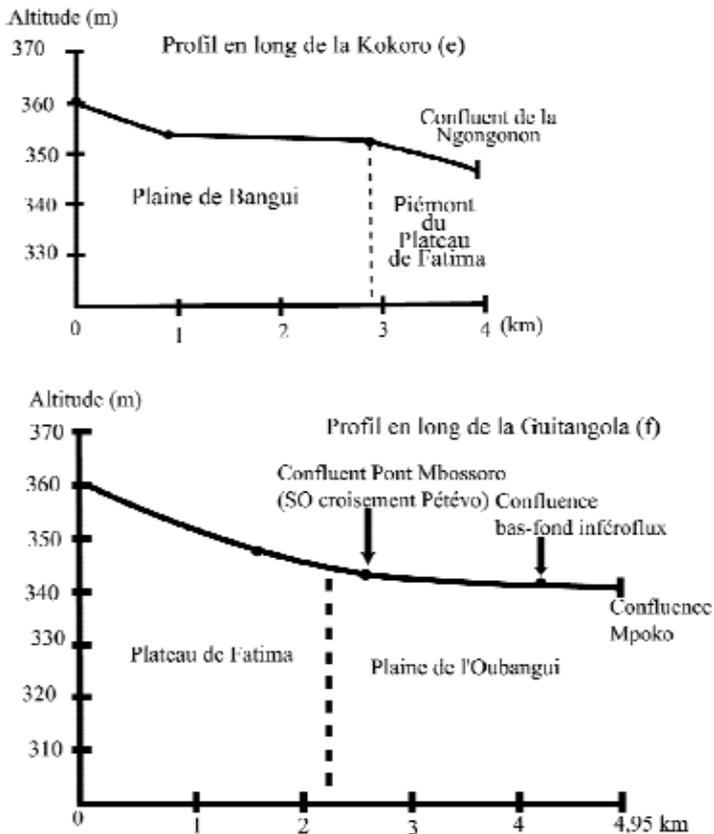
La Kokoro (Figure 79 e) s'est essentiellement développée dans un flat marécageux à la même cote d'altitude (355 m), depuis sa source (pk 0, cote 360) à proximité d'une ferme avicole au NNE de Pélémongo jusqu'à son confluent avec la Ngongonon. Après avoir parcouru 0,9 km, elle reçoit un premier affluent de la rive gauche, en provenance du quartier Boeing (cote 354), qui est long de 0,6 km. Entre temps, la Kokoro divague dans ces marais en passant le pont du Marché Kokoro (cote 352, pk 2,9), avant d'atteindre la Ngongonon par un chenal artificiel (pk 3,9, cote 346).

La Guitangola coule également dans un flat marécageux (Figure 79 f) ; sa source est située à l'ouest du plateau de Fatima (cote 360, pk 0). A la cote 348 (pk 1,6 km), le lit de la Guitangola s'est perdu dans un marais fonctionnel d'environ 0,5 km² et profond de près de 1,5 m, lequel est morcelé en bassins piscicoles. Au pk 2,6 (cote 343), la Guitangola conflue avec l'ancien lit par lequel la Ngongonon et la Kokoro se jetaient dans la Mpoko ; c'est le façonnement du chenal initial qui a orienté les deux rivières en direction de la Ngoubagara pour se jeter dans l'Oubangui via la Sapéké (collecteur Kouanga), selon la physionomie du réseau hydrographique actuel de Bangui. Ce point (pk 2,6) est situé en amont du Pont du quartier Mbossoro au SO du croisement de Pétévo. De là, cette rivière rejoint l'ancienne terrasse alluviale de l'Oubangui aujourd'hui marécageuse, à la cote 341 (pk 4,2). La Guitangola se déverse dans la Mpoko à cote 340 (pk 4,95).

Longue de 3,9 km (Figure 79 e), la Kokoro a une dénivellée de 9 m sur son bassin, ce qui nous permet d'obtenir une pente moyenne de 2,31 m.km⁻¹. La Guitangola, elle, a une longueur de 4,95 km (Figure 79 f) ; pour une de 20 m sur son bassin-versant, elle a une pente moyenne de 4,04 m.km⁻¹.

Figure 79 (II)





Le profil de la Kokoro (Figure 79 e) est aussi fait de trois segments, mais lorsque son cours traverse le rebord NE du Plateau de Fatima, la pente s'accroît alors que globalement elle est faible sur les bassins amont et moyen. Quant au profil de la Guitangola (Figure 79 f), il est concave et plus évasé.

2.2. Les profils transversaux : largeur comparée des chenaux, hauteur des berges et profondeur de la Ngoubagara et de la Ngongonon

Le profil en travers est l'un des degrés de liberté du chenal. La largeur est fonction du débit et augmente de l'amont à l'aval, de même que le rapport largeur/profondeur (BRAVARD et PETIT, 1997). Dans cette étude, nous n'avons pris en compte ici que la Ngoubagara et la Ngongonon qui traversent le cœur de la ville de Bangui selon un parcours N-S (Figure 80). Elles sont supposées subir davantage les impacts de l'urbanisation sur les processus de transfert de matières, en drainant la majeure partie de l'espace urbain ou de l'*impluvium* ; leurs bassins occupent 25,26 km², soit environ 1/3 de l'aire de la ville. Nous avons aussi réalisé des relevés transversaux sur les lits de ces cours d'eau et/ou collecteurs en vue de déterminer leur géométrie (largeur, profondeur moyenne et peut-être le périmètre mouillé) nécessaire à l'évacuation des eaux pluviales.

Figures 80 Localisation des transects (points) considérés dans l'établissement des profils transversaux



Figure 80 : Localisation des transects (points) pris en compte dans l'établissement des profils transversaux

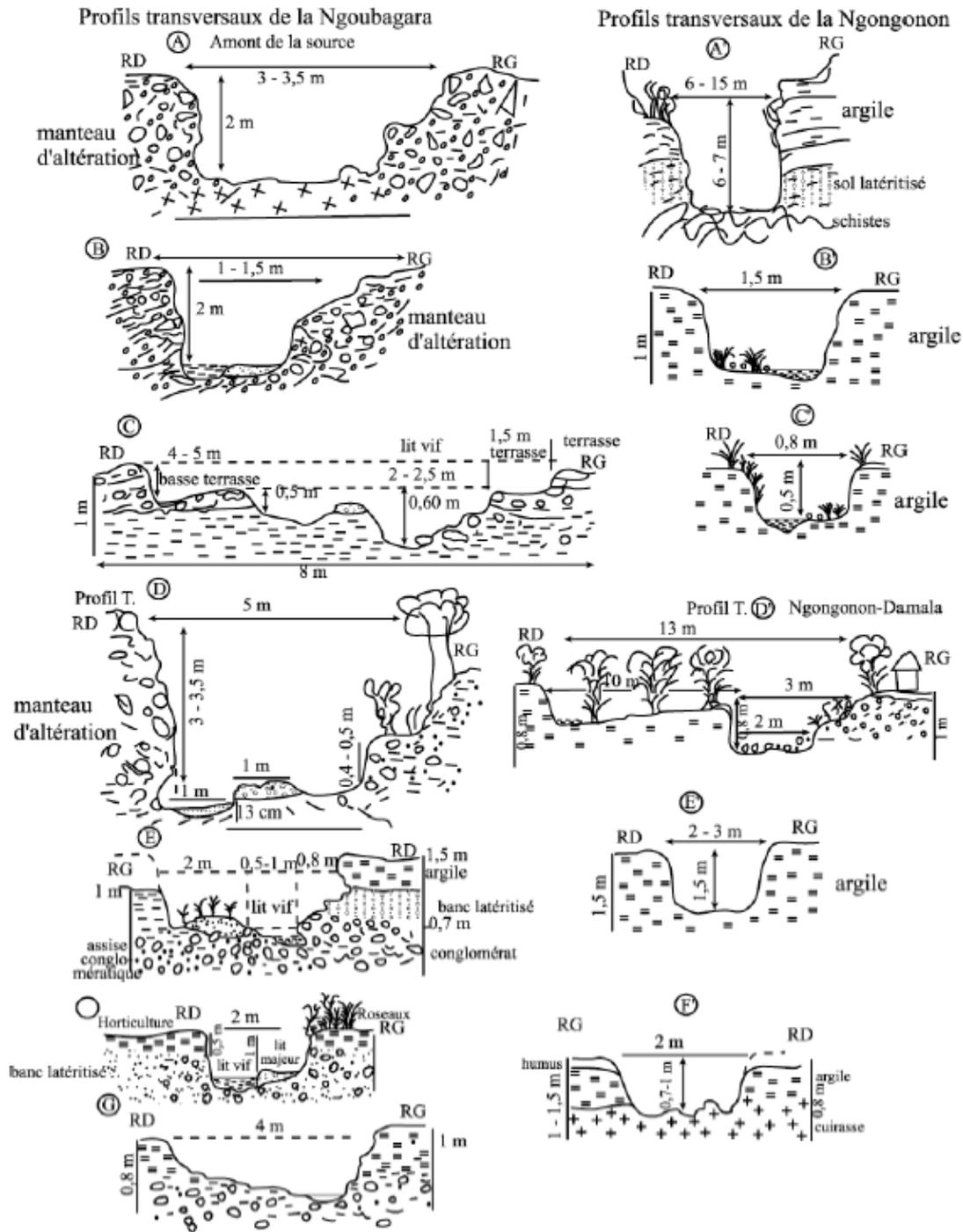
Chacun de ces cours d'eau comporte des particularités qui se constatent dans la morphologie des chenaux : les cours amont et moyen de la Ngongonon sont à dominante marécageuse et s'incrudent dans des terrains argileux, alors que le lit de la Ngoubagara à ce niveau est creusé dans des terrains quartzitiques, schisteux et latéritisés pour l'essentiel. De plus, l'extraction des pierres en amont du bassin de la Ngoubagara (Fig. 21 a et b) et la production du matériel ferrugineux donnent un caractère dynamique au talweg par rapport à celui de la Ngongonon, avec des pentes moyennes respectives de 20,8 à 21,2 m.km⁻¹ et 19,6 m.km⁻¹. Ces paramètres méritent d'être relevés dans les caractéristiques transversales des chenaux. Si nous comparons la largeur et la profondeur de la Ngongonon et de la Ngoubagara, depuis leur source jusqu'à leurs cours moyens, ces rivières ont une largeur maximale moyenne de 4 m et ont une profondeur inférieure ou égale à 2 m, soit un rapport d'environ 2 m (Figures 81 a et b).

Le cours amont de la Ngoubagara est fortement humanisé par rapport à celui de la Ngongonon : extension de l'habitat, couloirs d'évacuation des pierres d'extraction sur versants abrupts à sols rocaillieux et gravillonnaires. Un canal de drainage a été creusé pour acheminer les matériaux et les eaux provenant de collines ; il se connecte aux talwegs façonnés dans les versants des collines. Les premiers profils en travers (A, B, C, D), dont les dimensions varient de 2 à 5 m de large et de 1 à 3 m de profondeur (soit un rapport de 1,6 à 2 m), sont espacés respectivement de 100 m. A la source existent deux kapokiers^{Note41}, qui symbolisent les deux têtes du chenal (Planche VI, Photo D), connectées aux couloirs de drainage remontant les collines. Le talweg à proximité de la source est caractérisé par l'hydromorphie. L'apport des gravillons, fragments et

sables des versants, contribuerait à colmater les sources. De là au pont de l'hôpital de l'Amitié, le rapport largeur-profondeur n'a pas beaucoup changé (profils E, F, G, H) : 2-3 m de largeur pour près de 1 m de profondeur, sauf dans les *flats* marécageux où le lit semble plus large. A la confluence avec la **Ngou-Nguélé**, la largeur totale de la Ngoubagara est de 12 m contre 8 pour son affluent, et pour des hauteurs de berge et de profondeur qui ne dépassent pas 2 m (rapport de 4 à 6). Ce faible *ratio* serait la conséquence d'un volume important d'eau et de sédiment transféré en aval : de fait le tronçon présente un chenal anastomosé (profil H).

En aval du pont de l'Amitié, la Ngoubagara dessine à la fois un méandre ancré dont le profil (I) est particulier avec un lit mineur qui est large de 15 m, et un lit d'inondation de près de 100 m (Planche VII, Photo B). La berge concave, fixée dans des *brèches* quartzitiques qui reposent sur de l'argile beige, est haute de 3 à 4 m, et la berge convexe atteint à peine 2 m ; la profondeur moyenne du lit est de 1,5 m alors que le plan d'eau n'est pas à plus de 10 cm au-dessus du talweg. A près de 1 km en aval, au large de l'ancien cimetière de Galabadja, le lit est large de 8 m avec une hauteur de berge de 1 m en rive droite (profil J). L'eau serpente dans le chenal de la gauche vers la droite ; dans la continuité de la section, des bancs cuirassés influencent aussi la forme du chenal ; ceci se poursuit même au-delà du pont du 8^e Arrondissement.

Figure 81 a



La Ngongonon a son origine aux sources aménagées dans une dépression localisée entre les versants Ouest des collines et le plateau ou piémont de Gobongo ; le talweg est façonné dans un épais manteau d'altération (6-7 m) constitué d'argile et de régolite, comportant des fines et fragments de quartzites. Le tout repose sur des schistes. La profondeur de ces sources (près de 10 m) fait penser à de petites gorges ouvertes dans des matériaux tendres (Profil A'). Les abords végétalisés ressemblent à la savane-parc ou à la forêt-galerie par contraste avec l'humanisation du bassin-versant. Les chenaux ne sont pas naturels, car aménagés en bassins piscicoles (Planche VI, Photo A). Leur largeur à ce niveau atteint 1 m au maximum, et la profondeur 0,5 à 0,7 m. A 300 m en aval (profil B'), le chenal est coincé de part et d'autre entre des bassins ; le lit est argileux et tapissé de nodules ferrugineux provenant de l'érosion du plateau ou piémont de Gobongo. Par contre, au-delà du pont sur la route du pk 12 à 200 m en aval, le chenal ne se remarque qu'à peine et divague entre des bassins piscicoles (profil C') : la profondeur du cours d'eau est localement de 5 à 10 cm.

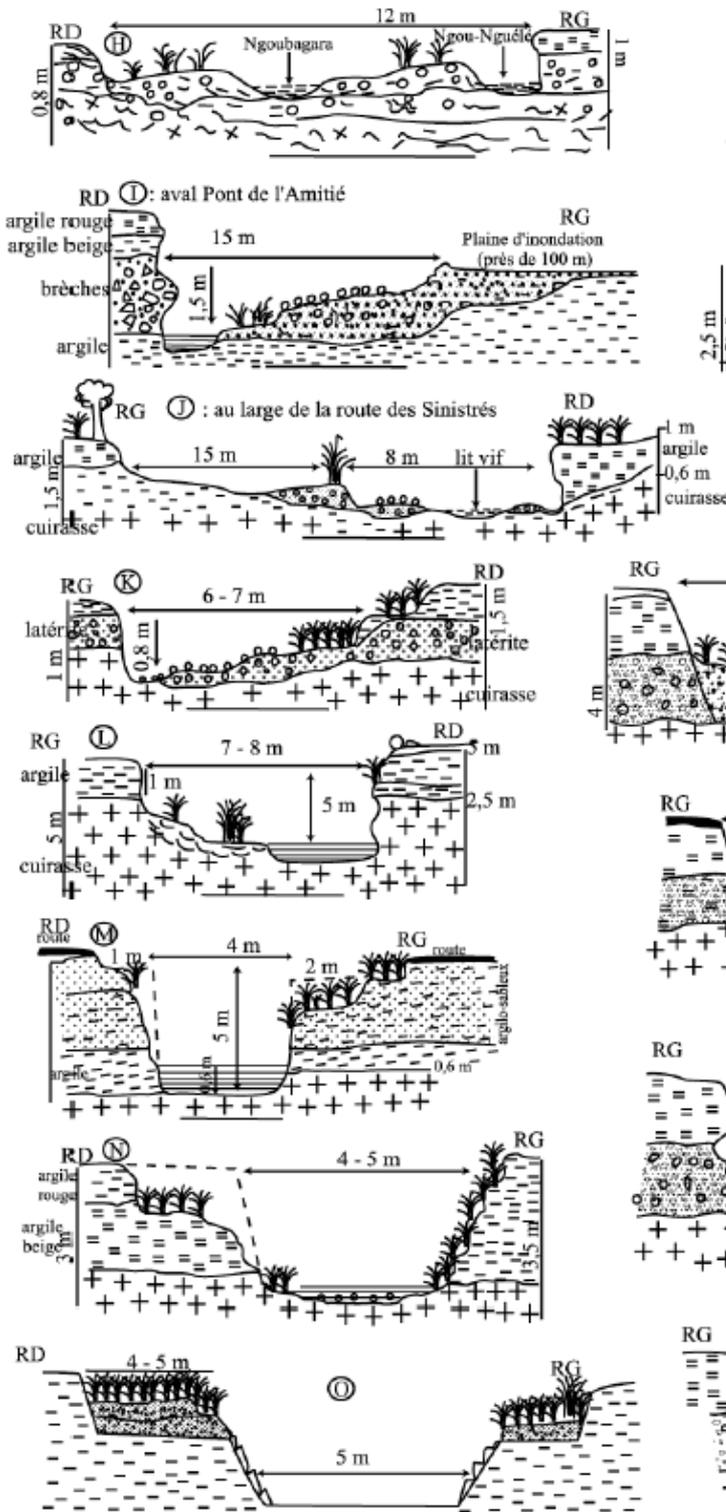
Plus loin, la Ngongonon prend la direction du sud, au large du quartier Damala, après une orientation générale E-O ; le lit majeur (profil D') est large de 10 m et le lit mineur, de 2 à 3 m, pour une profondeur d'environ 1,6 m. Avant d'arriver à ce tronçon, le rapport largeur-profondeur est faible (soit 1,2/0,5 à 0,8 m, donnant un rapport de 0,63 à 1,5 m notamment dans le *flat* marécageux qui relaye le pied des collines). Par la suite, le chenal devient anastomosé avec une île qui est large de 3 à 4 m, et couverte de végétation. A **Ngou-Lossö** (profil E'), le profil semble plus encaissé mais dans de l'argile hydromorphe ; la largeur du chenal fait 2 à 3 m pour 1,5 m de profondeur. Dans cette section, le talweg est toujours à sec, sans gravier ni sable à échantillonner. La difficulté de trouver de sédiments fluviatiles réside dans le fait que les riverains exploitent le fond du chenal soit pour fabriquer des briques, soit pour rehausser les berges dans le but de se protéger contre les inondations. En outre, *la zone potentielle de fourniture de graviers n'existe pas ; le cours d'eau ne charrie donc pas de sédiments grossiers qui provoqueraient l'ajustement de la morphologie du lit. Cette dynamique s'observe aussi en amont du pont de Combattant* (profil F').

Que ce soit de la source au pont du 8^e Arrondissement (Ngoubagara), ou de la source au pont de Combattant (Ngongonon), sur la route de l'Aéroport Bangui-Mpoko, les lits fluviaux sont encore « naturels », à l'exception de quelques corrections sommaires réalisées par les riverains. Au-delà de cette limite, les profils en travers sont artificiels.

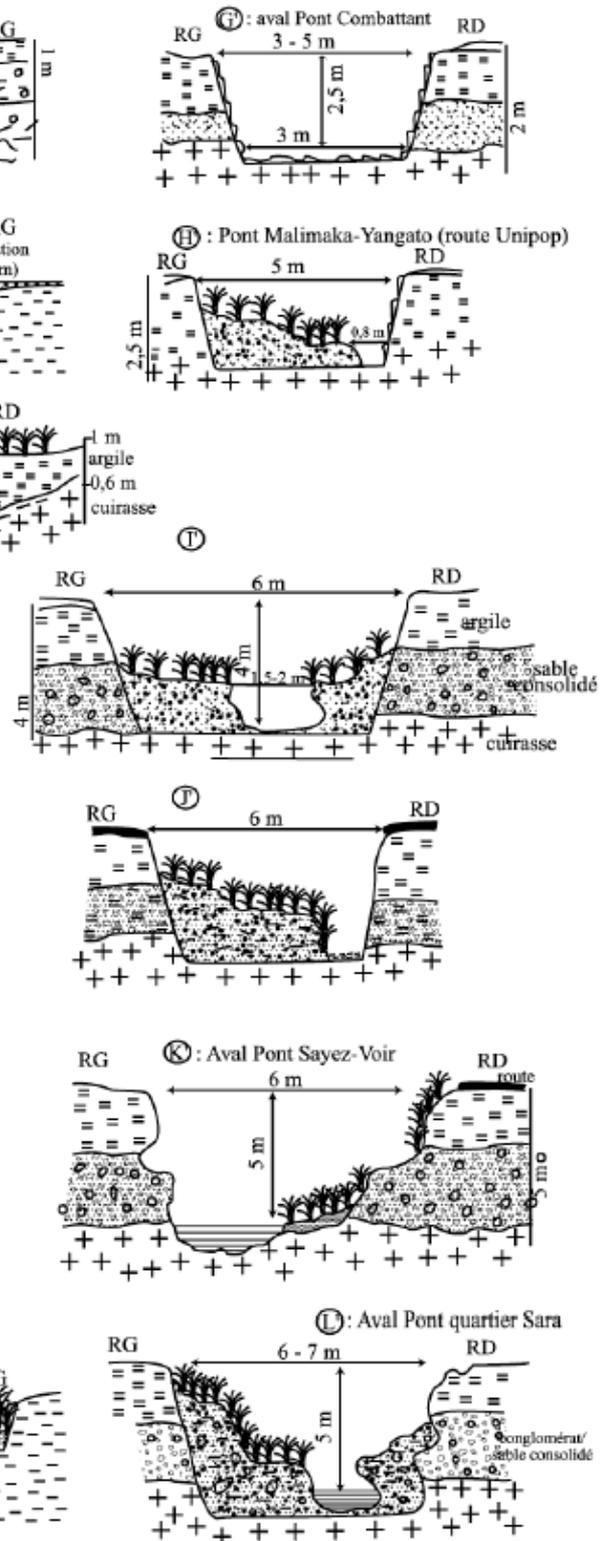
A l'aval, les profils de la Ngoubagara (K, L, M, N et O) ont quasiment une forme en U, ou peu évasée. Leur largeur moyenne est de 6 à 8 m, pour des hauteurs de berge qui varient de 1 à 5 m. L'évolution de ces profils est due soit à l'érosion des berges du chenal, soit à des dépôts d'origine fluviatile ou humaine qui tendent à exhausser le fond du lit d'un côté alors que l'eau entaille de l'autre. Les dépôts sont constitués de débris organiques (broussailles, feuilles de manguiers ou d'arbres coupées) et de sédiments (graviers, sable, limon, argile). Aussi, l'érosion des berges du chenal peut-elle être sous influence humaine lorsque s'installent des briqueteries sur ces argiles : c'est souvent le cas dans l'évolution de ces profils transversaux.

Figure 81 b

Profils transversaux de la Ngoubagara



Profils transversaux de la Ngongonon



Quant à la Ngongonon, dans cette partie artificielle du chenal (profils G', H', I', J', K' et L'), certains tronçons sont revêtus, d'autres sont en terre : la largeur moyenne oscille entre 3 et 6 m, et la hauteur des berges va de 2 à 5 m (soit un rapport de 1,2 à 1,5), cependant la profondeur de l'eau n'atteint pas 1 m sauf lorsqu'il pleut. La sédimentation dans le chenal modifie sa morphologie ; étant donné que les dépôts sont souvent fins, ils regorgent d'eau, ce qui entretient le développement de la végétation. Ceci peut influencer sur

l'écoulement des eaux pluviales par l'effet de « bouchon » qui se crée, et de ce fait gêne le transit des flux solides et liquides vers l'aval : cette caractéristique du lit est la même entre le pont de *Malimaka-Yangato* et le pont *Sayez-voir* où il est revêtu. Toutefois en aval, l'augmentation de la pente et de la largeur du chenal, atteignant 6 m pour 4 m de profondeur (rapport de 1,5), favorise la reprise des sédiments déposés sur des tronçons non revêtus (I', J'). Ces dépôts sont colonisés par des herbacées qui occupent le lit encore « naturel », même lorsqu'il est revêtu.

La présentation comparée des profils transversaux de la Ngoubagara (Fig. 81 a) et de la Ngongonon (Fig. 81 b), situe les possibilités de transfert de matières à Bangui. La prise en compte des caractéristiques sédimentologiques et de la végétation des fonds de chenaux nous aide à identifier les problèmes qui se posent aux transferts de l'eau et de sédiment. D'ailleurs, les informations données sur les formes de dépôts dans les types de lits (naturels et artificiels), qui évoluent par végétalisation, nous montrent des cas patents d'obstacles à l'évacuation des eaux pluviales à Bangui. L'analyse de ces profils en travers montre donc une forme d'adaptation à la structure, à la nature des terrains. L'histoire géologique de la région où la ville s'établit met en relief une très forte tectonisation dont héritent les bassins-versants urbains ou périurbains. Ainsi, la plupart des cours d'eau de Bangui et de ses environs que nous avons étudiés sont canalisés par des structures passives, soit en s'écoulant sur d'anciennes lignes de failles, soit en étant orientés par des linéaments : la Nguitto, la Ngola, la Ngongonon ou la Ngoubagara seraient toutes déterminées par cette paléodynamique.

3. EVOLUTION DES VALLEES FLUVIALES ET OCCUPATION DU SOL

La croissance démographique et économique de Bangui provoque une réduction progressive de l'espace naturel dans les vallées des cours d'eau (ou de leurs marges de liberté), que nous avons relevée par analyse diachronique. La superposition des clichés de cette évolution obtenus par photo-interprétation nous permet de suivre les processus de l'occupation du sol dans le temps et dans l'espace ; elle est un indicateur pour mesurer l'anthropisation des lits majeurs par des relevés de terrain, et leurs conséquences pour la gestion de l'eau.

3.1. Extension temporelle et spatiale des lits majeurs

De la fondation de Bangui à 1960, la plupart des cours d'eau étaient encore exempts d'interventions humaines. Faisaient l'exception certains tronçons tels que celui de la Bouagba, rejointe par la Ngoubagara ; elle traverse le quartier de La Kouanga fraîchement urbanisé, et a subi des corrections et un reprofilage. Ceci montre que les lits majeurs étaient très faiblement touchés car il n'y avait pas de pression démographique et foncière, et de plus ces milieux étaient encore considérés comme insalubres, répulsifs, en raison de la présence constante de l'eau. Par exemple, le lit majeur de la partie amont de la Ngoubagara, dont celui de la Ngou-Nguélé, s'étendait localement entre 100 et 200 m, et la vallée de la Kokoro était large de 50 à 100 m, d'après les levés photographiques de 1960 et de 1973 (Figures 82).

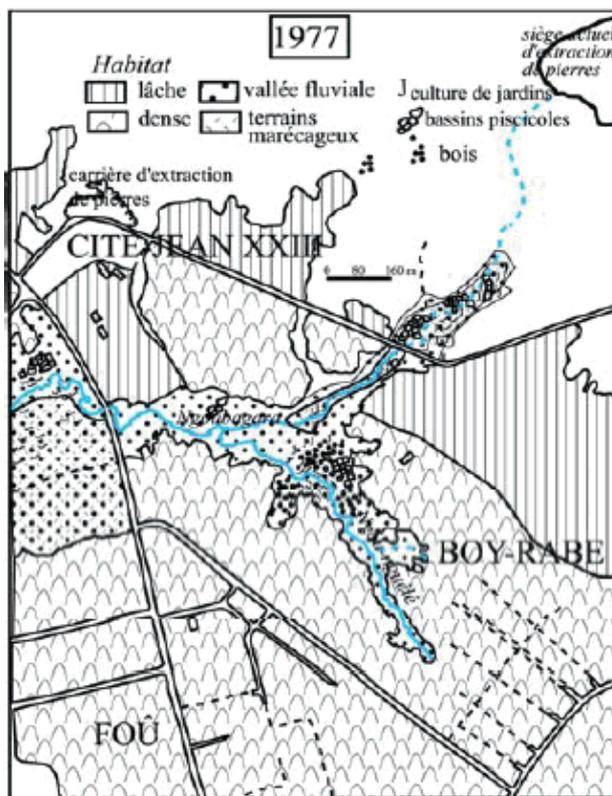
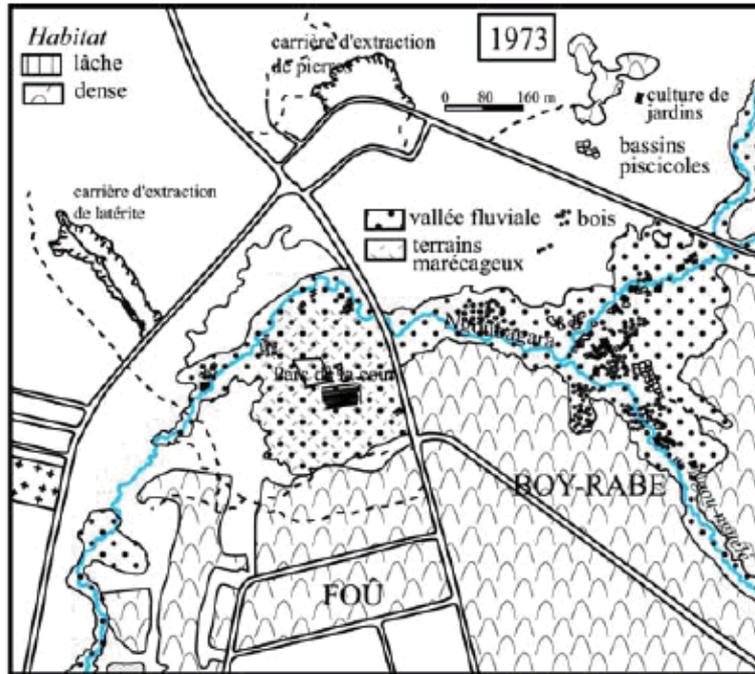
Dans la vallée de la Ngoubagara, sur le site où est actuellement construit l'hôpital de l'Amitié, on élevait du bétail et des porcins (cf. Parc de la Cour). Au moment où la politique de nationalisation des terres a été lancée en 1971^{Note42}, ce parc a été détruit par la population. Jusqu'en 1980, voire au début des années 90, certains de ces lits majeurs (des témoins) subsistaient, notamment là où les inondations sont très fréquentes (le tronçon pont de Miskine-pont Sica III sur la Ngoubagara, tronçon qui commence après le coude jusqu'au pont Sayez-voir sur la Ngongonon).

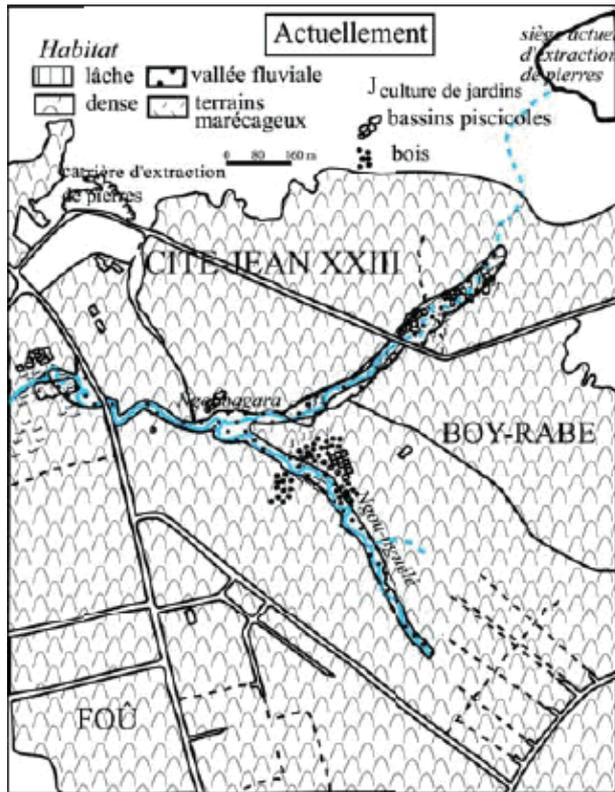
Nous les observons aussi là où la présence des marais est persistante malgré la pression urbaine : vallées de la Nguitto en amont (dépression sur la route de Ndress) et en aval (confluent Oubangui) ; vallées de la Ngoubagara (de la source à l'aval du pont de l'Amitié),... Actuellement, il n'existe pas de *lit majeur* en bordure des cours d'eau urbains à cause de la très forte emprise humaine dans l'espace urbain. Cette situation pousse les nouveaux venus de toutes catégories sociales à occuper des terrains dans des secteurs à risque.

3.2. L'anthropisation des lits majeurs

Les indices ou preuves de l'anthropisation des lits majeurs à Bangui ont été obtenus grâce à la photographie aérienne. En effet, les lits majeurs de la future zone urbaine de Bangui ont commencé à être sérieusement affectés dans les années 1950, lorsque la population a augmenté rapidement du fait de l'exode rural.

Figure 82 Evolution diachronique de la Ngoubara sous le poids de l'anthropisation





Ainsi, cette unité morphologique fluviale reçoit des briqueteries, des cultures maraîchères, des bassins piscicoles lorsque l'hydromorphie et l'affleurement ou le subaffleurement de la nappe phréatique superficielle le permettent, et aussi des équipements (routes, ouvrages d'art...). Ces activités persistent encore aujourd'hui malgré le confinement ou la réduction des lits majeurs, notamment sur des lambeaux qui se retrouvent encore dans les vallées de la Ngoubagara, de la Ngongonon, de la Nguitto ou de la Kokoro. A propos de la Nguitto, son lit majeur est encore faiblement humanisé, notamment entre la route des Ndris et le quartier Kassai I. Quant à la Kokoro, les travaux de curage de son chenal entrepris en 1994-1995 ont abouti à la construction d'une voie riveraine, mais le nouveau chenal n'est pas revêtu. Ceci n'a fonctionné que quelques années, en désenclavant les quartiers environnants (la route). Malheureusement, les précipitations exceptionnelles de 1999, qui ont gonflé le niveau de la nappe phréatique superficielle, ont rendu à nouveau fonctionnel le *flat marécageux* et de ce fait, la route construite en plein marais n'a plus existé. Néanmoins, la reconstruction de cette voie est en cours depuis deux ans.

L'anthropisation s'amorce certes par les processus précités, mais elle prend un autre visage quand les habitations s'installent. En résultent des actions telles que la construction des drains autour des parcelles, des levées de terre ou parfois des clôtures. Des murailles bétonnées scellent l'anthropisation des vallées fluviales, et protègent contre les crues épisodiques provenant des eaux de ruissellement (Planche VIII, Photo A). Les habitations localisées dans le lit d'inondation freinent l'écoulement et bloquent la dissipation de l'énergie des crues urbaines, que la capacité des chenaux ne suffit pas à écouler sans contrainte. Alors que les dimensions de ces lits semblent correspondre à un fonctionnement de type « naturel », couvert, dans le cas de Bangui, la nudité et la compaction du sol accroissent le ruissellement. L'habitat constitue donc l'élément clé à l'origine de la colonisation systématique des lits majeurs ; il s'installe même aux abords des chenaux, ce qui leur supprime leurs marges de liberté. En cela, les cours d'eau s'adaptent à un (autre) comportement qui est dicté par la présence humaine.

4. MORPHOLOGIE DES LITS FLUVIAUX

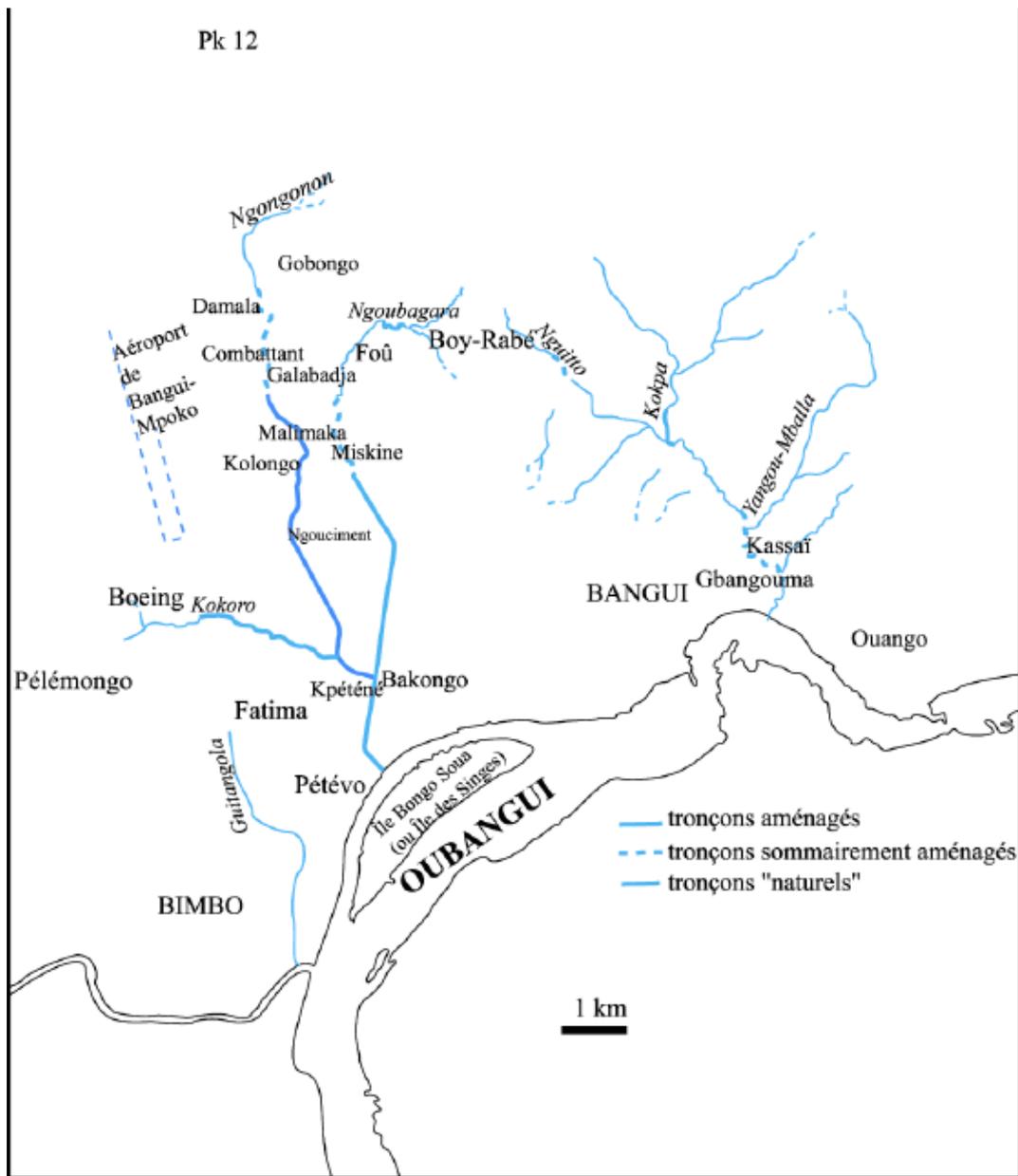
Les lits fluviaux de la ville de Bangui ont une morphologie en plan simple, visible soit sur cartes topographiques, soit sur photographies aériennes, mais si nous prenons en compte la forme et le niveau de l'écoulement dans le talweg et les bancs de convexité, l'exhaussement par la charge de fond, les hauts-fonds cuirassés, la colonisation végétale, ... la morphologie devient complexe. Dans cette analyse des formes de lits, nous ciblons deux objectifs : d'abord, définir une *typologie des lits* selon les caractéristiques des chenaux et des fossés de drainage, puisque certains tronçons sur les cours de la Ngoubagara et de la Ngongonon sont aménagés, et ensuite présenter les *fonds de vallée* qui assurent les transferts de matières.

4.1. Caractéristiques et typologie des lits fluviaux et des fossés de drainage

Les chenaux des cours d'eau urbains ont des caractères variés : ils peuvent être rectilignes, subrectilignes et sinueux, comme en milieu naturel. Ceci est peut-être lié à la nature des terrains dans lesquels ils se sont modelés et à des interventions humaines dans le but de rejeter les eaux pluviales. De ce fait, les sinuosités de ces cours d'eau, qui ne sont pas des méandres classiques, ni des chenaux anastomosés typiques, résultent d'un état d'équilibre ; on pourrait poser l'hypothèse d'un déséquilibre engendré par la déstabilisation des bassins et la modification des flux, auquel cas la morphologie actuelle serait transitoire. Il semblerait possible de parler de *tressage* pour la Ngoubagara dont l'importante charge sédimentaire d'origine anthropique, qui ne transite que pendant les crues pluviales instantanées, se dépose et divise l'écoulement dans le chenal. Cependant, plusieurs formes d'interventions humaines caractérisent les lits de l'amont à l'aval des bassins-versants urbains. Ceci donne à la fois aux chenaux un caractère *naturel* et *artificiel*, ce qui nous permet d'observer pour l'ensemble de ces cours d'eau urbains trois types de lits (Figure 83) :

- des *tronçons « naturels »*, qui dominent encore sur la Ngola à cause peut-être de sa position marginale au nord de la ville et sur la Nguitto qui est aussi marginalisée par la présence des collines de Bangui délimitant son bassin à l'ouest, particulièrement entre le pont sur la route des NDRIS et le quartier Kassai I. Toutefois, ils se font rares sur la Ngoubagara (une partie du cours amont et une autre du cours aval), sur la Ngongonon, même dans le flat marécageux entre le haut et le moyen bassins, et sur la Kokoro. Quant à la Guitangola, le fait qu'elle coule également dans un *flat* marécageux de l'amont à l'aval, donne encore un caractère naturel au lit bien que l'anthropisation y soit de plus en plus poussée ;
- des *chenaux à aménagement sommaire* se remarquent sur des tronçons du lit qui se trouvent en pleine ville et dont les habitations dominant parfois les rives. C'est pourquoi pour parer aux crues urbaines sur leurs cours, les riverains n'hésitent pas à y construire des *digues* ou des *épis* pour lutter contre les inondations : même avec du béton le long des chenaux, certaines crues arrivent à saper les berges. Quelquefois, les tronçons sont redimensionnés avec des moyens simples (pelles, pioches...) afin d'acheminer le maximum d'eau. Ces tronçons sont dominants sur la Ngoubagara et la Ngongonon ;

Figures 83 Caractéristiques des chenaux en fonction des aménagements (lits naturels, à aménagement sommaire et aménagés)



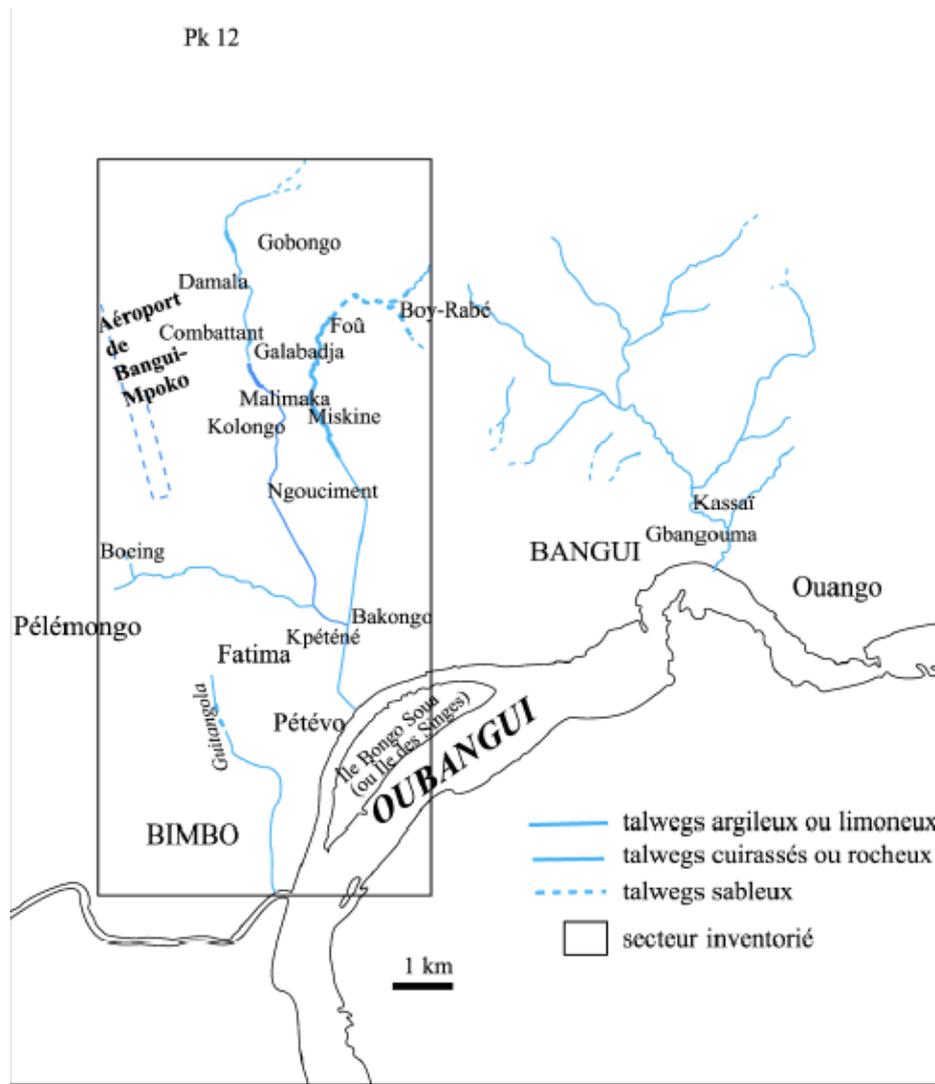
- et des *tronçons aménagés* : ils déterminent entièrement les lits de la Bouagba et de la Sapéké, presque entièrement le cours de la Kokoro mais la pluviométrie exceptionnelle de 1999, qui provoqua des inondations un peu partout en Centrafrique, a réactivé le flat marécageux aménagé quelques années plus tôt. La Ngongonon et la Ngoubagara sont aménagées sur plus de la moitié de leurs cours (Figure 85). Dans ce type de chenal, s'insèrent les fossés de drainage de tous ordres creusés aussi bien pour drainer les zones marécageuses que pour transférer les eaux de ruissellement, notamment autour de l'Aéroport de Bangui-Mpoko, dans les ensembles Sica-Saïdou, les quartiers Bakongo, La Kouanga, Boeing...

Ces chenaux ont donc des talwegs qui changent selon les matériaux qui affleurent et occupent le chenal.

4.2. La nature des talwegs

Trois types de fonds sont distingués pour les principaux cours d'eau ou collecteurs de la ville de Bangui : des talwegs rocheux ou cuirassés, des talwegs sableux et des talwegs argileux ou limoneux (Figure 84).

Figure 84 La nature géologique des talwegs : rocheux ou cuirassés, sableux et limono-argileux



- Les *talwegs rocheux ou cuirassés* : il existe peu d'affleurements rocheux ou cuirassés dans les chenaux fluviaux. Un affleurement de quartzite, mais de moindre importance, se signale dans la Ngoubagara en aval de la confluence avec la Ngou-Nguélé ; c'est plutôt les cuirasses qui dominent. Ainsi, nous observons les talwegs cuirassés sur la Ngoubagara, de l'aval du pont de l'Amitié à l'aval du pont de Miskine, alternant avec des talwegs sableux ; sur la Ngongonon, un petit tronçon en aval du coude nord-sud est concerné, puis le tronçon aval du pont de Combattant sur près de 1 km. En effet, la présence des cuirasses sur le fond du chenal est due soit au passage du lit dans des terrains latéritisés ou gravillonnaires, soit à l'incision qui les révèle.
- Les *talwegs sableux* caractérisent essentiellement la Ngoubagara, du fait du volume de sédiments charrié. La Guitangola présente un talweg sableux mais sur une faible étendue ; l'origine des apports est aussi bien du côté du plateau latéritisé de Fatima en rive gauche que dans les affleurements de sable blanc quartzeux du versant de rive droite ; celui-ci résulte de la décomposition des Grès de Bimbo dans le prolongement de la route des 92 Logements. La Ngongonon est aussi moins sableuse du fait de l'absence du potentiel de fourniture.
- Les *talwegs argileux ou limoneux* sont dominants en raison de l'importance de la zone marécageuse, laquelle est drainée par les rivières. La Kokoro et la Guitangola ont des fonds de vallée essentiellement argileux et vaseux, alors que la Ngongonon présente un talweg à la fois vaseux, argileux et limoneux sur les trois-quarts de son cours. La Ngoubagara n'a un talweg argileux que sur

un tronçon amont et sur un autre en aval, depuis l'amont du pont de Sica III jusqu'au confluent de l'Oubangui.

Cependant, cette morphologie fluviale, dans les fonctions de transfert de matières solides et liquides qui sont imparties aux rivières, enregistre d'autres dynamiques liées à la fois au volume d'eau et de sédiment ainsi qu'à la colonisation végétale du talweg.

5. MORPHODYNAMIQUE ACTUELLE DES LITS FLUVIAUX

La dynamique actuelle des lits fluviaux urbains s'opère dans un contexte *hydrogéomorphologique artificiel*, lequel met en relief un ruissellement généralisé d'origine pluviale dans tous les bassins-versants, l'absence de végétation exposant en effet les sols nus à l'érosion hydrique. Ainsi, les interventions humaines tels que le drainage, le défrichement et l'urbanisation peuvent accentuer l'écoulement de l'eau dans les bassins-versants, en raccourcissant le réseau ou en modifiant le taux d'infiltration (WILBY et GIBERT, 1993).

Ceci induit que des volumes importants d'eau et de sédiment s'écoulent aujourd'hui davantage dans les lits fluviaux de Bangui qu'en conditions « naturelles », et qu'à l'inverse, la charge sédimentaire en transit, provenant des carrières d'extraction de pierres, de l'érosion du piémont et des témoins de plateau, tend à colmater les talwegs (fragments de quartzites, gravier et sable ferrugineux grossier à fin, fines), créant une autre dynamique qui se manifeste par un manque d'eau dans les chenaux. Dans cette ambiance, la colonisation végétale des talwegs, qui influence le transfert de sédiments et l'écoulement, rend complexe le fonctionnement du lit, d'où l'intérêt de comprendre et d'analyser les processus. Car un éventuel assainissement par les eaux pluviales devrait en tenir compte.

5.1. Les processus bio-morphodynamiques

Ces processus prennent en compte les formes d'érosion (latérale et linéaire) et de dépôt qui se produisent dans les chenaux en relation avec la *ripisylve*. La tenue des fonds est un élément important par rapport aux problèmes d'eau à Bangui. En effet, l'exhaussement des talwegs qui s'auto-entretient par végétalisation et par piégeage, joue sur les flux liquides à chaque averse. Ceci crée des difficultés pour évacuer les eaux pluviales.

5.1.1. L'érosion latérale

L'érosion latérale procède par arrachement ou foirage des matériaux dans les berges de chenaux fluviaux. Ce mode d'érosion du lit est plus courant dans le cas des lits à méandres que dans celui des lits rectilignes et il fournit des sédiments aux cours d'eau [Note43](#). L'érosion latérale concourt à modifier le profil en travers des rivières, notamment en affectant la largeur des chenaux, et ceci en fonction de la composition granulométrique des berges qui commande leur cohésivité et leur résistance aux forces de cisaillement (BRAVARD et PETIT, 1997). Cependant, pour que les lits s'ajustent latéralement, il faudrait que se produisent des débits à *pleins bords* selon des récurrences précises. Or dans le cas des cours d'eau de Bangui, les berges paraissent stables (Planche VII, Photo D), particulièrement sur les tronçons « naturels », alors que dans les tronçons aménagés où le rapport largeur-profondeur est fort, l'érosion latérale est notable et conditionnée soit par des dépôts de sédiments végétalisés ou des déchets ménagers accumulés dans les chenaux qui bloquent l'écoulement contre les berges, soit par les crues « pluviales » qui butent sur ces dépôts ; ceux-ci créent un effet de rugosité ou de bouchon alluvial, ce qui affecte les berges en causant l'érosion latérale du fait de la déviation de la trajectoire de l'écoulement. Ces crues sont en outre épisodiques et pas absolument de pleins bords à chaque fois, ce qui fait que leur impact sur la largeur des lits dépend de leur importance, alors que sur le profil en long la dynamique érosive ne pourrait être la même.

5.1.2. L'érosion linéaire

L'érosion linéaire est le phénomène de creusement des cours d'eau, ou des lignes d'écoulement lorsqu'ils sont en plan. Ce type d'érosion influence l'ajustabilité des profils longitudinaux car, si le profil est régulier, la réalité de l'incision est mise en évidence ; quand il présente des marches en escalier nous en déduisons que le cours d'eau ne creuse pas son lit en roche dure. L'incision peut affecter durablement la morphologie des lits à l'échelle des tronçons, induisant par exemple une érosion latérale qui régularise à nouveau les profils en travers et en long, voire à l'échelle du réseau hydrographique lorsque les chenaux secondaires en sont affectés. Cependant, par des apports sédimentaires importants dans le cours d'eau, l'érosion linéaire est minimisée. Cette dernière caractéristique semble caractériser les rivières urbaines (à Bangui), étant donné l'érosion active des sols nus latéritisés ou gravillonnaires et argileux ; les différents travaux (terrassements, briqueteries...) fournissent des sédiments en quantité qui se déposent dans les talwegs à cause peut-être de la *ripisylve*, mais aussi de la faiblesse de la pente dans la plaine (Figures 79). En observant la profondeur de ces cours d'eau comparativement relativement au contexte marécageux dans lequel la plupart des chenaux ont évolué par rapport à l'actuel anthropisé, il est pourtant tentant de reconnaître le fait d'incision au détriment du processus de remblaiement, lui-même d'actualité. Ceci nous paraît probable car les lits fluviaux sur les tronçons « naturels » ont l'air encaissés actuellement dans les flats marécageux ; l'explication proviendrait du volume des eaux de ruissellement transféré à chaque pluie, et des sédiments charriés. Ainsi, nous pensons que l'incision est à chaque fois masquée par des dépôts après chaque crue. Car pour qu'il y ait incision, il faut un déséquilibre tel que $Q_1 > Q_s$, ce qui entraîne une énergie plus forte relativement à l'accroissement de la charge de fond. Ces deux variables peuvent ajuster les chenaux dans la limite du possible et de la puissance des débits, bien qu'à chaque fois les eaux débordent les lits. Dans ce contexte, la charge solide de fond apparaît comme une variable décisive, lorsqu'elle est piégée ou ne l'est pas.

5.1.3. Les dépôts de matériaux en transit ou piégés

La sédimentation met un terme provisoire au transit ou à la mobilisation des matériaux, mais dans le détail ce processus n'est pas si simple : des sédiments en transit peuvent être repris autant de fois avant de se déposer en aval, ce qui suggère un *processus-relais* dans la mise en mouvement des matériaux. Ainsi, le transport de la charge de fond se fait par progression du matériau sur le fond du lit, soit par roulage des particules individuelles, soit par charriage (progression en paquet de l'ensemble du matériau sur le talweg), lorsque les conditions hydrauliques le permettent. Ces sédiments peuvent aussi être piégés dans des dépressions en marge de l'axe de l'écoulement ou par des embâcles, et la végétation du talweg en attendant que des crues plus importantes les acheminent vers l'aval, d'un point à un autre. Ces processus sont notables sur la Ngongonon dans les tronçons aménagés, et sur la Ngoubagara de l'amont en aval ; la végétation des chenaux semble les complexifier.

5.1.4. La colonisation végétale des talwegs

Avant que le site de Bangui ne soit humanisé, les vallées de ces petits cours d'eau comportaient un *cordon végétal*, allant des forêts-galeries aux différents types d'herbacées en fonction des tronçons fluviaux et de la morphologie des terrains. De cette façon, la végétation de la majorité des chenaux qui parcourent la plaine marécageuse du site est dominée par des herbacées, supplantées par quelques arbustes, arbres, palmiers à huile ou rôniers (Planche IX, Photo C) : la vallée de la Ngoubagara est essentiellement colonisée par les roseaux de l'amont à l'aval ; ceux-ci se rencontrent aujourd'hui dans le lit fluvial. Cependant, cette *végétation* est sujette à une autre évolution qui influence aussi les flux d'eau et de sédiments, lesquels influencent eux-mêmes la végétation. En effet, la colonisation des talwegs à Bangui a de multiples impacts sur la morphologie des lits fluviaux, à l'échelle des tronçons, qui varient dans l'espace et dans le temps selon les apports sédimentaires et selon les conditions hydrauliques. De ce fait, le lit de la Ngoubagara, qui véhicule une importante charge de fond grossière, présente à chaque saison sèche une dynamique particulière liée à la végétalisation poussée du chenal et à son arrachement à la reprise des pluies. A cette période où l'écoulement est très faible, voire diffus et sous-jacent, les sables et graviers qui tapissent le talweg voient se développer un cycle de végétalisation qui

rend compte de l'inactivité du cours d'eau (Planche VII, Photo C). Ce colmatage fait que le sable est imbibé de l'eau souterraine qu'utilise la *strate herbacée* à ce moment de l'année. Lorsque la pluie tombe, les eaux de ruissellement, qui grossissent en général les débits de la Ngoubagara, nettoient le talweg en charriant d'autres apports sédimentaires issus des versants et anéantissant de ce fait cette strate végétale (Planche VII, Photo F). Ce phénomène ne peut se produire lorsque les herbacées sont plus grandes et plus résistantes aux flux d'eau et de sédiments. Pour cela, les effets de la colonisation végétale des chenaux fluviaux urbains seront analysés en fonction du flux d'eau, du transit sédimentaire, et des formes d'érosion qui en résultent.

5.1.4.1. Ses effets sur l'écoulement ou le transfert d'eau

La Ngoubagara et la Ngongonon sont des cours d'eau qui sont presque à sec, même en saison pluvieuse, ce qui fait que l'eau n'occupe pas toute l'étendue ou la largeur des chenaux ; en résulte la colonisation importante du lit mineur par la végétation. De cette façon lors des crues « pluviales », la *ripisylve* gêne le transfert des eaux en créant une rugosité de fond qui se traduit par une forte turbulence ; en revanche, lorsque le cours d'eau reprend son régime normal, ces végétaux influencent sa circulation en le canalisant latéralement ou en plein chenal. Au-delà des caractéristiques définies, la végétation du talweg freine la vitesse de l'écoulement, faisant effet de barrière, et de ce fait joue sur la compétence des cours d'eau. Ceci peut en conséquence hypothéquer la mobilisation de la charge de fond par charriage notamment, ce qui ne permettrait pas l'ajustement du lit et de son profil.

5.1.4.2. Ses effets sur le transit sédimentaire

La rugosité des berges et du fond entraîne des pertes de charge par frottement et celles-ci sont d'autant plus importantes que la rugosité est grande. Cette dernière dépend principalement de la nature des matériaux qui composent le lit et de la *végétation* qui peut plus ou moins l'encombrer (BRAVARD et PETIT, 1997). Ainsi, la colonisation végétale des chenaux de cours d'eau de certaines tailles forme d'excellents pièges à sédiment dont l'importance est en étroite relation avec le type et la taille des végétaux, et aussi avec l'importance relative des débits pour laquelle des formes de piégeage sont observées. De ce fait, nous individualisons trois types de dépôts piégés selon la végétalisation du chenal : le *premier* se situe en amont dans le sens de l'écoulement, le *second* colmate les vides et tend à exhausser les bancs colonisés, et enfin, le *troisième* se positionne en aval, toujours dans le sens de l'écoulement (Figure 85).

Figure 85 Profils longitudinaux et transversaux des dépôts en relation avec la présence de la végétation

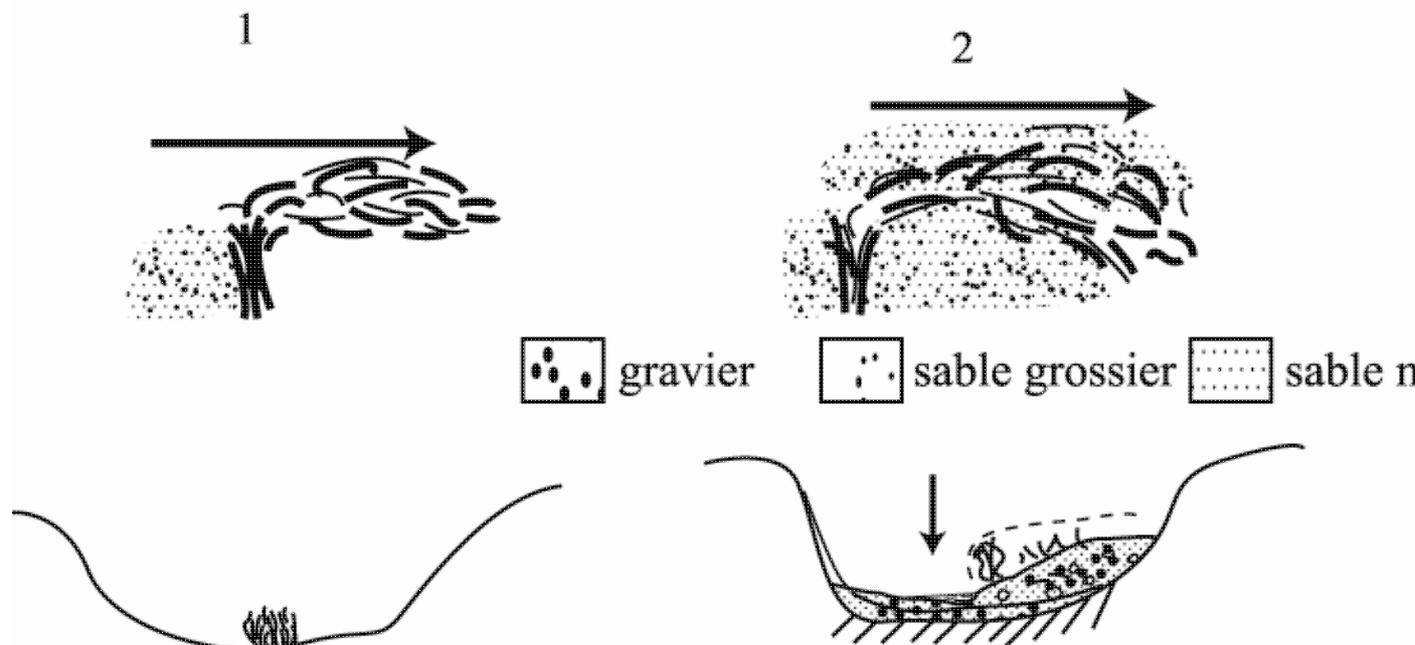


Figure 85 : Profils longitudinaux et transversaux des dépôts en relation

Cette dynamique *bio-sédimentaire* ne fonctionne pas sur la base d'une constance des événements, étant donné que les conditions hydrauliques et de transit sédimentaire varient dans le temps et dans l'espace. La sédimentation aux environs d'un banc végétalisé dépend de la hauteur d'eau et de la charge disponible : les sédiments ne se déplacent que lorsque les débits sont forts, et se déposent quand les débits s'abaissent ; il en est de même pour le piégeage végétal : pour de forts débits, les végétaux sont couchés (ce qui réduit leur taille) du fait de l'importance du courant, et leur convexité crée une micro-dépression juste en aval par le ralentissement du courant qui favorise des dépôts (la micro-dépression doit être créée par des courants secondaires : effet de turbulence). Ce phénomène fonctionne aussi bien dans la Ngoubagara que dans la Ngongonon, que seules distinguent les caractéristiques granulométriques de leur charge de fond : sédiments grossiers pour le premier cours d'eau, et sédiments fins pour le second. Lorsque le chenal est large sur un tronçon donné, d'autres formes d'érosion et de dépôt se révèlent sous l'effet de la végétation.

5.1.4.3. Une cause d'emboîtement et d'étagement de niveaux de sédimentation dans les talwegs

La végétation dans le talweg peut donner lieu à des dynamiques complexes de la charge sédimentaire en fonction des débits qui apportent et emportent les sédiments à l'échelle du tronçon. Entre les phases de dépôt et de reprise d'érosion, le bas niveau d'écoulement facilite la recolonisation végétale du chenal jusqu'au moment où une crue vient modifier la morphologie du talweg. En effet, nous avons observé une telle morphodynamique du fond de vallée dans le lit de la Ngoubagara grâce au développement de la végétation, qui stabilise épisodiquement les formes de dépôt en transit. Ces organismes nous permettent d'observer le litage des sédiments, qui est révélé d'abord par *l'érosion*, qui laisse apparaître les traces de matières organiques enfouies dans la succession des dépôts, ensuite par la *forme des dépôts dans le chenal*, qui est voisine de celle des terrasses fluviales classiques (Figure 86). Ainsi, cette morphologie complexe engendrée par la végétation dans le lit de la Ngoubagara se compose de micro-emboîtements de dépôts et d'un étagement des niveaux de sédimentation et d'érosion. Elle caractérise le façonnement des vallées fluviales, qui traduit une incision du lit dans du sable et gravier en provenance des collines sur le haut-bassin de la rivière Ngoubagara, du piémont et des témoins de plateaux latéritisés et cuirassés.

Figure 86 Micro-formes de sédimentation dues à la végétation et aux variations des flux

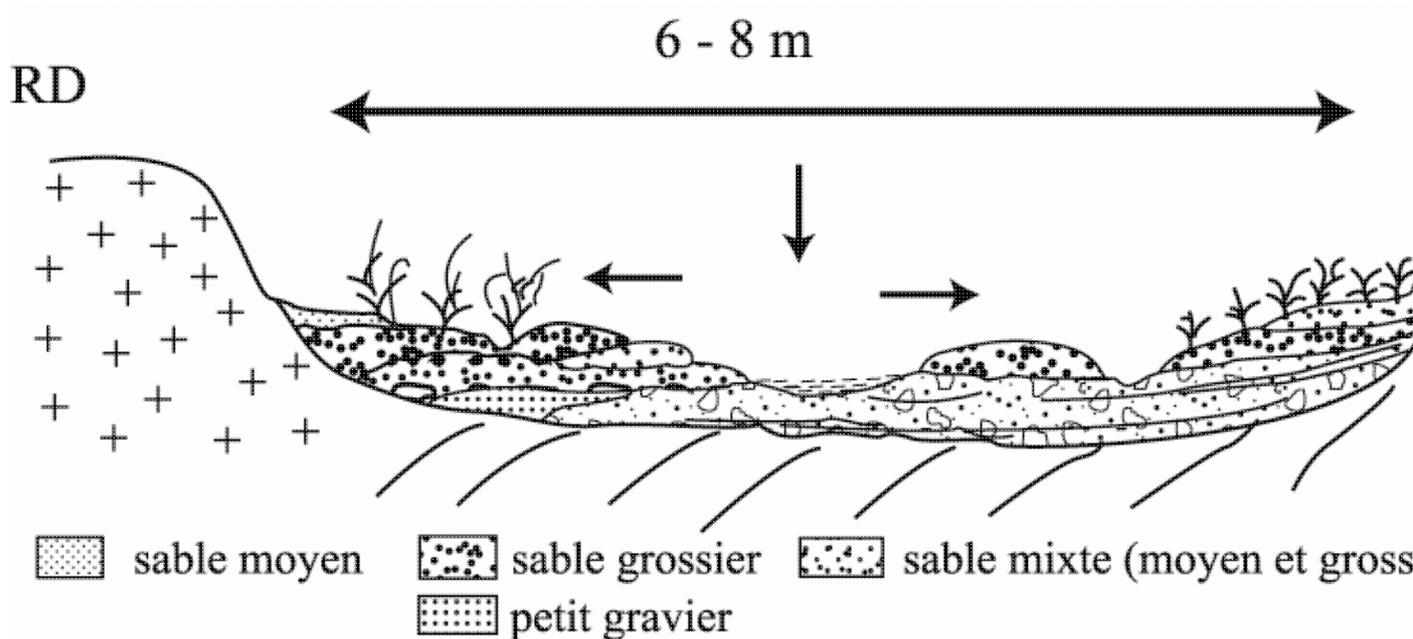


Figure 86 : Micro-formes de sédimentation dues à la végétation et aux variations des flux

5.1.4.4. Une cause à l'incision

Le couvert végétal est connu pour son rôle stabilisateur des versants dans la lutte anti-érosive. Dans les bassins fluviaux, lorsque la végétation se substitue aux sols découverts, les risques d'érosion sont minimisés et en conséquence, les cours d'eau ne trouvent pas de sédiments à charrier, et peuvent reprendre en charge les matériaux anciennement déposés : cette évolution conduit à l'incision du lit (Figures 81 : profils H', I', J', K' et L'). Dans les bassins urbains de Bangui, les sols sont dénudés du fait de la forte occupation du sol liée à la présence de la ville et fournissent davantage de matériaux aux cours d'eau par érosion : c'est vrai pour des cours d'eau comme la Ngoubagara ou la Ngongonon par exemple. En revanche, la végétation se développe et se maintient dans les lits fluviaux toute l'année. Ce qui fait que sur certains tronçons, la charge solide déposée dans le chenal est colonisée par la végétation ; elle contraint de cette façon les écoulements de crue momentanés à ne passer que dans les mouilles, qui sont en général moins étendues que les autres formes du talweg. Ainsi, le lit s'incise dans ces dépôts en transit selon le cheminement de l'eau mais cette incision est d'une faible profondeur de sorte que la morphologie de la section du lit ne peut en être affectée. Sur un tronçon de lit cuirassé de la Ngoubagara en aval du pont du 8^e Arrondissement, l'érosion de la cuirasse a donné d'abord un gouffre ou un souterrain, puis une sorte d'arche naturelle que les piétons utilisent comme « pont » pour la traversée de la rivière. Ce n'est que lors du redimensionnement sommaire jusqu'en 1993-1994 que cette forme a été détruite. Cette incision du lit en relation avec la végétation peut donner lieu à une forme d'anastomose fluviale.

5.1.4.5. Une cause d'anastomose du chenal

Un autre effet de la colonisation végétale des talwegs urbains observés est la division du lit en chenaux anastomosés. Cette forme caractérise certains tronçons « naturels » de la Ngongonon et de la Ngoubagara. A l'origine du processus un dépôt en plein chenal, étant donné qu'à certaines crues et décrues l'eau est balancée dans le lit d'une berge à l'autre, la végétation s'installe et se développe. Elle prend forme et évolue grâce aux crues de faible importance qui ne peuvent la déstabiliser ou l'emporter, et grâce au piégeage des sédiments relativement fins qui permet d'exhausser le banc et aussi bien de retenir de l'eau pour faire pousser la végétation que pour favoriser d'autres dépôts progressifs. Ceux-ci tendent à augmenter l'étendue du *banc*

végétalisé au détriment du chenal en favorisant les dépôts de proximité par rapport à son axe (Figure 87).

Figure 87 Sédimentation piégée par la végétation à l'origine de la division du chenal

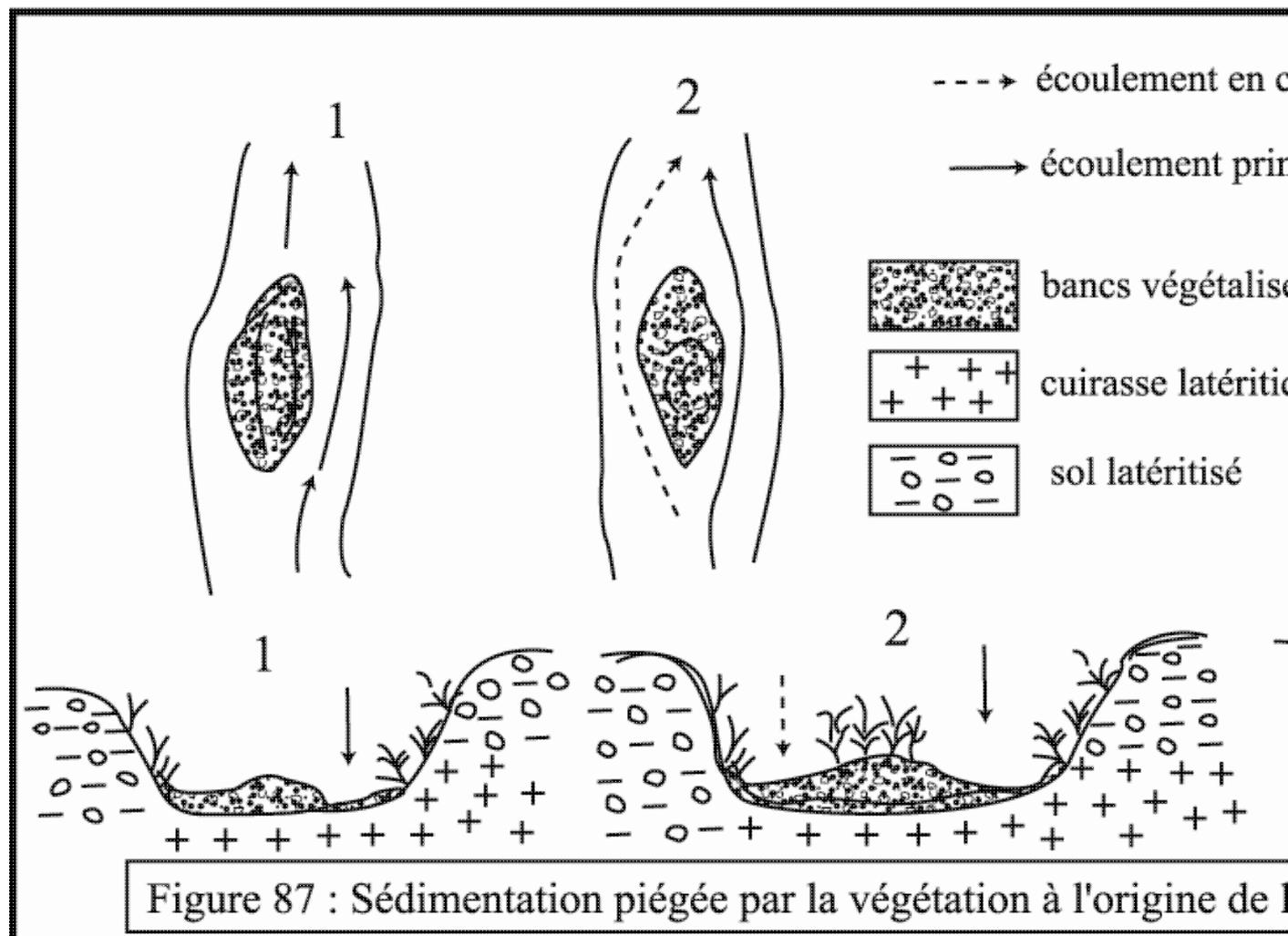


Figure 87 : Sédimentation piégée par la végétation à l'origine de la division du chenal

Ainsi, nous constatons que cette forme s'entretient par l'écoulement normal des cours d'eau. Elle ne peut être affectée que pendant les crues urbaines qui dérivent du ruissellement pluvial. Or si ces formes sont imposantes et fonctionnent en crue, cette division du chenal devrait favoriser l'érosion latérale qui accroîtrait la largeur des chenaux et rendrait sinueux le dessin en plan puisque ce processus est souvent relevé dans les tronçons subrectilignes des rivières. Pourtant, elles n'influencent pas la morphologie de ces lits rectilignes en raison de la capacité limitée des flux liquides et solides.

Ces quelques exemples d'impacts des processus *biomorphodynamiques* dans les lits fluviaux urbains mettent en jeu le couple *sédimentation-végétation* avec les flux hydriques. Ces processus induisent un assainissement actif des chenaux et suggèrent en conséquence la question de l'assainissement par les eaux pluviales. Ils mettent en relief la façon dont ces processus peuvent entraver dans les talwegs l'évacuation des eaux pluviales issues du ruissellement urbain ; or un fond de chenal lisse (délivré des facteurs de rugosité), évacue aisément et instantanément les eaux de ruissellement. Ainsi, le rôle de la végétation nous paraît capital dans cette série de microformes fluviales, bien que les apports sédimentaires ne soient pas négligeables.

5.2. La charge de fond : granulométrie et sources

Nous avons réalisé une étude de la charge de fond, ou charge *grossière*, de la Ngongonon et la Ngoubagara dans le cadre de la compréhension globale de l'évolution actuelle de ces cours d'eau, afin de caractériser les sédiments et leur provenance. En effet, ils posent problème à l'assainissement des talwegs lors du déplacement des eaux pluviales à l'échelle urbaine. Ceci nous semble utile dans le cadre global de la gestion de l'eau à Bangui.

5.2.1. Caractéristiques granulométriques comparées de la charge de fond

Un échantillonnage de sédiments dans les lits de la Ngongonon et de la Ngoubagara a servi de support à la détermination de la dynamique sédimentaire actuelle, par des analyses granulométriques. Nous avons défini au hasard les points de prélèvement du fait que ces cours d'eau sont anthropisés ; certains correspondent aux profils transversaux réalisés. Au total 14 échantillons ont été prélevés dans les deux cours d'eau, dont 9 pour la Ngoubagara et 5 autres pour la Ngongonon (Figure 88 a). Nous expliquons ce déséquilibre dans le nombre d'échantillons par l'abondance de sédiments dans le chenal de la Ngoubagara et par leur rareté dans le cas de la Ngongonon.

Figure 88a) Points d'échantillonnage de sable pour l'analyse granulométrique dans les lits de la Ngoubagara et de la Ngongonon



Figure 88 a : Points d'échantillonnage de sable pour l'analyse granulométrique, dans les lits de la Ngoubagara et de la Ngongonon

Le traitement est fait selon deux protocoles :

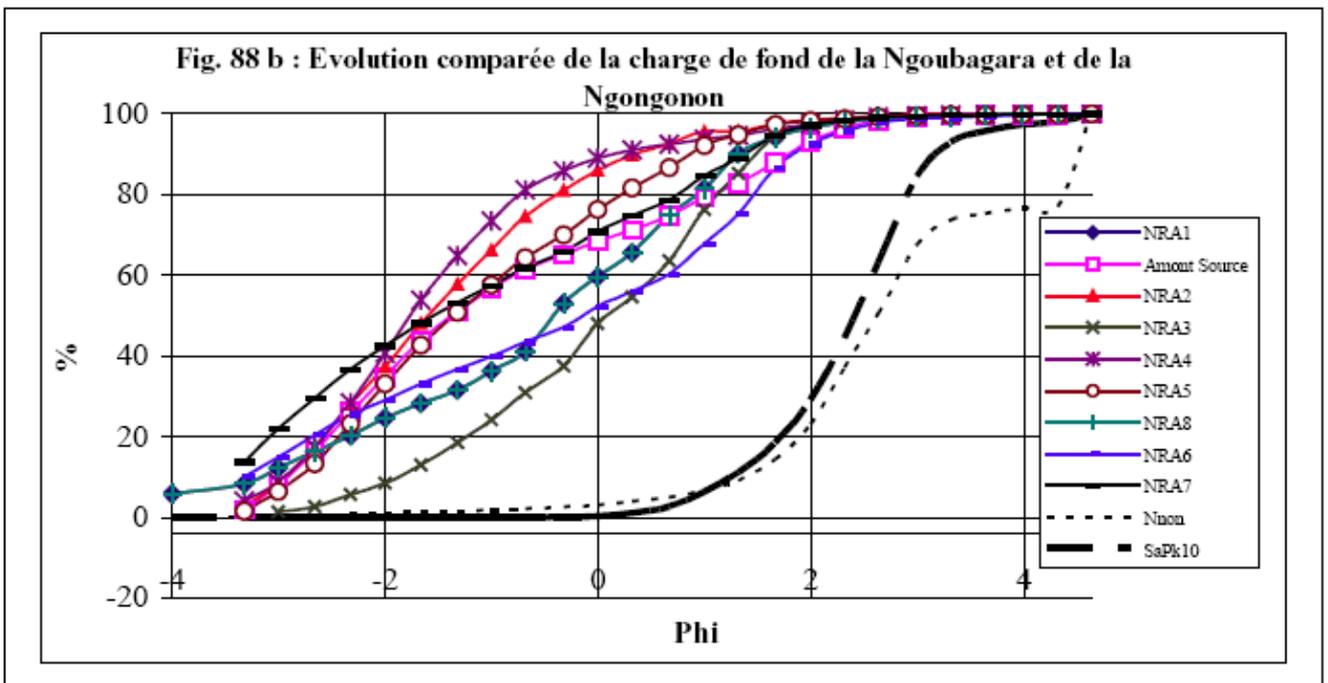
- le premier a consisté à prendre des échantillons de sédiment, la quantité variant de 521,24 g (NRA 6) à 617,09 g (NRA 7), à les laver pour évacuer les fines ($< 50 \mu$), puis à les sécher à l'étuve dans un bécher à 105°C , préalablement à la séparation des différentes fractions sableuses ;

- l'autre technique consiste à peser le sédiment avant de faire un tamisage humide à 50 μ . Les fractions < 50 μ sont récupérées avec l'eau et mises dans un cristalliseur à décanter, puis à l'étuve à 105° durant 24 heures pour séchage. De même les fractions > 50 μ sont séchées à l'étuve. L'intérêt de cette seconde méthode est de comptabiliser les fractions fines dans la granulométrie de l'échantillon analysé, alors qu'elles ne sont pas prises en compte dans la première démarche.

L'ensemble des échantillons est fractionné sur une colonne complète de tamis (12,5 mm-0,04 mm) de la Série AFNOR. Chaque fraction retenue est pesée pour voir la proportion de chaque maille dans le poids total de l'échantillon. Les données obtenues pour un échantillon servent à dresser des *courbes semi-logarithmiques* (Figure 88 b), lesquelles nous aident à apprécier le calibre des sédiments charriés par l'un ou l'autre cours d'eau urbain. Les résultats montrent globalement que la charge de fond est grossière dans la Ngoubagara de l'amont à l'aval, et fine dans la Ngongonon. La prépondérance des sédiments grossiers (fragments de quartzites, nodules ferrugineux) est révélée par l'allure des courbes qui dessinent des hyperboles, et les fins par des paraboles.

L'analyse des courbes semi-logarithmiques des sables de la Ngoubagara nous indique deux types de classement des grains (échantillons NRA) : le premier se rapporte aux *courbes hyperboliques* (NRA2, 4, 5 et Amont Source) qui caractérisent les dépôts d'éléments de grandes tailles, lesquels peuvent être dus à une baisse de la compétence de l'écoulement ou à un obstacle ; le second type (NRA1, 3, 6 et 7) suggère plutôt une absence de classement dans les grains, pouvant s'expliquer par des apports latéraux.

Figure 88b) Evolution comparée de la charge de fond de la Ngoubagara et de la Ngongonon



Quant aux courbes de la Ngongonon, SaPk10 est une *courbe parabolique* classique qui décrit des dépôts d'éléments fins, liés au phénomène de décanter ou à écoulement lent, et NNON est par contre affectée par l'absence de sédiments de 0,05 mm à 0,04 mm dans l'échantillon qui est majoritairement représenté par des fractions comprises entre 0,5 mm et 0,063 ; ceci nous fait obtenir une courbe déformée vers le haut. Toutefois, ce fractionnement des sédiments n'a pas tenu compte des spécificités minérales.

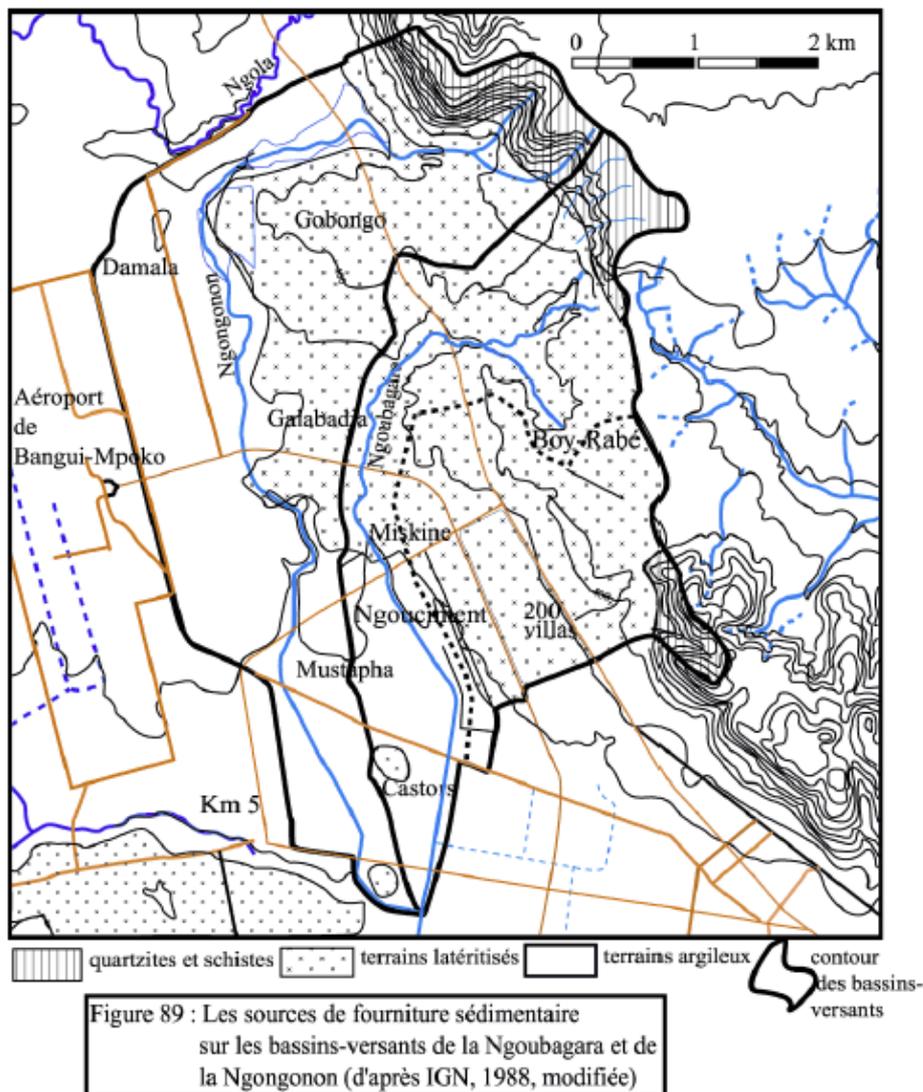
5.2.2. Les types de minéraux charriés

La granulométrie de la charge de fond des ces cours d'eau a rendu possible quelques observations visuelles rapides de la forme et de la nature des minéraux charriés. Il en résulte que les nodules, sables et limons ferrugineux prédominent, suivis des fragments et de quelques galets de quartzites, dans la Ngoubagara ; des limons et argiles beiges, ainsi que des limons et sables ferrugineux se retrouvent dans le chenal de la Ngongonon. Parallèlement à ces minéraux, les eaux de ruissellement dans l'espace urbain remanient des sables et graviers extraits du lit de l'Oubangui pour des travaux de construction chez des particuliers ou pour les travaux publics, lorsqu'ils se trouvent connectés aux lignes d'écoulement. Ils rejoignent de ce fait les principaux collecteurs urbains que sont la Ngongonon et la Ngoubagara, et participent à la charge de fond. Cette dynamique peut s'étendre à la latérite, qu'on entrepose pour la réfection de certaines voies ou pour d'autres usages, qui participent au transit sédimentaire à l'échelle urbaine. Toutefois, la mise en évidence de leurs sources de provenance apparaît intéressante pour caractériser ces deux milieux de transit et de sédimentation.

5.2.3. Les sources sédimentaires

Les sédiments qui transitent dans les lits fluviaux de l'amont à l'aval ont toujours une origine ou un point de départ sur les interfluves et/ou dans les berges. Pour détecter les sources sédimentaires dans ces bassins-versants urbains, les différentes unités géomorphologiques constituent en général des espaces de fourniture potentielle. Le croisement des cartes géologiques, géomorphologiques, pédologiques et topographiques a permis de délimiter les sources de fourniture (Figure 89). Les quartzites, et à un degré moindre les schistes en amont des bassins, le piémont et les témoins de plateau ou des terrains latéritisés sur leur partie moyenne, et les terrains argileux de là jusqu'en aval, ont été identifiés comme les sources qui fournissent à la Ngongonon et à la Ngoubagara des matériaux en transit ou déposés. Par ailleurs, *les processus de mobilisation de ces matériaux sur versant sont artificiels et liés à la forte occupation du sol et aux différentes activités* (IV §2 : p. 146). *La dominance des matériaux ferrugineux, notamment dans la Ngoubagara, se comprend par la connexion d'une bonne partie de son bassin artificiel au piémont et aux terrains latéritisés, alors que la Ngongonon est souvent en marge bien qu'une partie de son lit soit cuirassé ; sa compétence ne suffit pas à creuser dans ce tronçon et à charrier les matériaux qui lui sont apportés par des chenaux secondaires ou par les lignes d'écoulement des eaux de ruissellement. Dans cette dynamique, il est difficile de faire la part entre les apports de sédiments par transit sur versant et les sédiments qui résultent de l'érosion du lit, tant les matériaux argileux et cuirassés ou latéritisés se retrouvent partout à Bangui. De plus, les sables extraits de l'Oubangui, provenant pourtant de loin, y sont intégrés du fait de leur emploi dans les travaux de construction.*

Figure 89 Les sources de fourniture sédimentaire sur les bassins-versants de la Ngoubagara et de la Ngongonon



Nous estimons que la prise en compte des sédiments charriés dans les cours d'eau urbains revêt un grand intérêt pour l'assainissement et donc pour la gestion de l'eau à Bangui. En effet, leur importance à l'échelle urbaine dans le colmatage des drains, parallèlement aux dépôts des ordures ménagères, justifie leur prise en compte en vue de dégager des solutions globales et durables pour la maîtrise des eaux pluviales à Bangui.

5.3. Aperçu sur la capacité de transfert des lits fluviaux (de Bangui)

La capacité de transfert des cours d'eau se fonde sur le rythme des crues et sur la morphologie des chenaux fluviaux. Or WILBY et GIBERT (1993) ont signalé que le contrôle majeur sur la forme de l'hydrogramme de crue est la dynamique des précipitations en relation avec le réseau hydrographique et la morphométrie du bassin. Toutefois, BRAVARD et PETIT (1997) définissent deux types de débits (de crue) qui sont susceptibles de jouer un rôle important en dynamique fluviale et plus particulièrement dans le fonctionnement et l'évolution des lits :

- les *débits à pleins bords*, qui sont des débits de fréquence élevée,
- les *débits exceptionnels*, qui peuvent produire des modifications morphologiques importantes et qui conditionnent la gravité de l'inondation des lits majeurs.

Ainsi, parler de *débits exceptionnels* suppose que l'événement n'est pas régulier, mais qu'il est déterminé par

une *réurrence* ou période de retour. Ceci n'est valable que pour les cours d'eau dont l'hydrologie est bien connue, notamment par les mesures de hauteurs et de débits, pour lesquels l'analyse des valeurs extrêmes constitue une base de prédétermination des crues pouvant être dommageables. Dans cet esprit, il nous paraît utile de définir un débit seuil et l'intervalle de temps qui sépare deux événements consécutifs.

5.3.1. Le rôle géomorphologique du débit à pleins bords

Le débit à pleins bords se présente comme le meilleur moyen d'évaluer les risques de débordement et donc d'inondation dans la plaine alluviale, avec ce que cela implique en terme d'aménagement du territoire. Un double fonctionnement *géomorphologique* et *hydrologique* le caractérise (BRAVARD et PETIT, 1997).

Sur le *plan géomorphologique*, le débit à pleins bords apparaît ensuite comme un débit caractéristique, au-delà duquel des phénomènes sédimentaires pourront se produire dans le lit majeur (édification des levées naturelles, décantation de matériaux fins dans la plaine alluviale). Certains phénomènes d'érosion dans le lit majeur tels que les recouvrements de méandres s'enregistrent en ce moment là. Il est par ailleurs considéré comme proche du débit dominant pour les phénomènes de mise en mouvement de la charge de fond, et pour l'efficacité de l'évacuation du matériau par charriage. C'est le point *optimum* d'efficacité pour les modifications géomorphologiques au sein du lit mineur, qui expliquent les interrelations entre les débits à pleins bords et les paramètres géométriques des rivières.

Sur le *plan hydrologique*, la connaissance de la valeur du débit à pleins bords est nécessaire, car la propagation de l'onde de crue peut être affectée par le débordement de l'eau et son immobilisation dans la plaine alluviale qui fait diminuer les débits. Mais il faudrait aussi connaître sa période de retour qui varie d'un cours d'eau à l'autre, et selon les caractéristiques physiques des bassins. Ce débit à pleins bords nous éclaire donc sur la contenance des chenaux fluviaux urbains, et de ce fait sur la rythmicité des crues et les risques d'inondation pour les riverains. A Bangui, les crues ne sont pas absolument morphogènes, puisque leur rôle morphologique n'est pas perçu dans les chenaux ; ceci serait peut-être dû à la faible énergie d'ensemble du relief dans le site.

5.3.2. La contenance du chenal et la superficie du bassin lors des crues exceptionnelles

Ces deux variables semblent être diversement influencées en milieu naturel, à propos des relations entre le débit à pleins bords et la taille des bassins-versants (BRAVARD et PETIT, 1997) : d'une part, l'opposition des totaux pluviométriques est accusée à l'échelle des bassins-versants : les bassins qui reçoivent de faibles précipitations (600 mm par an) ont des valeurs de débit à pleins bords plus faibles que ceux qui sont mieux arrosés (1300 mm par exemple) ; d'autre part, le rôle du régime hydrologique des rivières sur l'importance des valeurs du débit à pleins bords est mis en évidence : les rivières à régime contrasté ont une plus grande contenance du chenal que les rivières à régime relativement stable. Cette deuxième tendance correspondrait bien au cas des rivières de Bangui, car la forte occupation des bassins-versants urbains aurait significativement réduit l'écoulement d'étiage qui n'a pas un rythme soutenu en période non pluvieuse : l'écoulement est nul quand il ne pleut pas. En admettant que la superficie cumulée des bassins de la Ngongonon et de la Ngoubagara est de 25,36 km² (dont respectivement 13,48 et 11,88 km²), l'*impluvium* que ces bassins représentent fournirait plus de ruissellement que la capacité de leurs chenaux ne suffirait pas à évacuer (cf. largeur et profondeur des lits) en contexte actuel, en raison de l'artificialisation des conditions d'écoulement. En outre, plus de la moitié de ces hydrosystèmes est constituée des terrains argileux compactés par l'emprise urbaine mais aussi localement saturés d'eau, ce qui accroîtrait leur capacité de ruissellement et donc l'inaptitude des chenaux à écouler un gros volume des eaux pluviales.

La fréquence du débit à pleins bords est fonction de la taille du bassin-versant, dans un contexte régional homogène, mais sur un même cours d'eau cette fréquence diminue de l'amont à l'aval (BRAVARD et PETIT, 1997) du fait qu'en général les crues sont plus brutales en amont qu'en aval. Toutefois, cette relation se

complexifierait en milieu urbain à cause de l'imbrication de plusieurs paramètres : intensité et hétérogénéité spatiale des averses, imperméabilisation du sol, raccourcissement du temps de réponse entre précipitation et écoulement, raccourcissement de la durée de l'écoulement... Ainsi, il apparaît plus difficile dans le cas de ces bassins urbains à Bangui de parler de la régularité du débit à pleins bords que de prendre en compte l'intensité des averses qui précise l'importance du ruissellement. En effet, les intensités d'averses expliquent donc la fréquence du débit à pleins bords pour les principaux cours d'eau collecteurs de la ville de Bangui. Ceci traduit une autre dynamique dans ce milieu tropical humide du fait peut-être de l'anthropisation, et permet de voir à quelles conditions le transfert des eaux pluviales se fait aisément.

A travers ce chapitre, *un état des connaissances sur l'aptitude des lits fluviaux urbains est réalisé dans ce processus de compréhension globale des problèmes de ruissellement d'origine pluviale à Bangui. L'analyse des données morphométriques et de la densité de drainage des cours d'eau dans cet espace urbanisé est notre contribution visant à mettre en relief les structures actuelles (naturelles et artificielles) d'évacuation des eaux pluviales dans une perspective d'assainissement de la ville, en l'absence d'un aménagement conséquent qui réduirait le poids du milieu physique.* Ainsi, les modes d'occupation du sol (débris d'érosion, déchets anthropiques...) n'ont fait qu'exacerber les conditions de la circulation de l'eau déjà précaires en conditions naturelles (faible densité de drainage dans la plaine marécageuse), alors que le ruissellement généralisé et anarchique des eaux pluviales sur un sol imperméabilisé a révélé les problèmes que posent avec acuité les eaux superficielles.

La morphodynamique actuelle des rivières, notamment de par la végétalisation et la sédimentation dans les lits fluviaux, nous sert de critères pour définir les facteurs qui limitent la compétence des rivières dont les conséquences se traduisent par des débordements fréquents de chenaux. Pour compenser ce manque de compétence des cours d'eau à Bangui, nous pensons à une solution qui se fonde sur les relations entre la contenance des chenaux fluviaux et l'étendue de leurs bassins-versants. Elle suppose que l'espace urbanisé de la ville de Bangui ne résoudra cette question persistante de l'eau que lorsque le réseau de drainage artificiel se densifiera, et qu'un dispositif de pièges à sédiments sur versants devrait fonctionner, de même que la collecte des ordures ménagères ou la *gestion à la source de celles-ci*, en vue de limiter le colmatage rapide des drains.

CONCLUSION PARTIELLE

L'étude du mouvement superficiel et des linéaires d'écoulement dans l'espace urbain de Bangui est fondée sur l'impact des eaux pluviales dans un contexte géomorphologique fragile, non seulement à cause des formes d'occupation du sol, mais également parce que le milieu y prédispose. En effet, le point focal de ce travail est l'*eaupluviale* qui, en tombant sur un sol nu, tassé et imperméabilisé, engendre le ruissellement et l'érosion. Ce transfert de matières liquides et solides, du versant au lit fluvial, est mesuré aussi bien sur des parcelles expérimentales qu'à l'exutoire des bassins-versants urbains qui acheminent les *produitseau* et *sédiment* de l'amont à l'aval. Les résultats obtenus dans les deux types d'expérimentation montrent qu'environ 50 % en moyenne, quelquefois au-delà avec des valeurs qui atteignent 98 %, de l'eau qui tombe, s'écoule, ce qui suppose une réaction simultanée des bassins au ruissellement. Le taux d'érosion des sols atteint 40 à 90 t.ha-1.an-1, avec des valeurs aussi fortes sur sols nus que couverts (Tableau XIX), mais les données fournies par des parcelles ne traduisent qu'une image partielle des processus. Dans le détail, ces résultats sont déterminés par des paramètres tels que l'humidité préalable du sol, le volume et l'intensité des pluies, le taux de couverture du sol...

Toutefois, les matières (eau et sédiments) provenant des versants se concentrent dans la zone basse, marécageuse où des problèmes d'écoulement se posent. L'examen des profils en long nous enseigne que les cours d'eau ont des pentes plus élevées sur les collines et sur le piémont que dans la plaine ; ceci justifierait la rapidité des crues et décrues, et également leurs caractères soudains et brutaux qui peuvent faire des sinistres lors des débordements. En amont des bassins, les chenaux « naturels » sont denses, ce qui n'est pas le cas en aval. De plus, le ruissellement concentré sur ces pentes fortes, emporte des sédiments, qui se déposent dans les principaux cours d'eau collecteurs lorsque leur compétence baisse ; il concourt indirectement au risque

d'inondation en raison de l'insuffisance du drainage et de la contenance des chenaux, sinon leur compétence.

En effet, les profils transversaux des rivières urbaines sont adaptés à des écoulements en contexte naturel où le ruissellement de surface ne trouve pas les mêmes conditions qu'actuellement, avec une augmentation des volumes et des pics de crue. *Cette artificialisation du système d'écoulement exagère la mauvaise circulation de l'eau*, d'autant que les aménagements adéquats ne sont pas encore réalisés.

Ainsi, l'analyse de la dynamique des eaux superficielles et de leurs artères débouche sur la question des zones humides en raison de leur imbrication dans les transferts (concentration des eaux de ruissellement et déversement dans les cours d'eau). Ce couplage marais-rivières ne saurait être possible sans l'apport des eaux souterraines qui les alimentent, d'où l'intérêt de voir leurs interrelations.

TROISIEME PARTIE : LA DYNAMIQUE DES ZONES HUMIDES ET DES EAUX SOUTERRAINES DU SITE DE BANGUI

« L'eau torrentielle s'oppose à l'eau calme, l'eau bienfaisante des sources et fontaines s'oppose à des déluges et des inondations, l'eau pure s'oppose à l'eau croupissante. » **G. BACHELARD** (cité par SPIRE, 1998, voir références bibliographiques)

INTRODUCTION

Cette partie s'emboîte dans celle où nous avons étudié les effets du ruissellement dans l'espace urbain en terme d'érosion et d'écoulement le long des linéaires collecteurs, ciblant la circulation de l'eau. En effet, l'objet de cette troisième partie est de *comprendre comment les eaux pluviales influencent les zones humides et les eaux souterraines urbaines, du fait de la modification des caractéristiques hydro-morphodynamiques du sol et de la présence humaine*. Car c'est en fonction du ruissellement qu'une partie de l'eau de pluie s'infiltré pour alimenter les zones humides et les eaux souterraines, assurant ainsi le renouvellement des réserves, lorsque la percolation atteint une profondeur relativement importante.

L'étude combinée des *marais*, qui sont des *zones humides*, et des *eaux souterraines* dans ce travail se base sur les interrelations et échanges complexes qu'entretiennent ces deux milieux physiques dans le site de Bangui. La connexion aux linéaires d'écoulement et la pente topographique des marais favorisent leur participation au ruissellement pluvial et donc à l'écoulement. La nappe phréatique superficielle, qui émerge dans les marais par des sources au contact du substrat argileux, voire vaseux, s'insinue aussi dans cette dynamique altérée par la présence humaine. Ces éléments nous montrent bien les niveaux d'interdépendance entre les zones humides et les eaux souterraines.

Deux chapitres (VI et VII) nous permettront de scruter ces entités physiques urbaines. Dans *le premier*, nous tentons un essai de caractérisation des marais du site en examinant les bas-fonds du Sud-Ouest de la ville ; *le second* analyse l'hydrodynamique des nappes phréatiques dans ses relations avec les effets de l'urbanisation et les eaux du site de Bangui.

Chapitre VI – LES ZONES MARECAGEUSES DE LA PLAINE DE BANGUI. DE LEUR ROLE DANS LA CIRCULATION DE L'EAU A LEUR CARACTERISATION SEDIMENTOLOGIQUE : APPLICATION AUX MARAIS DU SUD-OUEST

« Le dysréisme caractérise les régions éxoréiques, principalement celles où l'abondance et la fréquence des pluies liées à la faiblesse des pentes ne facilitent pas le drainage et favorisent la formation des tourbes sur

versants et de marais et marécages en plaine ». P. GEORGE (*Dictionnaire de géographie*, 1974)

Le site de la ville de Bangui est essentiellement marécageux dans le secteur la plaine, mais à des degrés divers. La présence de ces marais a surtout expliqué les difficultés du choix d'un emplacement favorable à l'installation de la future capitale centrafricaine : Bangui (NGUIMALET, 1999 b). Les *marais en milieu urbain* apparaissent comme des « milieux insalubres » car hydromorphes et inondables qu'il faut assainir pour l'équilibre et la santé de la population.

L'intérêt d'étudier ces milieux est qu'ils constituent non seulement un *paysage*, une *unité géomorphologique* du site de Bangui en voie de disparition, participant à la dynamique globale de l'eau, mais aussi qu'ils se posent en tant que *contraintes pour la vie urbaine*. Notre travail vise d'abord à analyser l'influence des eaux pluviales sur leur fonctionnement saisonnier en relation avec l'occupation humaine car ces milieux concourent au risque d'inondation de par leur topographie ; ensuite par une étude sédimentologique des dépôts, à préciser la place de l'eau dans leur mise en place.

1. GENERALITES SUR LES ZONES HUMIDES

La variété (marais, marécages, tourbières, « fagnes », plaines d'inondation...) ainsi que la richesse de ces écosystèmes en ressources, attributs et fonctions (diversité biologique, produits halieutiques, loisirs, transport,...) font qu'ils revêtent une grande importance pour les êtres humains. Les zones humides jouent un rôle dans nombre de phénomènes et processus naturels (protection contre les inondations) (ROGGERI, 1995). Elles sont un monde à mi-chemin entre les écosystèmes terrestres et aquatiques et présentent certaines caractéristiques de chacune, d'où *la présence de l'eau, l'existence des sols hydromorphes et une végétation adaptée aux conditions d'humidité* qui les caractérisent (BARNAUD, 1998). Cette diversité de milieux se remarque par leur position topographique à l'échelle d'un bassin-versant.

Dans la classe « espaces humides », regroupant les milieux submergés ou saturés d'eau douce, salée ou saumâtre, SERVAN (1980, cité par BARNAUD, 1998) propose une classification simple à cinq niveaux, utilisant à la fois les *critères topographiques et hydrologiques* pour classer les milieux humides. Pour une application au Centrafrique ou à Bangui, où les milieux humides sont continentaux et à eau douce, nous n'avons pris en compte que le système *Eau douce* (Figure 90).

Figure 90 Les « espaces humides » de la classification des espaces naturels (d'après SERVAN, 1980, modifiée)

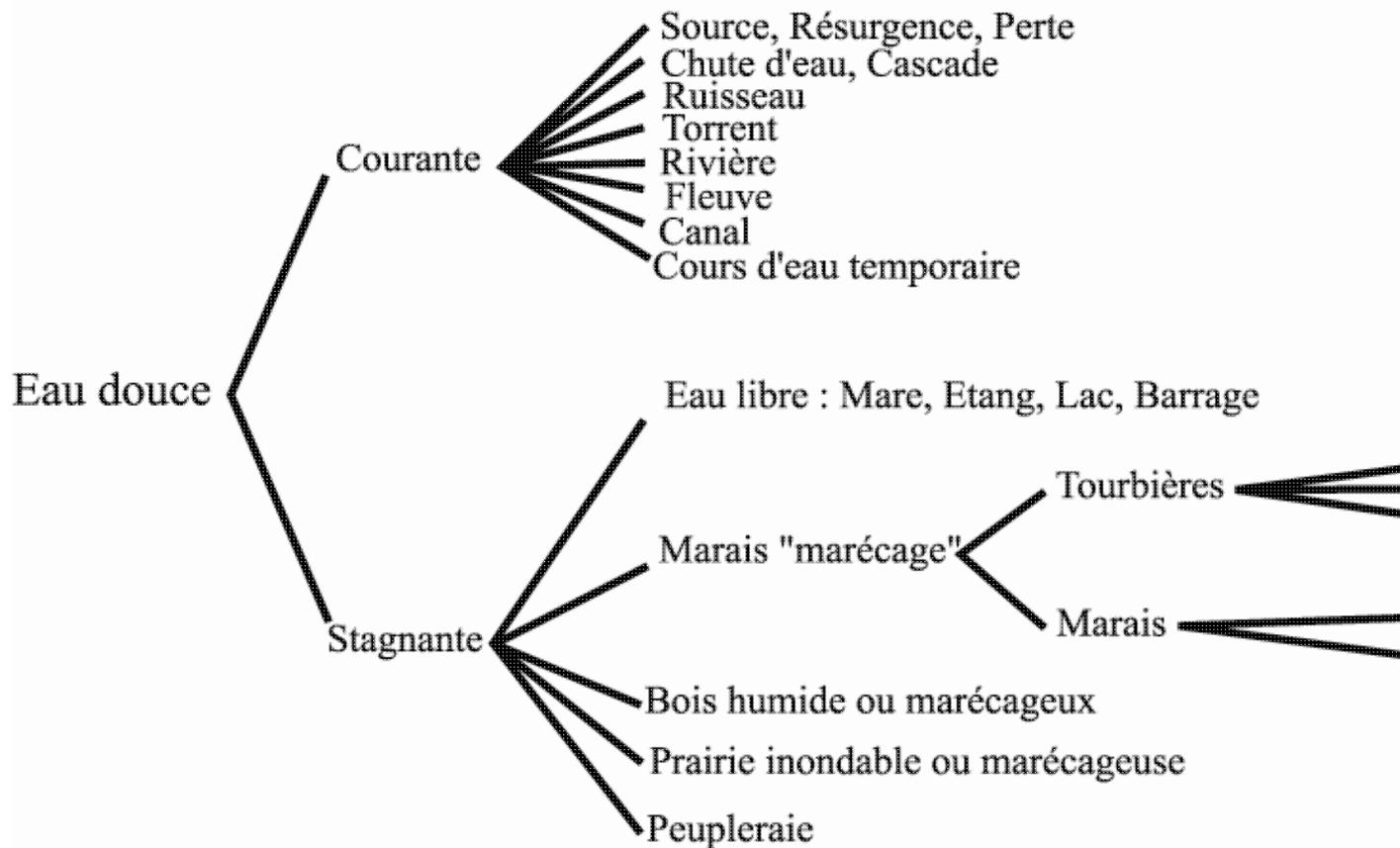


Figure 90 : Les "espaces humides" de la classification des espaces naturels (d'après SERVAN, 1980, modifiée)

Toutefois, une telle approche peut déboucher sur des types topographiques et hydrologiques propres aux marais (Figure 91) ; nous remarquons que le type topographique/hydrologique qualifié de « marais de transition vers l'eau libre » paraît correspondre à la majorité des bas-fonds marécageux du site de Bangui.

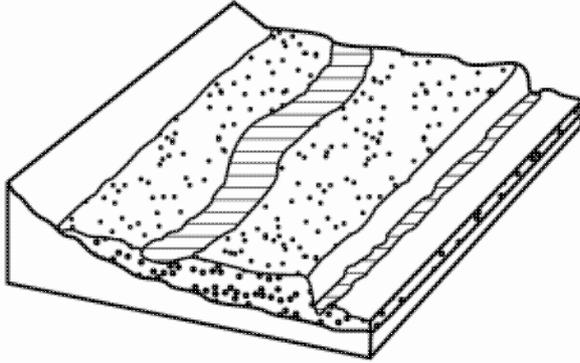
1.1. Leurs dimensions hydrologiques et géomorphologiques

Selon les typologies des zones humides (ROGGERI, 1995 ; BARNAUD, 1998), le *régime des eaux* (sous-entendu le rythme d'ennoiement et la durée de la présence de l'eau, la *végétation* et la *topographie* en constituent les fondements. Ce qui suppose que leurs concepteurs intègrent parfois intuitivement des critères hydrologiques et géomorphologiques comme des *déterminants du fonctionnement des zones humides*, donc de leur identification et de leur caractérisation (BARNAUD, 1998).

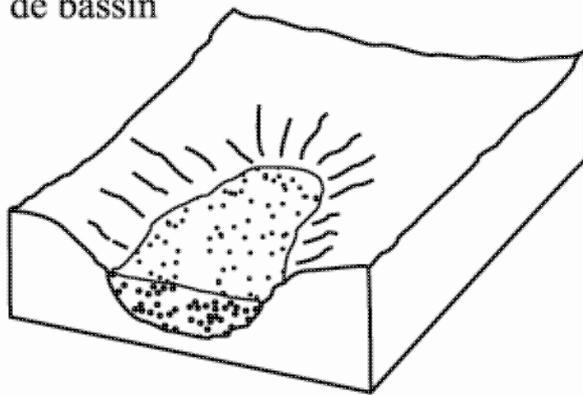
Figure 91 Les principaux types topographiques-hydrologiques de marais (WHEELER, 1984, cité par NCC, 1989, in BARNAUD, 1998 modifiée)

Marais de plaine inondée

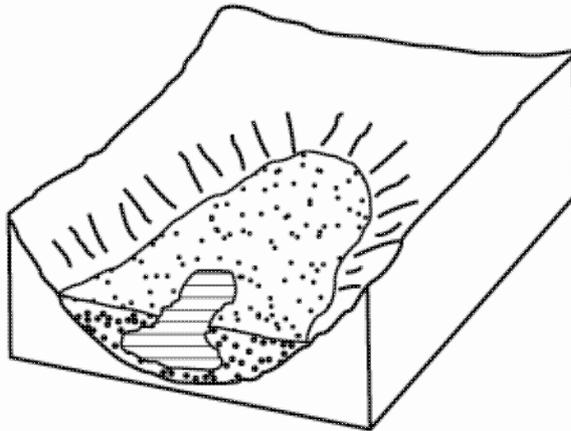
A



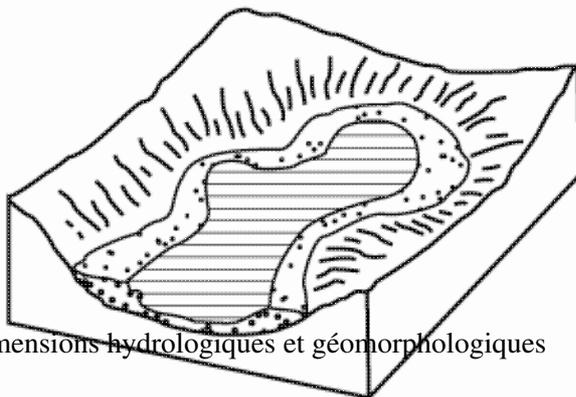
Marais de bassin



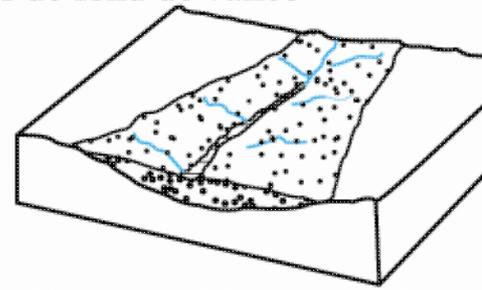
Marais de bassin-type marais tourbeux flottant



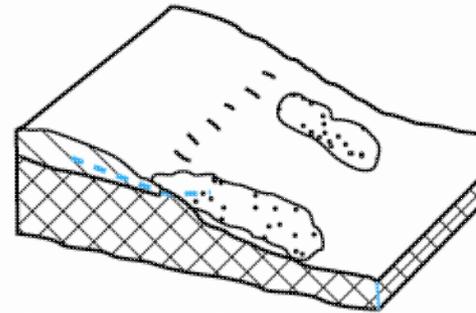
Marais de transition vers l'eau libre



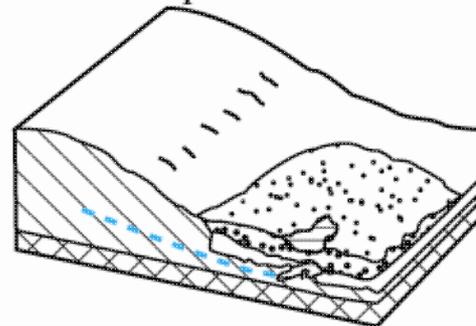
Marais de fond de vallée



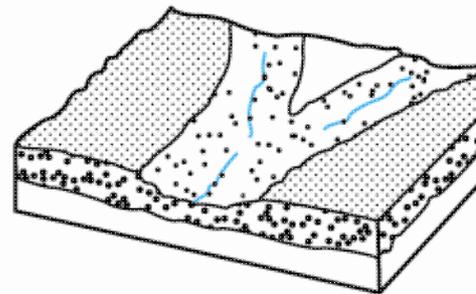
Marais de pente lié aux sources



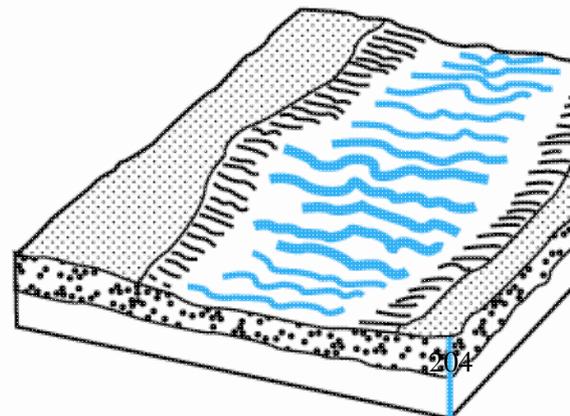
Marais de bas de pente lié aux résurgences



Marais tourbeux à infiltrations latérales



Marais tourbeux en réseau



1.1.1. La prise en compte des caractéristiques géomorphologiques

SEMENIUK (1987, citée par BARNAUD, 1998) propose une approche fondée sur les composants majeurs déterminant le développement des zones humides, à savoir l'*humidité* (milieu inondé de manière permanente, inondé de manière saisonnière, saturé de manière saisonnière) et la *géomorphologie* (bassin, chenal, étendue plane).

Dans ce contexte, ROGGERI (1995) propose quatre *unités géomorphologiques* qui déterminent les zones humides d'eau douce : les plaines alluviales basses, les petites vallées, les bords des lacs et les dépressions. Ainsi, les *plaines alluviales basses* et les *dépressions* nous concernent ici dans le cas de notre étude. Dans les plaines alluviales, nous retenons les plaines *frangeantes* qui sont des zones inondables « étroites », plus longues que larges, situées dans les lits majeurs des cours d'eau : ceci correspondrait à la zone d'*inféoflux* de l'Oubangui. Ainsi, nous notons tout le long de l'Oubangui, depuis Ouango-Sao vers l'Est de la ville en passant par l'aval immédiat de l'hôtel SOFITEL jusqu'à Bimbo (confluence Mpoko), que le rétrécissement du lit, lié à la baisse de la pluviométrie depuis l'Holocène (période de haut niveau des cours d'eau et de forte pluviométrie) jusqu'à nos jours, a laissé derrière des bas-fonds marécageux et surtout un bourrelet de berge argilo-sableux, qui continuent à être inondés par l'Oubangui, sur lequel une route est construite. L'observation du niveau de ces bourrelets par rapport au lit actuel de l'Oubangui nous amène à qualifier ces bas-fonds de lit majeur de l'Oubangui et de ses affluents (avec une hauteur variant localement de 1 à 1,5 m). Ce lit majeur, ou terrasse alluviale, occupe tout l'Est et le NE du quartier Ouango et est allé au chevet même du quartier Kassai ; c'est par laquelle que l'Oubangui a coulé dans une partie du couloir de Ndress et aurait communiqué avec la Gbangouma, un affluent de la Nguitto.

Les *dépressions* des bassins hydrographiques, des plateaux et terrasses sont des zones en forme de *cuvettes* où les eaux convergent. Les dépressions étant mal ou, en l'absence d'exutoire, pas du tout drainées, les eaux peuvent stagner car l'origine de ces dépressions est liée en général à des processus non fluviaux. Plus basses que les terrains environnants, les dépressions sont aussi des lieux privilégiés pour les affleurements de la nappe phréatique. Les zones humides caractéristiques des cuvettes sont des *étendues d'eau peu profondes* (lacs peu profonds, lagons, mares...) et des *marais*. Grâce à des exutoires, les dépressions peuvent être drainées par *écoulement superficiel des eaux* ; c'est le cas à Bangui. Cependant le drainage de ces zones est souvent entièrement dépendant de l'évaporation et des infiltrations.

Notre prise en considération des *critères géomorphologiques* dans la classification des zones humides semble justifiée du fait que chacune des variables qui constituent ces milieux possède une topographie que l'eau peut localement façonner et que la végétation tend à stabiliser, voire à figer. De ce fait, la nature des terrains dans lesquels les zones humides sont ancrées apparaît comme un « socle » qui dicte localement les formes que prennent ces milieux en relation avec la présence de l'eau. Car ces morphologies variées des zones humides sont à mettre au compte des conditions « naturelles » *stricto sensu*, par l'influence d'une trilogie morphostructure, nappe phréatique et précipitations.

1.1.2. A propos de la classification hydrogéomorphologique des zones humides

L'accent est mis sur les facteurs *hydrologiques* et *géomorphologiques* qui contrôlent le maintien de la plupart des *aspects fonctionnels* des zones humides (BRINSON, 1993, cité par BARNAUD, 1998). L'existence au sein des zones humides et des bassins-versants de plusieurs gradients, en fonction de la variabilité géologique, pédologique, géomorphologique et hydrologique, en est le fondement.

La démarche de BRINSON est simple et peut être adaptée à toute région géographique et modifiée selon les informations supplémentaires disponibles. L'intérêt est d'identifier des fonctions hydrogéomorphologiques des zones humides partant de trois propriétés de base interdépendantes : l'emplacement géomorphologique, l'origine de l'eau et l'hydrodynamique.

1. L'emplacement géomorphologique.

Quatre catégories de zones humides sont distinguées :

- des zones humides localisées dans une **dépression** isolée ou sous influence directe des flux de surface, qu'elles soient connectées étroitement ou de manière lâche aux flux souterrains ;
- des zones humides **riveraines** présentes dans les plaines d'inondation et associées au gradient des cours d'eau ;
- des zones humides de **bordure**, contrôlées par le niveau de la mer ou des lacs ;
- les grandes tourbières forment une catégorie à part du fait de leurs conditions topographiques et hydrologiques uniques.

1. L'origine de l'eau.

Phénomène le plus difficile à observer, les trois principales catégories distinguées le sont par les qualités chimiques de l'eau qui influencent les fonctions des zones humides (Figure 92) :

- eaux de précipitations ;
- eaux de surface ou proches de la surface, conditionnées par les flux latéraux d'amont en aval ;
- eaux souterraines liées aux aquifères non confinés.

1. L'hydrodynamique.

Elle se rapporte au mouvement de l'eau et à sa capacité d'intervention. Trois catégories qualitatives sont définies selon le sens d'écoulement de l'eau :

- les **fluctuations verticales** dues à l'évapotranspiration et aux précipitations ;
- les **flux horizontaux unidirectionnels** orientés vers l'aval et conditionnés, entre autres, par les suintements favorables à l'enlèvement ou au dépôt de sédiments, selon que l'on se trouve en bordure de rivière active du point de vue érosif ou en plaine d'inondation ;
- les **flux horizontaux bidirectionnels** dus aux seiches ou aux marées à l'origine de périodes d'inondation prévisibles.

Figure 92 Les types hydrologiques de zones humides en fonction des origines de l'eau (BRINSON, 1993, modifiée)

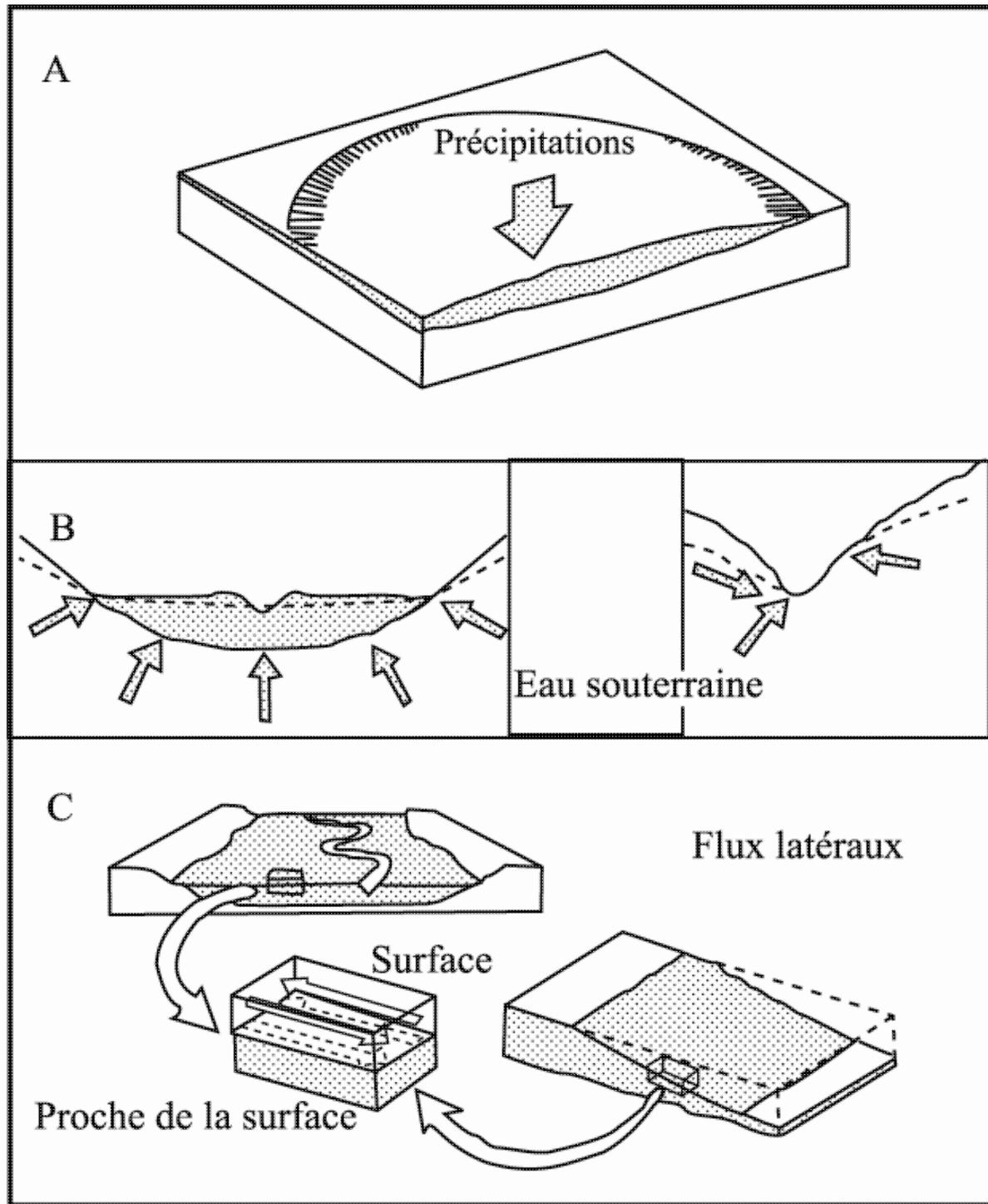


Figure 92 : Les types hydrologiques de zones humides en fonction des or
 (BRINSON, 1993, cité par BARNAUD, 1998)

Des indicateurs *éphémères* (niveau élevé d'eau, plantes annuelles...) et des indicateurs *stables* (structure et caractéristiques géomorphologiques, composition spécifique de la strate forestière,...) existent selon ces trois propriétés de base. Ces derniers éléments peuvent être déterminés à partir de cartes topographiques et de photographies aériennes. L'auteur nous montre donc que les gradients critiques pour les zones humides alluviales sont la variation amont-aval, la transition milieu terrestre-milieu aquatique dans chaque zone humide, la variabilité climatique et les patrons régionaux des disponibilités en sédiments et en nutriments.

Ainsi, le concept d'*unité hydrogéomorphologique* résulte de la nécessité d'identifier des entités dans la classification des zones humides, s'appuyant sur des types de fonctionnement intégrant les processus hydrologiques, chimiques et physiques.

Des unités hydrogéomorphologiques potentielles sont conçues comme des entités élémentaires fonctionnelles et sont relativement homogènes du point de vue géomorphologique (pente, forme de terrain, position dans le paysage), hydrologique-hydrogéologique et pédologique. Quelle est donc la place des zones marécageuses de Bangui dans les classifications générales ?

1.2. Place des zones marécageuses de Bangui dans les classifications générales

D'après NGOUANZE (1988), les terres humides en Centrafrique se composent essentiellement des marécages, des bas-fonds de vallée et des plaines d'inondation. Les principales spéculations pratiquées sur ces terres aussi bien en forêt qu'en savane sont généralement des cultures vivrières (riz, banane, taro, igname, maïs, etc.). Les contraintes à la mise en valeur des terres humides sont d'ordre socio-économique et technique (contrôle de la nappe phréatique superficielle, aptitude culturale des sols, acidification, érosion hydrique).

Les différentes classifications que nous venons de présenter concernent à la fois les zones humides continentales et côtières. Ces divers *espaces humides* sont submergés soit par de l'*eaudouce*, soit par des *eaux salées* selon qu'ils sont continentaux ou côtiers. Ainsi, les zones marécageuses de la plaine de Bangui appartiennent aux *zones humides à eau douce courante ou stagnante* en raison des imbrications entre les marais ou des marécages et les cours d'eau du site. Lorsque nous pouvons faire une correspondance avec les principaux *types topographiques-hydrologiques de marais* (Figure 91), il se trouve que des types A (marais de plaine inondée, marais de transition vers l'eau libre) et des types B (marais de fond de vallée, marais de bas de pente) se rencontrent dans les paysages de marais du site de Bangui. Mais la particularité des zones marécageuses de la ville est qu'elles se sont essentiellement développées dans des terrains argileux dont le contact amont est déterminé soit par le piémont, soit par les plateaux latéritiques ou latéritisés, qui servent de source dans la plupart des cas. Même dans les anciens marécages aménagés, des sources fonctionnent encore, que drainent les canaux ou les cours d'eau collecteurs. Ces données nous confirment que le piémont et les plateaux latéritisés ou latéritiques sont filtrants ; le contact argileux imperméable facilite la résurgence de la *pluie efficace* ou l'écoulement superficiel de la nappe phréatique ou hypodermique.

Nous observons sur les hauts bassins de la Ngongonon, de la Ngoubagara et de la Nguito, des *marais de fond de vallée*, puis, sur le contact piémont-plaine de Bangui, le type *marais de pente lié aux sources* est présent, notamment dans le bassin-versant de la Ngoubagara au contact du bassin amont et du bassin moyen. A partir de ces hauteurs jusqu'en aval, des types « marais de plaine inondée », « marais de transition vers l'eau libre », « marais de bas de pente lié aux résurgences » alternent localement. Toutefois, en remontant à l'origine de la ville, le type *marais de plaine inondée* semblait être dominant et c'est à son détriment que l'occupation de la majeure partie de la plaine marécageuse à l'ouest des collines de *Gbazabangui* s'est réalisée. Vient ensuite le type *marais de transition vers l'eau libre* en raison de l'interconnexion des marais et des cours d'eau du site.

2. ASPECTS DES ZONES MARECAGEUSES DE BANGUI

La présence dominante des zones marécageuses dans le site de Bangui est en principe liée à la platitude du relief, à la nature des terrains et à la topographie qui rendent sub-affleurante la nappe phréatique superficielle dont l'eau est stagnante, et à l'abondance des précipitations sur ces *surfaces saturées en eau* ou hydromorphes.

2.1. Localisation et extension

Le poste militaire colonial à l'origine de la ville de Bangui est né dans la plaine inondable de l'Oubangui, juste au pied des *Rapides*. Par la suite, à défaut d'un emplacement exondé, la croissance spatiale urbaine s'est amorcée d'abord en grimpant sur le piémont des collines de *Gbazabangui* et les témoins de plateau aux traits morphologiques et altitudinaux proches, qui sont hors d'eau, ensuite en s'étalant dans la plaine marécageuse « insalubre ».

L'identification des zones marécageuses du site de Bangui a commencé par les marais qui entouraient le poste dont les eaux sont qualifiées de « croupissantes », de « puantes » par les administrateurs coloniaux et les missionnaires. La mise en évidence de cette plaine marécageuse a été réalisée quelques temps après la fondation de la ville, ceci à cause vraisemblablement de l'importance de la forêt inondable qui masquait la reconnaissance dans ces terrains hydromorphes. Nous retrouvons actuellement le paysage typique de l'état ancien sur la route de Mbaïki, à la sortie sud-sud-ouest de Bangui.

Leur importance dans la plaine de Bangui (Figure 6 : p. 27), dans le couloir de Ndress en amont et en aval de la Nguitto, de même dans la vallée de la Mpoko aux confins du Grand Bangui à l'ouest, les fait remarquer dans les paysages. Ils ont été signalés par les explorateurs, voyageurs ou administrateurs dès la fondation du poste colonial. Selon des anciens résidents de Bangui, vers 1948 un vaste marais s'étendait là où se trouvent actuellement les quartiers Ngouciment, Basse-Kotto, une partie du quartier Sara et du Camp des Castors jusqu'à Yakété (Figure 1 : p. 4).

Entre Galabadja et les Sinistrés, et à côté de l'ex-usine UCATEX, existait un marais, de disposition subméridienne, qui porte le nom du premier locataire des abords du site, à l'époque **Ngbédékoya**, mais son nom véritable est **Kalakpata** qui signifie en langue Banda *la boue* ou *être dans la boue*. Les vases qui tapissent son fond se comportent comme du sable mouvant selon des sources orales. Les anciens marécages se reconnaissent actuellement à une hydromorphie locale et à la présence de sources, souvent identifiées dans les canaux de drainage. De tels exemples ne manquent pas dans la ville. Cependant, ces marais influencent considérablement la circulation de l'eau superficielle qui résulte essentiellement des précipitations. Les caprices de la nature qui ont donné lieu à ces paysages, peuvent avoir leur explication dans la nature des roches.

Ces étendues marécageuses atteindraient les deux tiers de la superficie de la ville de Bangui et ne concernent que des terrains argileux. Elles sont plus importantes à l'ouest, au centre-ouest, au centre-sud, au sud et au sud-ouest, dans la majeure partie plane du site plutôt que dans le Couloir de Ndress, dépression confinée à l'intersection des deux alignements des collines, drainée par la Nguitto (Figure 6 : p. 27) ; sur le terminus de ce couloir vers Ouango-Sao et Gbangouma, ces marais existent, dérivant de l'ancien lit de l'Oubangui. On en trouve également dans les vallées de la Mpoko, de la Ngola, de la Ngoubagara, sur le bassin amont de la Louga au sud-ouest de l'Aéroport de Bangui-Mpoko, notamment à l'ouest du quartier Boeing.

2.2. Genèse et évolution

L'histoire de ces espaces humides devrait être strictement « naturelle » bien que la présence humaine sur le site de Bangui remonte au Paléolithique (I § 4.1 : p. 43). Toutefois, l'histoire humaine nous permet de comprendre l'évolution de ces zones marécageuses dans l'espace et dans le temps. Leur évolution actuelle et future est tributaire des formes d'actions humaines visant à les transformer au fur et à mesure que l'espace « habitable » se raréfie à l'intérieur et aux alentours immédiats du périmètre urbain. Des années 1980 à nos jours, une vague d'assèchement et d'aménagements de tous ordres (sommaires et systématiques) a affecté ces milieux, les faisant rayer peu à peu de la carte de Bangui. Nous pouvons qualifier cet assèchement d'involontaire. Car les conditions hydrodynamiques qui président à la recharge de la nappe phréatique superficielle par infiltration, ont été modifiées dans l'espace et dans le temps par l'installation de l'habitat et des activités humaines dans leurs environs. Cette occupation limiterait peu à peu l'infiltration qui renouvelle

chaque saison le niveau hydrostatique, car elle donne lieu à un ruissellement pluvial important. En fait, au début des années 1980, les marais tels que *Ngou-Lossô* (qualifiant une rizière dans ce bas-fond) sur la Ngongonon, *Kalakpata* dans le bassin-versant du même cours d'eau se sont asséchés par tarissement de la source et par le comblement des bas-fonds. L'explication est que la nudité des sols latéritiques du piémont et des plateaux les expose à l'érosion ; la concentration des sables et graviers ferrugineux par les eaux de ruissellement colmate ou ensable de plus en plus les marais ; pourtant, de manière mythique, on accuse la coupe d'un arbre (le kapokier, le faux appelé *la karanga*, qui est un témoin de la forêt de l'époque), qui serait protecteur de la source du marais *Kalakpata*, pour expliquer son assèchement. Dans les années 1990, ce fut au tour des marais *Ngou Koulou* (quartier Malimaka) et des sites des Marchés de Miskine et de Pétévo d'être curés et remblayés par de la latérite. La même technique a été appliquée dans le cadre de l'assainissement du quartier La Kouanga au début des années 1950.

Par ailleurs, quelques hypothèses concourent à montrer la genèse de ces bas-fonds marécageux (BOULVERT et SALOMON, 1988 ; NICOD et SALOMON, 1990), communs du site de Bangui, qui caractérisent les paysages de plaine en milieu tropical : elles mettent en relief l'activité des *crypto-karsts*. Ainsi en considérant le poids du crypto-karst à côté de l'emprise humaine à Bangui, nous pouvons définir une typologie adaptée à ces marais (p. 50).

2.2.1. De leur origine hydrogéomorphologique

Dans la plaine oubanguienne où est localisé le site de Bangui, la présence de nombreuses dépressions en surface est interprétée par l'existence soit d'un *paléo-cryptokarst* ou d'un *cryptokarst*, soit par des processus de *crypto-corrosion* dans la karstogenèse du Centrafrique (BOULVERT et SALOMON, 1988 ; NICOD et SALOMON, 1990) ; FOURNEAUX (1988), quant à lui, parle de processus de *karstogenèse profonde* à l'origine de ces milieux (II § 2.6 : p. 88). D'après la structure de Bangui, les formations du socle, tantôt carbonatées, tantôt métamorphiques, sont recouvertes par des séries sédimentaires. C'est dans ces dépôts relativement récents, dont certains sont constitués de matériaux sablo-limono-argileux, que nous avons vu les dépressions marécageuses se former par le truchement des mouvements de l'eau entre la surface topographique et le contact socle-couverture. Les *logs* stratigraphiques des sondages hydrogéologiques de Bangui nous confirment cette structuration des terrains (Figures 26 : p. 69, 29 : p. 75, et 31 : p. 79), et quelques sondages réalisés dans ces bas-fonds mettent en évidence une prépondérance d'argiles avec des intercalations de sables argileux ou de graviers emballés dans une matrice argileuse, et de la latérite ou de l'argile latéritique (voir Figures 97, 99).

Sachant que le site de Bangui occupe un fossé tectonique colmaté par des sédiments (Figure 28 : p. 74), la plupart des marais et marécages sont localisés dans son alignement et là où les calcaires précambriens sont sous-jacents. Trois processus hydrogéomorphologiques sont proposés dans ce contexte, nous les avons repris de BOULVERT et SALOMON (1988) : il s'agit de l'*hydrocompaction*, du *soutirage karstique* et de la *crypto-corrosion* (II § 2.6 : p. 88).

L'*hydrocompaction* se manifeste par un blocage réalisé par la nappe phréatique au fond d'une cuvette dans des matériaux sablo-limono-argileux ; à son contact en surface, la décantation des dépôts fins provenant du ruissellement de surface entretient le mécanisme de blocage ; de ce fait, l'eau stagne sous forme de mares ou de marais.

Quant au *soutirage karstique*, ce processus s'observe dans l'évolution de la forme des cuvettes par la *suffosion*, laquelle s'explique par les eaux de ruissellement qui pénètrent dans les fentes de dessiccation ; si le gradient hydraulique est fort, il érode les parois de la fente des ravines ou des conduits souterrains aux orifices circulaires, par érosion chimique et mécanique. Cela donne une topographie *pseudo-karstique*.

Enfin, la *crypto-corrosion* fonctionne lorsque le karst est enfoui sous une *compresse* détritique siliceuse (cas de Bangui), jouant le rôle d'une éponge pour les eaux météoriques et d'infiltration, ce qui fait que l'érosion du

karst en profondeur se traduit en surface par une cuvette ou dépression que la présence de l'eau stabilise ou entretient.

Ainsi, nous pouvons reconstituer l'histoire géomorphologique des dépressions marécageuses du site de Bangui par l'intermédiaire de ces trois processus *via* le contact ou les manifestations profondes ou superficielles de l'eau. La topographie et la structure d'ensemble (terrains latéritiques en amont se superposant aux terrains argileux en aval, avec leurs pentes respectives – voir Figure 95 : p. 254), et l'abondance de l'eau constituent des potentialités canalisant la dynamique de ces paysages, qui connaissent la stagnation permanente ou temporaire de l'eau dans ces terrains constamment ou momentanément gorgés d'eau que sont les *argiles*. De ce fait, l'évolution géomorphologique dans l'espace et dans le temps serait en étroite corrélation avec la pente topographique (faible ou nulle) et la permanence ou non de l'eau (convergence des eaux météoriques et de la nappe phréatique superficielle). Toutefois, dans une telle dynamique complexe, nous estimons que les formes d'érosion (en nappe, linéaire), de néotectonique, de gondolement de la surface, de précipitations abondantes, des écoulements catastrophiques ou lents, de décantation... relevant de la paléodynamique du site ont leurs signatures dans le paysage. C'est le cas à travers l'alternance des dépôts fins et grossiers, voire mixtes, qui caractérisent les alluvions dans ces bas-fonds d'après l'analyse de certains profils levés dans le cadre des travaux réalisés (DGM, 1964 ; VINERI et CAUSSE, 1965 ; De BESSES et OUAYO, 1966 ; GOLET-MOKONGANDA et DALLA-ROSA, 1987 ; MANDABA et *al.*, 1992, 1994 ; MANDABA et GOLET-MOKONGANDA, 1998, 1999 a et b).

L'implantation humaine dans un tel cadre assujettit le milieu à une autre évolution, celle qui ne consiste pas forcément à sauvegarder des entités qui ont eu à se former, à s'établir sur un très long pas de temps. C'est ainsi que des formes d'occupation du sol (non réglementaires) ont altéré les zones marécageuses du site de Bangui en raison de la pression foncière exercée par l'essor démographique, réduisant considérablement leur étendue. Bien qu'elles subsistent encore malgré les types d'aménagement, la tendance à la disparition est de plus en plus perceptible.

2.2.2. Typologie actuelle des zones marécageuses de Bangui

Nous fondons notre principe de classification sur l'évolution des zones marécageuses en fonction de la croissance urbaine. Leur étendue dans l'espace urbain par rapport aux terrains exondés, « sains », pousse à leur colonisation sous diverses formes pour gagner de l'espace « habitable », leur imposant de ce fait un nouveau mode de fonctionnement. Ainsi, selon la dynamique actuelle des marais et marécages, nous remarquons que la fonctionnalité dépend de la manière dont l'emprise anthropique se manifeste dans son intensité ou dans ses formes. Pour cela, nous définissons trois (3) types de marais et marécages fondés sur la prise en compte de leur fonctionnement dans un contexte de forte anthropisation, sur l'importance relative de l'hydromorphie, sur des types d'aménagements ou d'occupation du sol et enfin sur la durée de séjour de l'eau soit après les averses, soit pendant la saison pluvieuse. Le tout n'exclut pas la *topographie* comme critère de classification, puisque ce sont des zones altitudinalement basses de l'espace urbain. Il s'agit des *marais et marécages fonctionnels*, des *zones marécageuses bien ou mal aménagées* et des *marécages occasionnels* (Fig. 93).

- Les *marais et marécages fonctionnels* sont ceux qui continuent à être immergés ou engorgés d'eau durant la période pluvieuse. Leurs fonctions initiales sont malgré tout observées, telles que la production des végétaux, des ressources halieutiques, des inondations périodiques (écrêtement des crues, réalimentation de la nappe phréatique)... Ils sont soumis aux activités humaines telles que la pêche, la cueillette durant toute l'année, et le maraîchage en période sèche. En guise d'exemple, les zones marécageuses fonctionnelles se trouvent sur la Basse-Nguitto et sur le tronçon où le chenal de l'Oubangui s'est rétréci en forme d'entonnoir à l'Est de la ville en amont des Rapides (précisément à Ouango-Sao). Sur une partie des marais du pk 10, on note aussi les zones marécageuses qui longent l'Oubangui depuis Lakouanga jusqu'à Kolongo, les marais du sud-ouest allant de la Guitangola *via* Pétévo jusqu'à Bimbo, non loin de la confluence Mpoko-Oubangui. Il y en a aussi dans le Nord de

Bangui sur une bonne partie de la vallée de la Ngola au NNO de l'Aéroport, au nord de Sakai V et à l'ouest du pk 12. Un autre marais fonctionnel est situé au SO de l'Aéroport et à l'ouest du quartier Boeing (source de la Louga).

- Les zones marécageuses bien ou mal aménagées représentent les secteurs de la ville où l'emprise humaine est à la fois lâche et systématique ou méthodique. C'est souvent dans ces secteurs que les marécages subsistent ; leurs indices se matérialisent par des sources aussi bien dans des fossés de drainage que dans les marécages occupés sommairement par la population, sans aménagement approprié. Nous les retrouvons dans la vallée amont de la Nguitto, sur la Kokoro, à l'est et au sud-est de l'Aéroport, au quartier Malimaka (cf. Ngou Koulou), au quartier Sica-Saïdou, au quartier Galabadjia avec le marais *Kalakpata* qui se prolongent jusque derrière l'ex-usine UCATEX, le site actuel de l'hôpital de l'Amitié, les quartiers Kpéténé et Bakongo, le site du Marché de Miskine, ceux du Marché de Kokoro et de Pétévo... Pour les fossés de drainage, il y a les fossés Aviation, Uzès I, Uzès II, Bouagba, Kouanga, etc. Le centre-ville, depuis l'hôtel SOFITEL jusqu'au quartier La Kouanga via le site de l'Ambassade de France, est bâti sur des zones marécageuses. Entre les deux premiers types définis, la différence est que le second est habité ou drainé.
- Les marécages occasionnels ou temporaires sont des zones hydromorphes et basses qui concentrent les eaux de ruissellement sur une courte durée, allant de quelques heures à plusieurs jours. Ils découlent en effet des anciennes zones à marais permanents. Nous pouvons les retrouver sur les abords des marécages, dans la vallée de la Ngoubagara, la vallée de la Ngongonon, au quartier Kolongo à la limite 3^e-5^e Arrondissements, sur le stade de l'UCATEX et ses environs marécageux, dans les quartiers SICA II et III, au quartier Kpéténé, à Bakongo, à Mbossoro, à Pétévo, etc. Nous jugeons justifié d'intégrer dans cette classe toutes les anciennes carrières d'extraction de la latérite dans la ville de Bangui (cf. Fatima, Cité Jean XXIII, 92 Logements, Foû, proximité du Stade B. Boganda, etc.). En effet, le fond de ces carrières étant situé sous la surface topographique, par conséquent n'ayant pas d'exutoire, les eaux de ruissellement s'y concentrent et induisent un fonctionnement artificiel de type zones marécageuses. Bien qu'en 1966 il ait été interdit de construire dans d'anciennes carrières (YONGOLO, 1997), elles sont toutes colonisées par des habitations de nos jours. De par l'attrance par l'eau, elles participent aussi à la dynamique hydrologique de ces zones humides.

3. FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES MARAIS ET MARECAGES. LA CIRCULATION DE L'EAU SUPERFICIELLE A L'ECHELLE URBAINE

3.1. Des conditions générales au cas de Bangui

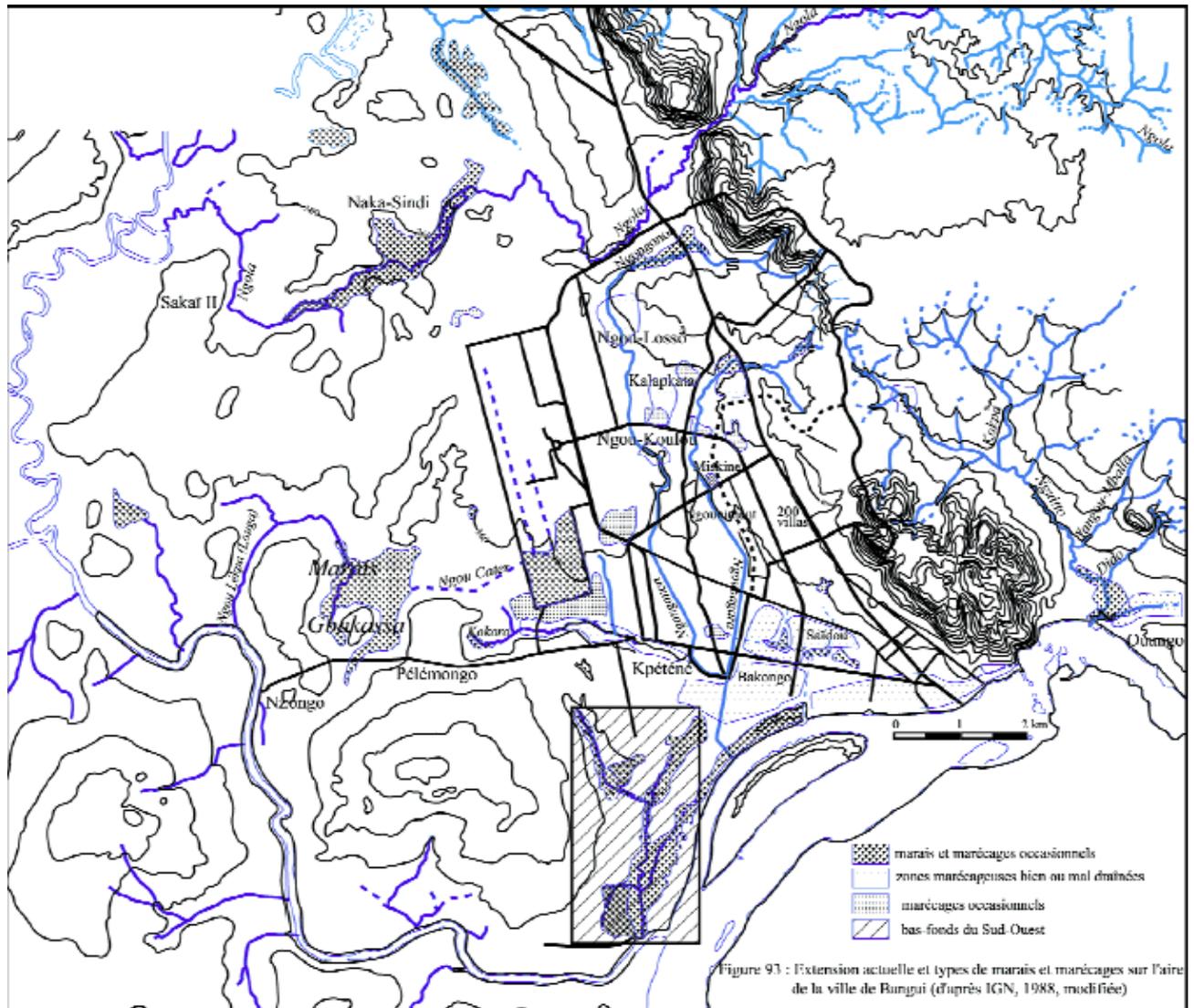
L'hydrologie des zones humides marécageuses est principalement commandée par les *précipitations* bien que ces milieux puissent s'alimenter par les eaux souterraines ou par des flux latéraux (Figure 92 : p. 240). BARNAUD (1998) estime que le *facteur hydrologique* agit donc en interne mais son amplitude spatio-temporelle relève dans la majorité des cas de conditions externes. Toutefois, d'après DUEVER (1990, cité par BARNAUD, *op. cit.*), peu de travaux ont porté sur les *processus hydrologiques* dans ces espaces humides qui sont d'importance variable selon l'humidité atmosphérique, les précipitations, l'évapotranspiration, les flux hydriques, l'eau souterraine et l'eau superficielle. Cette influence directe est manifeste sur la qualité de l'eau et le régime hydrologique de ces zones humides ; certains caractères concernent la rétention d'eau ou l'aptitude à contrôler les inondations, la restitution de cette eau durant les périodes d'étiage, ou le piégeage des MES du fait de la faiblesse relative de l'écoulement qui conditionne la sédimentation.

Le fonctionnement hydrologique des zones marécageuses rend aussi compte des fluctuations des niveaux d'eau dans le temps et dans l'espace. Ces rythmes de fluctuation des niveaux d'eau ou *hydropériodes* sont en étroite relation avec les variations saisonnières du climat et en conséquence des pluies, du moins dans le cas

de Bangui.

Pour les bas-fonds marécageux de cette ville, il n'y a pas eu de piézomètres pour juger des fluctuations de la nappe. Néanmoins la particularité de ce site est que l'implantation humaine a modifié les conditions hydrologiques (ou d'écoulement) des zones marécageuses, ce qui les expose non seulement à la réduction de leurs niveaux d'eau et en conséquence de leur étendue, mais à la concentration des eaux de ruissellement et des sédiments (fines, sables et graviers) ; celles-ci dérivent de l'érosion par les eaux courantes du piémont ou des versants latéritiques des plateaux, et tendent à les colmater.

Figure 93 Extension actuelle et types de marais et marécages sur l'aire de la ville de Bangui (d'après IGN, 1988, modifiée)



3.2. Sur l'hydrologie des zones humides de la région de Bangui

Dans le site de Bangui, le régime hydrologique *permanent* et le régime *temporaire* caractérisent les zones marécageuses selon les deux principales saisons (pluvieuse et sèche) et déterminent à la fois les périodes de haut niveau et de baisse de l'eau. Les marais fonctionnels ont souvent un régime permanent, avec une fluctuation importante de leurs niveaux d'eau en période sèche, alors que dans les marécages temporaires la nappe phréatique superficielle qui affleure en période pluvieuse, descend significativement en saison sèche, ce qui permet aux maraîchers d'exploiter les sols désengorgés.

L'imbrication des zones humides dans les transferts d'eau à travers le couplage *marais-rivière* (concentration des eaux de ruissellement dans les marais et déversement dans les cours d'eau, et vice-versa) à Bangui semble soutenue par les eaux souterraines superficielles (alimentant aussi les puits traditionnels). La plupart des cours d'eau urbains sont connectés sur certains tronçons aux marais et marécages, lesquels sont alimentés par la nappe phréatique superficielle qui se recharge aussi par l'infiltration des eaux pluviales. Lorsqu'il pleut de manière relativement abondante, le ruissellement généralisé qui s'en suit sur le sol nu urbain, se dirige vers ces zones topographiquement basses mais il est aussi collecté par les cours d'eau, ce qui fait que sur leur point de jonction, une sorte de régulation dans les échanges des eaux se produit dans les deux sens : marais-cours d'eau et cours d'eau-marais. La principale conséquence de cette dynamique est que les eaux ruisselantes chargées et troubles affectent pour un temps les deux unités à la fois : dans les *marais*, une décantation se produit majoritairement pendant qu'une partie des MES (Planche V, Photo E) est évacuée, alors que dans les *chenaux fluviaux*, c'est plutôt l'écoulement qui prédomine par rapport à la décantation ou au piégeage des fines ; la décantation et le piégeage fonctionnent quand la décrue rapide s'amorce et que l'écoulement devient lent jusqu'à atteindre son niveau de base. Par ces formes d'échange ou de transfert d'eau, le rythme d'écoulement fluvial peut être soutenu par l'apport des eaux marécageuses.

3.3. De la circulation de l'eau à l'échelle urbaine

Ce nouveau mode de fonctionnement en relation avec le fait anthropique est dû à la géomorphologie ou à la topographie qui attire les écoulements de par la faiblesse de la pente. Ainsi, la circulation de l'eau à l'échelle urbaine suit cette logique notamment dans les zones marécageuses qui participent à l'écoulement ou à la concentration des eaux de ruissellement par l'*hydromorphie* de leurs terrains argileux. Les eaux de ruissellement qui les gagnent ne peuvent s'infiltrer ni s'écouler à partir d'un certain niveau en raison de la faiblesse de la pente, c'est pourquoi nous parlons de *manque d'exutoire*. Toutefois, nous admettons que les marais sont globalement situés au-dessus du niveau de l'Oubangui, mais d'autres réalités sont que ces dépressions ont des pentes locales si faibles qu'elles ne peuvent chasser les eaux qui s'y concentrent. Le processus de ruissellement sur milieu hydromorphe soumet momentanément la ville à des débordements d'eau dans ces secteurs précis lorsque s'abattent des pluies de fortes intensités. C'est à la suite de l'identification de cette dynamique que le PNUD et l'OMS (1972) ont financé un programme d'assainissement et de drainage des eaux pluviales dont la réalisation a modifié la structure des cours d'eau marécageux du site, artificialisant de ce fait le réseau (Figure 36 : p. 97) ; cela n'implique pas que les problèmes d'assainissement à Bangui soient résolus. De plus, le rôle d'*éponge* que les zones marécageuses de Bangui (éponge de la zone *inféroflux*, des marais riverains de Ouango et de ceux du SO, des cours d'eau collecteurs Ngoubagara et Guitangola) ont joué dans les inondations de l'Oubangui en octobre et novembre 1999, mérite d'être signalé. N'eût été la présence de ces zones marécageuses, le centre-ville et quasiment les quartiers riverains eussent été sous l'eau (ou inondés). La majorité des habitations, qui ont colonisé non réglementairement les bas-fonds du sud-ouest, ont malheureusement été immergées aux trois quarts de leur hauteur (Planche X, Photo E), car depuis les inondations de la fin du XIX^e siècle, l'Oubangui avait rarement débordé de son lit durant le XX^e siècle : 1916, 1917, 1938, 1948, 1961, 1962, 1964, 1969, 1975 et 1999 (NGUIMALET, 2003 a). Lors de cet épisode, elle a pris de cours les nouveaux locataires de ces marécages connectés au fleuve *via* la Mpoko et les cours d'eau collecteurs urbains (Ngoubagara essentiellement) (Figures 6 et 36). En complément de ce rôle d'éponge, nous supposons que l'Oubangui draine la nappe phréatique des marais en basses eaux puisque c'est son ancien lit, ce qui renforce ses débits d'étiage dans ses environs immédiats (VII § 6.1).

Nous avons noté le rôle d'*éponge* des bas-fonds marécageux le long de l'Oubangui durant les inondations de 1999 ; ces marais et marécages ont constitué le lit holocène ou son ancien lit qui est aujourd'hui séparé du lit actuel par des bourrelets argilo-sableux, lesquels supportent la route riveraine. Ces bas-fonds communiquent actuellement avec le fleuve *via* la Sapéké (ou la Ngoubagara, le collecteur Kouanga) et la Mpoko dont le niveau à la confluence est toujours influencé par les eaux de l'Oubangui. Pendant cet épisode inondant, le fleuve a coulé dans son ancien lit. C'est ainsi que ces bas-fonds ont absorbé une partie des crues, de même que les affluents sus-cités. Voilà comment ces bas-fonds ont protégé la ville des inondations.

Par ailleurs, l'engorgement des sols par la nappe phréatique, qui tend à affleurer en surface crée l'*hydromorphie* ; celle-ci a un rôle hydrologique indéniable dans les bas-fonds. Elle n'a pas d'influence seulement sur la circulation de l'eau en surface, mais elle agit aussi sur l'équilibre des habitations qui s'écroulent rapidement lorsqu'elles ne sont pas solidement construites, ou qui s'enfoncent lorsque leur soubassement n'est pas fixé sur une couche ferme. Beaucoup de maisons sont victimes de cette hydromorphie ; elle se traduit par un excès d'humidité qui affecte les différents compartiments (murs, charpente, toitures, etc.). Ce processus est le résultat de la topographie et de l'abondance de l'eau dont bénéficient les zones humides de la ville tels que les marais du SO.

4. LES MARAIS DU SUD-OUEST : GUITANGOLA - PETEVO - BIMBO

4.1. Identité des marais du sud-ouest de Bangui

Les marais du sud-ouest sont situés dans la continuité de la Dépression de Bangui logée dans un fossé tectonique colmaté (Figure 28 : p. 74) ; celui-ci fait probablement partie des fossés intracratoniques qui ont orienté l'Oubangui en direction du sud. Nous avons estimé leur superficie à 2,6 km² avec les marécages de la lèvre de l'Oubangui (en liaison avec les bourrelets de berge) qui commencent au sud-ouest du quartier La Kouanga ; ce chiffre prend en compte les limites de leur extension depuis 1988, or elles sont réduites aujourd'hui par rapport à la période antérieure à l'*urbanisation*. Ils drainent des cours d'eau comme la Guitangola et la Sapéké (façonné en collecteur Kouanga, recevant les cours d'eau Kokoro, Ngongonon et Ngoubagara). Ces marais sont délimités au NNE par le plateau de Fatima, à l'O-NO par le plateau de Pélémongo qui fait la jonction entre Fatima et le plateau localisé sur tout le Nord de Bimbo, l'enserrant quasiment ; par l'Oubangui au SSE et par la Mpoko avec son embouchure au SSO (Fig. 6 : p. 27, et 93).

Ces milieux ont été soumis à l'emprise humaine depuis l'époque précoloniale puisque l'embouchure de la Mpoko était déjà habitée ; depuis les années 1950 jusqu'à nos jours l'anthropisation dépasse le cadre de la pêche (les marais sont toujours poissonneux) et se manifeste par les bassins piscicoles, des rizières, le maraîchage et surtout la colonisation par l'*habitat*. Des fossés de drainage et des cavités béantes altèrent son paysage, son fonctionnement et ses activités.

4.2. Evolution diachronique

Nous avons effectué l'analyse diachronique des marais du sud-ouest par photo-interprétation. Elle nous montre que ces milieux ont évolué par réduction de leur superficie et par augmentation de la surface urbanisée entre 1960 et 1999 en raison de la croissance démographique et spatiale de la ville (Fig. 94). Ils sont cependant toujours fonctionnels en période de crue.

Dans ce site marécageux, l'occupation du sol a été progressive et réalisée par à coups (Figures 8 : p. 30, 9 : p. 33, 13 : p. 38, 14 : p. 39, 15 : p. 40, 16 : p.41, et 17 : p. 42) ; les terrains exondés le sont en premier, ce qui explique la présence des vides, ou zones *non aedificandi*, localisés dans des zones marécageuses résiduelles. Lorsqu'il manque de l'espace « sain », les terrains « insalubres », répulsifs au départ, commencent à être colonisés par l'*habitat*. Cette dynamique nous permet de comprendre et de suivre l'évolution des marais du sud-ouest dans l'espace et dans le temps, puisqu'elle est la même à l'échelle urbaine de Bangui. A Bangui donc, les zones marécageuses sont des milieux particuliers de par les paysages qu'elles présentent.

Figure 94 Evolution diachronique des surfaces de marais du Sud-Ouest de Bangui

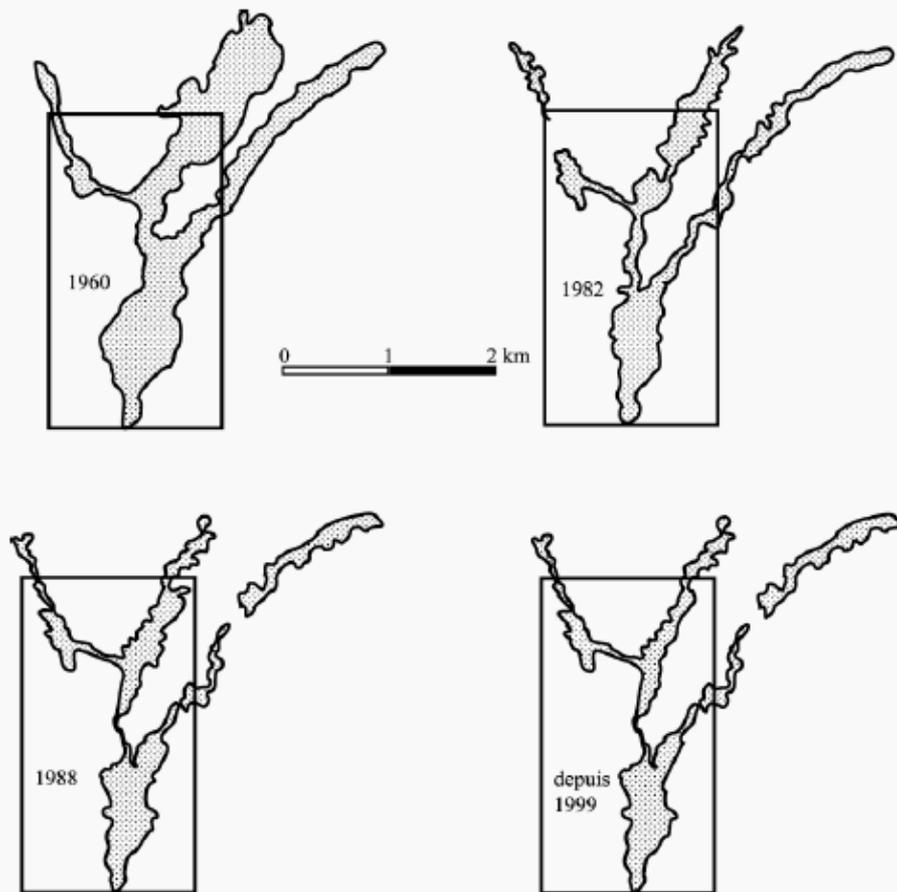


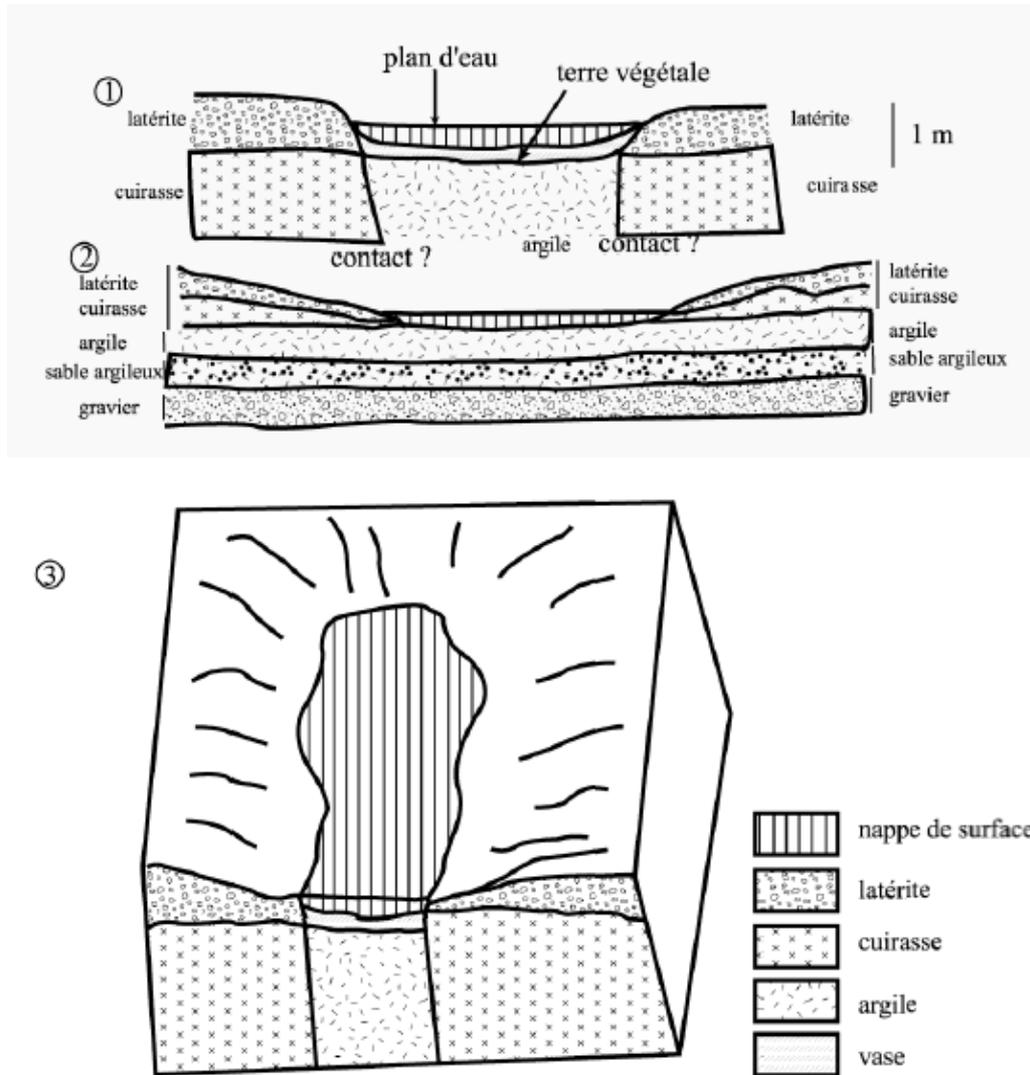
Figure 94 : Evolution diachronique des surfaces des marais du Sud-Ouest

4.3. Les unités paysagères

Nous individualisons les paysages des zones marécageuses du sud-ouest de la ville de Bangui par trois (3) caractères, comme l'ensemble des marécages du site d'ailleurs ; ce sont, selon la pente topographique et le contact systèmes aquatiques - systèmes terrestres, les plateaux latéritisés et cuirassés, la flore et l'étendue d'eau (Fig. 95).

- La *topographie dominante* est constituée par les *plateaux latéritisés et cuirassés* de Fatima d'abord, et de Pélémongo se prolongeant à Bimbo ensuite ; ils enserrant ces bas-fonds dont les points bas sont occupés non seulement par une étendue d'eau mais aussi par une végétation variée. Ces plateaux se localisent généralement en amont morphologique de ces dépressions, les alimentant en eau notamment par des sources résurgentes, ce qui tend à confirmer le caractère filtrant de ces terrains. Ces données nous ont servi à esquisser la structure géomorphologique de ces zones basses (Fig. 95 a et b), laquelle est fondée sur deux hypothèses :
 - ◆ soit les marais sont nés sur le contact terrains latéritisés et cuirassés-argiles, ce qui suppose que l'hydromorphie des argiles y a joué ; ou bien les argiles se sont mises en place dans un fossé ou une cuvette d'effondrement dans les terrains cuirassés et latéritisés ;
 - ◆ soit la présence des marais est la conséquence de la topographie et de l'hydrodynamique différente des deux types de terrains. La figure 95 c présente la forme en plan de la dépression au cœur des terrains latéritisés.

Figure 95 Les unités paysagères et géomorphologiques des zones marécageuses du SO de Bangui



- La flore de ces milieux comprend des espèces relevant de l'interface terre-eau. Elle est composée d'une prairie herbeuse variée et dominante, de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*), de rôniers (*Borassus aethiopicum*), de buissons épineux et autres, d'arbustes épars et d'arbres qui sont souvent bordiers (Planche IX). Le *Borassus* étant rare et l'*Elaeis* est fréquent.
- L'étendue d'eau fluctue annuellement en fonction des saisons, selon les précipitations. C'est elle qui entretient la forme des dépressions et la végétation à l'interface des systèmes terrestres et aquatiques (Planche IX, Photos A, B, D et E).

Les zones marécageuses du sud-ouest, telles que nous les avons présentées ci-dessus, sont un échantillon représentatif de l'étendue marécageuse du site de Bangui. Ceci tient à leur caractère fonctionnel à l'heure actuelle en dépit de la colonisation par l'habitat dans cette partie de la ville. Car la plupart des marais et marécages du site sont aménagés ou systématiquement occupés ; l'hydromorphie qui les caractérise ne s'observe que lorsque les pluies sont très abondantes et la nappe phréatique proche de la surface. La caractérisation sédimentologique de ces bas-fonds, que nous aborderons, contribuera à une meilleure compréhension de leur structuration par rapport aux hypothèses que nous avons émises quant à leur mise en place et quant aux interprétations qui en découlent.

5. ESSAI DE CARACTERISATION SEDIMENTOLOGIQUE DES MARAIS DU SUD-OUEST

5.1. Généralités sur les sols du champ d'étude

Le champ d'étude est constitué essentiellement par les *terres humides* des fonds de vallée de la Guitangola, des marais et marécages de Pétévo et Bimbo (Fig. 93 et 96). Lorsque nous considérons le nouveau périmètre urbain de Bangui qui forme un noyau d'environ 30 km aux deux principales sorties nord et du sud (pk 25) de la ville, en passant par les confins de la Mpoko à l'ouest, les *sols ferrallitiques* dominent (BOULVERT, 1976). Dans le périmètre initial, les sols dominants du site étaient des *sols hydromorphes minéraux, à hydromorphie temporaire ou de profondeur* avec des faciès typiques, lessivés ou indurés ; ils couvrent tout le site de l'Aéroport en commençant au sud par les limites de la vallée de la Kokoro jusqu'au NE de la ville, avec celles de la Ngongonon en passant par le NO à la limite de la vallée de la Ngola. Un autre secteur est celui des quartiers Sica-saïdou, Ngouciment, Mustapha, Basse-Kotto... Viennent ensuite les sols ferrallitiques moyennement à fortement désaturés, appauvris ou à faciès beige ou ocre. C'est dans cette dernière catégorie de sols hydromorphes que nous menons l'étude.

Figure 96 Localisation des profils réalisés dans le champ d'étude

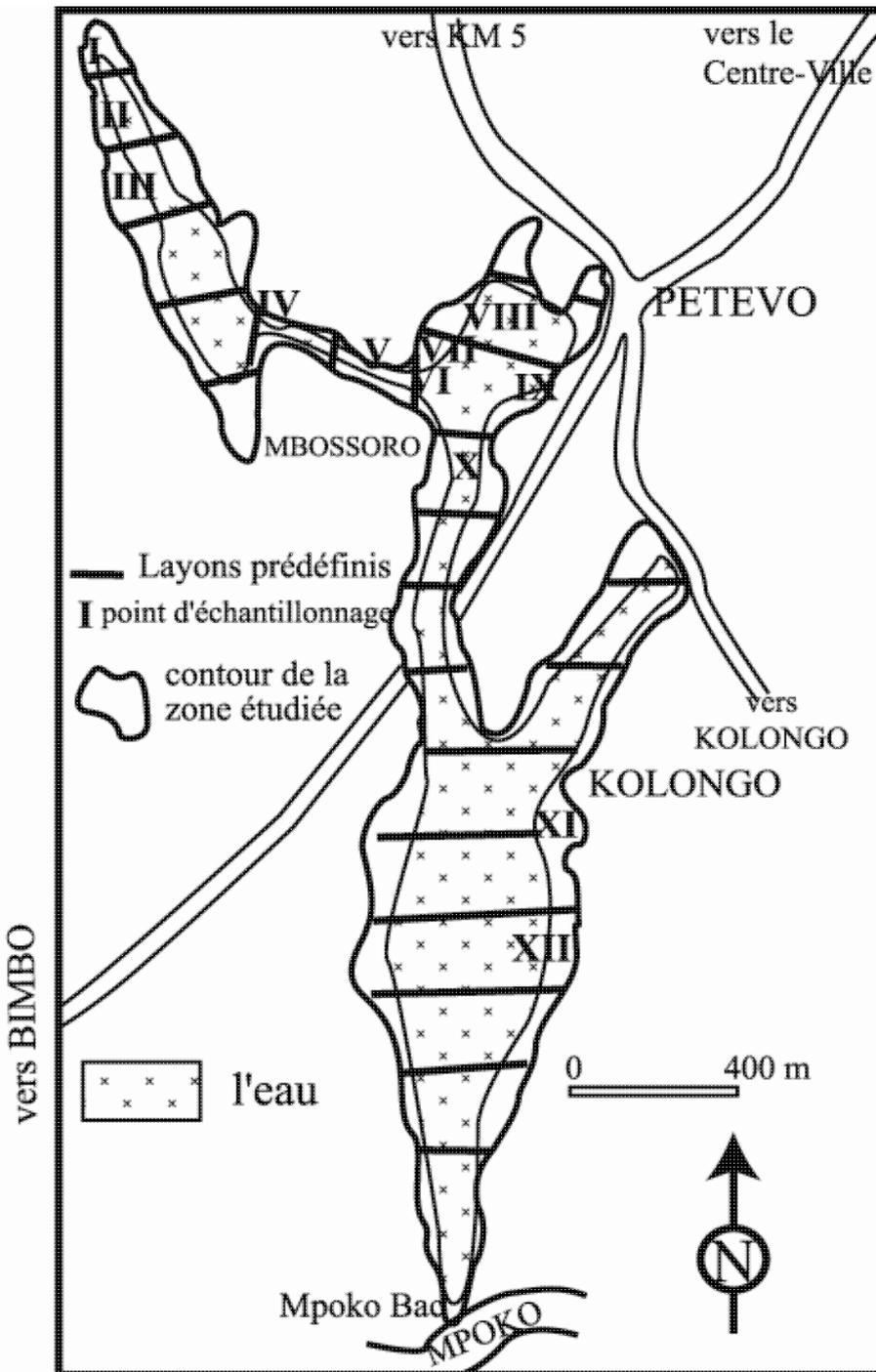


Figure 96 : Localisation des profils réalisés dans le champ d'étude

Les sols des marais étudiés, entre la vallée de la Guitangola et la confluence de la Mpoko, sont de deux types : d'abord, de l'amont à la route qui va à Bimbo, les sols sont *ferrallitiques, fortement à moyennement désaturés appauvris et hydromorphes* ; ensuite, de là vers l'aval, on rencontre les *sols hydromorphes typiques*, selon la classification de BOULVERT (1976).

Ces sols hydromorphes doivent leurs caractères à une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau par suite d'un engorgement temporaire de surface ou de la remontée d'une nappe phréatique. Ils sont observés dans les dépressions de la cuvette congolaise au sud-ouest de Bangui et de la cuvette tchadienne au nord du pays, et

sont caractérisés par des taches d'oxydo-réduction et des hydroxydes de fer de couleur rouille (NGOUANZE, 1980).

5.2. Choix du site et méthode d'étude

5.2.1. Raisons du choix de l'étude

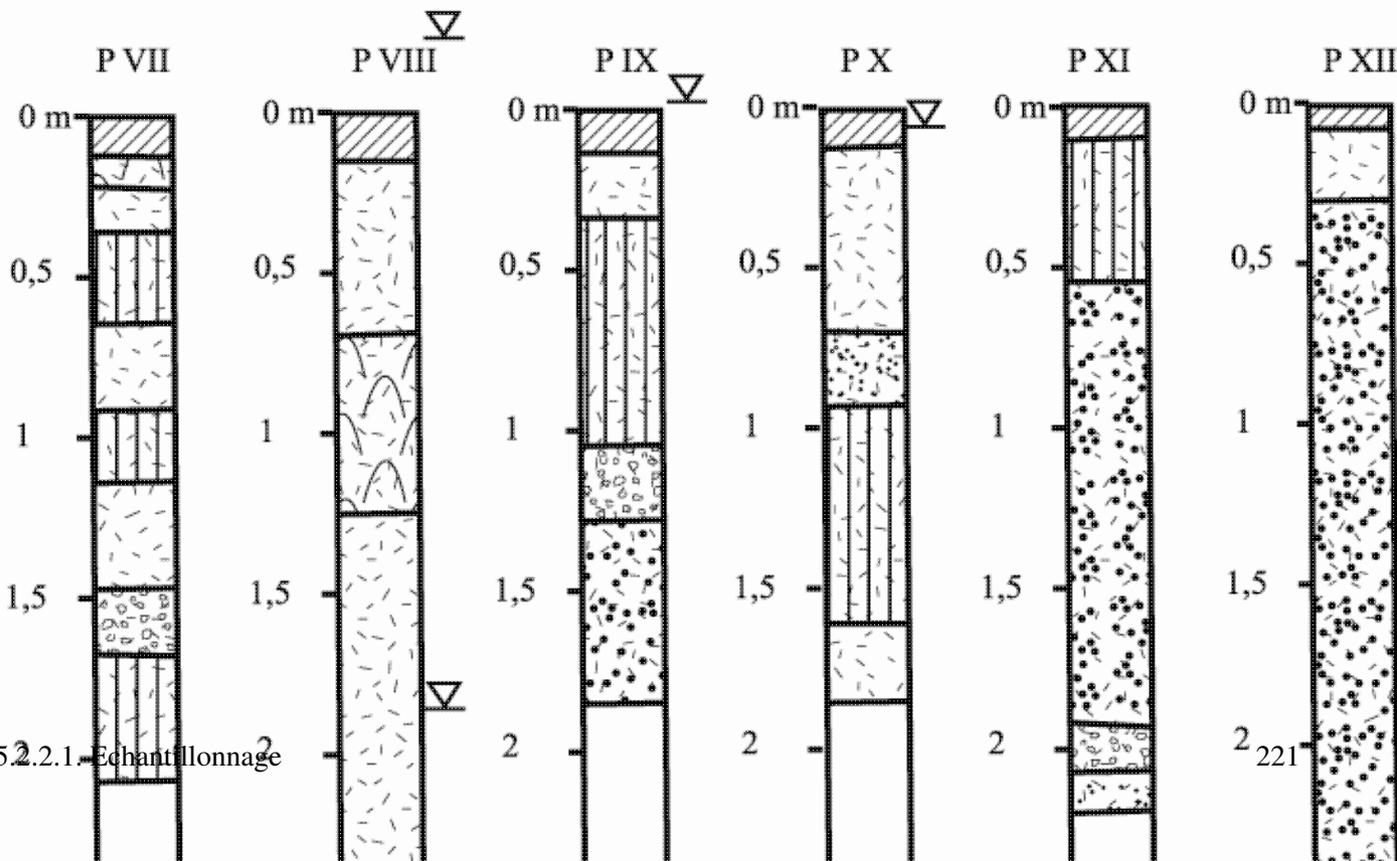
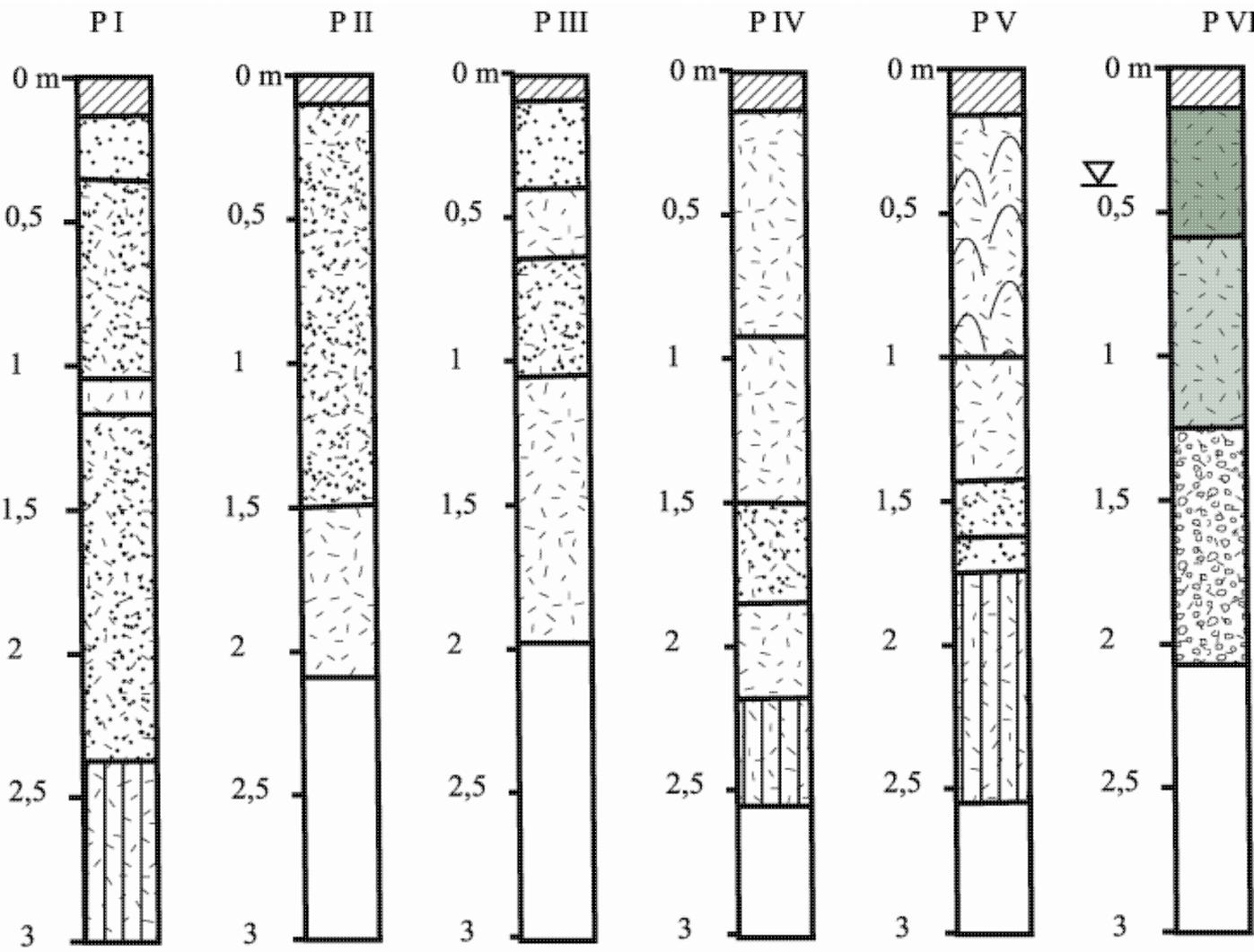
Les motivations de la présente étude se fondent sur l'intérêt de comprendre les hypothèses portant sur l'origine de ces dépressions marécageuses en Centrafrique (BOULVERT et SALOMON, 1988) qui attestent de l'activité d'un *karst* sous-jacent. De nombreux sondages hydrogéologiques révèlent la présence du calcaire dans la plaine de Bangui. Ainsi, le modelé en surface de ces dépressions fermées de forme allongée ou ovoïde est mis en relation avec le calcaire ; les sables siliceux qui le recouvrent activent la *karstification* par l'intermédiaire des eaux de ruissellement et d'infiltration, agissant donc comme une *éponge*. De plus, la production des données pour la compréhension de la structure sédimentaire de ces milieux nous paraît utile, car ils s'insèrent dans l'*impluvium* urbain en raison de leur participation aux processus de ruissellement et de stockage des eaux pluviales à l'échelle de la ville.

5.2.2. Matériel et méthode d'étude

5.2.2.1. Echantillonnage

Une campagne de sondage à la tarière à main, atteignant une profondeur maximale de 3 mètres, nous a servi à lever 12 profils pédologiques et à collecter 111 échantillons (Fig. 97) : les échantillons du profil I sont numérotés à partir de NG 10, ..., ceux du profil II, NG 20, profil III, NG 30, NG 40, ... jusqu'à NG 120 pour le profil XII. Les prélèvements des sédiments ont été ponctuels sur un espace d'une superficie approximative de 2,6 km² (Figures 93 et 97), et menés de manière aléatoire en fonction des traits morphologiques que les sédiments présentent sur le terrain. Selon ces critères, chaque prélèvement réalisé à un pas d'échantillonnage de 12 à 25 cm selon les caractéristiques apparentes des horizons et selon la taille de l'échantillonneur de la tarière, est mis dans un sac en plastique. Par la suite, les échantillons sont stockés au laboratoire de l'ex-Centre IRD de Bangui à chaque fin de journée ; la campagne a duré en tout une semaine de la saison pluvieuse, pendant les eaux moyennes en septembre 1999. Cette année-là, l'Oubangui a inondé une partie de la ville, de même que ces bas-fonds du sud-ouest (fin octobre-début novembre) (Planches X et XI).

Figure 97 Les profils sédimentologiques réalisés dans la zone d'étude



Des layons ont été définis pour orienter les prélèvements, mais ils ont été abandonnés en raison du nombre d'échantillons à analyser (voir Figures 93 et 96) ; ils ont laissé place aux points de prélèvement (en chiffres romains). L'échantillonnage s'observe sur une méridienne, de l'amont à l'aval selon l'orientation des marais le long de la Guitangola, depuis l'ouest du Plateau de Fatima jusqu'à la proximité de la confluence de la Mpoko, qui constitue l'exutoire de ces marais dans le sud-ouest.

5.2.2.2. Les types d'analyses

Plusieurs types d'analyses granulométriques ont été appliqués aux sédiments des bas-fonds du sud-ouest, de même qu'une mesure du taux d'humidité puisqu'ils étaient gorgés d'eau lors des prélèvements ; enfin, a été réalisée une estimation du poids des fines (argile, limon) par rapport aux fractions sableuses.

Une partie des analyses a été faite à Bangui au laboratoire de Géologie et d'Hydrologie de l'IRD : il s'agit de la séparation des éléments fins et grossiers à 2 mm, l'extraction du sable des sédiments bruts et le fractionnement par tamisage avec pesée de chaque résidu.

1. Les analyses granulométriques ont concerné la séparation de la fraction sableuse par rapport à la terre totale (voir V § 5.2.1). Les paramètres granulométriques que nous avons retenus dans cette étude sont le premier quartile (Q1), la médiane (MD) et le troisième quartile (Q3) ; ces paramètres ont permis de calculer un indice granulométrique (Qdphi) dont l'intérêt est de quantifier la pente de chacune des courbes cumulatives, en indiquant la valeur du tri qui a caractérisé les dépôts.

Au-delà des aspects définis ci-dessus, une séparation à 2 mm (graviers nodules par exemple) a été opérée en pesant la terre totale séchée à l'air ; ensuite un tamisage de cette terre totale a été réalisé à la maille de 2 mm en effritant les agrégats à la main, pour éviter de briser les grains fragiles du squelette (feldspaths altérés, ...). Les deux fractions obtenues nous ont permis de calculer les pourcentages des éléments grossiers (> 2 mm) et des éléments fins (< 2 mm), ce qui donne une idée grossière des tailles des matériaux à analyser. Ensuite, un lavage des graviers et un séchage à 105° ont été effectués dans le but de faire la granulométrie complète des sables.

1. L'humidité pondérale a aussi été calculée à titre indicatif sur trois échantillons afin de connaître leur poids du fait que les sédiments au prélèvement étaient gorgés d'eau. L'approche consiste à mettre de l'échantillon humide dans une tare dont le poids est connu et de le peser. Ensuite, nous mettons tout à l'étuve à 105° et nous reprenons la pesée pour déterminer le poids du sédiment à l'état sec. Le sédiment sec est lavé pour évacuer les limons et argiles au bénéfice du sable : l'intérêt est d'estimer la proportion du sable par rapport aux fines contenues dans chaque échantillon, étant donné que le sédiment est à dominante argileuse.

Nous avons appliqué cette dernière technique à trois autres échantillons afin d'avoir une idée du volume des fines.

5.3. Caractéristiques sédimentologiques

Selon la séparation des sédiments bruts entre éléments fins (< 2 mm) et grossiers (> 2 mm), il apparaît que les échantillons qui ont été analysés, pourtant à dominance argileuse, sont composés en moyenne de 84,40 % d'éléments fins et de 15,60 % d'éléments grossiers (Figure 98). Cela suppose que l'argile comporte toujours du sable et du gravier. Les sédiments sont en fait constitués pour l'essentiel de matériaux de la taille des argiles, des limons, des sables et de quelques graviers, galets et nodules ferrugineux. La proportion des éléments fins baisse grossièrement d'amont en aval alors qu'inversement les éléments grossiers augmentent de volume de l'amont à l'aval, bien qu'au niveau du profil pédologique VI (NG 60, NG 61, ... NG 67) la dominance des éléments grossiers ait perturbé ces deux tendances. Ceci montre qu'un équilibre dynamique dans la proportion des matériaux fins et grossiers se matérialise en aval. De plus, la détermination du volume

des fines comparativement à celui des sables, par lavage des sédiments, tend à confirmer ces résultats (Tableau XXVI).

Figure 98 Proportions d'éléments fins (EF) et grossiers (EG) dans les échantillons analysés

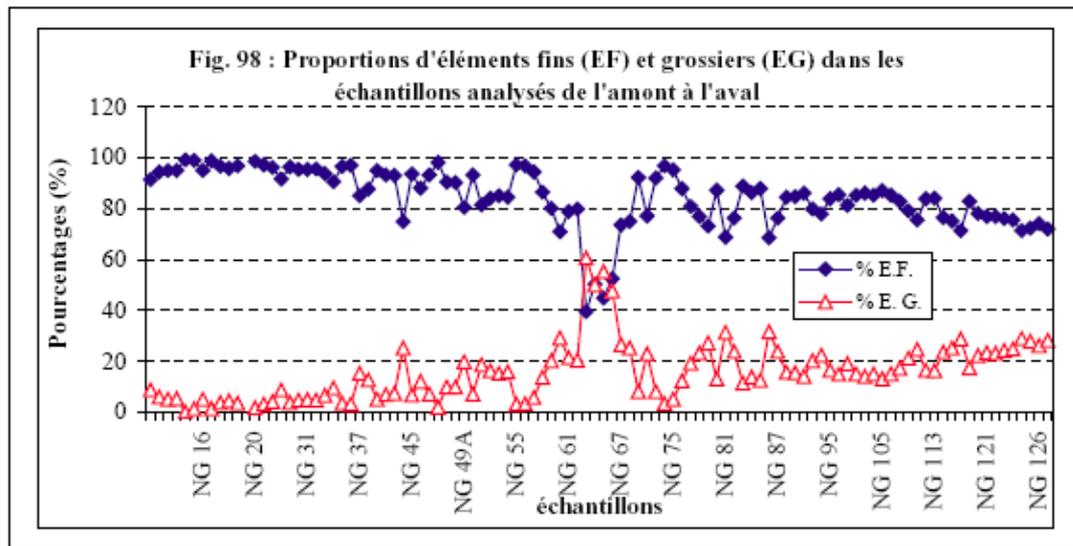


Tableau XXVI : Quelques indications sur la proportion des fines et sur celle des sables par échantillon

Echantillons	Poids avant lavage (g)	Poids après lavage (g)	% Fines	% Sables
NG 123	677,47	2,56	99,62	00,38
NG 125'	591,42	68,1	88,49	11,51
NG 127	605	72,39	88,03	11,97
NG 128	607,34	79,64	86,89	13,11

Dans ce contexte, l'humidité pondérale mesurée sur trois (3) échantillons montre des valeurs variables allant de 10 à 30 % du volume de l'échantillon, 70 à 90 % étant donc constitués par la fraction minérale. Par ailleurs, lorsque nous comparons les logs stratigraphiques des sondages à la tarière ou d'autres réalisés à Bangui par le passé (Figures 99 a et b), nous remarquons que la paléodynamique sédimentaire est probablement la même comme la succession des strates observées le confirme : argile, sable argileux, gravier, alternant localement avec de la latérite. Nous en déduisons que la sédimentation dans la plaine de Bangui à l'échelle du site devrait être simultanée un peu partout, et les apports des petits cours d'eau, comme la Ngola, la Ngoubagara et la Kokoro, ne seraient pas négligeables face aux inondations passées du fleuve Oubangui dans ces apports sédimentaires.

Figure 99 Logs stratigraphiques de quelques sondages réalisés à Bangui (DMG, 1964 ; VINERI, 1965)

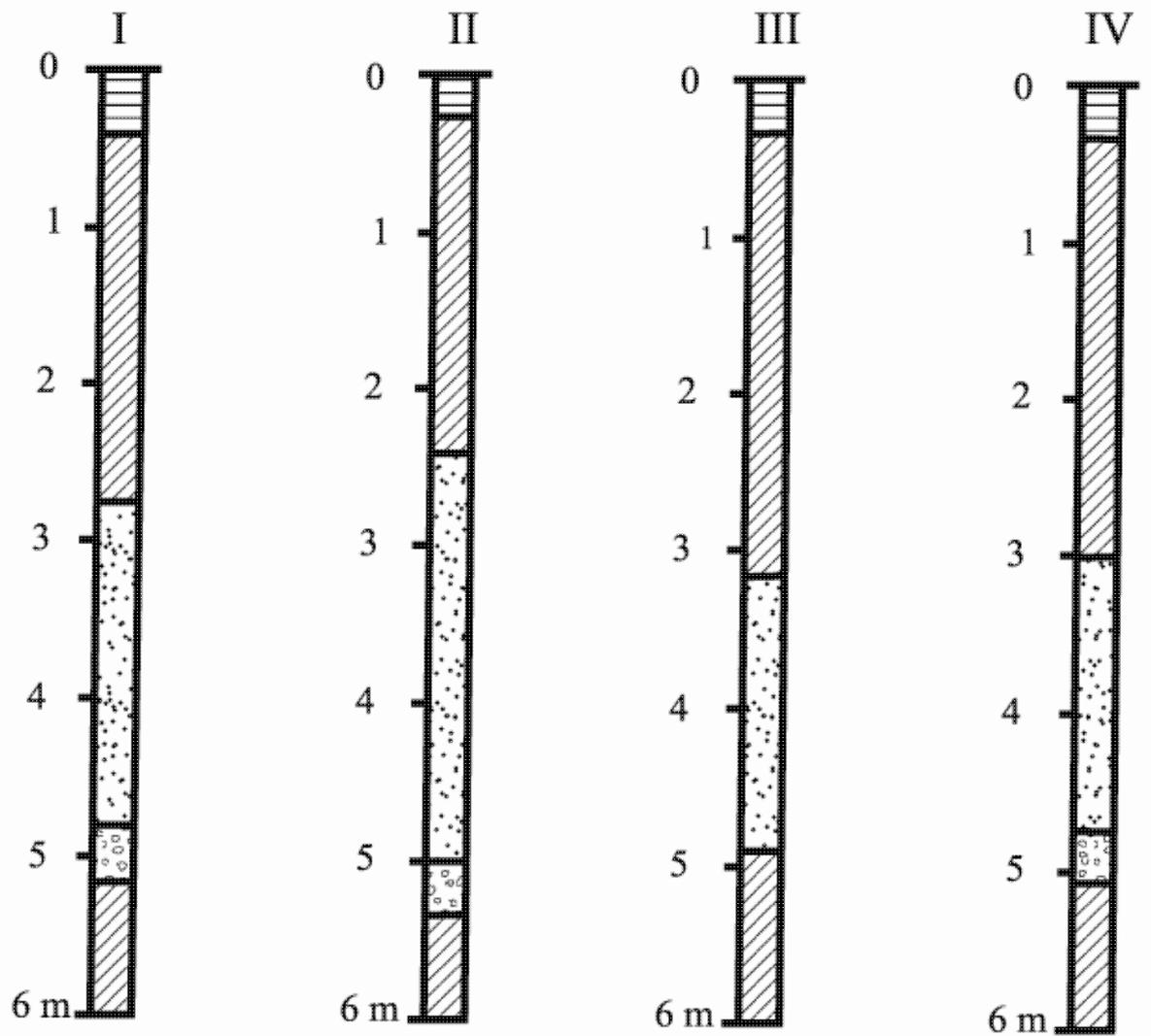
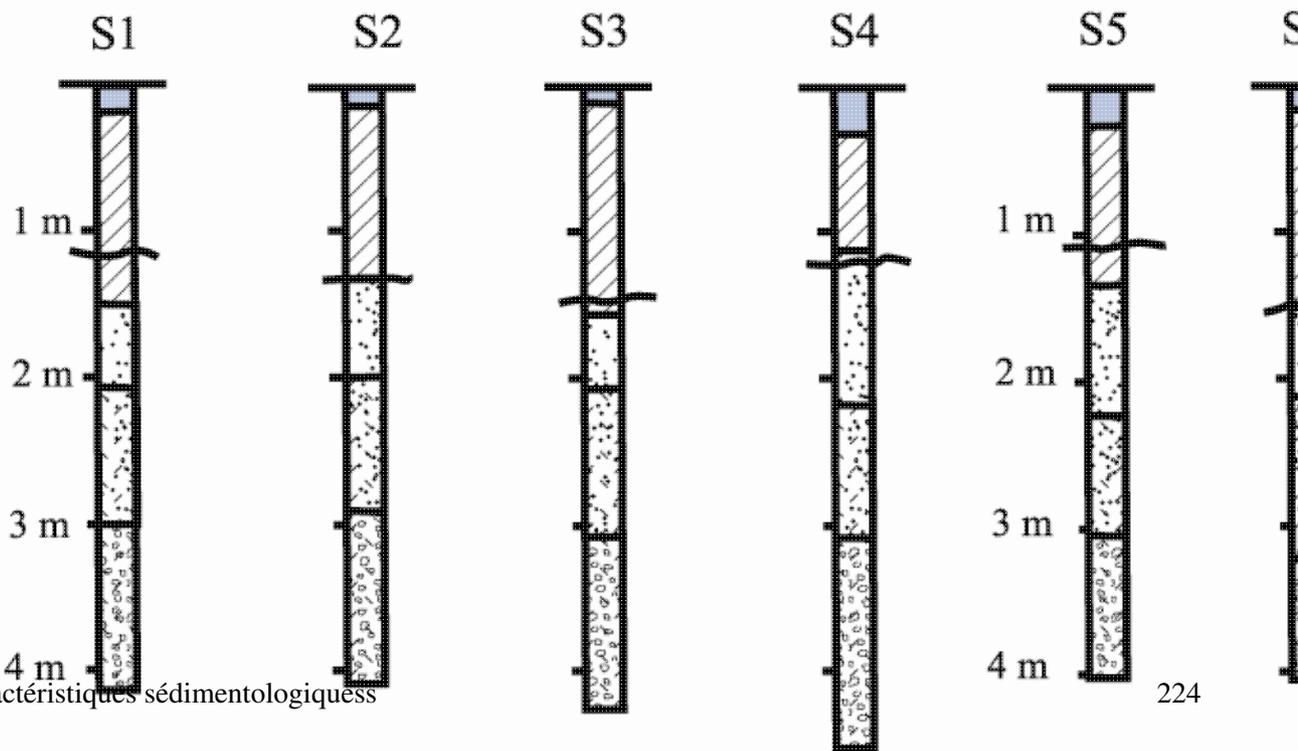


Figure 99 a : Logs des sondages du lotissement du Centre Culturel



En effet, ces petits cours d'eau urbains ont leurs sources dans les collines (à l'exception de la Kokoro) à des altitudes supérieures ou égales à 500 m ; dans ce cas, des précipitations plus abondantes qu'actuellement, en relation avec les séquences humides du Quaternaire, peuvent expliquer des érosions et des transports importants le long de ces cours d'eau ; les eaux et les sédiments franchissent en effet une dénivellation forte de 200 à 300 m (des collines à la plaine). Une telle paléodynamique pouvait alimenter le fleuve en sédiments de tous les calibres, dont certains ont été piégés, déposés dans ces bas-fonds étudiés, avec des signatures variées. Ces caractéristiques de sédiments sont aussi notables dans les sables.

5.3.1. Evolution de la granulométrie des sables

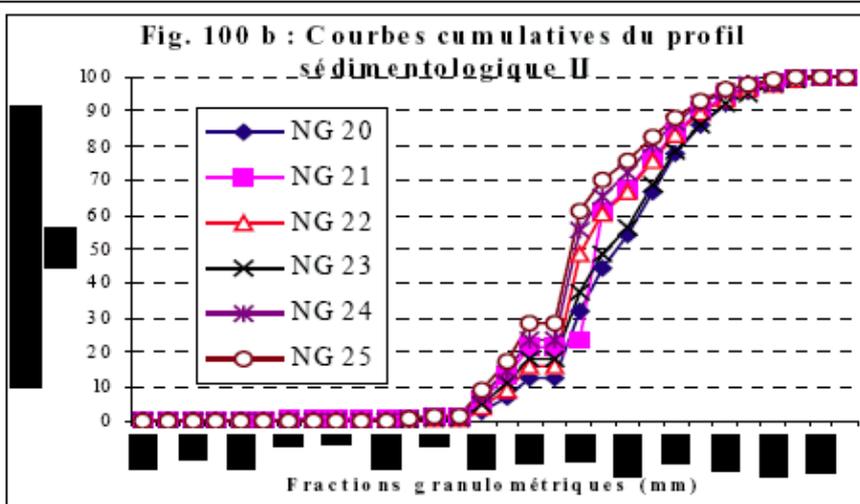
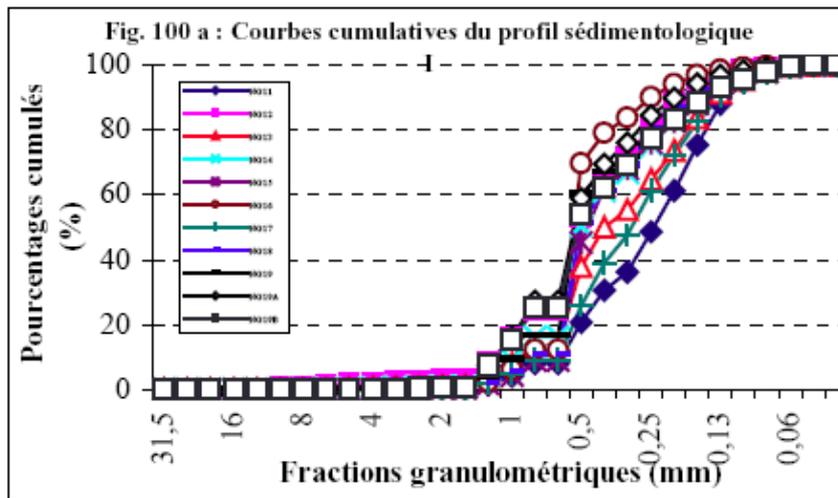
Les courbes cumulatives pour chacun des douze profils sédimentologiques résultant des sondages nous fournissent des éléments d'appréciation sur la dynamique sédimentaire passée (Fig. 100), étant donné que les prélèvements ont atteint une profondeur maximale de trois mètres.

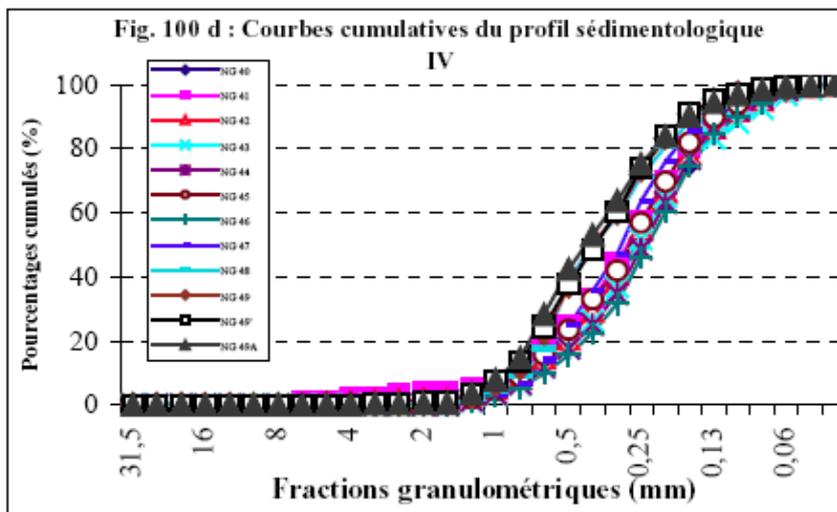
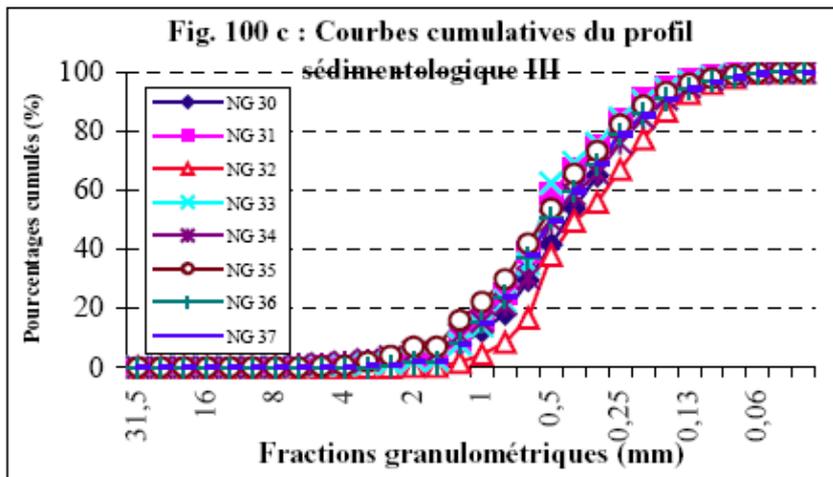
Dans les trois premiers profils sédimentologiques (I, II et III), les courbes sont dans l'ensemble sigmoïdes, ce qui indiquerait une accumulation d'origine fluviale, avec des sables dont un peu plus de la moitié est constituée des grains de 0,5 mm de diamètre. Cela suggère que l'écoulement peut être faible au vu de la platitude du relief et de la couverture du sol.

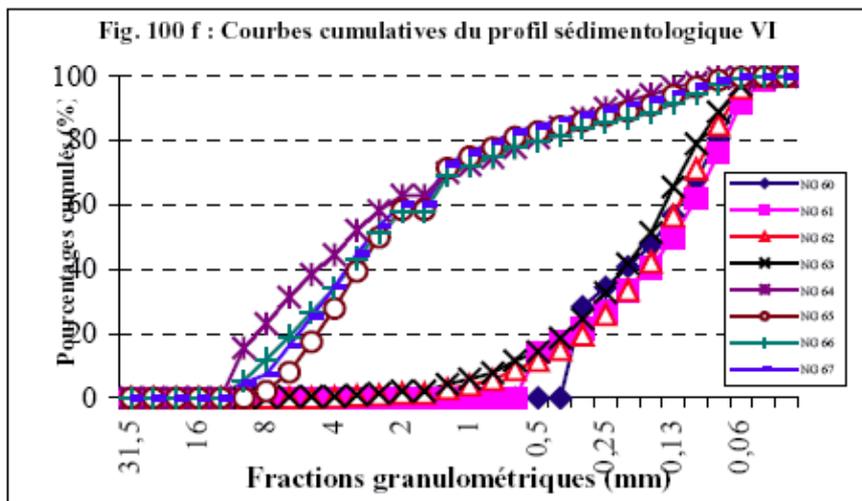
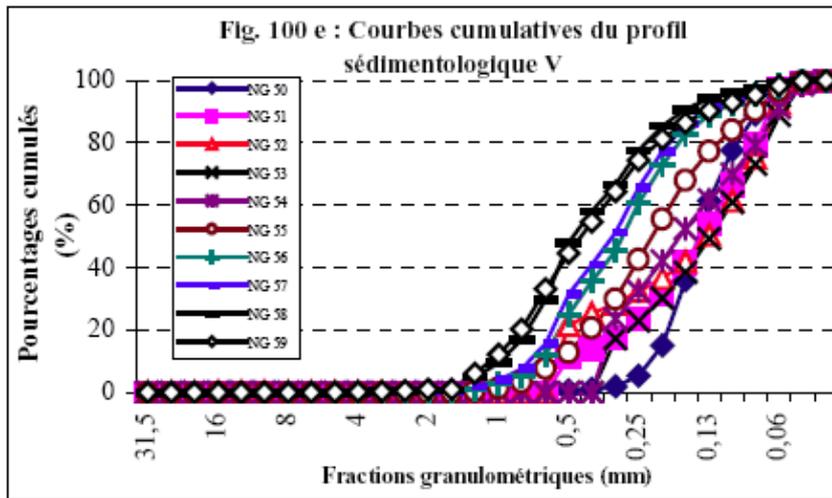
Un peu en aval des premiers profils, ceux qui les suivent immédiatement (IV, V et VI) n'ont pas connu la même dynamique. Les courbes cumulatives du profil IV sont aussi sigmoïdes dans l'ensemble mais certaines strates échantillonnées présentent des figures qui tendent à être logarithmiques, suggérant une absence de tri. Sur le profil V, l'absence de tri caractérise la succession des dépôts, avec probablement un écoulement brutal qui serait dû à des crues exceptionnelles, mobilisant les matériaux. Deux types de courbes se lisent sur le profil VI : des sub-paraboliques (NG 60, 61, 62 et 63) et des sub-hyperboliques (NG 64, 65, 66 et 67), traduisant deux dynamiques différentes. Ainsi, deux interprétations pourraient donc les expliquer : soit une érosion importante, alliée à un écoulement d'une compétence donnée, s'est produite dans un contexte probablement sec, avec une absence de couverture végétale, ce qui rendrait compte du transport de ces sédiments grossiers (Figure 98) ; soit cette dynamique précédente a alterné avec une période où l'érosion et l'écoulement étaient faibles dans un contexte humide, avec présence de la végétation qui ne permettait qu'un transport et un dépôt des éléments fins.

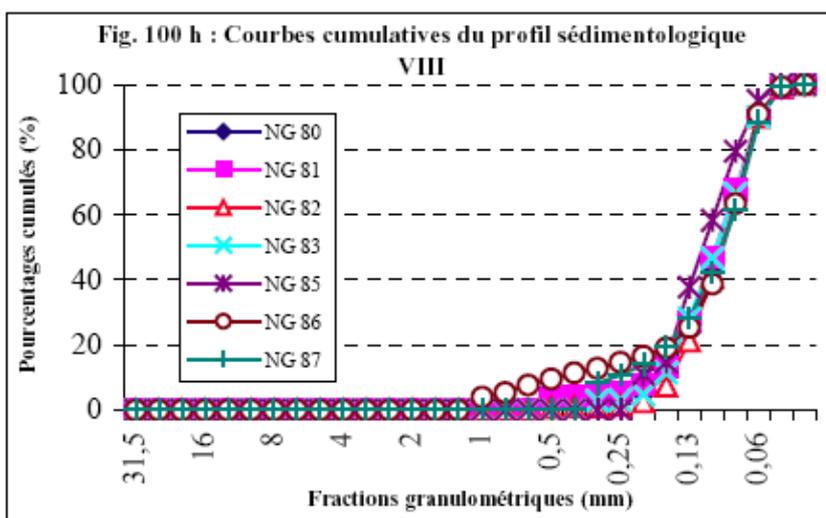
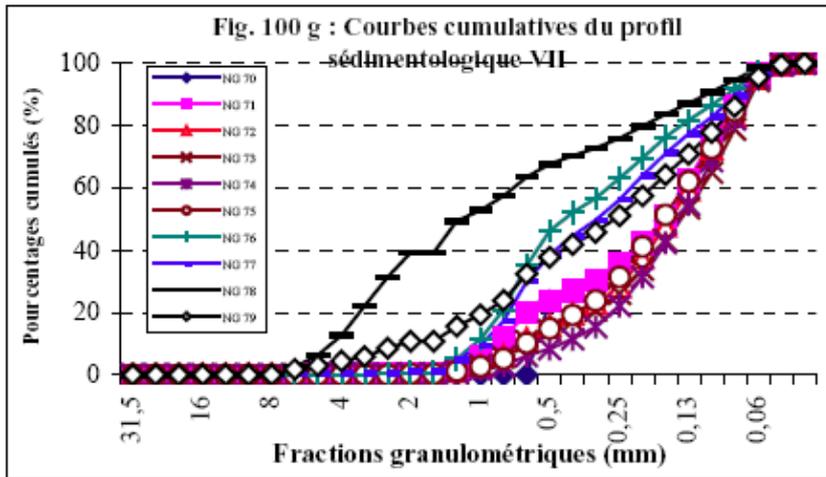
Quant aux courbes cumulatives des profils VII, VIII et IX (Fig. 100 g, h et i), leur lecture nous fait constater une similitude dans les modes de dépôt des échantillons correspondant aux profils sédimentologiques VII et IX ; cependant, quelques cas de classement se relèvent dans le profil VII, notamment pour certains échantillons des horizons superficiels (NG 70, 71, 72, 73 et 75).

Figure 100 Courbes cumulatives granulométriques de sables des profils sédimentologiques réalisés dans les bas-fonds du SO



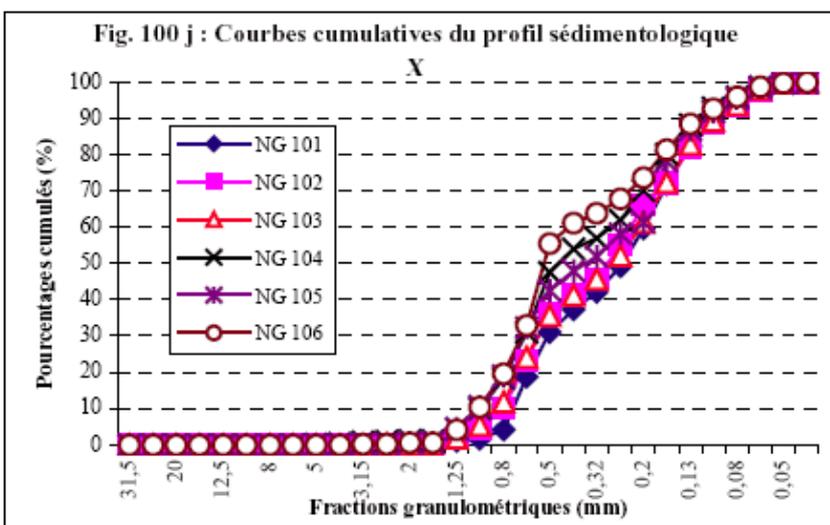
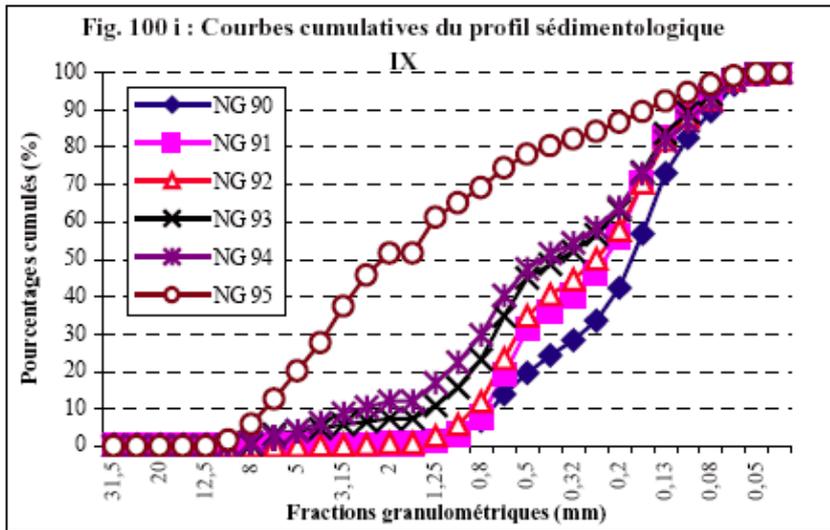


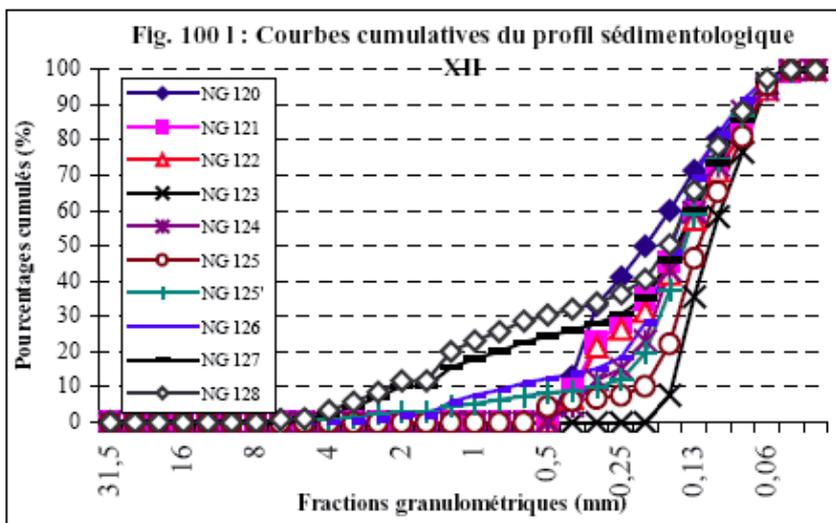
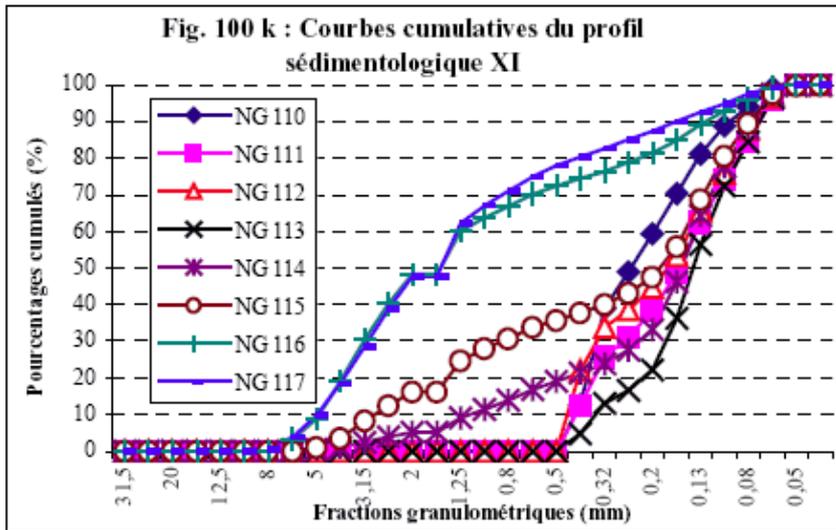




Ainsi, la sédimentation est déterminée par plusieurs dynamiques : les courbes logarithmiques à sub-logarithmiques suggèrent une quasi-absence de tri dominante dans les deux profils, cependant que les cas de classement obtenus sur certaines courbes du profil VII indiquent une sédimentation alternant les processus fluviaux et les processus à caractère brutal. En revanche, sur les courbes paraboliques du profil VIII où prédominent des éléments fins, un phénomène de décantation dans un bassin de retenue ou un lac, ou bien dans une ambiance fluviale nous a semblé possible. Les marges passives des réseaux hydrographiques qui sont caractérisées par ces dépôts fins, du fait de la faiblesse de l'écoulement ou du piège de la ripisylve, évolueraient comme des bassins de décantation.

Figures 100 (suite)

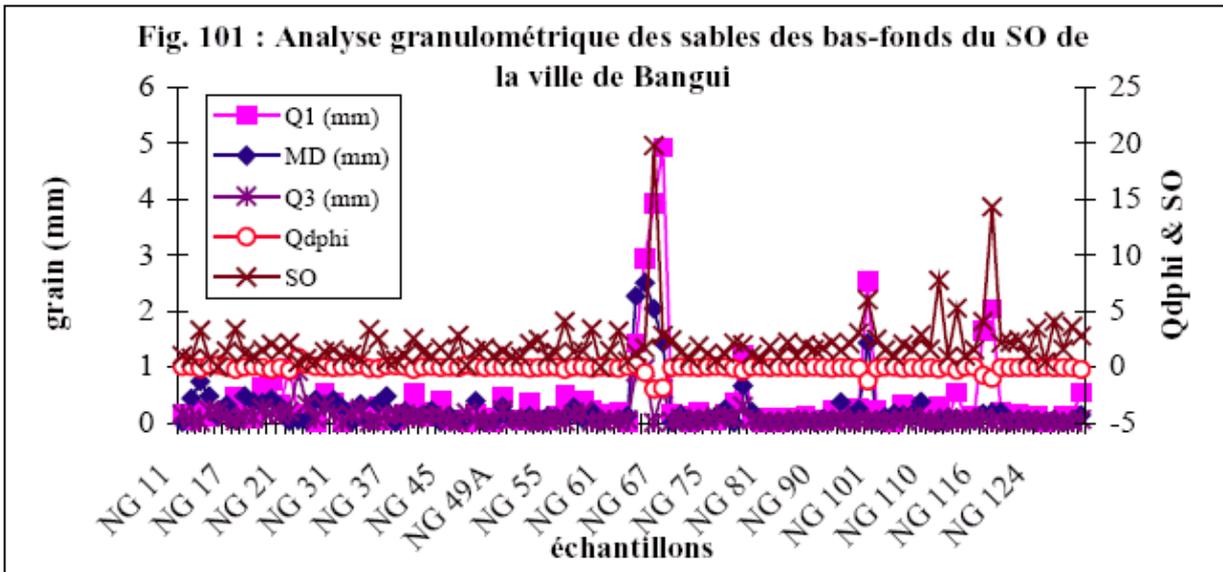




Enfin, les profils X, XI et XII (Fig. 100 j, k et l) n'ont pas été formés par les mêmes types de dépôts ; cela est lisible sur les courbes cumulatives respectives. Les turbidites grano-classées plurimodales caractérisent les courbes du profil X, ce qui suppose un mélange de stocks différents de matériaux parfois interprétés comme des « turbidites » continentales. Pour le profil XI, nous avons des courbes sub-hyperboliques (prédominance d'éléments grossiers), des courbes indiquant des turbidites évoluées et des sub-paraboliques ; cela montre qu'une absence de tri avec intercalation d'éléments grossiers souvent à la base (NG 115, 116 et 117) et d'éléments fins dans les horizons supérieurs explique la dynamique sédimentaire.

Le dernier profil (XII) présente des courbes à turbidites évoluées, des sub-paraboliques et des paraboliques. Dans l'ensemble, les éléments fins semblent résulter de dépôts de ruissellement à indices d'évolution très élevés ; des indices de remaniement de sédiments très fins et peut-être de suraccumulation y sont remarqués. Ainsi, cette tendance à l'alternance d'écoulements brutaux et lents, qui met en relief une variété de modes de sédimentation et de transport avec des matériaux fins et grossiers emballés dans une matrice argileuse qui s'intercalent, est minimisée, voire masquée par les résultats de l'analyse granulométrique (Fig. 101).

Figures 101 Analyse granulométrique des sables de bas-fonds du SO de la ville de Bangui



Ces sables, bien que globalement fins, deviennent progressivement plus fins, de l'amont à l'aval, avec une diminution du grain moyen (MD), même si localement sa valeur peut équivaloir, voire dépasser celle du Q1. Ils paraissent mieux classés selon les indices granulométriques $Qdphi$ et SO calculés (Fig. 101). La perturbation des valeurs des paramètres et des indices obtenus sur le profil VI s'explique par la prépondérance des éléments grossiers (voir le pic des figures 98 et 101) ; aussi la localisation de ce point d'échantillonnage à la confluence de la Guitangola avec l'ancien lit de l'Oubangui, aujourd'hui marécageux, justifierait-elle d'une forte compétence de ce petit cours d'eau dans le temps. Ce cas est le plus perceptible, toutefois certaines fractions grossières se remarquent épisodiquement vers l'aval, et influencent le classement qui n'est pas du tout bon ; cela se matérialise sur les courbes cumulatives des profils VII à XII (Fig. 100 g à l).

5.3.2. Origine des dépôts

Les dépôts étudiés sont formés des matériaux qui ont colmaté la dépression tectonique de Bangui, et de ce fait les échantillons bruts et sables dérivés qui ont été analysés ont connu une dynamique sub-actuelle (Quaternaire). Cela se matérialise bien dans les courbes cumulatives de chaque échantillon à l'échelle d'un profil sédimentologique par exemple (Figures 100), car la succession des strates de bas en haut (sur une profondeur maximale de 3 m) n'a pas été seulement influencée par une même dynamique de dépôt : il y en a eu plusieurs. Ainsi, nous comprenons bien que c'est l'érosion des roches en place (quartzites, schistes,) ou des environs du site qui préside à cette fourniture sédimentaire. Dans ce contexte, l'analyse des minéraux lourds corrélatifs de la sédimentation montre que ce sont essentiellement les roches cristallophylliennes aux abords du site, notamment les abords de la dépression de Bangui, qui ont libéré le matériel (NGUIMALET, 2003 c). La présence dominante du zircon, de la tourmaline et à un degré moindre du rutile dans les différents profils (de l'amont à l'aval) nous enseigne que le matériel proviendrait des roches acides de la région de Bangui (gneiss, quartzites, micaschistes...) ; la staurotide, le disthène, l'épidote, la hornblende, la sphène et le grenat sont des minéraux qui dérivent des roches métamorphiques, schistes, micaschistes et quartzites du Complexe de base. La surreprésentation du zircon, de la tourmaline et du rutile serait liée à leur résistance à l'érosion ou à l'altération (CENSIER et OLIVRY, 1993). Toutefois, il se pose un problème : l'éloignement du site d'échantillonnage par rapport aux formations géologiques à l'origine de la sédimentation, à l'exception des Grès de Bimbo qui sont les plus proches. Ainsi, comment pouvons-nous définir le sens de remplissage du fossé de Bangui ou de la progradation des sédiments ? En effet, nous avons l'impression que la structure des séries sédimentaires discordantes sur le socle précambrien dans la plaine du site de Bangui semble être la même, mais qu'elle est localement modifiée par l'altération latéritique (Figures 27 : p. 72, 30 : p. 78, 32 : p. 82 et 99 : p. 261). Lorsque nous prenons en compte les critères d'appréciation « pente » et « dénivellation » pour déterminer la direction du remplissage sédimentaire (Figure 28), nous sommes en droit de proposer que

les matériaux proviennent grossièrement du NNE-NS et de l'Est ; mais dans cette dynamique, les apports de l'Oubangui ne seraient pas à minimiser, notamment à partir du SE et du sud. En tout cas jusque-là, aucune tentative d'explication plausible des conditions de remplissage du fossé tectonique de la plaine de Bangui n'a été avancée pour expliquer le caractère ubiquiste des strates de dépôts relevées par sondage. Ce qui devrait permettre de situer avec une plus ou moins grande précision les sources du matériel mobilisé et déposé. Néanmoins, la prépondérance des sables quartzeux et des nodules ferrugineux souvent emballés dans une matrice argileuse contribue à indiquer que les quartzites de Bangui et les Grès de Bimbo auraient libéré l'essentiel du matériel ; par la suite, il aurait été maintes fois remanié, d'où la présence de l'argile selon les modes d'écoulement et de dépôt, et celle des nodules ferrugineux. La composition de ce matériel détritique (argile, sables quartzeux, nodules ferrugineux) a été confirmée par l'analyse des minéraux lourds et par la spectrométrie à infrarouge (NGUIMALET, 2003 b). Or si les nodules ferrugineux sont corrélatifs des dépôts, cela suppose que la latérite qui les a produits a déjà existé, puis a été érodée et transportée ; les sédiments étudiés en contiennent des éléments remaniés. Ainsi, nous pouvons admettre que ce matériel latéritique provient de l'érosion. De plus, la mise en évidence des graviers de quartzites roulés d'environ 1 cm de diamètre à 3 m de profondeur laisse des interrogations sur les conditions de mise en place de ces séries sédimentaires ; un paléo-écoulement en régime semi-aride semble possible.

5.4. Discussion, le poids de l'eau dans l'évolution globale des marais étudiés

Les zones marécageuses sont des espaces humides à cause de l'abondance des pluies qui les entretiennent et de leur géomorphologie, car si Bangui se retrouvait subitement en zone aride, sans précipitations, la morphologie de ces dépressions serait figée comme à l'exemple des vallées sèches des plateaux gréseux du pays (Carnot et Mouka-Ouadda) ; ceci montre combien l'eau est incontournable dans l'évolution de ces milieux. En faisant une synthèse des développements précédents, nous remarquons aussi l'influence passée et actuelle de l'eau sur l'existence des zones marécageuses de Bangui, ce à plusieurs échelles : de la mise en place de leur « substrat » à leur naissance, en passant par leur « évolution humaine » de nos jours.

D'abord, *la mise en place de leur « substrat » et la naissance de ces milieux humides* sont à mettre sur le compte de l'évolution géodynamique et paléoclimatique depuis le Mésozoïque (BOULVERT, 1996). Cette dynamique, qui a atteint son paroxysme durant le Cénozoïque et s'est auto-entretenu et régulée pendant le Quaternaire (avec des alternances climatiques) pour donner les paysages actuels, a engendré ces dépôts dont sont issues les dépressions marécageuses, par le truchement de l'eau. Ainsi, le processus a commencé avec l'ouverture de l'Atlantique sud, synonyme de dislocation de la *Pangée*. Il a amélioré la pluviosité à l'intérieur du continent dont l'espace de l'actuel Centrafrique, le climat ayant été tropical humide au *Maestrichien* (fin Crétacé). L'abondance de l'eau, couplée aux mouvements tectoniques, favorisa l'érosion.

Dans le site de la future ville de Bangui, des fractures ont cisailé les quartzites mis en relief et des distensions ont créé le fossé tectonique de la Dépression de Bangui, de même que celui dans lequel coule la Yangana au nord de la ville. Le remplissage du fossé a commencé avec des matériaux grossiers, quelquefois avec de la matrice argileuse, alternant avec des dépôts fins, et s'est accompagné de l'altération latéritique qui a marqué ces séries sédimentaires. La formation de l'argile dans les premières couches de ces dépôts d'une certaine puissance serait à l'origine de ces dépressions à Bangui. Car l'*argile* est un *silicate hydraté*, pouvant se saturer d'eau jusqu'à 50 % et la transférer par capillarité aussi bien à partir de la nappe superficielle que de la nappe phréatique ; de là, elle devient imperméable et retient de l'eau en surface si la topographie en forme de cuvette ou la géomorphologie le rendent possible. C'est vraisemblablement ce schéma qui explique la présence des zones marécageuses à Bangui et dans sa région, surtout qu'à leur surface la pente est quasiment nulle ; comme elle se sature d'eau, les pluies qui tombent ne peuvent y constituer que des mares, des étangs ou des marais. Toutefois, les pulsations climatiques, voire hydroclimatiques, quaternaires marqueraient les dépôts dans les bas-fonds étudiés, mais leurs séquences sont encore trop mal connues pour faire un calage avec les périodes d'oscillations climatiques aussi bien dans le bassin tchadien que dans celui du Congo.

Quant à ce que nous appelons « *évolution humaine* » *actuelle des zones marécageuses*, nous avons fait allusion à la présence humaine progressivement grandissante dans l'espace et dans le temps, et à son impact sur la circulation de l'eau de nos jours dans ces milieux façonnés, en raison de l'*urbanisation accélérée* ou des formes d'occupation du sol. En effet, il s'est toujours posé le problème du drainage des eaux à Bangui de l'époque coloniale à nos jours, et cette question est persistante probablement en raison de la géomorphologie de la plaine et de l'abondance des précipitations, mais aussi d'aménagements inadéquats. Or l'établissement humain dénude le sol, préluant à un ruissellement généralisé lorsqu'il pleut, et de ce fait la concentration des eaux dans les zones basses marécageuses et mal drainées ne cesse de réactualiser le problème. Cela met en évidence un manque chronique de politique volontariste des administrations (coloniales et post-coloniales) pour résoudre ce problème. La confirmation se traduit par la colonisation des bas-fonds encore fonctionnels, par l'extension de l'habitat sans que l'administration actuelle s'en inquiète, cette occupation du sol n'étant pas planifiée. De cette façon, les conséquences de l'occupation de ces milieux humides se manifestent par les risques d'inondation dus à la concentration des eaux de ruissellement et par l'effondrement des habitations car les terrains argileux saturés d'eau ne sont pas stables quand il pleut. Ainsi, l'évolution passée et actuelle des zones marécageuses est toujours déterminée par l'abondance de l'eau dans le site de Bangui. Nous remarquons que les activités actuelles tendent à supprimer les zones marécageuses du site urbain selon leur degré de fonctionnalité et de non-fonctionnalité. La preuve en est que la superficie de ces zones marécageuses s'est considérablement réduite depuis la fondation de Bangui en 1889 jusqu'à nos jours. En conséquence, les ressources halieutiques et autres que fournissaient ces zones se raréfient de plus en plus à l'échelle urbaine. Nous manquons maintenant d'eaux marécageuses plus proches dans lesquelles nous pouvons pêcher des poissons, comme c'était le cas jusque dans les années 1970 et sur une partie des années 1980. Dans ces anciens marécages, lorsque les édifices ne sont pas solidement construits, l'humidité et la réactivation des processus d'hydromorphie altèrent leur tenue. C'est aussi de cette manière que nous observons encore l'impact de ces milieux « insalubres ».

Chapitre VII – LES NAPPES PHREATIQUES ET LES EFFETS DE L'URBANISATION

« La qualité de l'eau se dégrade de plus en plus. Certes les problèmes de pollution ne sont pas nouveaux... Ils ont cependant pris une ampleur sans précédent. » **D. SPIRE (1998)**

La *réserve hydrologique*, constituée par l'eau profonde du sol, dépend de l'eau des nappes phréatiques, alors que la *réserve hydrique*, est l'eau retenue par le sol et utilisable par les plantes. Elle est alimentée par les eaux météoriques par le truchement du ruissellement et de l'infiltration à des profondeurs différentes. De ces processus, découle un double rôle hydrologique des nappes : d'abord stocker l'eau de pluie, et ensuite transférer et restituer cette eau (De MARSILY, 1981 ; COSANDEY et ROBINSON, 2000). Une telle hydrodynamique paraît mieux fonctionner en milieu « naturel » qu'en milieu urbanisé où la modification des conditions d'écoulement est notable. *L'objet de ce chapitre est de montrer les possibles incidences de la présence humaine sur les nappes phréatiques du site de Bangui, notamment par les processus de recharge et par les formes de pollution qu'elles peuvent enregistrer dans l'espace et dans le temps en raison de la croissance démographique et spatiale, et des types d'occupation du sol.*

L'hydrodynamique des milieux urbanisés est influencée par la compaction et le tassement du sol, qui limiteraient l'infiltration et accroîtraient le ruissellement. Ceci peut influencer le rythme de stockage de l'eau des nappes phréatiques, qui serait faible (20 à 30 %) par rapport au volume d'eau qui s'écoule après chaque pluie (environ 70 %) à Bangui. *La nécessité d'analyser les effets de l'urbanisation sur les nappes phréatiques justifie la compréhension de la dynamique de l'écoulement souterrain dans un espace urbanisé.* Ainsi, à travers la présentation des types de nappes phréatiques à Bangui et des caractéristiques piézométriques, nous apprécierons le comportement dynamique des eaux souterraines de la ville, corrélativement aux lames d'eau précipitées et aux lames écoulées dans l'Oubangui, pour infirmer ou confirmer le poids de l'urbanisation.

1. GENERALITES, TYPES DE NAPPES PHREATIQUES

L'eau souterraine constitue un stock qui représente environ 94 % de l'eau douce à la surface du globe (sans les glaces). Elle peut se présenter sous la forme de plusieurs aquifères ou nappes superposés en raison des différentes perméabilités verticale ou horizontale qui les caractérisent. L'eau des nappes assure en général l'écoulement, et aussi les ressources en eau dans certaines régions, notamment lors des périodes à déficit hydrique (saison sèche).

Une formation géologique, qu'elle soit composée de roches ou de dépôts non consolidés, est qualifiée d'*aquifère* si elle contient en quantité significative de l'eau facilement disponible. Des formations moins perméables, et capables seulement de transmettre l'eau avec une vitesse très faible aux aquifères adjacents, sont appelées semi-perméables ou *aquitards*. Les *nappes aquifères* sont donc des zones de terrains constamment imprégnés d'eau. L'eau tend à s'écouler lentement vers certains points où elle apparaît en surface : sources (COSANDEY et ROBINSON, 2000). Ainsi, le type d'aquifère est déterminé par les conditions géologiques et de gisement de l'eau.

Le *niveau piézométrique* d'une nappe est le niveau en équilibre avec la pression atmosphérique, ou c'est l'équilibre entre la vitesse de réapprovisionnement et l'écoulement de la nappe, attestant de sa variabilité : le *niveau hydrostatique* (GUYOT, 1974). Il varie selon que la nappe est confinée ou non, et correspond au niveau local pour les nappes libres, et à un niveau plus haut pour les nappes confinées (PLOTNIKOV, 1962 ; De MARSILY, 1981 ; COSANDEY et ROBINSON, 2000). La vitesse d'approvisionnement de la nappe dépend de l'abondance des pluies, du climat et de la nature de la végétation. La vitesse de l'écoulement rend compte de la porosité du sol proche de la surface. Quant au niveau hydrostatique, il paraît suivre les variations du relief, ce qui fait que dans un tel système hydrologique les eaux de la même nappe ont presque les mêmes qualités. C'est ce qui est observé pour l'eau des puits traditionnels à Bangui (§ 2.3.1.).

Le site de Bangui est un petit espace qui montre la confusion entre le bassin-versant hydrologique, le bassin-versant hydrographique et le bassin des eaux souterraines, au sein de plusieurs bassins hydrologiques qui sont compris dans le bassin-versant de l'Oubangui (499000 km²). La zone *tectonisée* de Bangui ne constitue en effet qu'une partie de ce grand bassin ; elle se trouve à cheval sur différents petits bassins-versants de cours d'eau qui se jettent soit dans la Mpoko, soit dans l'Oubangui même (Figures 2, 36 et 78).

2. TYPES DE NAPPES A BANGUI : CARACTERISTIQUES ET FONCTIONNEMENT

Il existe plusieurs types d'eau souterraine en fonction des différentes formations géologiques et de la géomorphologie des terrains (régions de socle, de montagnes, de plateaux, bassins sédimentaires, plaines alluviales...). A Bangui, deux types de nappes d'eau souterraine sont reconnus dans les *séries sédimentaires* et dans les *formations du socle* (II § 3.1 : p. 90 ; III § 4 : p. 134). Les types de nappes phréatiques à Bangui sont constitués par les nappes libres et par les nappes captives. Les *puits traditionnels* utilisent l'une des nappes libres dont le niveau hydrostatique est au contact de l'air atmosphérique, et les *forages* captent la nappe profonde du *substratum*.

2.1. Les puits traditionnels ou nappes libres

Les puits traditionnels représentent la solution la plus classique et la plus courante d'approvisionnement en eau des villes ou des communes, mais l'emplacement d'un *puits* doit avoir un *périmètre de protection immédiat* d'une circonférence de 25 m (GUYOT, 1974), dont l'intérêt vise à protéger le captage des causes de pollution (fumier, étable, fosse d'aisances, ...). Malheureusement, ces conditions ne sont pas remplies à Bangui.

L'origine des puits à Bangui remonte à la fondation du poste militaire en 1889 car antérieurement les autochtones ne se servaient que de l'eau de source ou de l'eau des marais ou rivières pour leurs besoins. C'est ainsi qu'une source potable a été découverte en 1894 aux confins de la mission (I § 1.3 : p. 26), à Gbangouma (du nom d'un cours d'eau), et a été aménagée par les Pères du Saint-Esprit^{Note44}.

Les Pères de Saint-Paul, au moment de construire un grand internat au nom des *enfants de la mission*, ont aussi creusé un *puits* afin de disposer de l'eau, car la mission s'est implantée sur un témoin de plateau du même type que celui de Fatima. En fait, la découverte d'une source proche de la mission et le creusement de quelques puits fournissaient de l'eau de boisson et de l'eau à usage domestique, pour satisfaire les besoins d'une population locale dont la concentration autour du poste administratif et de la mission Saint-Paul, devenait de plus en plus importante dès la fin du XIX^e siècle (NGUIMALET, 2000). Actuellement, la profondeur des puits à Bangui est fonction de la nature des terrains et de l'altitude : 2 m en moyenne dans les terrains argileux des bas-fonds inondables, et 4 à 5 m, voire plus dans les témoins de plateaux cuirassés ou latéritisés (atteignant 15 à plus de 20 m), comme dans les quartiers Foû, Gobongo ou Fatima.

Les puits traditionnels sont plus nombreux à Bangui, particulièrement dans les quartiers à développement spontané (Fig. 10 : p. 35), sans infrastructure ; les quartiers lotis ou urbanisés et desservis en eau courante en comptent mais de manière lâche, car dans ces quartiers ils ne viennent qu'en complément des besoins. NGBOKOTO (1988) a estimé les débits de quelques puits traditionnels (Tableau XXVII) ; leur localisation par quartier nous a permis de définir les unités de relief correspondantes : piémont, plateaux et plaine. La majorité des puits traditionnels ici considérés sont creusés majoritairement dans des terrains latéritisés et cuirassés, et schisteux ; les terrains argileux ne concernent que le puits du quartier Kpéténé. L'épaisseur de cette nappe phréatique superficielle est très mal connue.

Tableau XXVII : Débits mesurés dans les puits traditionnels à Bangui (in : NGBOKOTO, 1988, modifié)

Puits	Quartier	Unités de relief	Débits (m ³ .h ⁻¹)
D1	Boy-Rabé Bafio	Piémont	1,2
D2	Kpéténé Mission	Piémont	4,2
D3	Gobongo Mission	Plateau / piémont	2,4
D4	Galabadja Marché	Piémont / plateau	0,3
D5	Galabadja 2	Plateau	0,6
D6	Boy-Rabé Kaimba	Piémont	1,2
D7	Kpéténé	Plaine	1,2
D8	Boy-Rabé Bafio	Piémont	6
D9	Boy-Rabé Mandaba	Piémont	3,6
-	Kassaï	Piémont	7,2

Il existe par ailleurs un risque de contamination pour la majorité de la population qui s'alimente en eau de puits, tirée de la nappe phréatique superficielle. La proximité des fosses d'aisance et des puits est une source de contamination par infiltration et exfiltration de l'eau, notamment dans les quartiers populaires de Bangui où l'on peut trouver 1 à 3 puits pour 5 maisons. Jusqu'ici à Bangui, les efforts de protection et de purification de cette eau qui ravitaille plus des trois-quarts de la population « citadine », ont été presque inexistantes. La prépondérance des maladies d'origine hydrique en est la conséquence, mais la nappe profonde elle-même ne semble pas épargnée par cette pollution d'origine humaine.

2.2. Les forages d'eau souterraine ou les nappes captives

2.2.1. Localisation actuelle des forages

La localisation des forages d'eau aussi bien à Bangui (Figure 26 a) que dans sa région montre l'intérêt que représentent les unités topographiques *piémont* et *plaine* dans la reconnaissance et l'exploitation des eaux

souterraines de la ville. Des forages de reconnaissance réalisés par la JICA dans le site de Bangui, plus des deux tiers sont situés dans la plaine de Bangui, les autres sur le piémont. Lorsque nous prenons l'axe Bangui-Boali, c'est à la fois le piémont, bordant des collines quartzitiques isolées, et la plaine qui sont concernés, entre la vallée de la Mbali et celle de la Mpoko. Les formations hydrogéologiques sur cet axe sont des quartzites, des schistes et du calcaire. Sur l'axe Bangui-Damara, les forages sont implantés sur le piémont rocheux et latéritique du prolongement des collines de Daouba-Kassai vers le NNE, notamment dans la faille ou la dépression (tectonique) où coule la Yangana du NE au SO en direction de la Mpoko. L'eau a été captée dans des schistes exclusivement. Sur la route Bangui-Mbaïki, des secteurs de plateau et de plaine ont servi aux forages d'eau dans des secteurs où les formations hydrogéologiques sont constituées de calcaire, de dolomie, de grès, de sable et de gravier.

L'exploitation de ces forages passe par la connaissance de leur capacité à produire de l'eau en quantité suffisante. C'est par la transmissivité que l'intérêt d'un forage ou son exploitabilité peut être apprécié.

2.2.2. Transmissivité : essais de pompage dans les principales unités de relief

La *transmissivité* est la quantité d'eau (exprimée en $m^3.jour^{-1}$ ou $m^3.s^{-1}$) qui passe à travers une section verticale de terrain d'une largeur d'un mètre et d'une hauteur correspondant à l'épaisseur de l'aquifère saturé (PLESINGER, 1990). Sa dimension est exprimée le plus souvent en $m^2.jour^{-1}$ ou en $m^2.s^{-1}$. C'est par les pompages d'essai que nous pouvons déterminer le plus facilement la transmissivité de l'aquifère dans un endroit donné ; ils ont une importance primordiale pour l'hydrogéologie et l'hydraulique pratique.

Ainsi, de nombreux forages sont réalisés à Bangui et dans sa périphérie pour puiser dans la nappe profonde en vue de l'alimentation en eau (potable), mais les débits obtenus aux pompages d'essai paraissent dans l'ensemble faibles (Annexes II). Le test de pompage appliqué aux 21 forages de la JICA montre que la transmissivité est faible dans le calcaire (Tableau XXVIII). Elle devient plus forte le long de la faille qui part de l'Aéroport de Bangui-Mpoko en passant par l'Est du plateau de Fatima et le quartier Kpétènè, et le long du fleuve Oubangui. Ces indicateurs nous révèlent le potentiel hydrogéologique de la Dépression de Bangui en matière de fourniture d'eau. Toutefois, notre examen des débits de captage des différents aquifères ne souligne pas la capacité d'une unité hydrogéologique donnée à avoir une productivité élevée (altérites, calcaire, quartzite, conglomérat, schiste). La confirmation vient de ce qu'un aquifère peut localement présenter des débits très fluctuants, bien qu'il existe un rapport avec la profondeur des forages. De même, le rapport entre la profondeur des forages et le niveau hydrostatique ne ressort pas comme une spécificité, en fonction des principales unités de relief (piémont, plateau et plaine) ; ainsi quelle que soit la profondeur, nous remarquons que le niveau piézométrique est en moyenne proche de la surface topographique.

Trois forages réalisés par Sangha Forage au Nord de Bangui (Galabadja, Gobongo et Alima) dans les sédiments fluvio-lacustres [Note 45](#), n'ont donné que des débits moyens. En revanche, les forages faits par FORACO pour l'UCATEX en 1984, qui ont pénétré les calcaires jusqu'à des profondeurs de 152-171 m, ont une bonne productivité : les débits pompés ont atteint $39,6 m^3.h^{-1}$. Un nouveau forage de 201 m dans les calcaires, effectué au pk 7 à l'ouest de la ville (concession Cattin) par Sangha-Forage, s'est montré moins productif : le forage Cattin (201 m) a été réalisé pour embouteillage d'eau.... Par contre, un gros débit caractérise le forage piézomètre du pk 4, avenue B. Boganda : la transmissivité y est comprise entre 300 et $600 m^2.jour^{-1}$.

Tableau XXVIII : Résultats des essais de pompage obtenus à Bangui par la JICA (1999)

Puits	Localité	Aquifère	Transmissivité ($m^2.jour^{-1}$)	Perméabilité ($m.jour^{-1}$)	Débit ($m^3.h^{-1}$) selon les pompages
EW1	Environ Bengongi	Argile latéritique	-	-	-
EW2	Gbabin	Argile latéritique	-	-	-

EW3	Barrière Nzongo (ancienne route Mbaïki)	Grès quartzeux pélitique	1,9	3,5*10 ⁻²	1
EW4	Sakaï	Grès quartzeux pélitique	2,2	1,6*10 ⁻⁴	1
EW5	Route Sakaï côté aéroport	Argile latéritique	-	-	1
EW6	Kokoro III Berrail	Calcaire dolomitique	1	1,5*10 ⁻²	1,5
EW7	Ecole Kpangaba	Calcaire dolomitique	9,8	1,8*10 ⁻²	1,2
EW8	Kokoro I	Argile latéritique, Grès	-	-	-
EW9	Cattin	Calcaire dolomitique	147	5,9	1,2
EW10	Guitangola	Calcaire dolomitique	0,2	9,1*10 ⁻²	1
EW11	Bimbo (face route Gebo)	Argile latéritique	-	-	-
EW12	Bimbo Grand-Séminaire	Calcaire dolomitique	0,3	1,5*10 ⁻²	1
EW13	Husaca Bimbo	Calcaire dolomitique	314	8,1	100
EW14	Ngola II	Argile latéritique	-	-	-
EW15	Damala	Argile Grès	-	-	-
EW16		Argile latéritique Grès	-	-	-
EW17	Ecole Koudoukou	Argile latéritique Grès	-	-	-
EW18	Sinistrés	Argile latéritique Grès	-	-	-
EW19		Calcaire	1385	198	100
EW20	Ecole St-Jean	Calcaire sablonneux	810	25,3	100
EW21	Ecole St-Jean bis	Calcaire	-	-	-

Quant aux trois principaux axes par lesquels la ville de Bangui s'ouvre sur son *hinterland* : **Bangui-Boali** et **Bangui-Damara** vers le Nord, et **Bangui-Mbaïki** vers le Sud, le *rapport aquifère-profondeur-débit* ne nous donne pas les mêmes résultats. Les plus forts débits sont observés pour les aquifères schisteux (12 m³.h⁻¹) et calcaires (10,8 m³.h⁻¹), alors que les plus faibles sont relevés dans les quartzites (2 m³.h⁻¹ et 2,5 m³.h⁻¹). La profondeur des forages ne semble pas influencer les débits car le plus profond aquifère calcaire n'a pas enregistré le plus fort débit, lequel est assuré par l'aquifère schisteux (voir Annexes II). *Le calcaire dans la région de Bangui en général n'est présent que sous les secteurs de plaine, alors que schistes et quartzites constituent les aquifères des zones de piémont ou des zones fortement tectonisées.*

Sur l'axe Bangui-Damara, l'aquifère est schisteux (6 m³.h⁻¹), et les débits relevés aux pompages d'essai sont globalement décroissants et ne prennent pas en compte la profondeur des forages : même à la plus importante profondeur (70 m), les débits sont faibles (moins de 1 m³.h⁻¹). Toutefois, sur l'axe Bangui-Mbaïki, nous constatons que l'aquifère qui a le débit le plus élevé (3 m³.h⁻¹) est la *sable* alors que les *graviers*, qui sont supposés être de bons aquifères, ont présenté un des plus faibles débits (moins de 1 m³.h⁻¹) avec le forage le moins profond. Dans cet ensemble, le calcaire et la dolomie présentent des débits inférieurs à 1 m³.h⁻¹.

En outre, CORNACCHIA et GIORGI (1985 a) ont cherché l'eau souterraine à l'usine UCATEX par la réalisation de trois forages (SU₁, SU₂ et SU₃), poussés à 30 m dans le soubassement calcaire. Ils ont conclu que l'absence de piézomètres et le *débit trop faible de la pompe d'essais* ne permettaient pas de déterminer précisément les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère. Cet argument confirme les débits obtenus dans la ville de Bangui et ses environs. Ils suggèrent que des essais de pompage à des débits plus grands sont nécessaires pour apprécier exactement les débits maxima, et ces auteurs estiment cependant qu'un débit de 60 m³.h⁻¹ est supportable par les puits : des rabattements de 8 à 9 m pour le puits SU₂ et de 11 à 13 m pour le puits SU₃ sont possibles tandis qu'en SU₂, dont le niveau statique est situé à 28 m et la chambre des pompes limitée à 48 m, les rabattements ne sont que de 20 m au maximum. En revanche, des rabattements importants sont projetés en SU₃ compte tenu de la profondeur du trou (120 m) et de la chambre de pompage en PVC

Les essais de pompage en SU₁, dans les niveaux situés au-dessus du *substratum* calcaire, donnent des débits intéressants, supérieurs à 30 m³.h⁻¹. Quant aux puits SU₂ et SU₃, leur productivité est comparable et une bonne transmissivité permettrait d'obtenir dans les deux cas des débits de l'ordre de 40 m³.h⁻¹ pour des rabattements voisins de 5 m.

Par ailleurs, des études analogues menées à la Brasserie CASTEL-BEER (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 b) ont déterminé des débits de l'ordre de 15 m³.h⁻¹ à 40 m³.h⁻¹ pour les puits de reconnaissance (SCB₁, SCB₂ et SCB₃). Ces auteurs ont conseillé de limiter les débits à 30 m³.h⁻¹ car ils estiment que, du fait du renouvellement probable de la nappe par les eaux de la Mpoko, un ralentissement des pompages conserverait le pouvoir filtrant des alluvions qui recouvrent le substrat rocheux (Figure 29 b : p. 75).

Quels que soient la transmissivité de l'aquifère et les débits pompés, l'usage de l'eau est toutefois soumis au préalable à l'analyse de sa qualité physico-chimique et bactériologique. Jusque-là, les ressources en eau tirées des forages de Bangui n'ont servi qu'à quelques particuliers et fabriques (SCB, ex UCATEX...). La population citadine n'y a pas encore accès. Les recherches d'eau menées par la JICA ont débouché sur un projet d'exploitation en vue d'approvisionner une partie de la ville, mais les crises politico-militaires de ces dernières années en ont bloqué la réalisation pour l'instant.

2.3. Analyse de la qualité des eaux souterraines : puits traditionnels et forages

La maîtrise qualitative des eaux souterraines implique la mise en œuvre de moyens de lutte contre la pollution (contrôle des rejets, incitations à moins polluer, utilisation rationnelle des engrais et pesticides...). Ainsi, l'étude de la qualité de l'eau se fait par des analyses physico-chimiques et microbiologiques.

L'*analyse physico-chimique* est réalisée en amont pour déterminer les éléments qui détériorent le goût et la potabilité de l'eau (fer, ammoniacale, nitrates, nitrites, sulfures...), alors que l'intérêt de l'*analyse microbiologique* est de rendre compte de l'efficacité de la stérilisation et de la détection des germes pathogènes (*streptocoques fécaux*, *escherichia coli*,...) après traitement de l'eau. Dans les conditions naturelles, l'eau souterraine est dépourvue de micro-organismes, pathogènes ou non. La pollution biologique résulte de l'activité humaine. Bien que les eaux de surface soient les plus exposées, les puits traditionnels et même les puits modernes mal protégés ont une vulnérabilité considérable. De ce fait, la présence des germes nocifs est prouvée pour la ville de Bangui.

Toutefois, les eaux souterraines du Centrafrique ont en général une qualité acceptable du point de vue du contenu en sels minéraux : la minéralisation totale n'excède presque jamais 0,3 g.l⁻¹ et parfois elle est très faible (PLESINGER, 1990). On ne trouve pas de grandes différences de composition entre les eaux captées dans la couche d'altération et celles provenant des fissures du socle. Si l'acidité de la presque totalité des eaux souterraines du pays est la caractéristique générale, l'eau captée dans les formations carbonatées à Bangui présente des concentrations élevées en magnésium, en calcium et en bicarbonate.

A Bangui, l'importance de la présence humaine est la source des pollutions qui affectent les eaux souterraines : *puits traditionnels* et *forages*. L'eau des premiers est polluée ; celle des seconds en encourt le risque, en raison de la superposition de ces nappes et de leurs sources de pollution. Les tendances actuelles montrent un risque de pollution de la nappe profonde du fait de l'intercommunication probable des deux nappes.

2.3.1. Les puits traditionnels et la qualité de leurs eaux

Une unanimité de la part des acteurs du secteur de l'eau et de la population existe quant à la pollution de l'eau de la nappe phréatique superficielle extraite des puits : cette pollution serait essentiellement d'origine fécale, mais depuis peu les rejets d'eaux usées de l'usine UCATEX (fabrique des textiles), stockés dans un bac de décantation, se sont infiltrés et ont pollué cette nappe. Cette situation est d'autant plus alarmante que ces rejets, localisés initialement au nord de la ville (quartier Galabadja), tendent à s'étendre du fait du sens de l'écoulement souterrain ou de l'orientation du bassin hydrogéologique en direction du fleuve Oubangui (Figure 34 : p. 94) : nous pouvons estimer la zone infectée à environ 10 km², voire plus. Cette contamination semble durable (l'usine a arrêté de fonctionner depuis 1993) et bizarre du fait que, pour certains puits, l'on ne s'en rend compte qu'en saison sèche lorsque les puits tarissent : à cette période et selon l'intensité de la sécheresse, les eaux des puits présentent localement une coloration laiteuse et bleue qui est typique de la teinture de l'usine UCATEX ; l'eau puisée est parfois puante. Dans certains cas, l'eau des puits contaminés n'est pas utilisable, même pour les travaux domestiques en raison de la forte teneur en amidon (ou de la teinture) toute l'année. Ceci pousse en général les propriétaires à déverser des ordures ménagères dans ces puits jusqu'à colmater ou remblayer le trou ; cette méthode peut avoir comme conséquence d'intensifier la pollution de la nappe par la décomposition de ces déchets ménagers de tous ordres et non triés. En tout cas, les réserves permanentes de cet aquifère sont affectées par les eaux de teinture de la filature.

La pollution de la nappe superficielle par les eaux usées de l'usine UCATEX, pourtant *capitale*, ne semble pas prise en compte par les pouvoirs publics sinon elles auraient décidé de sa délocalisation ou engagé des capitaux pour tenter de la dépolluer, et surtout de limiter sa propagation dans l'espace et dans le temps. A ce propos, les analyses chimiques effectuées par CORNACCHIA et GIORGI (1985 a), au laboratoire même de l'usine, de l'eau du puits SU₁, montrent que l'eau est acide et devrait être sensible à la pollution par les effluents basiques rejetés (Tableau XXIX). Les variations dans le temps du pH (de 5,4 à 6,6) leur ont permis d'attirer l'attention des responsables de l'usine sur les risques de pollution par les effluents de la filature, et ils ont préconisé le suivi des puits environnants. L'extrême perméabilité superficielle en *saison sèche*, détectée lors des essais de pompage, peut entraîner très loin par percolation les eaux usées du bassin de décantation, tandis qu'en *saison des pluies* la nappe qui est proche de la surface entraîne plus facilement une dilution des colorants dans l'ensemble des eaux. Cette extrême perméabilité superficielle en période sèche s'explique par les fentes de dessiccation, nombreuses dans les argiles ; lors des rares pluies, elles fonctionnent en laissant l'eau s'infiltrer, selon NGBOKOTO (1988). L'eau extraite de la nappe superficielle est très ferrugineuse (6 ppm) et s'oxyde très rapidement à l'air libre.

Tableau XXIX : Hydrochimie de la nappe superficielle du puits SU1 à l'usine UCATEX de Bangui (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a)

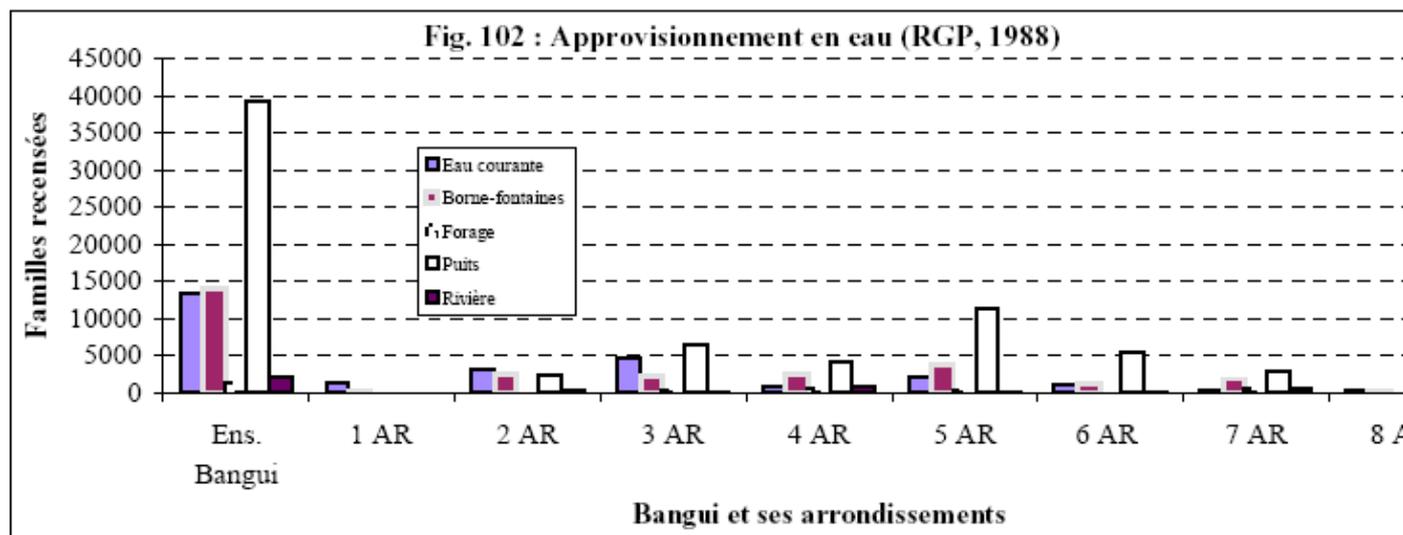
	11/12/84	18/12/84	26/12/84	04/01/85	15/01/85
TH (°C)	3,7	6	5	5	2,5
TA	0	0	0	0	0
TAC (°C)	4,5	6,5	6	5,7	3,4
pH	5,6	6,6	5,7	6,2	5,4
Fe (mg.l-1)	0,15	0,1	0,15	0,2	0,06
Silice (mg.l-1)	6	6	6	6	6
Phosphates (mg.l-1)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

N. B. : TH =

La pollution fécale est le fait de la proximité des fosses d'aisance, associées aux maisons, et des puits. D'après les statistiques du recensement général de la population (RGP) en 1988, 57,69 % des ménages à Bangui ne disposaient que d'une eau non contrôlée provenant des puits alimentés par la nappe phréatique superficielle (54,95 %) et des petites rivières qui drainent la ville (2,74 %). Cette proportion concerne les gens qui habitent les quartiers populaires ; cette situation s'exprime particulièrement dans les espaces qui ont échappé à l'urbanisation, et qui, par conséquent, sont sous-équipés : les caractéristiques de l'approvisionnement en eau

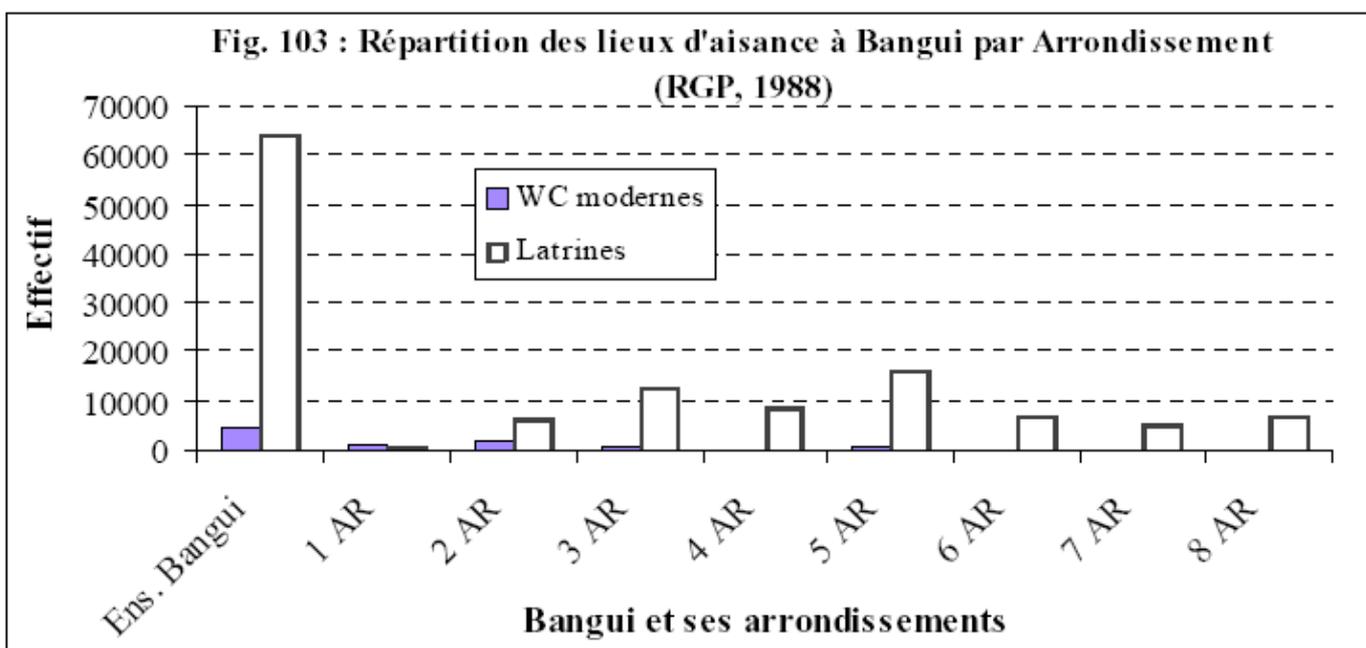
par arrondissement confirment le déséquilibre entre les quartiers centraux ou résidentiels modernes et les quartiers périphériques (Figure 102) qui abritent le plus souvent les habitants démunis de ressources. L'eau courante et des bornes-fontaines qui vient du traitement des eaux brutes de l'Oubangui ne concerne qu'une faible partie des Banguissois. Par ailleurs, l'analyse des lieux d'aisance (WC modernes et latrines) des 71 336 ménages recensés indique que 89,62 % ont des latrines, contre 6,62 % seulement qui utilisent les WC modernes. Ces données par arrondissement mettent en évidence leur prépondérance surtout dans les quartiers populaires qui sont plus étendus (Figure 103). Ainsi, nous remarquons que *le couplage des lieux d'aisance et des puits dans la ville de Bangui atteste des risques auxquels sont exposés les utilisateurs des puits individuels du fait de la prolifération des latrines*. Car les latrines, qui n'offrent aucune garantie d'étanchéité, présentent des conséquences sanitaires néfastes sur l'environnement dans les quartiers concernés. Dans ce contexte, la souillure engendrée par les infiltrations de l'eau pluviale ou d'autres eaux polluées en surface au contact des latrines concourt à contaminer les eaux souterraines superficielles dans lesquelles s'approvisionnent encore environ 55 % des ménages à Bangui. Cette situation s'aggrave en saison sèche : la forte baisse du niveau hydrostatique à cette période provoquerait donc une concentration des pollutions au moment où les ménages sont tributaires de l'eau des puits. Or les pollutions d'origine fécale entraînent directement ou indirectement des maladies d'origine hydrique (paludisme, parasitoses, diarrhées, voies respiratoires, maladies infectieuses, fièvre typhoïde). Au-delà de ces risques liés à la proximité des fosses d'aisance et des puits qui caractérisent l'approvisionnement en eau dans les quartiers périphériques, ABDOULAYE (1996) suggère aussi que le *mode de captage de l'eau* des puits ou des ruisseaux comporte un risque potentiel : l'eau est prise à l'air libre, et elle est souvent exposée à la poussière, à la chute des débris et au ruissellement.

Figure 102 Approvisionnement en eau de Bangui (RGP, 1988)



Il serait donc essentiel que nous menions une étude qui permettrait de suivre le degré de pollution des puits à l'échelle saisonnière afin de spatialiser les taux de pollution en fonction de la densité humaine, des types d'habitat et des types de lieux d'aisance. Ceci nous aiderait à apprécier la dynamique et le rythme de pollution de cette nappe superficielle ; ce travail devrait contribuer aussi à détecter le rythme de recharge de la nappe dans le souci de quantifier approximativement les pollutions à partir de leurs sources multiformes. De plus, il conviendrait de réaliser une étude des puits contaminés par les effluents de la filature de l'ex-usine UCATEX, particulièrement en saison sèche où ces eaux usées apparaissent avec le tarissement des puits, bien que la pollution soit annuelle et durable dans certains puits. Cela nous permettrait de se rendre compte de l'irréversibilité de cette pollution car cela fait dix ans (depuis 1993) que l'usine ne fonctionne pas et la nappe permanente la contient toujours. Quant à la situation de l'eau souterraine profonde, elle nous paraît encore inquiétante au vu de certaines observations.

Figure 103 Répartition des types de lieux d'aisance à Bangui par Arrondissement (RGP, 1988)



2.3.2. La qualité des eaux souterraines profondes : l'eau des forages

D'après certains travaux (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a et b ; PLESINGER, 1990 ; JICA, 1997, 1999 a, b et c), la qualité des eaux souterraines profondes est connue, notamment dans les formations variées du socle précambrien. Nous savons que Bangui et ses environs proches sont constitués aussi bien des roches géologiquement les plus jeunes (quartzites, argiles...) que des roches les plus anciennes (calcaires, schistes, dolomies...). Ainsi, il se dégage deux groupes principaux d'aquifères qui sont les *formations non carbonatées* et les *formations carbonatéesprécambriennes*. A côté de ces deux aquifères, la JICA a parlé de celui des *formations altéritiques* ou séries sédimentaires discordantes sur le socle précambrien, que nous classerons dans les formations non carbonatées. Toutefois, l'analyse de la qualité de ces eaux profondes (schistes, quartzites ou calcaires) montre qu'elles sont proches des normes de l'OMS.

2.3.2.1. L'eau des formations non-carbonatées

La quasi-totalité des analyses physico-chimiques (80 %) indique que les eaux souterraines sont très acides en Centrafrique (PLESINGER, 1990). Le fait que l'eau souterraine soit essentiellement acide est un phénomène important (pH compris entre 4 et 5). En dehors de ce cas général, le type de minéralisation de l'eau souterraine le plus courant est le *calcium-bicarbonate* ou le *calcium-magnésium-bicarbonate* : le forage du pk 4 de Bangui sur l'avenue B. Boganda est du type chimique magnésium-calcium-bicarbonate ; son eau est produite par les *cherts-calcaires* du Protérozoïque (Tableau XXX a). Le pH de 7,5 montre que l'eau est basique ; sous forêt humide, BOULVERT (1976) avait relevé un pH de 8.

Tableau XXX a : Hydrochimie de l'eau de forage du pk 4 de Bangui (PLESINGER, 1990)

pH	Cond. (us.cm-1)	Cations (mg.l-1)					Anions (mg.l-1)				
		Ca	Mg	K	Na	Fe	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3
7,5	466	50	62,2	1,1	1,5	0,5	0,5	317,2	2,1	6,2	0,6

L'acidité des eaux souterraines des aquifères du socle oscille entre des pH de 4 et 6,5. La plupart des eaux de puits et de forages utilisées pour l'approvisionnement de la population en Centrafrique dépassent les normes

de l'OMS, qui a fixé la limite d'acidité à un pH de 6,5 ; pourtant, l'utilisation d'une eau avec un pH de 5-6,5 n'a pas d'effet nuisible direct. L'eau, avec des valeurs du pH inférieures à 5, peut causer des problèmes gastriques et intestinaux. Toutefois, CORNACCHIA et GIORGI (1985 b) ont montré que les eaux de forages captées dans le massif schisteux conglomératique sont inodores, claires et présentent un goût de fer à la sortie du forage. Elles sont assez riches en matières organiques (coques, diplocoques, bâtonnets) et dures. Cette dureté est liée à la présence proche des calcaires sous-jacents d'après ces auteurs [Note46](#). (Tableau XXX b). Du fait de l'importance de la fracture de ce massif rocheux, ils ont pensé qu'un pompage prolongé pourrait modifier sensiblement la chimie des eaux, entraînant un flux à partir de la rivière Mpoko (voir § 6.1). Les eaux ont un pH presque neutre (6,5 à 6,7), compatible avec la dureté observée.

Tableau XXX b : Caractéristiques chimiques des eaux de forage à l'usine CASTEL-BEER (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 b)

Paramètres observés	Teneur
TH (°C)	3,7
TA (°F)	0
TAC (°F)	22
pH	6,5 à 6,7
Fe (mg.l-1)	1,5 ppm
Silice (mg.l-1)	6
Phosphates (mg.l-1)	0,5
Bicarbonates (HCO ₃) (mg.l-1)	268,4
Ca ⁺⁺ (mg.l-1)	50
Mg ⁺⁺ (mg.l-1)	25
Dureté totale (Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Ba ⁺⁺ , St ⁺⁺)(°F)	22

2.3.2.2. L'eau des formations carbonatées

Les eaux contenues dans les dolomies et calcaires précambriens sont **les seules eaux souterraines basiques** en République centrafricaine (PLESINGER, 1990). Un pH de 7,3 à 7,4 a été mesuré dans les forages de l'UCATEX (7,5 dans le piézomètre au pk 4). Bien qu'elles aient **une dureté** (exprimée en équivalent de carbonate de calcium) plus élevée que les eaux des formations non-carbonatées, celle-ci ne dépasse pas les normes admises. Un contenu en fer légèrement élevé (0,5 mg.l-1) est mesuré dans un forage, mais les normes ne sont généralement pas dépassées. De cette façon, la minéralisation calculée pour le forage au pk 4 est de 440 mg.l-1, alors que la norme française actuelle permet jusqu'à 500 mg.l-1, et la norme de l'OMS, 1000 mg.l-1.

CORNACCHIA et GIORGI (1985 a) ont donc estimé que l'eau extraite à l'UCATEX est limpide et bactériologiquement satisfaisante, exempte de fer, mais trop dure pour être utilisée directement par l'usine. L'existence de *Clostridium* (bactérie tellurique) ne compromet pas la qualité de l'eau. Les eaux de la nappe captive montrent donc une très nette différence avec les eaux de surface (Tableau XXXI). La qualité du réservoir (bassin de décantation) influence très nettement le pH et le TAC [Note47](#). Toutefois, les dernières études (celles de la JICA) révèlent que les deux nappes sont polluées à Bangui.

Tableau XXXI : Hydrochimie de la nappe captive à l'usine UCATEX (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a)

	26/12/84	04/12/85	SU ₃	21/01/85
SU ₂				
TH (°C)	28,4	27,6		36
TA	0	0		0
TAC (°C)	27,7	26,8		35,6
pH	7,4	7,3		7,4
Fe (mg.l-1)	0,06	0,06		0,06
Silice (mg.l-1)	8	8		6

2.3.2.1. L'eau des formations non-carbonatées

Phosphates (mg.l-1)	0,5	0,5	0,5
CO ₂ libre (mg.l-1)	12,93	10,6	25,9

2.3.3. Tendances actuelles de la qualité des eaux souterraines dans la ville de Bangui

Les mesures de la qualité de l'eau ont été réalisées en 1996 par la JICA (1997). Du fait que l'analyse des principaux composants chimiques n'a pas été étendue à Na (sodium), les résultats n'ont pas permis de différencier les eaux de type alcalin (Na + K) et le type de dureté (Ca + Mg). La façon d'estimer la minéralisation d'une eau notamment en carbonate de calcium et en magnésium, et en anhydride carbonique libre est l'*hydrotimétrie* (GUYOT, 1974). En fait, le gros intérêt de l'hydrotimétrie est d'évaluer rapidement la *dureté totale* de l'eau. Les autres déterminations se font par la teneur en éléments tels que le calcium, l'acide carbonique, le magnésium, pour avoir un contrôle des résultats trouvés ultérieurement à l'analyse.

A la lumière des cinq composants pris en compte (Mg, Ca, K, SO₄ et HCO₃), les eaux souterraines à Bangui sont de type *carbonaté* pour les forages ayant atteint le socle, et de type *non-carbonaté* pour les puits traditionnels et les forages qui ont capté l'eau dans la couche d'altération et qui n'ont pas atteint le socle. Ces résultats confirment les travaux antérieurs (CORNICCHIA et GIORGI, 1985 a et b ; PLESINGER, 1990).

Les études les plus significatives, concourant à l'amélioration des connaissances sur la qualité des eaux souterraines à Bangui, ont été réalisées par la JICA (1997, 1999 a, b et c). Elles nous paraissent les plus récentes et les plus fournies en raison de la couverture du site (Figure 26 a : p. 68), et surtout de la prise en compte à la fois de l'eau des *puits traditionnels* et de l'eau des *forages*. Dans ce travail, l'*aquifère de la latérite*, ou celui de la formation superficielle d'altération, dans lequel sont creusés les puits traditionnels, est distingué de l'*aquifère du socle* du point de vue de leurs qualités respectives. Ainsi, les résultats des analyses nous ont montré que les eaux souterraines de la couche latéritique sont fortement contaminées par les coliformes émanant des activités humaines. Une forte concentration en *Mn* et en *Fe* est également observée et mise en relation avec la latérite, et la proportion des nitrates dépasse la norme de l'OMS dans certains puits (Tableau XXXII) : les nitrates ont des valeurs qui ne paraissent pas si élevées. Ceci nous indique que, sur le plan hygiénique, ces eaux ne sont pas potables et en conséquence elles ne doivent pas servir à l'alimentation de la ville.

Quant à l'aquifère du socle, les analyses de la JICA ont révélé la présence des coliformes dans les échantillons prélevés, et les concentrations en *Fe* et en *Mn* dépassent les normes de l'OMS (Tableau XXXII) dans la plupart des forages. Ces résultats contredisent ceux des travaux de CORNICCHIA et GIORGI (1985 a et b) qui nous montraient que la qualité des eaux du socle était bactériologiquement saine, et que l'eau de l'aquifère calcaire pouvait être utilisée sans aucun traitement, pour l'approvisionnement de Bangui. Cela peut laisser entendre que la qualité des deux nappes s'est détériorée dans l'espace et dans le temps.

Il semble que la qualité des eaux souterraines du socle s'améliore probablement avec l'apport des zones perméables (productives le long des failles) (Fig. 34 et 35 : p. 94) dans lesquelles la qualité de l'eau souterraine répond aux normes de l'OMS, hormis le cas des coliformes. Pour ce qui est de la qualité actuelle de l'eau du socle, on estime que la recharge est contaminée à l'origine par les coliformes du fait que la zone de recharge est urbaine et fortement peuplée. Il est donc conseillé de stériliser ces eaux superficielles et du socle lorsqu'elles doivent servir à la consommation.

Tableau XXXII : Evolution des coliformes thermo-tolérants par forage (JICA, 1999 a)

Paramètres / Forages	EW3	EW6	EW7	EW9	EW10	EW12	EW13	EW20
PH	5,78		<u>8,22</u>	7,02	7,12	<u>8,48</u>	7,20	7,91
Température (°C)	27		28	24	27	22	28	26
TSDS (mg.l-1)	67		171	207	243	559	256	217

Dureté (mg.l-1)	38		197	283	273	291	335	280
NO ₃ (mg.l-1)	10,3		10,6	22,5	7,5	8,7	7,5	9,3
NH ₃ (mg.l-1)	0,58		0,41	0,73	0,37	0,28	0,34	0,40
SO ₄ (mg.l-1)	5		6	13	6	7	4	6
Mn (mg.l-1)	1,9		0,9	2	0,6	0,8	0,4	0,4
Fe (mg.l-1)	10		0,9	0,91	0,37	0,35	0,18	0,18
Cl (mg.l-1)	29		Trace	11,5	3,4	4,9	7,9	7,9
Ca (mg.l-1)	12		54	105	101,2	78	87,6	87,6
Mg (mg.l-1)	1,9		15,1	5	4,8	23,4	28,3	28,3
HCO ₃ (mg.l-1)	31,1		139	220	204	22,7	224	224
Coliformes Therm. (100 ml-1)	10	> 200	0	> 2*10 ⁵	> 200	> 100	20	> 200
Coliformes (100 ml-1)	3	> 200	> 200	> 2*10 ⁵	> 200	> 200	20	> 200
Streptocoques Fécaux (100 ml-1)	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloridies Sulfitoréduct. (100 ml-1)	> 200	> 200	0	0	> 200	> 200	0	> 200
Total des bacteries aérobies (100 ml-1)	0	> 20,000	105	1,7*10 ⁷	20,000	> 20,000	40,000	> 20,000

N. B. : Coli. Therm. : Coliformes thermotolérants ; Cloridies Sulfitoréductrices ; 400 : supérieur à la norme de l’OMS.

La concentration en fer et en manganèse (Mn) semble supérieure à celle recommandée par l’OMS ; les coliformes et l’ammonium sont trouvés dans l’aquifère à une profondeur de 30 mètres. Ceci serait dû à l’intercommunication probable entre l’aquifère superficiel et celui du socle, car l’eau souterraine paraît circuler aisément et rapidement dans le socle à cause vraisemblablement de l’importance de la fracturation, mais aussi des fentes de dessiccation dans les argiles en période sèche. Lorsque nous comparons les paramètres pH, Fe, Mn, NO₃ et les coliformes analysés dans l’eau des puits et forages, il s’avère que les deux types d’eau ne sont pas potables selon les normes de l’OMS. La présence de coliformes et de coliformes thermo-tolérants dans ces eaux nous indique une pollution par les matières fécales à partir de la surface du sol ; ceci explique la prépondérance de maladies d’origine hydrique à Bangui.

Quant au pH, celui des puits est acide, il varie de 4 à 5, alors que le pH de l’eau des forages est dans l’ensemble neutre ou alcalin (7 à 8), d’après la norme japonaise pour l’eau courante (pH 5,8-8,6) ; il existe aussi un pH acide dans quelques forages sur le piémont, particulièrement dans ceux de Boy-Rabé (DW 17, 22, 37 et Gotombo), de Bégoua au pk 12 (DW 10), à l’ORSTOM (DW 35). Selon cette étude, le pH des eaux souterraines dépend du taux d’*acidecarbonique libre*, de différents sels, d’acides minéraux et d’acides organiques. Or l’eau souterraine est en général légèrement acide à cause de l’acide carbonique libre dû à la dissolution du dioxyde de carbone. Il est démontré que, dans les régions tropicales à température et humidité élevées, l’acide organique ne subsiste pas facilement, à cause de l’activité importante des micro-organismes.

La teneur en fer de l’eau dépasse 0,3 mg.l-1 dans environ 40 % des points d’eau analysés ; de même, les valeurs de manganèse se situent au-delà des normes de l’OMS fixées à 0,5 mg.l-1. Pour les nitrates (NO₃), les points d’eau à concentration supérieure à 50 mg.l-1 (norme de l’OMS) et/ou relativement élevée sont localisés dans le NE de la zone d’étude, du quartier de la Ngola aux quartiers du pk 12 (JICA, 1997). Un mélange d’engrais azoté, d’eaux usées domestiques, d’effluents... avec les eaux souterraines expliquerait cette forte concentration en NO₃. Au vu de ces résultats, nous remarquons en outre que la variabilité de la qualité de l’eau à l’échelle temporelle et spatiale (Figures 104 et 105 ; Annexes III), est faible selon les paramètres chimiques observés. Les concentrations en anions (Cl, SO₄, NO₃ et HCO₃) et en cations (Ca) mesurées dans les puits traditionnels aux mois de mai (Figures 104 a et 105 a), de septembre (Figures 104 b et 105 b) et de décembre (Figures 104 c et 105 c) sont les plus importantes dans le temps et même dans l’espace : les puits SO 28, 29, 31, 32, 39, 44, 45... ; Ces puits sont localisés dans les secteurs peuplés de la plaine de Bangui

(Kolongo, Ramandji, Combattant, Damala et Boeing), et tendent à confirmer ces résultats. Quant aux forages, l'analyse de la qualité de l'eau dans cette même période met en relief de fortes concentrations en SO_4 , NO_3 , Ca, Mg, Mn et HCO_3 , fluctuant dans l'espace et dans le temps, et variant d'un point d'eau à l'autre. De plus, une classification des résultats d'analyses des puits et forages que nous avons faite selon les principales unités topographiques concernées (piémont ou plateau, et plaine) ne nous permet pas de faire ressortir une nette différence dans l'intensité des types de pollution par unité géomorphologique, en fonction des propriétés physico-chimiques prises en compte.

Figure 104 Spatialisation des concentrations par séries de forages

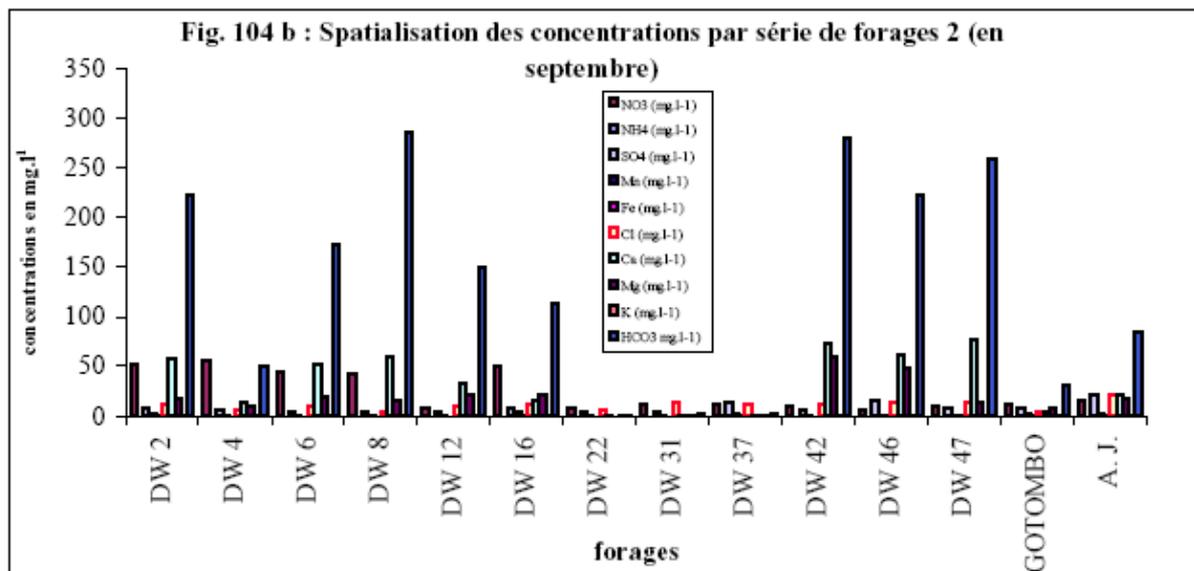
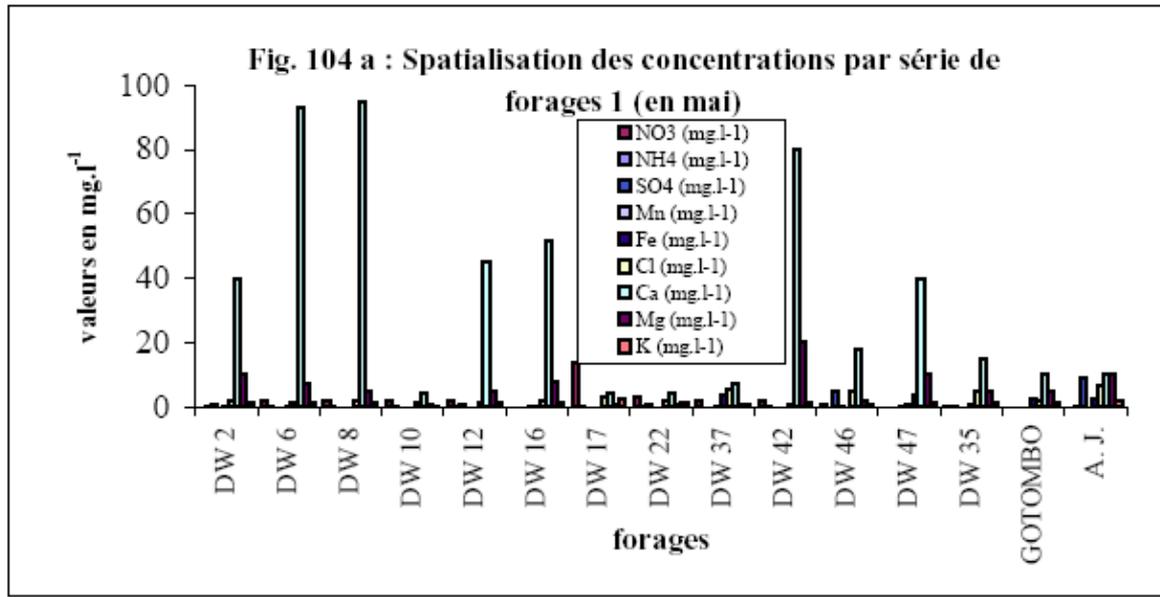


Figure 105 Spatialisation des concentrations par séries de puits traditionnels

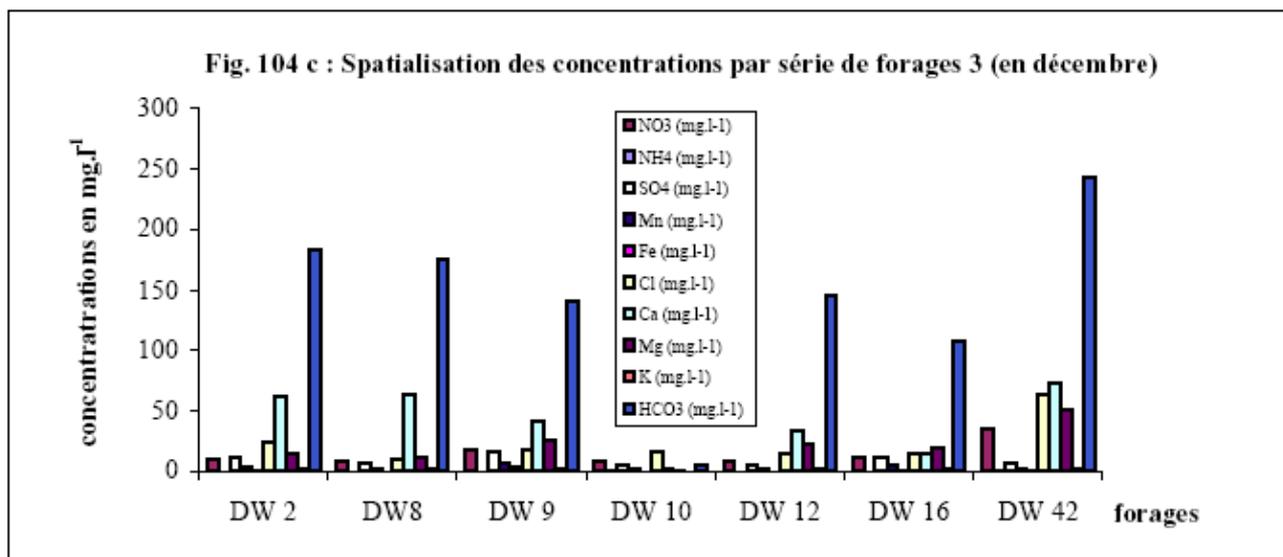
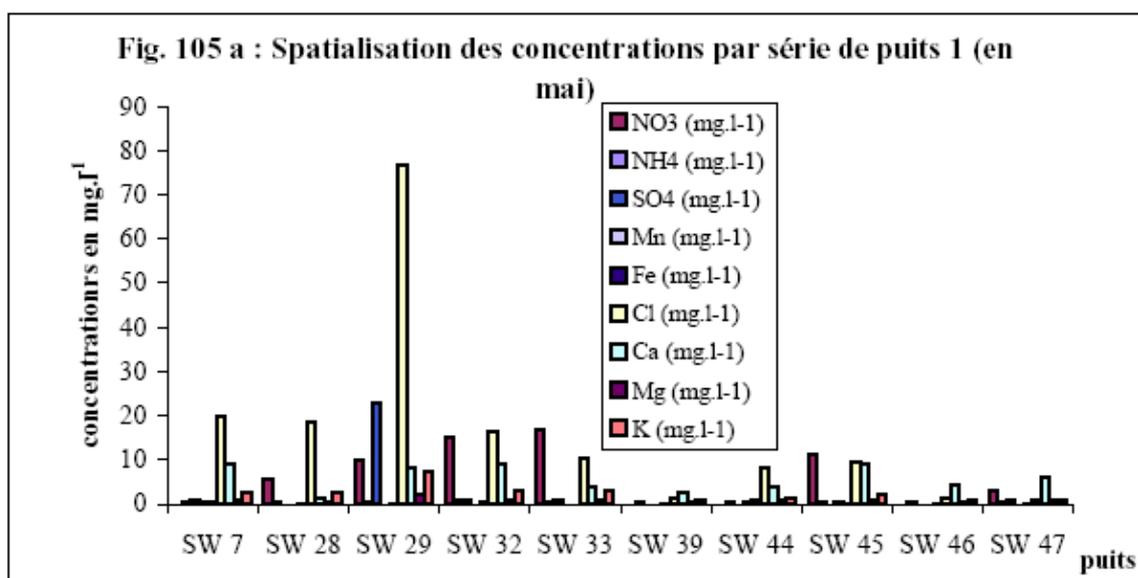
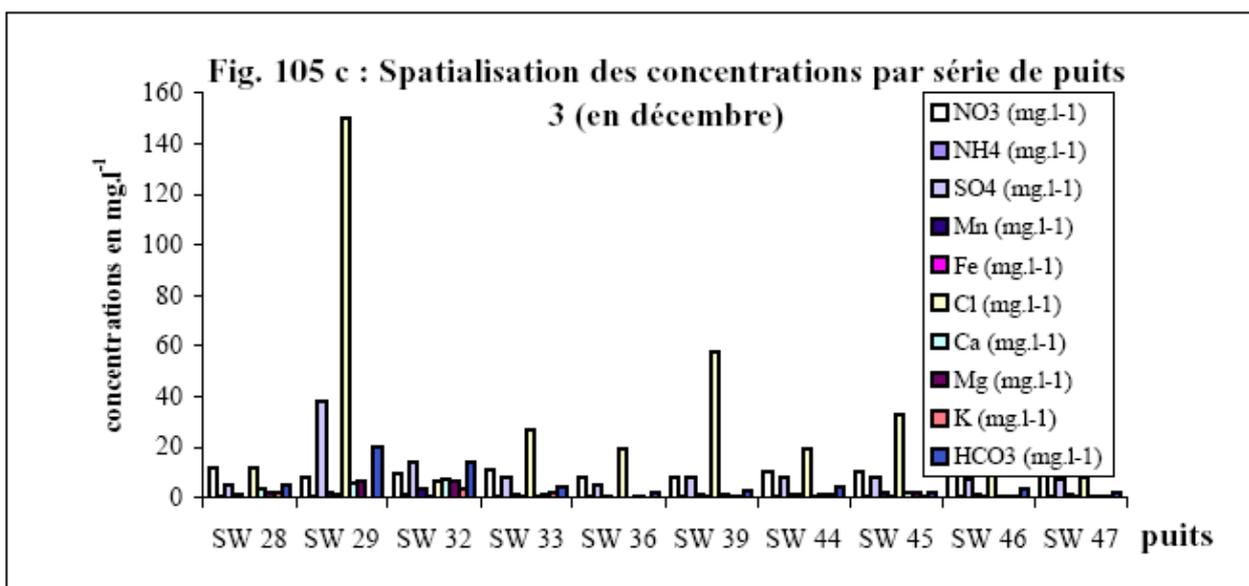
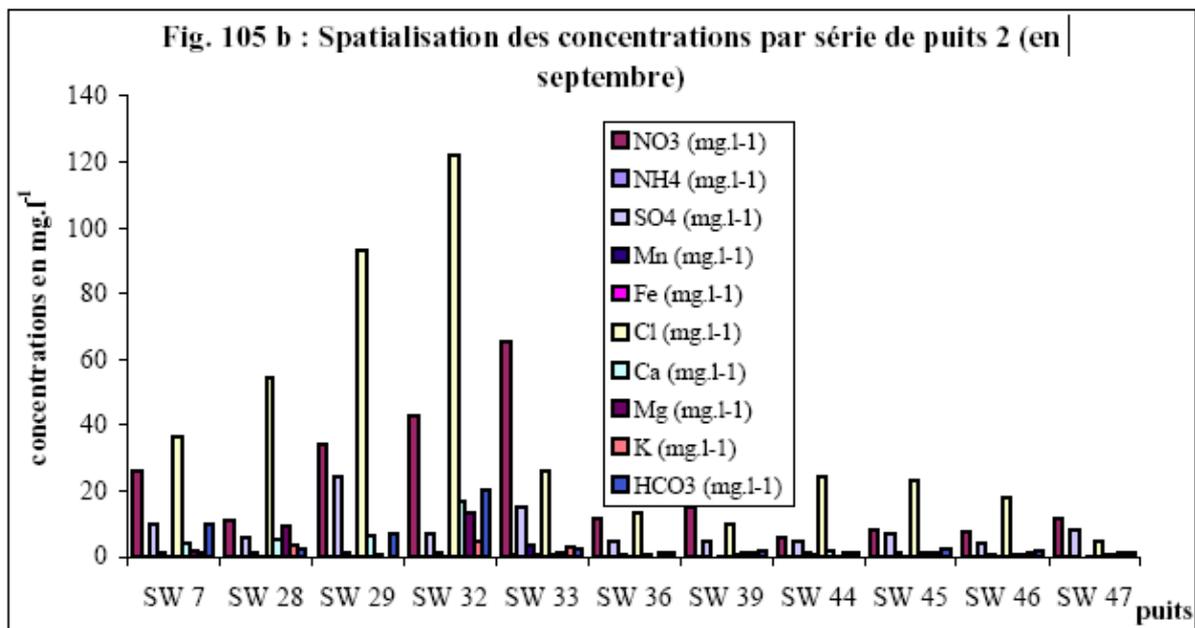


Figure 105 Spatialisation des concentrations par séries de puits traditionnels





Théoriquement, les puits traditionnels et les forages localisés dans les secteurs de la plaine devraient être les plus pollués de par leur position déprimée, ensuite de par les plus fortes densités humaines (plus de 200 habitants.km⁻²) qui y sont observées, à l'exemple du quartier Fondo (cf. Kolongo), situé à la limite entre le 3^e et le 5^e Arrondissements en bordure SE de l'Aéroport Bangui-Mpoko. Ainsi, nous notons que les forages (DW 17, 22, 31, 41, 42, 6, 12, 16...) se trouvent aussi bien dans les secteurs peuplés des quartiers populaires que dans les quartiers lotis ou résidentiels ; ils sont davantage implantés dans les zones de piémont et de plateau, tandis que les puits traditionnels dominent dans la plaine (Figure 26 a). Ainsi, l'usage des eaux souterraines passe par la connaissance de leurs qualités physico-chimique et bactériologique. Il passe aussi par le potentiel des ressources en eau souterraines.

3. ESTIMATION DU POTENTIEL DES EAUX SOUTERRAINES

La *porosité* détermine la quantité d'eau qu'un aquifère peut contenir. Cette porosité est relative au volume total occupé par les vides, ou *interstices*, rapporté au volume total du milieu pris en compte. De fait, les caractéristiques texturales et structurales des roches conditionnent l'emmagasinement et la circulation de l'eau dans les nappes. En effet, la diagenèse et les différentes conditions de formation des roches sont d'abord déterminantes pour expliquer leur degré de porosité, ensuite les actions ultérieures dans ces roches telles les failles, les fissures agrandies par la dissolution et la météorisation, qui sont engendrées par des facteurs géologiques, climatiques et biotiques, représentent les voies par lesquelles l'eau circule dans ces terrains.

Selon PLOTNIKOV (1962), De MARSILY (1981), CASTANY (1998), et COSANDEY et ROBINSON (2000), la valeur totale d'une réserve dépend à la fois des caractéristiques du sol considéré, de son épaisseur et de son volume. Ces caractéristiques physiques contrôlent la possibilité qu'a un aquifère d'emmagasiner et de retenir de l'eau. Le contenu effectif d'un aquifère dépend de son *taux de remplissage*, lequel se rapporte aux entrées et sorties du système, soit du *bilan de la nappe*. Ce bilan hydrogéologique s'écrit :

$$S = Q_e - Q_s$$

dans lequel :

- S représente les variations de stock de la nappe ;
- Q_e la recharge ;
- Q_s les sorties.

La connaissance des valeurs de recharge et des taux de sortie serait indispensable à la gestion des prélèvements à Bangui aussi bien dans les *forages profonds* que dans les *puits traditionnels*, afin d'éviter de forts rabattements du niveau des nappes.

A Bangui, le potentiel des eaux souterraines est déterminé principalement par le contexte bioclimatique, qui influence les précipitations et la végétation, et par la nature des terrains sous-jacents qui favorise l'infiltration de l'eau et l'écoulement souterrain. Dans cet espace urbanisé, peut également être prise en compte dans cette estimation la modification des conditions hydrologiques superficielles due à une *hypothétique imperméabilisation du sol* laquelle accroîtrait plus le ruissellement que l'infiltration. L'expérience du tarissement des puits traditionnels à Bangui en saison sèche nous montre que les eaux pluviales rythment la recharge de cette eau souterraine, ce au-delà des effets des aspects texturaux et structuraux des terrains qui peuvent dans le détail rendre complexe le cheminement de l'eau. Cette éventualité devrait relativiser la thèse de l'*imperméabilisation du sol urbain* vis-à-vis de l'*infiltration* dont le taux serait de l'ordre de 4 % selon les groupes d'études de la JICA (1999 b) : cette valeur nous paraît cependant discutable.

Le coefficient d'emmagasinement dans le cas d'un aquifère captif est le rapport entre la quantité d'eau que peut fournir une nappe et le volume de cette nappe. Il rend compte en fait du volume potentiel d'eau qu'un aquifère peut fournir ou stocker, d'où son importance en hydrogéologie (De MARSILY, 1982 ; CASTANY, 1998 ; COSANDEY et ROBINSON, 2000). Ces auteurs suggèrent, pour son obtention, des informations non seulement sur *la vitesse de la circulation de l'eau*, mais aussi sur *la vitesse de transmission de la pression*, qui est habituellement plusieurs centaines de fois plus rapide. Les captages peuvent aussi influencer sur la grandeur des ressources exploitables du fait que les conditions hydrogéologiques varient au cours de l'année, voire sur plusieurs années, suivant les conditions d'alimentation des horizons aquifères (PLOTNIKOV, 1962). Il en résulte une variation du niveau des nappes souterraines, de leur débit, du débit des sources et d'autres indices hydrogéologiques, avec un effet sur la variation des réserves exploitables. Par conséquent, la grandeur des ressources exploitables dépend des conditions naturelles et de l'alimentation des horizons aquifères. Ainsi, *l'exploitation provoque des variations considérables dans le régime de l'écoulement souterrain*. Toutefois, sur la base des résultats de forages de reconnaissance, l'épaisseur de la couche aquifère du socle est estimée à

30 m (JICA, 1999 b) alors que les réserves sont mal connues. Son potentiel supposé est lié à ses moyens de recharge qui sont l'Oubangui et les eaux météoriques *via* la nappe libre. En revanche, les connaissances limitées et insuffisantes sur sa productivité ne permettent pas de préciser son taux de remplissage ou son bilan.

4. LES CARACTERISTIQUES PIEZOMETRIQUES

Nous observons le fonctionnement des nappes par le battement saisonnier, voire annuel ou interannuel qui les caractérise. Quelques données disponibles servent à éclairer la variation de la surface piézométrique.

4.1. Les données

La base des données sur les analyses du niveau hydrostatique à Bangui s'appuie sur deux séries de travaux (NGBOKOTO, 1988 ; JICA, 1997 ; voir Annexes II).

La première série de données a été constituée par des étudiants en 2^e Année de l'Institut Polytechnique (actuellement Institut Supérieur de Technologie), dont l'objectif était de déterminer l'allure de la nappe phréatique superficielle à Bangui (NGBOKOTO, 1988). Cette collecte de données s'est faite en deux étapes : d'abord au cours du mois de mars 1984 avec l'exploration de 280 puits traditionnels dans la zone NO de la ville, qui a servi à la réalisation d'une carte piézométrique ; ensuite, en poursuivant cette campagne dans la zone SO, la promotion de l'année suivante a fait le tour de 476 puits au cours des mois de février et mars 1985. Ceci donne au total 756 puits qui sont pris en compte dans cette étude.

La deuxième série de données est produite par les groupes japonais *KYOWA Engineering Consultants* et *YACHIYO Engineering* de la JICA (1997) dans le cadre de l'étude sur le développement de l'usage des eaux souterraines dans la ville de Bangui. Le niveau des eaux souterraines a été mesuré au rythme mensuel et saisonnier, en vue de connaître le schéma de fluctuation. Les mesures mensuelles ont concerné dix points d'eau (puits traditionnels et forages) ; la fréquence est d'une mesure par mois, d'avril 1996 en février 1997. Quant aux mesures saisonnières, elles ont concerné dix autres points d'eau durant les mois de septembre et décembre 1996, et de février 1997. Cela fait donc au total vingt points d'eau qui ont été mesurés (Figure 26 a). Bien que ces deux séries de données puissent nous donner des indications quant au comportement des nappes à l'échelle saisonnière ou annuelle, elles sont malgré tout insuffisantes, très ponctuelles et irrégulières dans le temps, s'il s'agit de caractériser plus ou moins précisément les fluctuations du niveau hydrostatique.

4.2. Piézométrie, niveau hydrostatique, extension de la nappe

On peut parler d'une *surface piézométrique* régulière dans le cas des formations sédimentaires à aquifères continus. Dans le milieu fissuré du socle, il faut tenir compte de la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques, qui forment une surface piézométrique irrégulière où chaque bloc doit être considéré séparément (PLESINGER, 1990). La connaissance de la fluctuation du niveau piézométrique est un objectif des études hydrogéologiques ; il a une grande importance pour la vie pratique de la population car la majorité des puits traditionnels en Centrafrique souffrent d'une pénurie d'eau durant la saison sèche et beaucoup cessent de fonctionner sur un temps relativement court. Le tarissement des puits à Bangui nous révélerait peut-être une recharge et une profondeur insuffisantes selon les cas.

4.2.1. Le niveau hydrostatique

Il n'a pas été mené à Bangui d'études systématiques, voire fournies, sur les battements des nappes phréatiques qui pourraient nous aider à la connaissance du potentiel réel des eaux souterraines. Le principe général est que *la nappe superficielle est tributaire de la variabilité saisonnière des précipitations, mais sa puissance ou son épaisseur sont mal connues en raison des micro-topographies variées à l'échelle de la ville, dont dépend le niveau piézométrique ; nous ne savons pas si les puits vont au fond de l'aquifère superficiel. Le niveau des*

nappes dans la couche d'altération ou les *puits traditionnels* est estimé d'après les maxima (octobre) et les minima (avril et mai) observés rapidement (PLESINGER, 1990). La différence est assez importante : variant entre 2 et 5 m ; la fluctuation globale s'approcherait de 8 m selon cet auteur en saison sèche (déficit hydrique). D'ailleurs, un brusque rabattement de 1,46 m en un mois est observé par un piézomètre dans les *cherts* de la formation carbonatée de Bangui (pk 4) au début de cette période (sèche), dans un forage. Ainsi, nous pouvons grossièrement penser que l'épaisseur de cet aquifère serait localement de 5 à 15 m du fait de la différence des niveaux topographiques et de l'altitude de la couche aquifère, mais aussi de la profondeur de certains puits que nous avons observés. De plus, le tarissement de la nappe superficielle dans les puits traditionnels devrait aussi s'expliquer par un excès de pompage à cette période à cause de l'importance du nombre des utilisateurs à Bangui et pas seulement par la variation de la réserve en l'absence de pluies. Ainsi nous pourrions penser que si le réseau de la SODECA (Société de Distribution des Eaux en Centrafrique) couvrait toute la ville, la consommation de l'eau des puits pourrait baisser, et qu'en conséquence il resterait peut-être de l'eau dans les puits quelle que soit l'intensité de la saison sèche. Le pompage des eaux de l'Oubangui qui sont traitées et distribuées n'affecterait pas les débits d'étiage, quels que soient les scénarios Note48.

Néanmoins, il existe des puits qui ne s'assèchent pas en saison sèche et fonctionnent toute l'année. Cela suppose que ceux qui tarissent ne sont pas assez profonds pour atteindre la partie quasi-permanente dont le niveau se situerait entre une profondeur de 12 à 16 m (POUNOUMALE, 2000). Ils ne s'exposeraient pas aux risques d'épuisement saisonnier (sauf si, de ce fait, la nappe était trop sollicitée...). Par ailleurs dans le cadre d'une synthèse sur l'hydrologie en Centrafrique, FEIZOURE (1996) a estimé les pluies efficaces sur la période 1959-1979, soit la fraction d'eau pluviale qui atteindrait la nappe phréatique. Elles seraient de 489 mm, soit 31,4 % du total précipité, sachant qu'il tombe 1560 mm. Ce chiffre est sensiblement supérieur à celui que nous avons calculé, qui est de 319,8 mm, pour une période un peu différente (1951-1989).

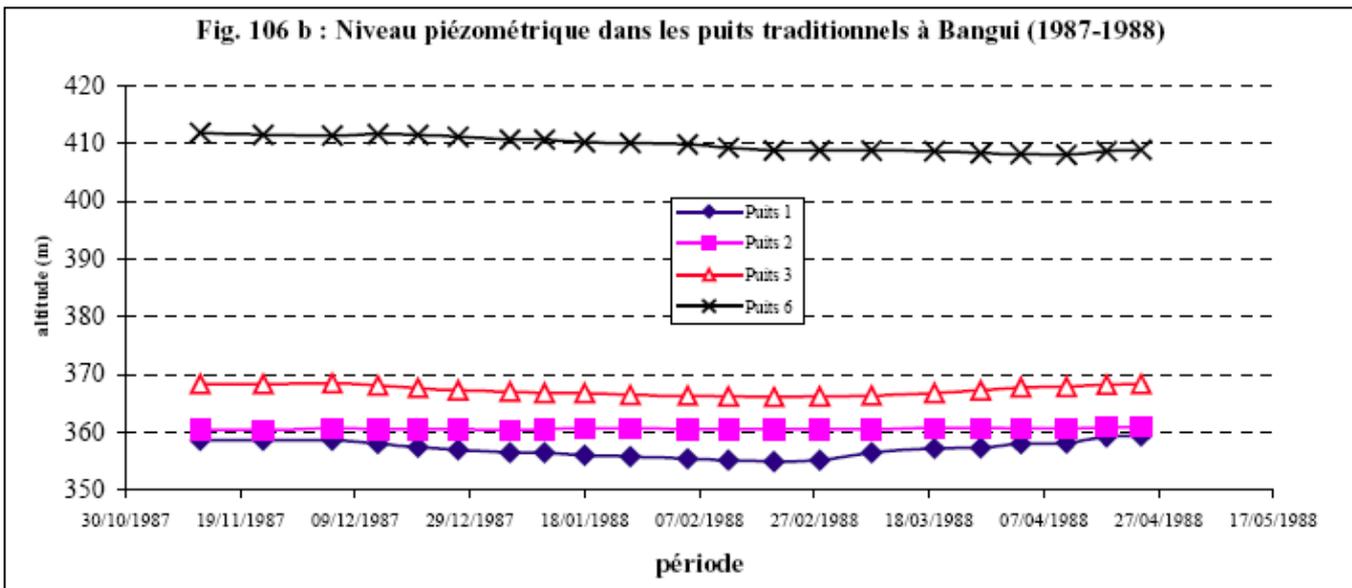
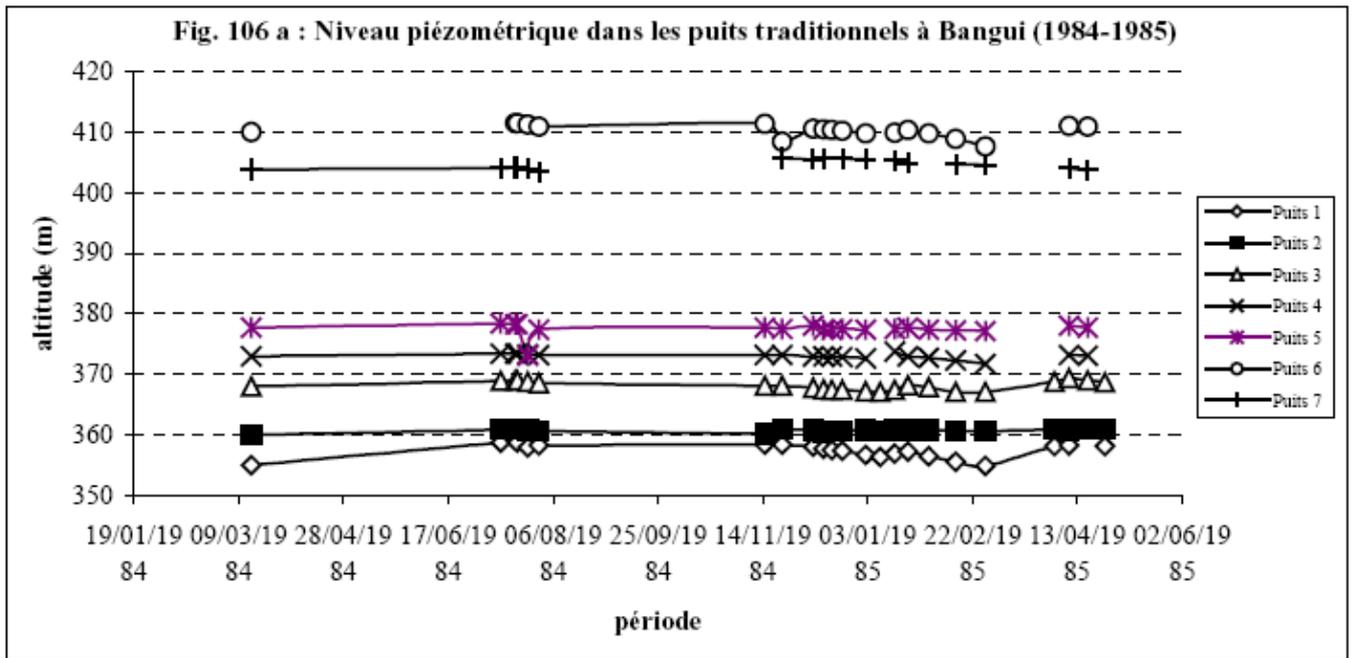
4.2.2. Extension de la nappe

Dans ce contexte, l'analyse des niveaux piézométriques des puits en 1984-1985 et en 1987-1988 (Figures 106 a et b) nous suggère de suivre les variations du niveau hydrostatique de la nappe superficielle dans l'espace et dans le temps et ce en étroit rapport avec les altitudes relatives qui contrôlent les diverses unités topographiques à Bangui. Ces niveaux piézométriques les plus hauts correspondent aux secteurs de topographie relativement élevée tels que plateaux ou piémonts, alors que le secteur de plaine, que nous supposons être un talweg de par la convergence de l'écoulement, enregistre la plus faible piézométrie de la série.

Figures 106

a) Niveau piézométrique dans les puits traditionnels à Bangui de janvier 1984 en juin 1985 (d'après NGBOKOTO, 1988) ;

b) Niveau piézométrique dans les puits traditionnels à Bangui d'octobre 1987 en mai 1988 (d'après NGBOKOTO, 1988)



Dans la pratique, les puits traditionnels sont plus profonds dans les secteurs de piémont ou de plateau comme ceux de Boy-Rabé, Foû, Gobongo ou Fatima que dans la plaine à Miskine, Ngouciment ou Sica-Saïdou ; cela nous laisse penser que la nappe superficielle n'aurait pas un même niveau statique (voir Fig. 107 pour localisation). Au vu de ces résultats, nous remarquons donc des *paliers piézométriques* qui sont dictés par les *niveaux topographiques* ; ceux-ci sont confirmés par les travaux de CORNACCHIA et GIORGI (1985 a) qui présentent l'allure de la nappe phréatique superficielle en rapport avec les courbes de niveau ou de relief (Figure 107 a et b).

Figure 107a) Allure de la nappe superficielle en début de l'année hydrologique à partir des puits traditionnels à Bangui (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a, modifiée)

Figure 107 a : Allure de la nappe superficielle (puits) en début d'année hydrogéologique (janvier) d'après CORNACCHIA et GIORGI (1985 a, modifiée)

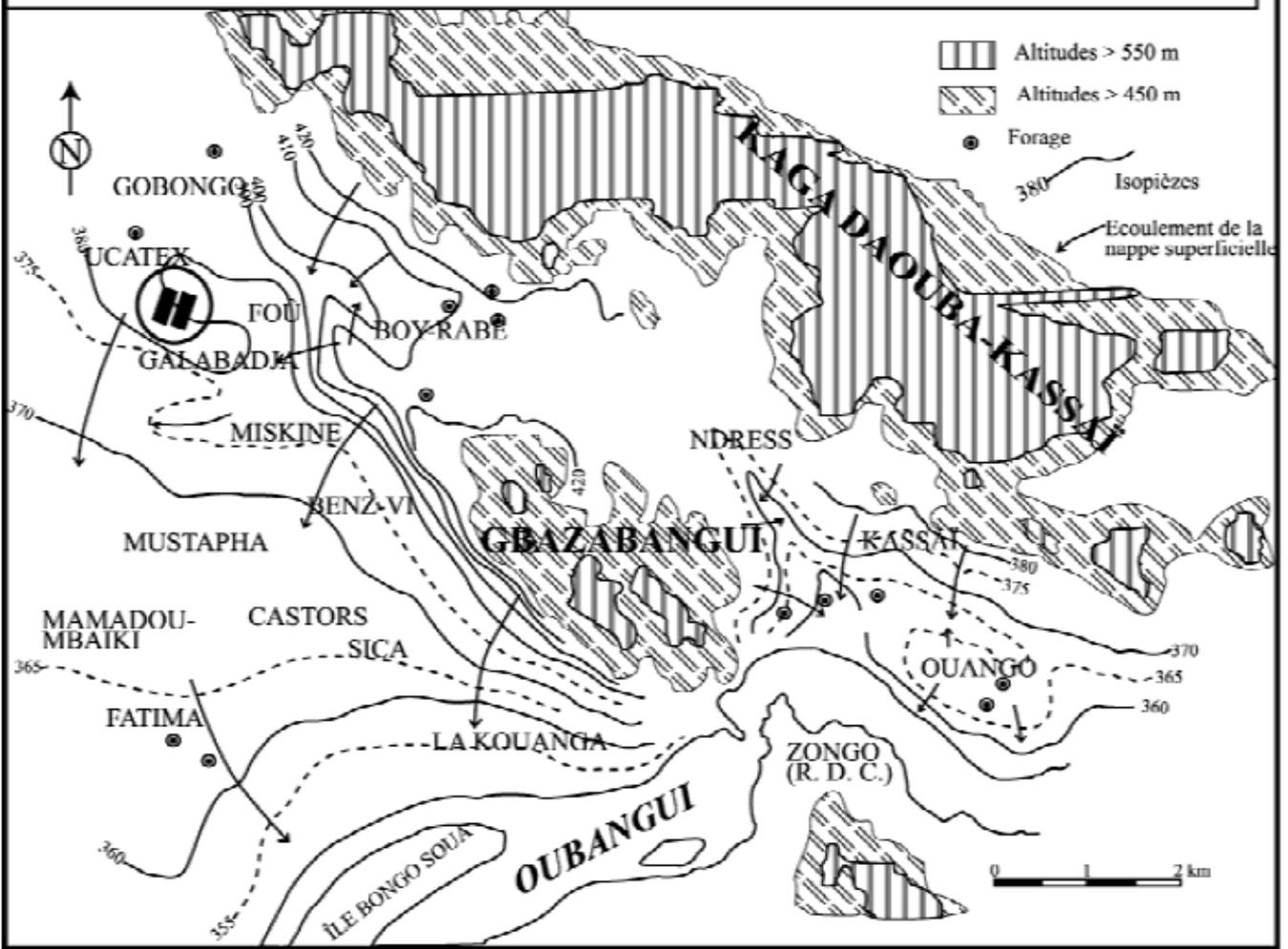
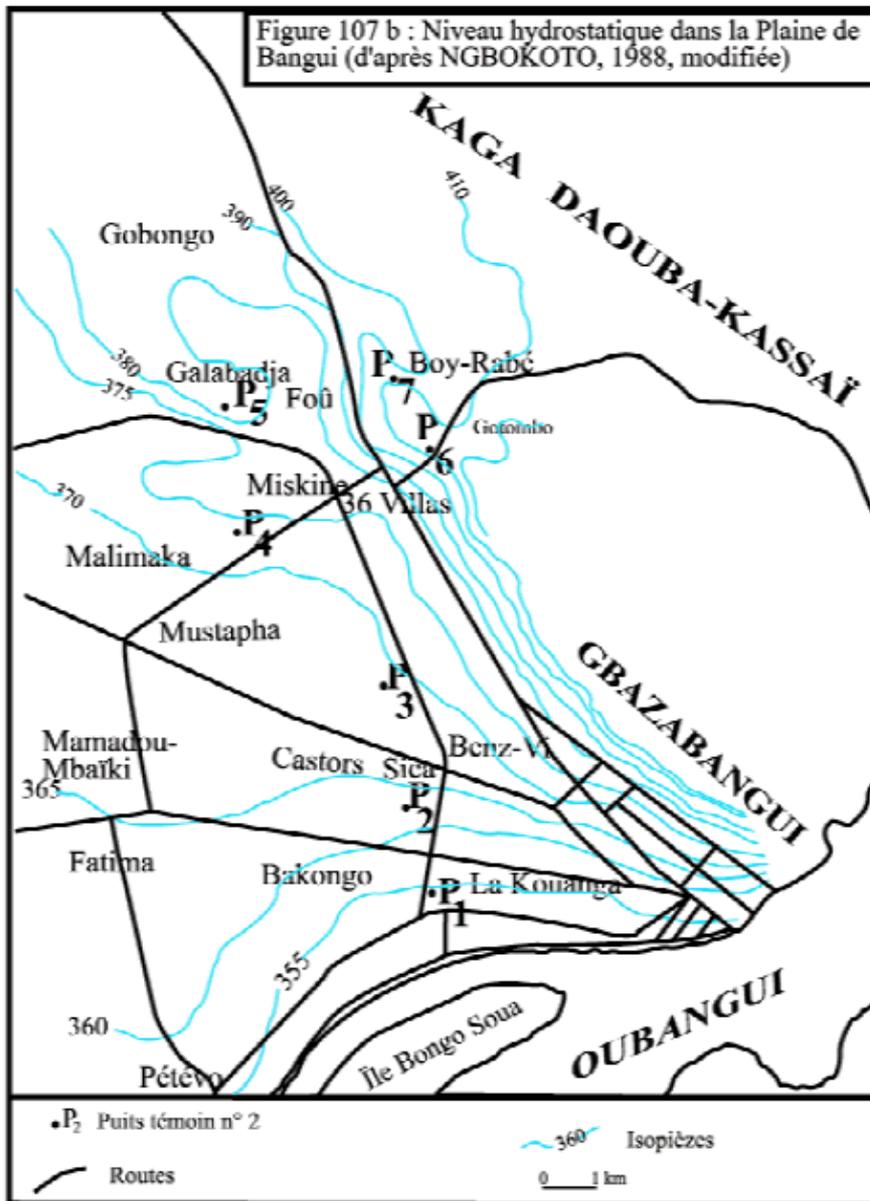
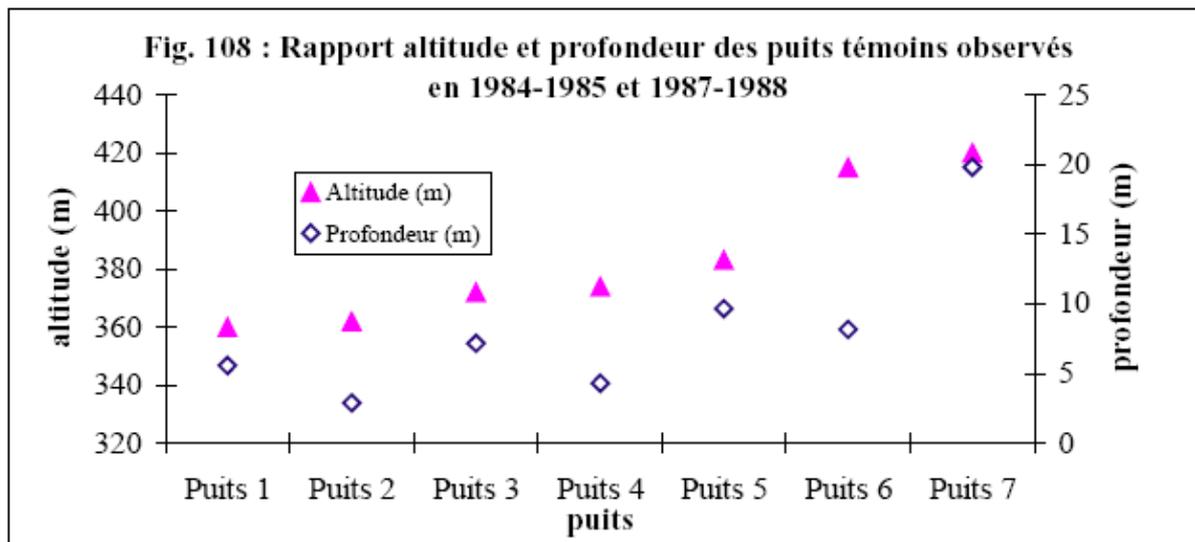


Figure 107 b) Niveau hydrostatique dans la Plaine de Bangui à l'Ouest des Collines de Gbazabangui (NGBOKOTO, 1988, modifiée)



Cependant, le rapport altitude-profondeur des puits traditionnels témoins (Figure 108) ne semble pas beaucoup influencer le niveau hydrostatique, sauf dans le cas du puits témoin 7 dont la nappe est la plus profonde (environ 20 m), alors que le puits 6 coté à plus de 410 m atteint la nappe à moins de 10 m.

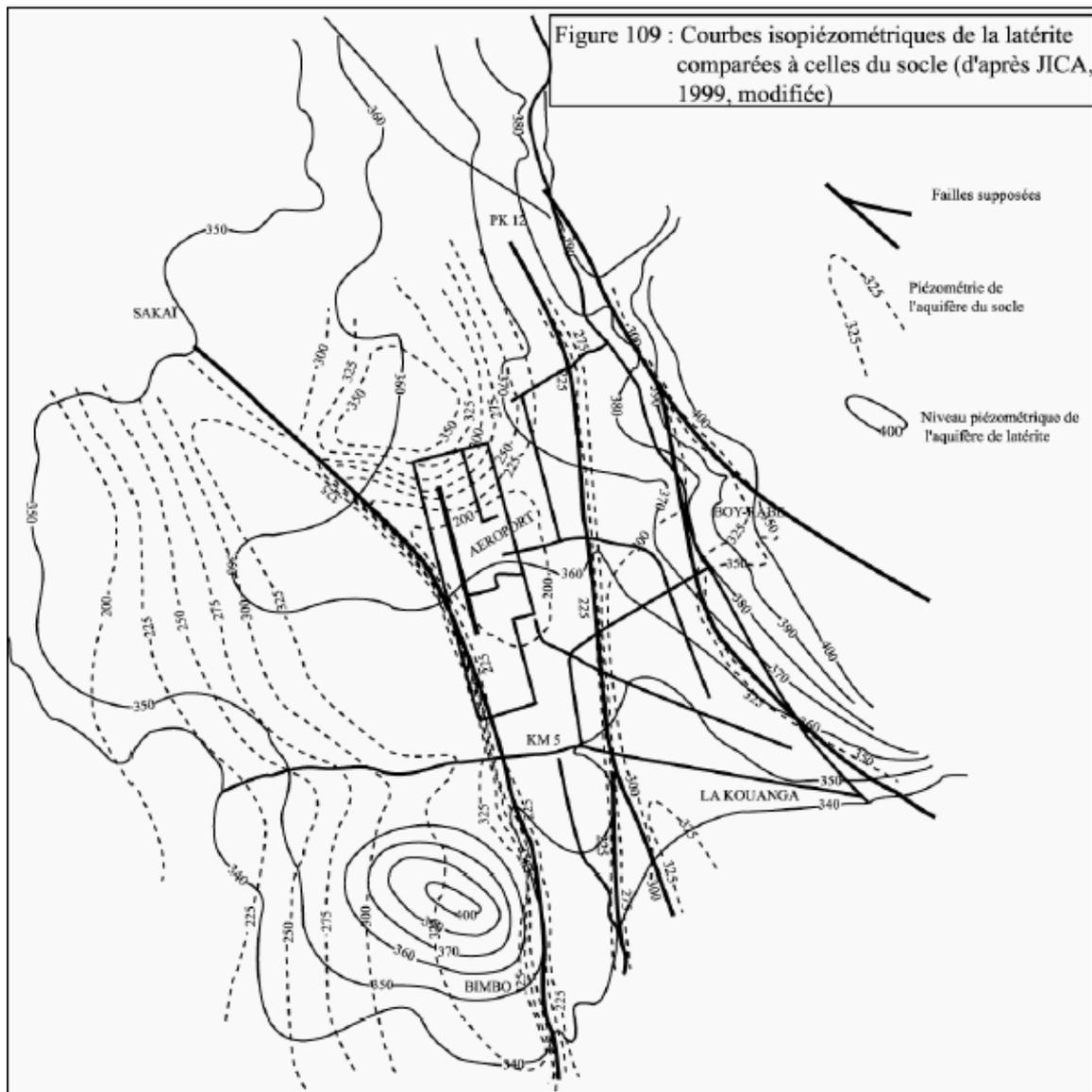
Figure 108 Rapport altitude-profondeur des puits témoins observés en 1984-1985 et en 1987-1988



Nous expliquons cette dynamique d'après les études de la JICA (1999 b), lesquelles ont défini deux potentiels piézométriques, en fonction d'abord des deux nappes et ensuite des formations hydrogéologiques dans lesquelles les eaux sont extraites (puits ou forages). Il s'agit de l'*aquifère de la latérite*, exploité à la fois par les puits traditionnels et par les forages (Figure 31), et de l'*aquifère du socle* qui n'est accessible que par forage. Les mesures effectuées en 1996 (JICA, 1997) nous ont ainsi montré que la couche aquifère de la latérite présente la même configuration que les caractéristiques topographiques. Ceci se remarque par l'élévation du potentiel piézométrique plus forte dans les secteurs de plateau que dans la plaine (Figure 109), et cela nous confirme que cette couche aquifère est libre, se rechargeant par les eaux pluviales.

En revanche, la couche aquifère du socle, dont la surface piézométrique n'a été mesurée qu'en janvier 1999, présente des isopièzes presque identiques à celles de la couche de la latérite si nous les comparons (Fig. 109), sauf le long des zones de failles. Ainsi, le niveau piézométrique de l'aquifère du socle est plus bas d'environ 10 m le long des failles, à l'intérieur desquelles des *vallées piézométriques* sont relevées avec une isopièze profonde de 200 m. En raison de la concordance de certaines isopièzes des deux couches aquifères, ces nappes sont supposées hydrauliquement connectées, mais leur potentiel ne suffirait pas à alimenter la zone urbaine à elles seules, semble-t-il. Par ailleurs, en examinant les courbes isopièzes, il apparaît que l'extension de la nappe superficielle est discontinue au sein de la ville du fait de la présence des collines ; la nappe de Kassai-Ouango est isolée en raison de la tectonisation du site, et limitée au sud par l'Oubangui, à l'ouest par la Mpoko. D'après cette répartition, NGBOKOTO (1988) estime que la nappe phréatique superficielle se subdivise en trois parties ou bassins : le secteur de Boy-Rabé, la plaine alluviale et la zone de l'*inféoflux* de l'Oubangui, alors que les forages de reconnaissance réalisés par la JICA ont aussi détecté trois bassins hydrogéologiques mais dont les détails diffèrent des premiers (Figure 34).

Figure 109 Courbes isopiézométriques de l'aquifère de la latérite comparées à celles de l'aquifère du socle (JICA, 1999, modifiée)



Dans le premier cas, le secteur de Boy-Rabé présente des courbes de niveau de 420 à 400 m qui sont serrées. Leur orientation nous suggère que la nappe est drainée par la Ngoubagara et son affluent la Ngou-Nguélé. Quant à la plaine alluviale, l'altitude de la nappe est comprise entre 360 et 400 m, avec des courbes de niveau qui s'orientent grossièrement dans deux directions : ESE-NO et E-SO, enserrant les quartiers Malimaka, Miskine, Fouh, Galabadja ; les cotes d'altitude 380 et 375, qui dominent, commencent à être lâches entre 370 et 365 m. Dans cet espace, nous voyons que la Ngoubagara et la Ngongonon continuent à drainer la nappe par l'intermédiaire des sources qui tapissent leurs chenaux. Enfin, cet auteur considère que la nappe dans la zone d'*inférox*, longeant le fleuve depuis l'amorce de sa courbure en rive droite au niveau du quartier Lakouanga jusqu'à la confluence de la Mpoko, est située au-dessous du niveau de l'Oubangui pendant les mois humides. En réalité, cette zone, qui est large d'environ 100 ou 200 m localement, nous paraît perchée, avec les eaux stagnantes et marécageuses qu'elle comporte, par rapport au talweg de l'Oubangui. Ainsi, en hautes eaux, c'est le fleuve qui l'alimenterait, et à l'étiage ses eaux sont drainées en sens inverse et renforcent son débit de base ; cette tendance serait confirmée par le niveau piézométrique du puits témoin 1 (Figures 106 a et b), à La Kouanga, qui a enregistré une baisse notable au mois de février où le déficit hydrique est évident.

Dans le second cas, trois bassins hydrogéologiques avec leurs sous-bassins sont délimités (Figure 34) dans les études de *KYOWA Engineering Consultants* et *YACHIO Engineering* (JICA, 1999 a) :

- au nord, un bassin comprend la Ngola et les eaux souterraines s'écoulent vers la rivière Mpoko, à l'est ;
- un autre bassin hydrogéologique englobe les bassins-versants de la Ngongonon et de la Ngoubagara, et est limité à l'est par le versant ouest des collines et à l'ouest par l'aéroport Bangui-Mpoko et la partie orientale du plateau au nord de Bimbo, englobant celui de Fatima, selon une méridienne. Il est divisé en deux sous-bassins A (du côté de l'aéroport) et B (celui des collines) : tous deux s'écoulent en direction de l'Oubangui et de la confluence de la Mpoko ;
- le dernier comprend tout l'ouest de la ville depuis l'ouest de l'aéroport en passant par le sud du village Sakai I ; il longe les confins de la nouvelle *aire urbaine* par la vallée de la Mpoko depuis l'amont de sa confluence avec la Pama jusqu'à celui de son embouchure avec l'Oubangui. Il se subdivise en deux sous-bassins qui se dirigent ensemble vers la Mpoko (voir Annexes divers 1).

Toutefois, nous remarquons que ce découpage ne s'est pas étendu à la partie orientale de la ville, séparée par les Collines de Bangui, où se trouve la nappe du Couloir de Ndress avec le bassin-versant de la Nguitto, et celle du plateau du Kassai-Ouango. La raison principale serait que les travaux de la JICA n'ont concerné que l'espace qui est présenté (Figures 34 et 109), alors qu'une partie de la ville se trouve de l'autre côté des collines, zone étudiée par CORNACCHIA et GIORGI (1985 a ; Figure 107 a). Néanmoins, nous estimons que l'alimentation de ces nappes à l'est et à l'ouest des Collines de *Gbazabangui* suivrait la même dynamique.

5. MODES D'ALIMENTATION DES NAPPES PHREATIQUES A BANGUI

La synthèse des travaux sur l'hydrogéologie de la ville nous enseigne que la recharge des deux nappes superposées (superficielle et profonde) se fait principalement par l'infiltration des eaux météoriques (P-ETR) : cette alimentation directe est fonction de l'incidence de la fréquence des pluies et de la nature du sol, et secondairement de la recharge par les cours d'eau (Oubangui et Mpoko) dont le régime lui-même est tributaire des précipitations (CORNACCHIA et GIORGI, 1985 a et b ; NGBOKOTO, 1988 ; PLESINGER, 1990 ; JICA, 1997, 1999 a, b et c). Cette réalité est aussi relevée dans le fonctionnement des eaux souterraines de par le monde (PLOTNIKOV, 1962 ; De MARSILY, 1981 ; CASTANY, 1998 ; COSANDEY et ROBINSON, 2000).

5.1. Effet de l'ETR : les précipitations efficaces (PE)

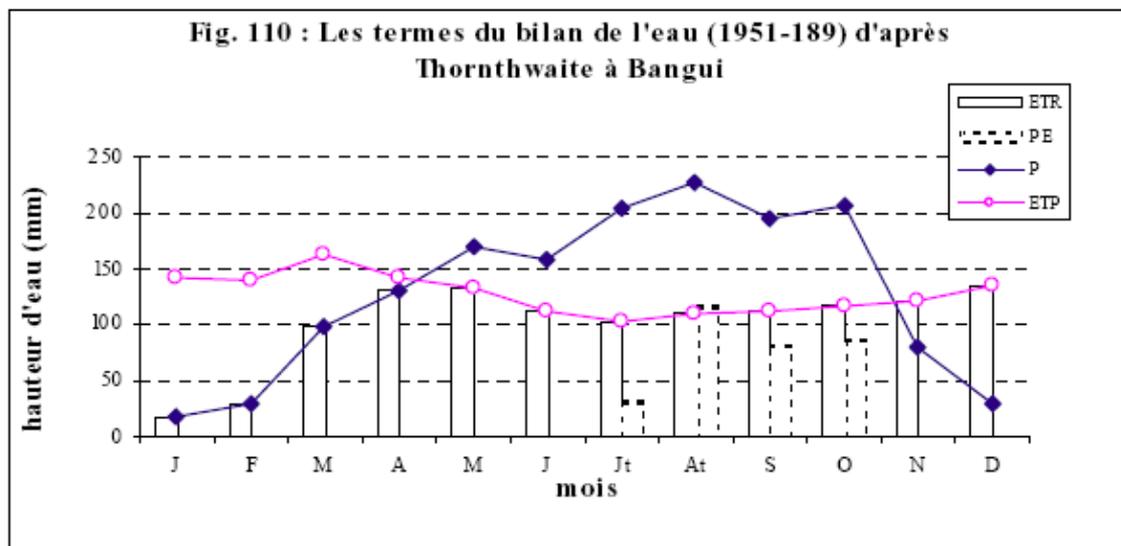
La recharge des nappes phréatiques à partir des précipitations peut se calculer en utilisant le paramètre ETR, lequel se définit comme la réponse d'un milieu donné à la demande exercée par l'évaporation potentielle (ETP), selon la disponibilité de l'eau. Pour Bangui, nous avons obtenu l'ETR par la méthode de calcul du bilan hydrique de *Thornthwaite* (III § 2.2.3.4, Tableau XVII), à pas de temps mensuel, ce qui permet de suivre le rythme saisonnier de la disponibilité de l'eau qui équilibrerait le niveau des nappes phréatiques (Figure 110).

Le calcul du bilan d'eau selon la méthode de *thornthwaite* permet d'estimer la pluie efficace (« l'excédent » du tableau XVII) : c'est la quantité d'eau susceptible d'alimenter l'écoulement, directement ou par l'intermédiaire des nappes, compte tenu des prélèvements de l'évaporation, soit immédiats, soit par l'intermédiaire de stockage et de déstockages dans la tranche de sol soumise à l'évaporation (et dont la teneur en eau disponible constitue la « réserve hydrique » notée *Ru*).

Nous remarquons que les nappes se rechargent à partir du mois de juillet (Figure 110) lorsque la disponibilité en eau devient excédentaire par rapport à la *Ru*, et atteint son maximum en août, en septembre et en octobre ; les mois de novembre et de décembre qui annoncent le début de la saison sèche, voient leurs valeurs baisser régulièrement jusqu'en janvier. De février à juin, la recharge des réserves hydrologiques est nulle, et les nappes enregistrent leurs bas niveaux. De ce fait, les pluies efficaces à l'échelle mensuelle suivent le rythme saisonnier des précipitations avec leur incidence comme moteur principal de régulation des ressources en eau

de la ville. L'estimation des PE se chiffre entre 20 et 30 % des pluies à Bangui (§ 3).

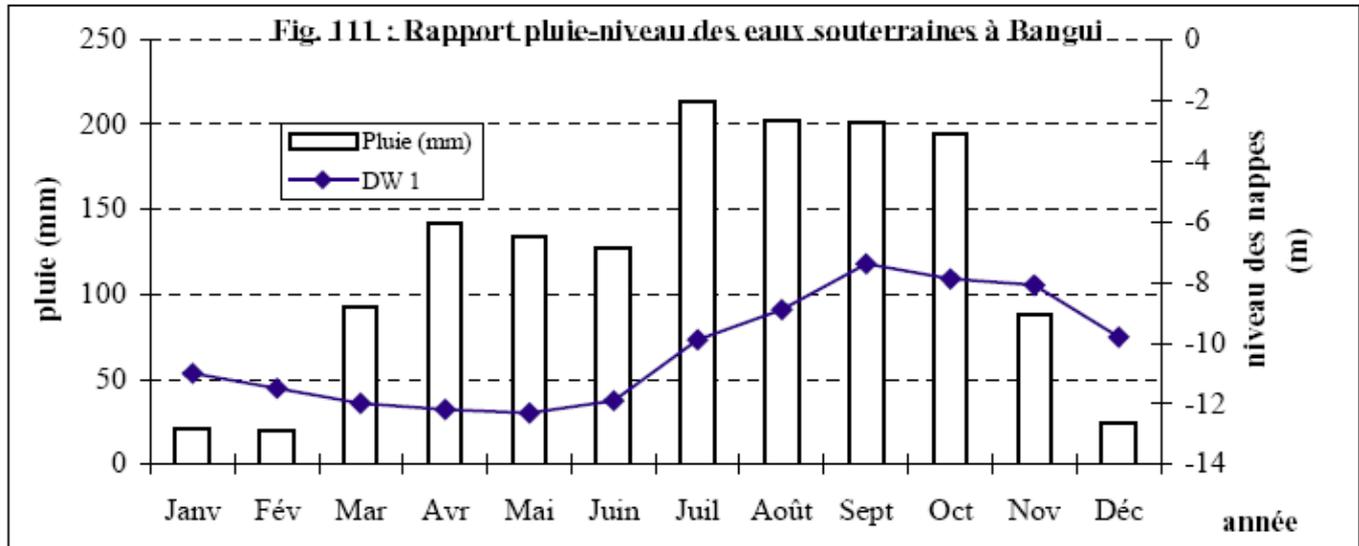
Figure 110 Les termes du bilan de l'eau (1951-1989) d'après Thornthwaite à Bangui



Par ailleurs, la recharge de la nappe dépend aussi des conditions d'infiltration qui ne sont pas simples dans le détail. Une synthèse des travaux présentée par COSANDEY et ROBINSON (2000) montre une complexité des processus d'infiltration au travers de la zone non saturée, « l'eau qui arrive à la nappe pendant l'averse n'est pas de l'eau de pluie, mais de l'eau préexistante dans le sol qui est déplacée vers le bas par différentes vagues d'infiltration ». Ce processus est l'équilibre hydrostatique qui aide à comprendre la réponse souvent rapide des nappes aux précipitations, surtout lorsqu'on est dans des matériaux peu perméables, et que le sol est déjà humide. Le battement de la nappe phréatique superficielle à Bangui est bien caractérisé par le processus d'équilibre hydrostatique, notamment en saison pluvieuse d'après nos observations. Lorsqu'il pleut de manière relativement abondante, la nappe des puits traditionnels enregistre fréquemment une remontée du niveau hydrostatique de l'ordre de 30 à 50 cm environ, voire plus, pour une averse, malheureusement le manque de données piézométriques journalières ne nous permet pas de préciser ce rythme d'alimentation. De plus, ce qui frappe dans ce processus est que localement la remontée de la nappe dans certains puits s'accompagne d'un changement de la coloration de l'eau : de teinte limpide, l'eau devient trouble, tantôt laiteuse, tantôt rougeâtre en fonction de la topographie (vallées des rivières urbaines, proximité des zones marécageuses...) et des terrains (argileux/latéritisés). Par exemple, cela se serait produit lors des pluies exceptionnelles de 1999 où le niveau hydrostatique était très proche de la surface, ce qui avait donné lieu au fonctionnement de nombreuses sources à l'échelle de la ville (Planche V, Photo F), même sur le piémont ; quand il pleuvait, l'eau de ces sources et même celle de puits avait la couleur brunâtre des eaux de ruissellement. Ces observations attestent donc de l'influence directe des précipitations sur l'alimentation des nappes, laquelle est confirmée par la comparaison des pluies moyennes mensuelles (1985-1995) et du flux des eaux souterraines (Figure 111) ; la piézométrie de ce forage, puisant dans la couche aquifère du socle (ou couche profonde), a été régulièrement observée sur l'ancien site de la Direction Générale de l'Hydraulique de 1992 à 1994 à 14 m de profondeur (JICA, 1999 b). Ce schéma nous donne une idée précise de la variabilité saisonnière des flux hydrologiques.

D'après la figure 111, la fluctuation des eaux souterraines suit quasiment celle des pluies, avec un décalage temporel classique. Nous observons qu'à l'échelle saisonnière, cette fluctuation est nette, car la saison sèche par exemple, période chaude caractérisée par un déficit hydrique, voit le niveau des eaux baisser de novembre en mai (le plus bas niveau) avant qu'à la saison pluvieuse ($P > ETP$) une remontée du niveau de la nappe s'opère.

Figure 111 Rapport pluie-niveau des eaux souterraines à Bangui (d'après JICA, 1999, modifiée)



5.2. Tendances saisonnières et annuelles du rythme d'alimentation

Lorsque nous comparons le niveau des eaux souterraines superficielles à celui des eaux souterraines profondes, le rythme d'alimentation saisonnier est presque le même. Des pluies tombées en saison sèche même, paraissent avoir une influence directe sur le toit de la nappe (c'est le cas des puits témoins 1 et 3), alors que le puits 2 (situé au cœur d'une ancienne dépression marécageuse de Sica-Saïdou) ne semble pas réagir de la même manière (Figures 112 a et b). Une telle alimentation directe et très rapide serait à l'origine de la pollution des nappes (NGBOKOTO, 1988). Ceci nous conduit à penser que la nappe profonde s'alimenterait aux eaux pluviales. L'autre argument corrélatif concerne l'analyse de la qualité des eaux ; celle-ci montre que les eaux souterraines du socle sont contaminées par les coliformes et l'ammoniaque, qui se retrouvent dans la nappe phréatique superficielle ou l'aquifère de la latérite. Donc, l'hypothèse de l'interconnexion hydraulique des deux nappes phréatiques paraît vraisemblable (JICA, 1999 b).

Figure 112 Descentes et remontées comparées des niveaux de puits traditionnels et de l'Oubangui (in NGBOKOTO, 1988) :a) Période 1984-1985

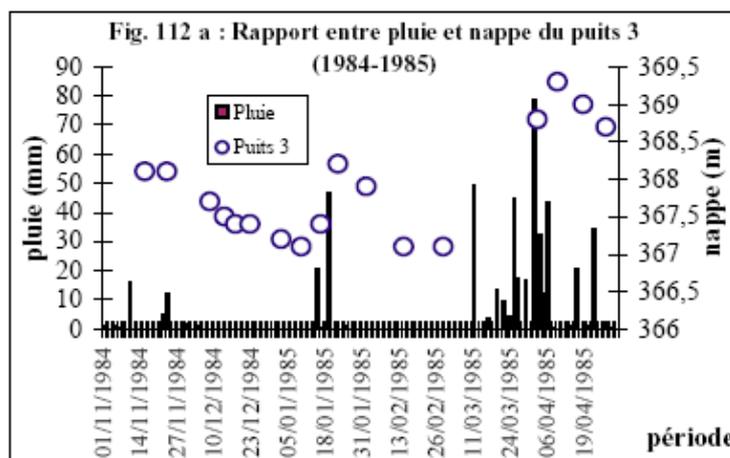
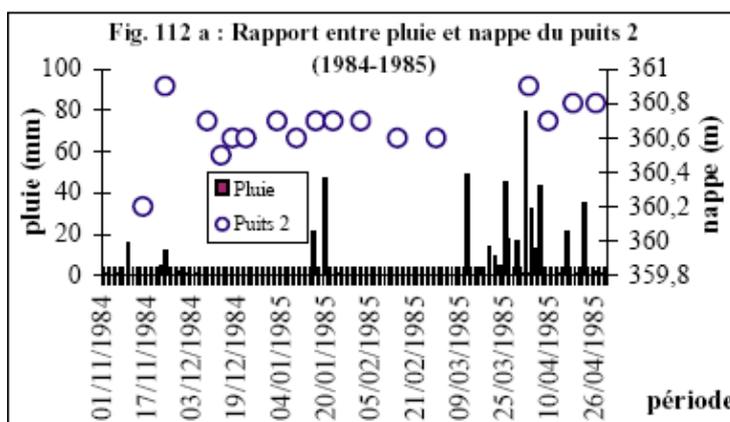
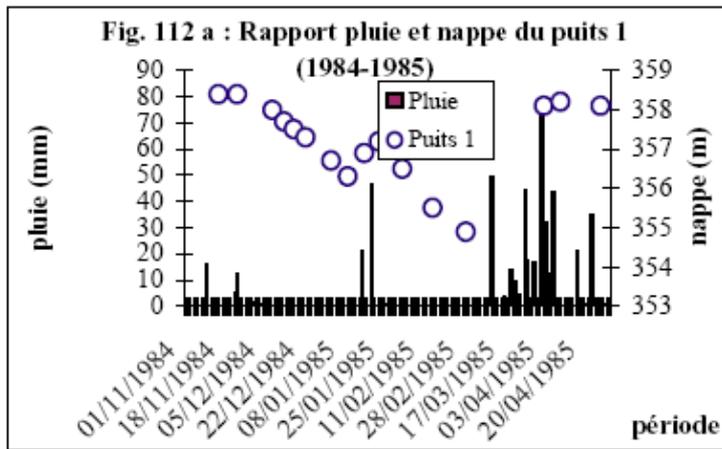
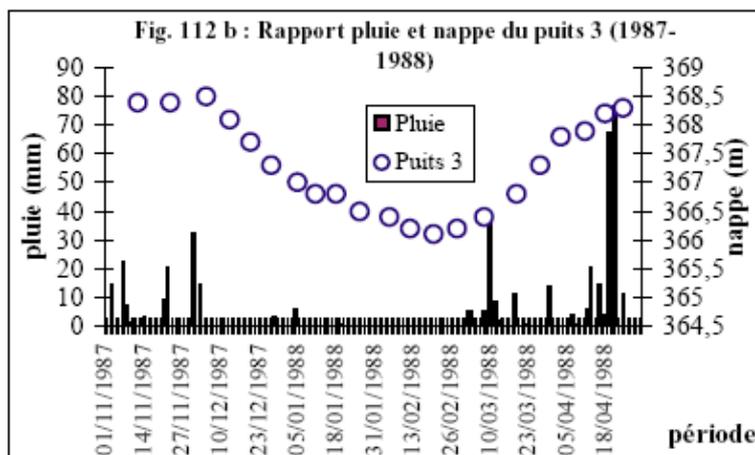
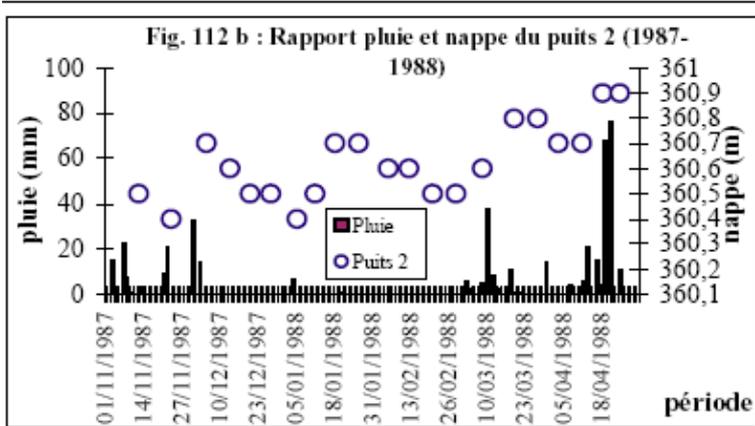
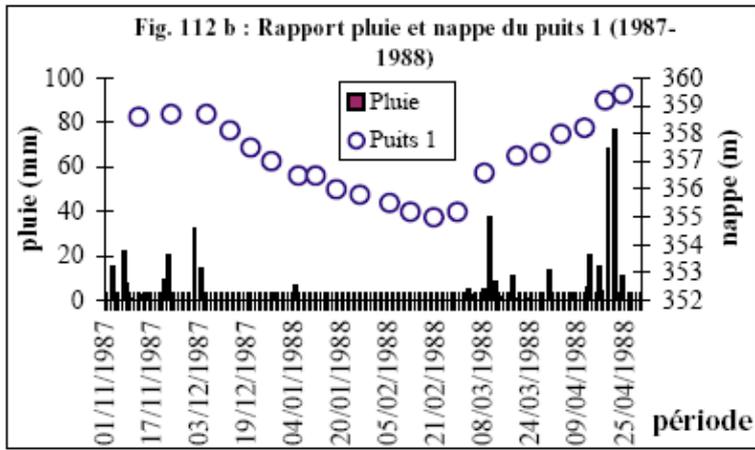


Figure 112 Descentes et remontées comparées des niveaux de puits traditionnels et de l'Oubangui (in NGBOKOTO, 1988) : b) Période 1987-1988



Par ailleurs, nous avons établi le modèle de fluctuation des hauteurs d'eau de l'Oubangui à Bangui (Figure 113) ; celui-ci s'insère dans la même dynamique en relation avec le modèle des pluies, selon l'année hydrologique (d'avril en mars). Il nous permet de constater l'évolution globale des eaux météoriques (P_p = pluies), superficielles (H_E = hauteurs d'eau) et souterraines à Bangui, étant donné que l'absence de données piézométriques continues n'autorise pas à faire ressortir les variations annuelles, voire interannuelles.

Figure 113a) Evolution des pluies et des hauteurs de l'Oubangui à Bangui sur l'année hydrologique (1984-1985)

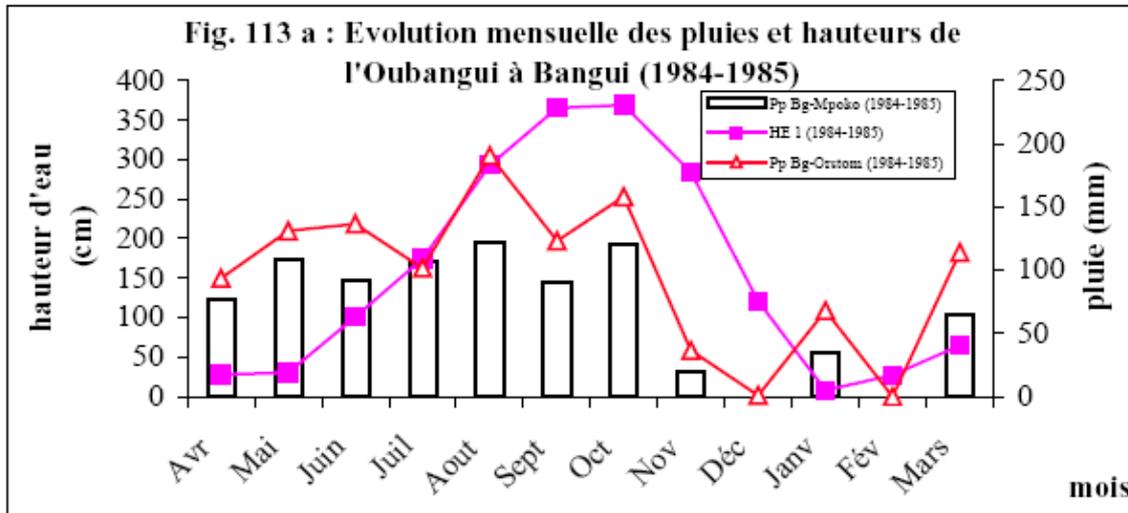
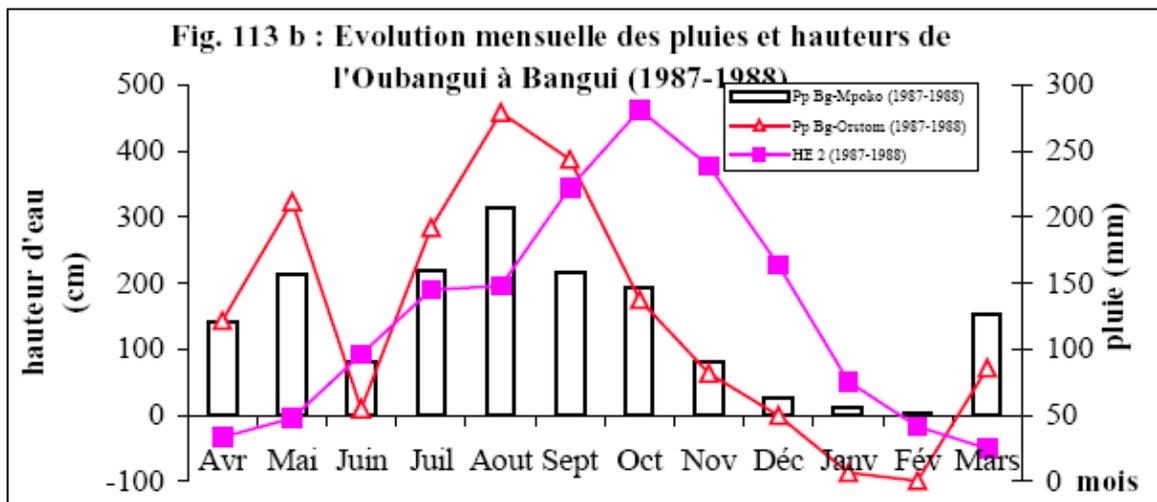


Figure 113b) Evolution des pluies et des hauteurs de l'Oubangui à Bangui sur l'année hydrologique (1987-1988)



Sur les figures 112 et 113, nous remarquons que les modes (pics) de pluie et de hauteur d'eau paraissent décalés, différés dans le temps les uns des autres. Les pluies débutent en avril quand les hauteurs d'eau sont encore à leur bas niveau (<0,5 m) ; à la petite saison sèche du mois de juin, la hauteur d'eau atteint 1 m. En pleine saison humide, le mode des pluies s'observe en août et décroît en septembre, puis en octobre, alors que c'est justement lors de cette baisse des précipitations que les hauteurs d'eau sont maximales (de septembre à octobre). Ce processus s'observe également dans le rapport entre la pluie et le niveau de la nappe des puits à Bangui.

Les modèles de fluctuation du niveau des eaux souterraines dans les deux nappes présentent une relation évidente avec les précipitations (Figure 114). La recharge est conditionnée par les pluies. Ainsi, le débit d'eau souterraine (Q_{OUT}) est presque égal à la recharge par les précipitations (Q_{IN}) en période humide, tandis que le débit, soutenu par la réduction du stockage de la couche aquifère en période sèche, s'estime à partir du taux d'abaissement du niveau des eaux souterraines (H) et du coefficient de stockage de la couche aquifère. Ils s'équilibrent bien sûr à l'échelle annuelle.

Etant donné que la profondeur d'abaissement du niveau ($H_1 - H_2$) est moins importante que la hauteur totale de la couche aquifère (H_1), le débit est sensiblement le même dans l'année (ou durant les saisons). Cette formule

permet d'estimer la recharge :

$$Q = Q_{IN} = Q_{OUT} = Q'_{OUT}$$

$$Q = H * S * A$$

d'où :

- H : taux d'abaissement du niveau de l'eau souterraine ;
- Q : recharge de la couche aquifère par infiltration d'eau de pluie ;
- S : coefficient de stockage de la couche aquifère ;
- A : surface du bassin d'eau souterraine.

Le taux d'abaissement du niveau d'eau souterraine en période sèche est estimé à 0,5 m.mois-1 d'après les observations du forage de la Direction Générale de l'Hydraulique (Figure 111). Le coefficient de stockage étant de $1 \cdot 10^{-2}$ en raison de la présence d'argile, et la surface du bassin cible de 47 km², la recharge annuelle dans les deux nappes serait de 2 820 000 m³.an-1, d'après cette formule ci-dessus, soit 0,5 m.mois-1 * ($1 \cdot 10^{-2}$) * 47 km² * 12 (JICA, 1999 b). Ce volume de recharge est à augmenter puisque la formule (ou le modèle) ne prend en compte qu'un taux de recharge de 4 % pour les précipitations, alors que les pluies efficaces constituent environ 20 à 30 % des précipitations.

Figure 114 Concept de base pour l'estimation de la recharge des eaux souterraines (JICA, 1999 b)

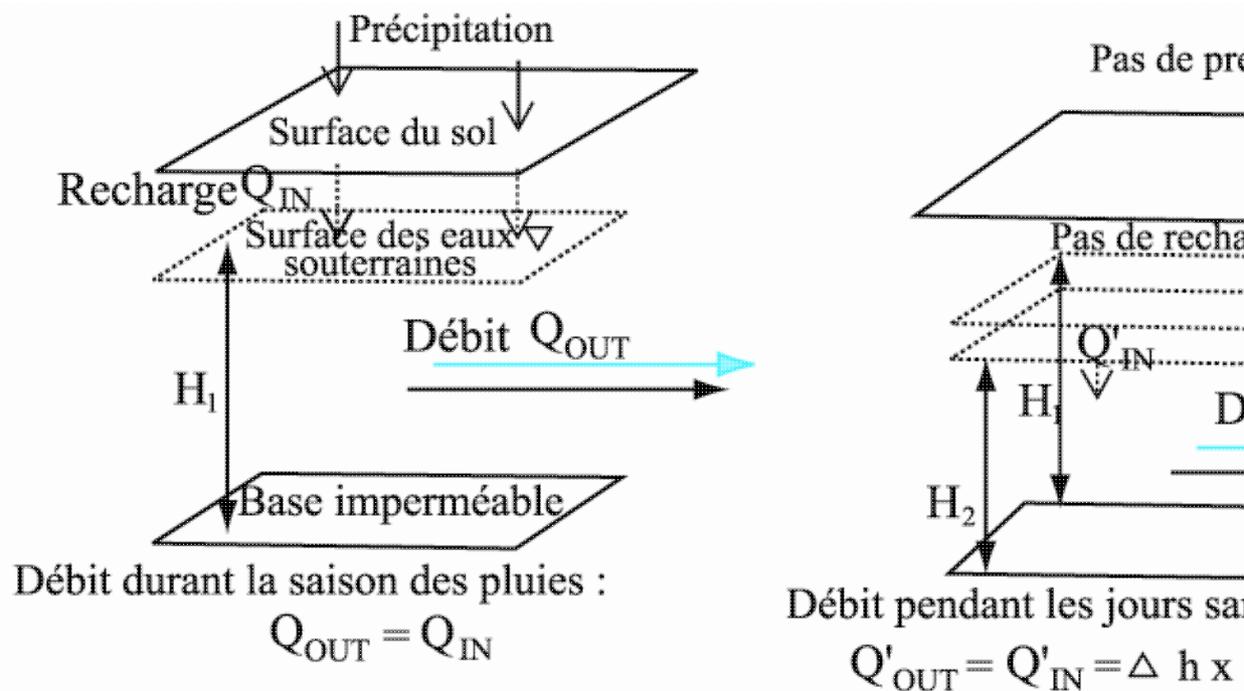


Figure 114 : Concept de base de l'estimation de la recharge des eaux souterraines

6. RELATION NAPPE-PRECIPITATIONS-HAUTEUR DE L'OUBANGUI, ET ECOULEMENT DE LA NAPPE

Au regard des analyses qui précèdent, nous notons une interrelation probable dans la dynamique des nappes, des précipitations et du régime d'alimentation de l'Oubangui. En suivant le fonctionnement saisonnier de ces trois paramètres (Figures 111, 113 et 114), la confirmation nous en est donnée par la descente et la remontée

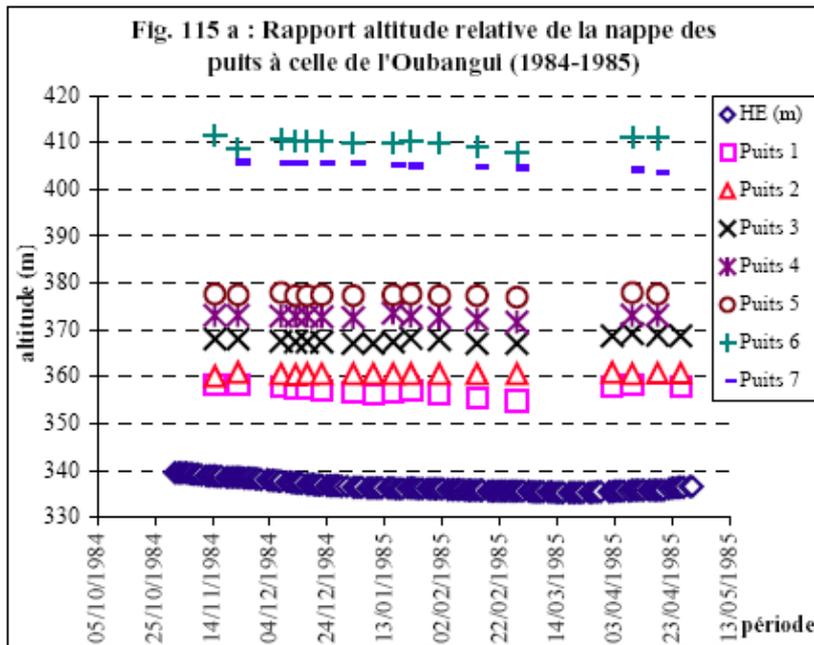
de la nappe comparativement aux précipitations et aux hauteurs d'eau de l'Oubangui à l'intersaison, c'est-à-dire au début et au plein de la saison sèche (Figures 112 a et b). Cette dynamique est perceptible lorsque les pluies tombées à cette période (décembre et janvier) viennent rompre la descente des courbes de la nappe phréatique et de celles de l'Oubangui, bien que ce cours d'eau ne soit pas seulement influencé par la pluviométrie de Bangui, mais aussi par celle qui affecte toute l'étendue de son bassin-versant. Les basses eaux de février et mars durant lesquelles l'Oubangui à Bangui a un très bas niveau commencent à être dépassées avec les premières pluies du mois de mars, ce qui indique une remontée sensible et du niveau de la nappe et de celui de l'Oubangui.

Avec une amplitude moyenne de 2 à 5 m pour la nappe phréatique superficielle et d'environ 4 m pour celle de l'Oubangui, nous remarquons que la relation *aquifères-Oubangui* paraît avoir plusieurs tendances en raison de la différence des cotes d'altitude et des niveaux piézométriques auxquels les observations sont faites. De plus, ces entités ne sont pas caractérisées par un même type d'écoulement ; les débits respectifs estimés ou calculés en sont les principaux indicateurs.

6.1. Relation entre les aquifères et l'Oubangui

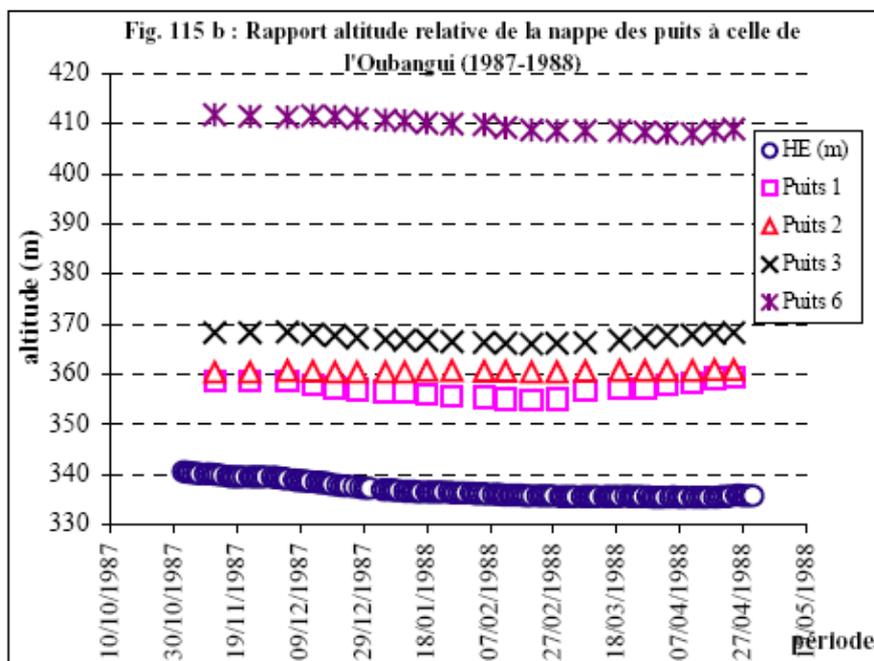
Les échanges entre les nappes phréatiques (superficielle et profonde) et l'Oubangui nous semblent évidents et se situeraient à plusieurs niveaux. Avant de préciser ces niveaux de relation entre les *nappes* et la *rivière*, nous jugeons important de souligner que, pendant la saison pluvieuse, lorsque le niveau des nappes est gonflé par l'infiltration des eaux de précipitations et que l'Oubangui est à sa hauteur d'eau maximale (8 m, soit la cote 345), les échanges ne se feraient que dans un sens : *des nappes vers le fleuve* (c'est l'exfiltration), en raison des amplitudes respectives de ces organismes. Du fait que les nappes s'écoulent vers l'Oubangui, il serait difficile que les nappes drainent les eaux du fleuve en période pluvieuse. Toutefois, s'agissant de ces niveaux de relation, ils ne devraient être fonctionnels qu'en période de déficit hydrique, laquelle voit baisser le niveau des nappes et du cours d'eau pour que les processus marchent (Figures 115 a et b). Ces graphes nous montrent bien que c'est l'Oubangui qui draine la nappe phréatique superficielle de Bangui en saison sèche. Nous définissons donc *quatre niveaux d'échanges* : (i) le premier se fait dans le voisinage immédiat de l'Oubangui avec la zone qualifiée d'*inféoflux*, (ii) le second par le lit du fleuve qui est tapissé par le calcaire (silicifié) du Précambrien, (iii) le troisième se rapporte à l'alimentation des nappes par la Mpoko au travers des roches fracturées reconnues dans son lit, et (iv) enfin, à une autre échelle, toute la nappe phréatique superficielle s'écoule vers la Mpoko et l'Oubangui d'après le découpage des bassins hydrogéologiques (Figures 34).

Figure 115a) Rapport altitude relative de la nappe des puits à celle de l'Oubangui en 1984-1985



N. B. : HE (m) = cotes de l'Oubangui

Figure 115b) Rapport altitude relative de la nappe des puits à celle de l'Oubangui en 1987-1988



N. B. : HE (m) = cotes de l'Oubangui

Le premier niveau d'échange entre l'Oubangui et son voisinage immédiat appelé improprement « la zone d'inféroflux » (NGBOKOTO, 1988) est matérialisé par la courbe de descente du niveau piézométrique du puits témoin 1, qui est situé à La Kouanga non loin du lit fluvial (Figure 106 a et b ; 112 a et b). Le fait qu'en 1984-1985 et en 1987-1988 les fluctuations du niveau piézométrique aient été concomitantes de celles de la hauteur de l'Oubangui dans le temps, montre que le fleuve s'alimente à la nappe à cette période. Alors qu'à quelques centaines de mètres de là dans la plaine marécageuse de Sica-Saïdou, dont la cote d'altitude est

comprise entre 350 et 340 m, le puits témoin 2 présente, dans la même période, un niveau de fluctuation de la nappe qui n'est pas en phase avec celui de l'Oubangui (Figures 106 et 112), même avec la présence des précipitations. NGBOKOTO (1988) émet deux hypothèses pour expliquer cette insensibilité à la variation du niveau de l'Oubangui dans le cas du puits 2 :

- soit ce puits se situerait dans une zone plus basse (339 m ?), et cette tendance à la stabilité serait liée à la proximité des réserves permanentes ;
- soit le puits devrait être doublement alimenté par le fleuve et par le ruissellement ou l'écoulement souterrain du fait de sa topographie. Ces alimentations conduiraient à un équilibre.

Par ailleurs, la zone qualifiée « d'*inféoflux* » est par définition *une zone où l'eau s'infiltré dans des alluvions poreuses et continue à cheminer à l'abri de l'évaporation* (TRICART, ?). Or cette zone longiligne qui suit l'incurvation du bras de l'Oubangui à ce niveau, qu'on qualifie d'*inféoflux*, est en réalité aujourd'hui la plaine d'inondation ou la basse terrasse du fleuve. Car la plus haute terrasse s'observe à 2-3 m de hauteur en aplomb de l'ex-Collège Préparatoire International (CPI) dont l'enceinte de l'établissement a baigné dans l'eau lors des inondations d'octobre et novembre 1999 (Planche X, Photo C). C'était probablement une partie du lit fluvial à l'Holocène qui a évolué en zone marécageuse. De nos jours, elle est perchée par rapport au chenal de l'Oubangui et possède une morphologie fossilisée (Fig. 32). Cette zone marécageuse, qui communique donc avec les autres dépressions du SO en amont du confluent Mpoko-Oubangui (Figure 94), ne paraît pas poreuse à cause des vases qui caractérisent le fond, et elle conserve de l'eau sous forme d'étang ou de lac. Ce type d'écoulement ci-dessus défini ne serait possible que quand la hauteur d'eau du fleuve baisse et qu'elle draine la nappe subaffleurante.

Dans *le second cas*, nous considérons que c'est l'Oubangui qui rechargerait la nappe phréatique par la présence des formations carbonatées sous-jacentes à la ville de Bangui et qu'on retrouve aussi dans son lit (Figures 24 : p. 63, et 27 : p. 72). Du fait que ces formations sont très fracturées et poreuses, l'Oubangui s'y infiltrerait. Les travaux de CORNACCHIA et GIORGI (1985 a) ont en effet estimé que la réalimentation de la nappe profonde se ferait vraisemblablement par le fleuve grâce aux (vastes) zones d'affleurements très fracturés que l'on observe dans l'Oubangui en saison sèche. Ces auteurs pensent que la coïncidence de la surface piézométrique de la nappe captive avec la cote altimétrique de l'Oubangui n'est certainement pas fortuite et tendrait à confirmer cette hypothèse.

Le troisième niveau concerne l'alimentation de la nappe profonde par la Mpoko au travers des roches fracturées reconnues dans son lit. Cette hypothèse a été émise par CORNACCHIA et GIORGI (1985 b) lors de la réalisation de trois forages sur le site de la Brasserie CASTEL-BEER à environ 2 km en amont de la confluence avec l'Oubangui. La présence d'un massif conglomératique et schisteux très fracturé dans lequel la nappe est captée, et l'intense fracturation relevée systématiquement dans les affleurements, avec des pendages mesurés dans la Mpoko voisine, qui sont orientés NO-SE et faiblement pentés vers le SO, permettent à ces auteurs de supposer la présence d'une nappe de réseau en relation probable avec la rivière.

Enfin, du fait de l'orientation supposée de l'écoulement souterrain, l'Oubangui et également la Mpoko draineraient la nappe superficielle dont le niveau piézométrique paraît trop bas pour alimenter les cours d'eau urbains asséchés chaque année. Pendant la saison sèche, nous constatons que les talwegs sont perchés par rapport au niveau piézométrique et les lits sont à sec ou presque, alors qu'il y a 20, 30 ans voire plus, ces cours d'eau s'écoulaient toute l'année, semble-t-il. Cette situation nous enseigne que le niveau piézométrique a vraisemblablement baissé à cause de la forte occupation du sol, exposant la nappe superficielle à une moindre alimentation du fait du plus fort ruissellement en direction de l'Oubangui et de la Mpoko. Ce point nuance les constats précédents.

Ainsi donc, nous comprenons que les différents niveaux d'échange qui existent entre l'Oubangui et les nappes phréatiques ne paraissent pas si simples à cerner. Malheureusement le nombre limité d'études réalisées à propos du fonctionnement des nappes à Bangui ne rend pas possible une approche quantifiée précise des

volumes d'eau qui sont momentanément transférés à l'interface des deux unités ou variables hydrologiques ; les eaux météoriques constituent l'enjeu majeur de leur réalimentation. Cependant, ces échanges semblent positifs pour les débits observés qui demeurent faibles et ils expliquent de ce fait la forte variabilité saisonnière de la nappe superficielle, caractérisée par le tarissement des puits à Bangui sur une courte période.

6.2. Ecoulement des nappes et les débits

Le découpage de l'espace urbain de Bangui en bassins hydrogéologiques prend en compte le sens de l'écoulement des nappes, qui lui-même est en étroite relation avec l'écoulement superficiel (§ 4.2). La vitesse et la direction de ces écoulements de nappe présentent un intérêt hydrologique fondamental (De MARSILY, 1981 ; COSANDEY et ROBINSON, 2000). Or la direction dominante de l'écoulement souterrain suit globalement l'orientation du relief ou la pente, alors que la vitesse de la circulation de l'eau ou de l'écoulement dépend des interstices ou des réseaux de fissures qui s'interconnectent. Nous remarquons dans cet esprit que les formations argileuses et latéritiques de Bangui qui scellent les nappes phréatiques, n'influenceraient pas de la même manière l'écoulement souterrain du fait de leur *filtrabilité* différente : les formations argileuses agiraient par *effet-piston* (ou équilibrage hydrostatique) à cause de leur saturation en eau, tandis que les formations latéritiques sont plus filtrantes en raison de l'hétérogénéité de la taille des grains (nodules ferrugineux et fines), des pores et micro-pores (NGUIMALET, 2000). Ainsi, pouvons-nous nous demander si c'est l'infiltration aisée dans les terrains latéritiques qui expliquerait alors l'élévation du niveau piézométrique sur plateau et piémont tel qu'à Fatima ou à Boy-Rabé par rapport à la plaine (Figures 106, 107 et 115). Nous supposons qu'à Bangui, les vitesses de circulation de l'eau pourraient être faibles, du moins dans les formations argileuses, ce qui induirait des débits moins élevés pour les deux nappes.

6.2.1. L'écoulement des nappes

En général, l'écoulement des nappes se calcule selon la *loi de Darcy* (PLOTNIKOV, 1962 ; De MARSILY, 1982 ; CASTANY, 1998) à partir du gradient hydraulique dominant et de la conductivité hydraulique à saturation de la matrice poreuse. Le principe est que le flux d'eau traversant un milieu poreux est à la fois fonction de la *conductivité hydraulique*, ou perméabilité globale (K), et du *gradient hydraulique*, qui se définit comme la perte en charge par unité de longueur dans la direction de l'écoulement ; ceci suppose le déplacement de l'eau dans les interstices du sol, qui rencontre parfois des résistances considérables à l'écoulement. Par ailleurs, une estimation de l'écoulement des couches aquifères (dans la latérite et dans le socle) en direction de l'Oubangui est proposée dans les travaux de la JICA (1999 b). L'écoulement d'eau souterraine de la couche aquifère dans la latérite (QL) vers le fleuve est estimé par le calcul de la déperdition dans une section de la ville qui est située près de l'Oubangui, et perpendiculairement à l'écoulement souterrain (Figure 116). La formule suivante la définit :

$$QL = A * P * G * 365$$

dans laquelle :

- QL : écoulement de l'aquifère de la latérite en $m^3.s^{-1}$;
- A : surface de la couche aquifère de la latérite, 460 000 m^2 ;
- P : perméabilité de la couche aquifère de la latérite dans la section donnée (E-E : voir localisation des transects de ce profil sur figure 26 a), 0,5 $m.jour^{-1}$;
- G : gradient hydraulique de la section, 10 / 2500.

La perméabilité de la couche aquifère de la latérite dans cette section est supposée plus grande par rapport au reste de la ville en raison de la prépondérance de sables et graviers sous-jacents dans ses environs (Figures 26). Par conséquent, QL équivaut à 335 800 $m^3.s^{-1}.an^{-1}$, soit 0,34 MCM.an⁻¹.

Figure 116 Schéma du modèle d'écoulement souterrain du site de Bangui (JICA, 1999 b)

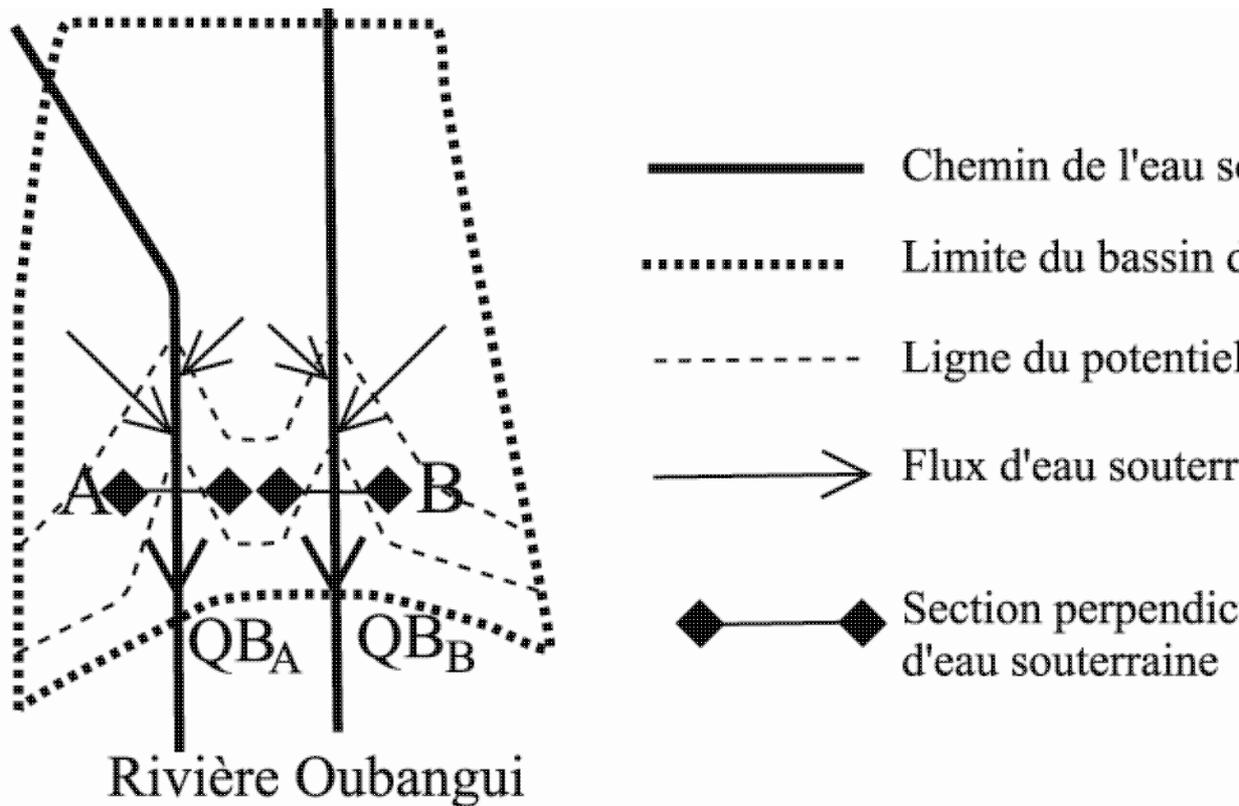


Figure 116 : Schéma du modèle d'écoulement souterrain du site de Bangui

En revanche, l'écoulement de la couche aquifère dans le socle vers le fleuve (QB), d'après la même méthode, est supposé plus important le long des grandes failles à l'origine de la dépression de Bangui (Figure 116). La formule est la suivante :

$$QB = QB_A + QB_B$$

$$QB_A = L_A * T_A * G_A * 365$$

$$QB_B = L_B * T_B * G_B * 365$$

où :

- QB : écoulement de la couche aquifère du socle en m³.an-1 ;
- QB_A, QB_B : écoulement passant par les sections perpendiculaires aux chemins d'eau souterraine A, B ;
- L_A, L_B : largeur des chemins d'eau souterraine, L_A = 1500 m, L_B = 1300 m ;
- T_A, T_B : transmissivité des chemins d'eau souterraine, T_A = 500 m².jour-1, T_B = 500 m².jour-1 ;
- G_A, G_B : gradient hydraulique le long des chemins d'eau souterraine, G_A = 0,002, G_B = 0,002.

La transmissivité de la couche aquifère du socle le long des cheminements de l'eau souterraine a été estimée sur la base des résultats d'essais de pompage. Ainsi, QB_A équivaut à 547 500 m³.an-1, et QB_B produit 474 500 m³.an-1 ; donc QB est estimé à 1 022 000 m³.an-1, soit 1,02 MCM.an-1. Toutefois, l'écoulement souterrain peut aussi être calculé par des méthodes hydrologiques. Cette démarche considère la *moyenne de la valeur arithmétique des étiages mensuels*, calculée pour une série d'observations continues sur 10 ans (CASTANY *et al.*, 1970). En l'appliquant à l'Oubangui à Bangui, PLESINGER (1990) a déterminé un

écoulement souterrain de 4,02 l.s-1.km-2 prenant en compte trois années d'observation dans le calcul. Ainsi, l'écoulement souterrain se fait vers l'Oubangui.

6.2.2. Les débits des nappes à Bangui : puits traditionnels et forages

Les indications sur la productivité des nappes phréatiques à Bangui sont proposées dans le cadre de l'approvisionnement en eau de la ville et de la population (NGBOKOTO, 1988 ; JICA, 1999 b). Le « Projet d'Hydraulique Villageoise » a établi des estimations des débits de puits traditionnels sur neuf sites répartis dans l'espace urbain (in : NGBOKOTO, 1988). Ces sites correspondent aux puits traditionnels dans les quartiers localisés en majorité sur piémont et plateau : Galabadja 2, Galabadja Marché, Gobongo Mission (voir Figure 1 : p. 4) et dans la plaine (Kpéténé) (Tableau XXVII).

Les débits élevés s'observant donc dans les zones de piémont, cela confirmerait peut-être le caractère filtrant des terrains latéritiques, les altérites (saprolithes) sous-jacentes aux cuirasses. L'altitude ne devrait pas influencer les débits dans ces puits puisque le quartier de Boy-Rabé, qui est à la cote d'altitude comprise entre 420 et 400 m, présente des débits différents, des plus élevés aux relativement faibles : 1,2 m³.h-1 (D1 et D6), 6 m³.h-1 (D8) et 3,6 m³.h-1 (D9). Cependant, le débit le plus important est observé dans le quartier Kassaï à l'est de la ville : 7,2 m³.h-1.

Nous déduisons de ces estimations que la nature de l'aquifère aurait une incidence sur les débits mesurés, alors que les rabattements correspondants restent inconnus. Ces débits se prêtent mieux à une alimentation par des puits munis de pompes plutôt qu'à une distribution industrielle (NGBOKOTO, 1988). Les chiffres obtenus montrent donc que les débits sont dans l'ensemble faibles.

Nous avons aussi des données résultant des études de la JICA (1999 b), lesquelles ont permis d'évaluer à la fois les débits des puits traditionnels et ceux des forages. Ainsi, les données d'observation de 22 forages ont conduit à l'estimation du débit annuel total d'eau souterraine qui se chiffre à 0,24 MCM. Ce débit total est fonction de la consommation : la population et ses besoins dont voici les détails (Tableau XXXIV). Les débits des forages domestiques sont plus élevés (170 m³.jour-1) que ceux de la nappe de la latérite (cf. II, p. 94 ; VII ; Tableau XXVII).

Tableau XXXIII : Débits des forages en rapport avec la consommation (JICA, 1999 b)

Besoins	Forages	Débit (m ³ .jour-1)	Population desservie	Taux de consommation (l.jour-1.tête-1)
Domestique	21	170 (soit 0,06 Hm ³ .an-1)	24 000	7,1
Industriel	1	500 (soit 0,18 Hm ³ .an-1)	-	-
Total	22	670 (soit 0,24 Hm ³ .an-1)	24 000	-

N. B. : Hm³ = Millions de m³

Le débit du forage de la Brasserie CASTEL-BEER, qui est à Bimbo en dehors du bassin d'eau souterraine cible, n'est pas entré dans le calcul. Par contre, le forage du *Foyer de Charité* qui puise dans la couche aquifère du socle, est considéré dans cette estimation, mais son débit de 3000 m³.an-1, est jugé négligeable pour l'examen de l'équilibre de l'eau des forages. Au total, le débit de la couche aquifère de la latérite obtenu par forage a été estimé à 0,06 Hm³.an-1, soit 170 m³.jour-1 dans le bassin d'eau souterraine cible.

Dans le cas des *puits traditionnels* dont la consommation et l'usage sont importants à l'échelle de la ville, l'estimation du débit a préalablement tenu compte de certaines observations :

Dans le 1^{er} Arrondissement où l'équipement est notable, l'eau des puits n'est utilisée que pour la lessive, le bain et le ménage, en complément de l'eau courante ;

Dans les zones non équipées (Bimbo 4, 5 et 7), la consommation moyenne d'eau des puits, estimée par enquête, se chiffre à environ 30 l.habitant-1.jour-1 ;

En revanche, dans les secteurs où prédominent les fontaines publiques, la consommation d'eau de puits par habitant est estimée à 23 l environ par jour ;

Dans les zones mixtes où coexistent des maisons équipées et non équipées, la consommation moyenne d'eau des puits par habitant atteint 27 l. jour-1, particulièrement dans le 8^e Arrondissement et à Bimbo 2 (Tableau XXXIV).

Tableau XXXIV : Débits des puits traditionnels estimés dans l'agglomération de Bangui (JICA, 1999 b)

Arrondissement	Population estimée (1998)	Consommation par habitant (l.jour-1)	Débit estimé (m ³ .jour-1)
I ^{er}	15 688	-	-
II ^{ème}	8 163	23	1 878
III ^{ème}	125 851	23	2 517
IV ^{ème}	44 005	23	880
V ^{ème}	154 676	23	3 094
VI ^{ème}	78 275	23	1 566
VIII ^{ème}	66 279	27	1 790
Bimbo 1	2 750	23	55
Bimbo 2	3 000	27	81
Bimbo 4	1 000	30	30
Bimbo 5	1 500	30	45
Bimbo 7	1 500	30	45
Total estimé	620 000		

Le débit total des puits traditionnels est estimé à environ 13200 m³.jour-1, soit près de 4,82 Hm³.an-1, qui sont pompés dans la *couche aquifère de la latérite*, au sein du bassin cible d'eau souterraine. Ainsi, il apparaît que la latérite fournit plus d'eau que le socle (Tableau XXXIII). Est-ce à cause de l'usage à outrance d'eau de puits que le caractère aquifère de la formation latéritique est démontré ou plutôt par ses potentialités hydrogéologiques *stricto sensu* ? Car l'exploitation actuelle des eaux souterraines est concentrée dans la couche de la latérite, et le volume pompé atteindrait 4,88 Hm³.an-1.

Les niveaux de consommation de l'eau des puits traditionnels estimés dans l'agglomération de Bangui (Tableau XXXIV), sont faibles dans l'ensemble alors que les ressources sont abondantes, mais l'eau peut encore manquer pour certains usages en saison sèche. Nous jugeons donc utile la *récupération de l'eau des toits* (dérivant des pluies) pour combler certains besoins et peut-être *améliorer le taux de consommation par habitant en litres par jour* qui est loin d'atteindre 40 litres malgré les prévisions de la politique de l'eau en Centrafrique. En effet, cette perspective s'annonce intéressante du moins dans le contexte actuel où le pays sombre encore dans une crise politico-socio-économique et paraît souple du fait qu'elle ne nécessite pas de très gros moyens pour la collecte de ces eaux, le conditionnement ou le stockage et le traitement. Mais il faudrait une structure qui reste à définir pour s'occuper de cette tâche. Car si cette politique est bien menée et que l'eau est recueillie en quantité, nous pensons que l'on peut résoudre la question du manque d'eau épisodique en saison sèche et offrir de l'eau contrôlée à toute la population de l'agglomération de Bangui. Ce faisant, les difficultés d'accès à l'eau dans les quartiers populaires, que pose le tarissement des puits traditionnels, seront minimisées.

Les effets de l'urbanisation sur les nappes phréatiques s'appréhendent par les formes de pollution qui atteignent ces entités, alors que les processus de recharge ne semblent pas souffrir (d'alimentation) ; les PE sont estimées à environ 20-30 % des précipitations. Car cela se démontre à travers les pluies tombées en saison sèche qui influencent le niveau piézométrique (Figures 112).

Cette étude nous permet de remarquer que la topographie du site de Bangui détermine localement la surface piézométrique, et de ce fait la recharge, si nous couplons altitude relative et caractéristiques hydrodynamiques des terrains latéritisés ; ceci favorise l'infiltration plus aisée sur le piémont ou sur les plateaux que dans la plaine argileuse. Cependant, il transparaît des volumes d'eau pompés que les débits sont relativement faibles, que cela soit pour les puits traditionnels ou pour les forages.

CONCLUSION PARTIELLE

De cette analyse de la dynamique des zones humides et des eaux souterraines du site de Bangui en relation avec les eaux pluviales et l'occupation du sol, il se dégage que le poids de ces deux paramètres (eau pluviale et anthropisation) sur les objets étudiés est notable. Cette influence s'est manifestée par la pollution de la nappe phréatique par infiltration et exfiltration des eaux usées, dont certaines proviennent de la surface topographique, et aussi par la concentration des eaux de ruissellement dans ces bas-fonds habités et mal drainés. En effet, le couplage *marais-rivières* i.e. l'implication des marais qui concentrent et les rivières qui collectent les eaux de ruissellement, dans l'optique de la compréhension de la dynamique globale de l'eau à l'échelle urbaine, nous permet de rendre compte des potentialités de drainage (pente, exondation des terrains) de la ville. Les zones marécageuses se sont formées dans un contexte paléoclimatique et géodynamique que nous ne maîtrisons pas, mais il est réel que la présence de ces dépressions et le contexte de leur formation sont tributaires des mouvements de l'eau dans toutes ses formes en conditions naturelles. Le transfert de l'eau des versants vers ces milieux (après une averse) ne se faisait pas avec la brutalité et la rapidité que nous connaissons aujourd'hui du fait de la nudité du sol engendrée par l'urbanisation ; ceci modifie le fonctionnement hydrologique des marais bien qu'il soit encore saisonnier du fait de l'alternance des pluies et de la sécheresse. En saison pluvieuse, le niveau des marais augmente et les sols marécageux sont saturés d'eau, se comportant comme des « surfaces contributives » quand il pleut, tandis qu'en saison sèche, les eaux tarissent et les sols sont désengorgés ; les marâchers les exploitent, et les constructions d'habitations se multiplient à cette période. Ainsi, nous comprenons que l'impact des eaux pluviales sur ces zones marécageuses s'observe à la fois par l'infiltration qui atteint la nappe phréatique qui les alimente, et par la concentration de ces eaux sous forme de ruissellement vers ces dépressions du fait de leur position en cuvette.

Quant à la situation des nappes phréatiques, les battements saisonniers de leur niveau suivent annuellement la variabilité des précipitations. Cela suppose que la recharge des nappes ne souffre pas de l'excès de ruissellement des eaux pluviales (atteignant environ 70 % des précipitations), ni de la compaction du sol urbain. L'infiltration semble se produire dans les bas-fonds et nous étayons cette hypothèse par des remontées de niveau de la nappe plus rapides à proximité des bas-fonds (vallées fluviales et marais). Cette tendance se remarque très bien lors des pluies isolées en saison sèche qui influencent le niveau piézométrique des puits traditionnels ; de plus, les fluctuations du niveau de la nappe profonde relevées par forage sont simultanées de l'évolution saisonnière des pluies (Fig. 112), indiquant bien que les deux nappes sont influencées par la rythmicité des précipitations. La pollution de celles-ci par les polluants d'origine humaine nous en donne la confirmation. Ainsi, les effets de l'urbanisation sur ces nappes phréatiques de Bangui se déterminent par les formes de pollution, et sont minimisés par la recharge car l'infiltration des eaux en saison pluvieuse, qui détermine le haut niveau des deux nappes phréatiques, montre que « l'imperméabilisation du sol urbain » est à relativiser. Car tout s'infiltré à partir des bas-fonds et des terrains latéritisés, et nous estimons les Cr (coefficients de ruissellement) pour les bas-fonds à environ 50-60 %.

QUATRIEME PARTIE : PERSPECTIVES CONCERNANT LA GESTION DES EAUX DANS LE SITE DE BANGUI

« L'eau... a eu, à travers l'histoire, une dimension symbolique, après avoir été l'objet de cultes et de mythes, et elle assure un certain nombre de fonctions et de services indispensables à l'humanité. » **R. COULOMB et G. LE MOIGNE** in (*L'eau en questions*)

INTRODUCTION

Nous avons diagnostiqué dans les parties précédentes les problèmes récurrents de la circulation de l'eau, en relation avec la géomorphologie du site de Bangui, et leur exagération par l'artificialisation des conditions d'écoulement. Après plus d'un siècle d'existence de la ville, la non-maîtrise de l'eau est évidente, et les hommes demeurent pour le moment passifs face à la question de l'eau (NGUIMALET, 2000).

Nous proposons dans cette dernière partie de *cibler les principaux axes d'une bonne gestion des eaux (eau contrôlée, réseaux d'assainissement, inondations)*, pour envisager une résolution durable de leurs effets néfastes pour le mieux-être des citoyens. Car l'eau devient « ressource à gérer » tel que l'énonce SPIRE (1998). A propos d'assainissement, VENNETIER (1988) souligne que, dans les pays développés, les ruisseaux sont enfouis dans des canalisations souterraines ; caniveaux et égouts reçoivent les eaux pluviales, tandis qu'un réseau séparé évacue les eaux vannes ; les zones marécageuses sont drainées ou remblayées avant lotissement. En revanche, en Afrique tropicale, la croissance très rapide et incontrôlée des agglomérations urbaines ne permet souvent pas aux pouvoirs publics, qui disposent de moyens très insuffisants, de les doter d'infrastructures collectives, à l'exception des quartiers lotis. Cette réalité des structures urbaines de Bangui est patente.

Ainsi, la nécessité d'améliorer la gestion des ressources en eau en situation normale ainsi que la prévention et la prévision en situations extrêmes (inondations et sécheresse), fera l'objet de notre discussion. Il nous permettra de passer en revue l'applicabilité de certains scénarios à la gestion de l'eau, dans le but d'aider la ville de Bangui à contrôler ses problèmes liés à l'eau.

Chapitre VIII – QUELQUES AXES ET LEUR APPLICABILITE A LA GESTION DE L'EAU DE LA VILLE DE BANGUI

« Il faut mettre l'Homme au centre des politiques liées à l'eau, dans le cadre d'une gestion soutenable et durable de la planète, mais il faut trouver des solutions au niveau du pays ou de la région où il vit ». **R. COULOMB et G. LE MOIGNE** in (*L'eau en questions*)

Le concept de « gestion » s'applique pour éviter les situations difficiles. En effet, l'eau dans sa diversité pose problème à Bangui en raison des vulnérabilités physiques que l'extension urbaine anarchique exacerbe ; ceci ne rend pas aisées les conditions de vie des citoyens (devenus des victimes passives), et met les pouvoirs publics dans une situation délicate puisqu'ils n'arrivent pas à leur offrir un cadre de vie sain. *Dans ce dernier chapitre, nous essayons de montrer comment, à partir des scénarios définis dans le cadre de la gestion des eaux, les contraintes hydriques connues jadis à Bangui, peuvent connaître un début de solution.* Ainsi, l'AEP et les inondations à Bangui sont *les thèmes* considérés dans cette perspective. Le premier thème a trouvé son fondement dans le manque momentané et la production limitée d'eau potable pour tous qui a marqué le site depuis sa fondation (I §1.3 : p. 26 ; VII §2.3 : p. 277) ; avec l'accroissement démographique, son besoin est devenu crucial. L'essor démographique (Figure 19 : p. 46), qui explique l'extension spatiale et l'anthropisation des paysages, explique en outre l'ampleur des pollutions et des inondations répétées en milieu urbain. Ainsi, la corrélation entre l'essor démographique et la dégradation de la qualité de l'eau paraît nette (VII §2.3 : p. 277). Le second s'est illustré dans les difficultés du choix d'un emplacement exondé sur le site

de Bangui et continue épisodiquement d'être dommageable à cause, non seulement de la géomorphologie du site, mais aussi des aménagements inadéquats.

Dans ce contexte, un cadre réglementaire s'impose pour la gestion des eaux (CADOR, 1993), avec une gestion collective ou globale de l'eau qui impliquerait tous les usagers, définissant une « conscience commune de l'eau » (LAGANIER et *al.*, 2000). Toutefois, avant de développer ces hypothèses, nous présenterons la nécessité d'une gestion saine des eaux pour les cours d'eau urbains soumis aux excès hydrologiques ; l'intérêt est que ces excès ont des implications dans l'analyse des hypothèses de gestion retenues. Par la suite, un MNT sera couplé à ces analyses pour détecter la vulnérabilité à l'eau de l'espace urbain ; des critères pour une bonne gestion de l'eau seront également définis.

1. NECESSITE DE LA GESTION DES EAUX A BANGUI. DE L'INADEQUATION DES AMENAGEMENTS

Le site de la ville de Bangui a une vulnérabilité d'origine physique dans le secteur de la plaine (faiblesse de la pente, hydromorphie des zones marécageuses, mauvais drainage) qui explique les problèmes de l'eau rencontrés depuis toujours. L'établissement humain mis en place, depuis plus d'un siècle, n'a pu résoudre cette *question de l'eau* faute de rationalisation de l'usage du sol ; il évolue en se compliquant avec une démographie galopante et une croissance spatiale rapide et anarchique, se traduisant par la prolifération des zones d'habitat ou la colonisation des zones insalubres, en raison de la pression foncière. Nous notons en outre que les efforts d'approvisionnement en eau et de drainage des eaux pluviales sont actuellement insuffisants face aux exigences d'une vie moderne et saine, et surtout d'un ruissellement généralisé sur le sol nu urbain.

La *maîtrise de l'eau* (AEP et structures d'assainissement) couvre à peine 10 % des besoins de la ville, surtout lorsque ne sont prises en compte que les conséquences des abats pluviométriques exceptionnels sur son organisation. Ceci montre des faiblesses qu'il faut surmonter pour rationaliser la gestion des eaux. Certes, des efforts ont été consentis depuis le début des années 1980 par le Gouvernement centrafricain pour améliorer le Secteur de l'Eau, mais ceux-ci sont limités par un manque de suivi, d'observation des programmes décennaux, de financement, de planification et de réglementation de l'usage du sol. Le caractère disparate des efforts d'urbanisation nous permet d'estimer à environ 20 % seulement la proportion des citoyens qui a accès à l'eau de robinet ; il en est de même du drainage des eaux pluviales qui est en souffrance aussi bien dans les quartiers lotis que dans les quartiers populaires (Fig. 10 : p. 35). Cela dit, nous pensons qu'une bonne gestion des eaux passe par les termes des plans d'aménagement visant à prévenir les risques liés à l'eau (pollution, inondation), en développant un habitat moderne pour organiser l'évacuation des eaux (pluviales, usées...). Car la qualité de l'habitat nous permet de cerner son influence sur la gestion des eaux. En effet, le type d'habitat ou le mode d'occupation du sol sert à rendre compte de la qualité des infrastructures en matière d'eau et d'assainissement. Dans cette optique, nous présentons l'*habitat* comme un *complexe* qui implique l'adduction d'eau potable, des réseaux d'évacuation (eaux usées, vannes, caniveaux, fossés), la voirie, les maisons modernes..., autour duquel des stratégies peuvent être ébauchées. Ainsi, l'analyse isolée des éléments de base tels que l'AEP, le drainage des eaux, les zones soumises au risque d'inondation qui rentrent dans les structures urbaines de la ville de Bangui, nous fournira les moyens d'examiner la qualité de l'occupation du sol et de sa réglementation qui posent problème dans cette gestion des eaux à Bangui. Car nous supposons que lorsque le cadre d'urbanisation s'adapte à l'évolution démographique et spatiale, la gestion des eaux ne souffre pas de déficiences structurelles et en matière de ressources ; tel n'est pas le cas de la ville de Bangui, qui croît démesurément et sans planification. Ce manque de maîtrise de l'espace est en effet aggravé par un important ruissellement pluvial, qui ne s'évacue que difficilement. La circulation des eaux pluviales se fait mal ; l'usage des latrines traditionnelles n'est pas convenable pour la population de ces quartiers qui consomme essentiellement de l'eau des puits, contaminée par infiltration et exfiltration des eaux usées. Les réseaux hydrauliques anthropiques (fossés, caniveaux, buses, etc.), qui devraient servir de moyens de drainage, longeant logiquement la voirie, sont inexistantes, et les eaux pluviales sont orientées, canalisées par les

cheminements piétonniers, talwegs naturels ou linéaires construits par certains riverains pour faire face à l'écoulement.

Néanmoins, l'exposé et la critique des plans d'urbanisme successifs de Bangui (I §2 : p. 24) nous forcent à admettre que les grands axes de la gestion saine des eaux, qui aurait dû être la réglementation de l'usage du sol, la prévention et la prévision des opérations d'aménagement, vu l'acuité de la vulnérabilité physique du site à la question de l'eau, n'ont pas été abordés de manière efficace. Les administrateurs reconnaissent la pertinence de la question de l'eau, mais l'habitat n'a toujours pas été développé de manière à résoudre cette situation. Pour preuve, lorsque le centre-ville était en construction, les quartiers indigènes ont été « déguerpis » dans un rayon de 5 km (voir p. 38), et entre les deux ensembles subsistait une zone non-bâtie marécageuse (voir Fig. 13 et 14). Les autochtones se sont donc installés là où n'existait pas une planification des opérations d'aménagement, mis à part les grandes voies le long desquelles ils s'établissaient pour permettre à l'administration de les contrôler. Pour cela nous supposons que dès cette époque (à partir de 1936), les processus de pollution de la nappe superficielle de Bangui ont commencé, de même que le drainage difficile des eaux pluviales à l'origine des inondations. Si l'habitat moderne avait suivi, le problème ne se poserait peut-être pas de la même manière aujourd'hui. Malheureusement, les nouveaux administrateurs (ou pouvoirs publics) de Bangui après l'indépendance n'ont pas apporté grand chose ; nous le voyons par la prolifération des quartiers populaires ou non-lotés par rapport aux quartiers modernes ou lotis (Fig. 10 : p. 35), par une insuffisance des réseaux de la voirie et d'évacuation des eaux (Fig. 36 : p. 97), etc. Ces paramètres exposent donc les quartiers installés dans les anciens marécages aux excès d'eau épisodiques.

2. APERCU SUR LA GESTION URBAINE DES EXCES D'EAU

Les excès d'eau, qui se manifestent par des *crues* et des *inondations*, sont saisonniers à Bangui et liés à la saison pluvieuse. A cette période, l'eau est abondante et se trouve en permanence à la surface du sol sous forme de flaques, d'étangs ou de mares ; ceci est rendu possible par des sols argileux qui se saturent et maintiennent l'eau à cause de la faiblesse locale de la pente dans la partie en plaine du site qui ne permet pas d'évacuer rapidement les eaux. Quand il pleut avec des intensités relativement fortes, les eaux, qui ruissellent à la surface du sol nu urbain, finissent par gagner les cours d'eau collecteurs et les dépressions marécageuses en fonction de la pente topographique. Nous constatons en effet que c'est la fragilité du site de Bangui, caractérisée par d'étendues marécageuses et de plaines alluviales, qui est à l'origine du séjour de l'eau en raison de leur position en cuvette et de la saturation des sols en eau. Nous avons d'ailleurs relevé par photo-interprétation ces zones de fragilité qui ont rendu discontinus l'accroissement spatial et le développement de la ville dans le temps (Figures 13, 14, 15, 16 et 17). Cette fragilité du site liée au séjour de l'eau est exacerbée par le ruissellement pluvial généralisé dans l'espace urbain, y occasionnant la concentration des eaux. Du fait que les plaines d'inondation des rivières et leurs bourrelets alluviaux, ainsi que les zones déprimées, sont anarchiquement colonisés par l'habitat et d'autres modes d'occupation de l'espace, la concentration des eaux de ruissellement y provoque, de l'échelle horaire à l'échelle journalière, un séjour dommageable pour les riverains. Face à la répétition de ces mouvements malsains de l'eau, des interventions humaines de tous ordres ont été menées pour protéger la population et leurs biens (Planche VIII, Photo A).

2.1. Les cours d'eau et leurs « aménagements »

Nous avons présenté un paragraphe dans le chapitre V qui a traité des types d'aménagements qui ont affecté les lits fluviaux (§ 4.1 : p. 212 ; Figure 83 : p. 213). Ce point ici nous permet de détailler les formes d'aménagement contre les crues urbaines et leurs conséquences.

2.1.1. Les aménagements contre les crues et les inondations

Les aménagements hydrauliques ayant pour objectif d'exploiter l'eau des rivières à Bangui sous forme de barrage, de dérivation..., sont rares voire inexistantes ; une exception concerne les eaux de la Kokpa ^{Note 50},

un affluent de la rive gauche de la Nguitto, qui ont été dérivées par un canal linéaire : la technique a consisté à exhausser le fond du lit avec des gros blocs de quartzites pour concentrer les eaux juste en amont pour former un barrage, afin que le canal soit desservi. L'absence d'archives sur cet aménagement, qui ne fonctionne plus, nous prive de certaines informations sur les objectifs et les résultats obtenus ; seules nos observations de terrain l'ont mis en évidence. De plus, par photo-interprétation, nous avons reconnu des bassins piscicoles aménagés sur le cours moyen de la Nguitto en 1977.

Les aménagements classiques se sont matérialisés sur les rivières urbaines par des *fossés de drainage* ou *collecteurs* des eaux de ruissellement (Figure 83 : p. 212) ; ces aménagements sont réalisés par les pouvoirs publics pour absorber les eaux pluviales ruisselantes. Toutefois, les riverains ont aussi employé des moyens et méthodes qui ne sont pas toujours efficaces pour se prémunir contre la recrudescence des débordements des eaux. Pour cela, ils construisent des *digues*, soit en béton, soit en empilant de sacs vides de farine de blé qui sont remplis de sables et graviers ferrugineux pour obliger l'eau à emprunter uniquement son linéaire d'écoulement (Planche VIII, Photos A et B) ; cette seconde technique est aussi utilisée au cœur des quartiers à développement spontané qui manquent de structures de drainage ; les citoyens sont obligés d'améliorer les lignes d'écoulement « naturelles » en les façonnant en caniveaux, puis les abords sont renforcés à la base par ces « sacs de sable » pour orienter le trop plein d'eau. Des levées de terre construites à partir des matériaux d'excavation sont également des moyens de protection, mais nous remarquons que ce procédé est davantage exposé au risque d'érosion par *splash* sur les terres de levée, ainsi qu'à l'érosion par les eaux de ruissellement à cause de la rapidité de concentration dans les collecteurs, ce qui peut engendrer des débordements.

2.1.2. Les effets anthropiques sur la propagation des crues

De manière générale, les crues ont des *ondes de propagation*, nécessitant un espace d'étalement qui est le *lit majeur* ou la plaine d'inondation. En contexte naturel, les crues se propagent lentement dans le lit majeur et elles peuvent durer dans l'espace et dans le temps, alors que l'artificialisation des conditions d'écoulement en milieu urbanisé, fortement humanisé, provoque des crues soudaines dont la vidange n'excède pas en général une heure de temps dans le cas de la ville étudiée (Figures 65, 66, 67, 68 et 69).

A Bangui la suppression par l'habitat des plaines d'inondation (Planche VIII, Photo B), a des effets néfastes sur la propagation des inondations. Le confinement des lits fluviaux par les habitations contraint les eaux à divaguer dans les quartiers au travers des pistes, chemins ou rues ; elles circulent même dans des concessions clôturées ou non. Cette réalité nous montre l'intérêt de redonner aux cours d'eau leurs *marges de liberté* neutralisées par une occupation illégale du sol, que le plan d'urbanisme, vieux de trente ans (voir Documents annexes), ne peut contrôler ou réactualiser. Ceci contribuerait à réduire les impacts des inondations urbaines (Planche XII).

Nous constatons également ces effets anthropiques par des érosions sur les tronçons dont les rives sont construites ou aménagées, par des dépôts de débris minéraux et organiques au-delà du lit en raison de la dispersion de l'écoulement des eaux. Selon le degré de liaison des rivières avec les zones marécageuses ou humides, les lignes d'écoulement en provenance de l'intérieur des quartiers périphériques (Planche V, Photos A et E ; Planche XIII, Photos C et E) conduisent des eaux dans ces dépressions du fait de leur position topographique déprimée.

2.2. Gestion des zones humides : les hommes et les marais

L'intérêt des zones humides, notamment marécageuses, dans cette étude portant sur l'*excès d'eau* à Bangui est leur double connexion à l'*impluvium*, constitué par le sol nu urbain, et aux rivières qui sont le *réceptacle* du ruissellement des eaux pluviales. Mais les marais sont avant tout des écosystèmes qui possèdent des richesses faunistiques et floristiques (Planche IX), et ils peuvent également attirer des communautés humaines. Ces richesses sont constituées d'espèces végétales telles que les palmiers à huile, les rôniers, des plantes comestibles, des plantes hydrophiles dont les feuilles servent aux emballages des denrées (feuilles de

marantacées ?), des plantes médicinales... et des poissons, des mollusques tels que les moules, les escargots, des crustacés comme le crabe, des oiseaux comme les martin-pêcheurs, les hérons et les canards... Ainsi, nous constatons que l'exploitation de ces ressources et la croissance des besoins en terres justifient la colonisation des marais.

2.2.1. La colonisation et la dégradation des marais

L'exploitation des ressources fournies par les zones marécageuses, qui étaient autrefois marginalisées du fait de l'hydromorphie de leurs sols et de la présence d'eau une bonne partie de l'année, commence à s'amplifier avec la croissance démographique, laquelle induit des besoins en terrains constructibles, notamment pour ceux qui ont peu de moyens financiers. Nous remarquons que la période transitoire entre les phases de répulsivité et d'attrait des marais, est caractérisée par un développement des cultures maraîchères, des bassins piscicoles, des rizières... (Figure 93) avant que les habitations s'installent ; dans cette période, les hauts niveaux des eaux marécageuses n'ont pas gêné les maisons qui se construisaient sur des terrains exondés. Passée cette étape, le manque de réglementation dans l'usage du sol entraîne une « urbanisation sauvage » de ces milieux, d'où la multiplication des quartiers périphériques sans infrastructures ou support d'assainissement. La gestion des crues et inondations dans les secteurs marécageux nous paraît singulière : les habitants construisent des fossés rectilignes à subrectilignes tout autour de leur concession pour absorber le trop plein d'eau après les précipitations ; ces fossés peuvent aussi servir de drains en temps normal. De plus, lorsque les concessions ou parcelles sont inondées par la concentration des eaux, on peut utiliser des morceaux de bois ou de planches reposant sur des blocs de pierres comme un « pont », reliant la partie exondée au domicile ; quand il n'y a ni morceaux de bois, ni planches, on se sert des blocs de pierres intercalés sur lesquels on marche ou on saute au-dessus de l'eau pour regagner son domicile. En revanche, lorsque les eaux pénètrent dans les habitations, les propriétaires retroussent leurs pantalons ou leurs pagnes pour mettre hors d'eau les biens mobiliers et tous les effets qui sont susceptibles de s'imbiber d'eau, puis ils attendent la baisse des niveaux d'eau pour vider les habitations avec des seaux, des ustensiles comme des bassines, des assiettes, jusqu'à ce que les choses reviennent à la normale en attendant un autre événement pluvieux.

Les conséquences écologiques de cette colonisation des bas-fonds se traduisent par la disparition des *ressources palustres* : la faune se réduit, la flore est dégradée à plus de 90 % et ne laisse place qu'aux espèces adaptées qui sont généralement des graminées, quelques arbustes, arbres et palmiers à huile (Planche IX). Quant au régime hydraulique, il ne répond plus au cycle naturel en raison des remblais sommaires visant à exhausser, à exonder les sites occupés par les habitations dans le but de les rendre « sains », « viables » ; son rythme est très fluctuant et les hauteurs d'eau n'égalent pas les niveaux d'eau de crue ou d'inondation passés, de sorte que cette baisse de niveau d'eau insinue un probable *assèchement*. Ce comportement hydraulique semble mettre en relief « l'imperméabilisation du sol » qui limiterait l'infiltration des eaux pluviales vers la nappe phréatique superficielle, génératrice de l'écoulement des marais, mais certaines analyses montrent que plus du quart des pluies s'infilte à Bangui et environ 300 mm de PE atteignent la nappe : ce taux peut varier en fonction des totaux pluviométriques annuels, induisant des fluctuations annuelles, voire interannuelles. Ainsi, la détérioration du régime hydraulique que nous avons relevée à Bangui est un indicateur important pour rendre compte de la fonctionnalité des marais, car c'est l'eau qui entretient les espèces faunistiques et floristiques ; la baisse des niveaux d'eau ne peut qu'être corollaire de la dégradation de ces zones humides.

2.2.2. Dynamique actuelle : l'emprise de l'homme, les formes d'aménagement

L'évolution actuelle de ces zones humides est caractérisée par un relatif « assèchement » par manque de permanence d'eau même en saison pluvieuse. Les formes d'aménagement (remblais, drainage,...) peuvent en être une explication, davantage que la baisse de la pluviométrie, faisant perdre le caractère humide à ces milieux. Ainsi, dans la plupart des zones marécageuses aménagées, les *marais* n'ont existé que pour ceux qui en étaient « contemporains », voire qui les ont vus et vécus entre 1960 et 1995, même antérieurement à cette période. Ceux qui sont venus ou nés après ne peuvent les connaître autrement que par les archives, or nous écrivons très peu et les archives sont trop mal tenues pour servir aux générations à venir. Déjà, pour essayer

de reconstituer les paysages marécageux, cela n'a pas été facile ; nous avons pu formaliser ce travail grâce aux photographies aériennes et à quelques éléments de littérature couplés avec des *sources orales*, provenant de ceux qui ont connu et vécu les effets néfastes des zones marécageuses et leur évolution spatiale et temporelle.

Dans une telle dynamique, l'emprise de l'homme est rarement définitive, à cause des formes d'aménagement souvent sommaires et menées par des particuliers n'ayant pas les moyens adéquats ; voilà pourquoi elle ne peut momentanément empêcher la polarisation des eaux de ruissellement. Ainsi, le Marché de Miskine [Note 51](#), qui a été construit partiellement en dur vers la fin des années 1950 sur un ancien marécage servant de lit d'inondation à la rivière Ngoubagara, n'a cessé d'enregistrer les invasions des eaux pluviales ruisselantes d'intensités relativement fortes des années 1970, 1980 et du début des années 1990 ; et surtout, les principaux bâtiments servant de boucherie, d'entrepôts, de magasins... se sont progressivement enfouis ou affaissés dans le temps sous l'effet probable des processus hydriques. En effet, lorsque des bâtiments sont construits sur des terrains hydromorphes, sans que le socle soit stable, ils tendent à s'affaisser sous le poids, ou enregistrent des fentes sur les parois murales. Ces processus qui ont affecté les locaux du Marché de Miskine ont nécessité une reconstruction du marché avec récemment un nouveau dragage du site. Ces exemples nous montrent que lorsque les aménagements ne sont pas efficaces ou sont vieux, les mécanismes liés à l'eau peuvent fonctionner à nouveau.

L'intérêt pour nous de comprendre la gestion urbaine des excès d'eau est de fournir des éléments d'information permettant d'esquisser des solutions à la question de la gestion de l'eau à Bangui. Il résulte de nos analyses que la gestion des inondations paraît encore « traditionnelle », sinon « artisanale », car les pluies qui génèrent ces phénomènes le long des collecteurs urbains sont rarement de très forte intensité ; exception faite des événements enregistrés dans l'Oubangui, dont l'importance dépend des précipitations sur toute l'étendue de son bassin-versant. Toutefois, les *crues* et les *inondations* constituent une partie des manifestations du *cycle (urbain) de l'eau*, et s'imposent comme des éléments majeurs dans la gestion intégrée des eaux, des territoires et de leurs aménagements. Ainsi, nous pensons qu'une gestion efficace des eaux devrait aussi concerner des *événements extrêmes* comme les *crues* et les *étiages*, car c'est leur alternance qui détermine en principe la pénurie ou l'existence de l'eau potable en *milieu urbain* ou rural.

3. LES SCENARIOS ENVISAGES

Dans l'optique d'instituer une gestion intégrée et durable des eaux à Bangui, nous proposerons deux hypothèses, qui semblent avoir des imbrications, des ramifications dans les différentes composantes de la valorisation de l'eau : l'*approvisionnement en eau potable* et les *inondations*. Ces deux aspects de la gestion de l'eau en milieu urbain synthétisent les difficultés que rencontrent les pays tropicaux en matière d'eau et d'assainissement (VENNETIER, 1990 et 1991), pour lesquels les besoins sont les plus élevés au monde. Ils représentent une partie des composantes du *cycle urbain de l'eau*.

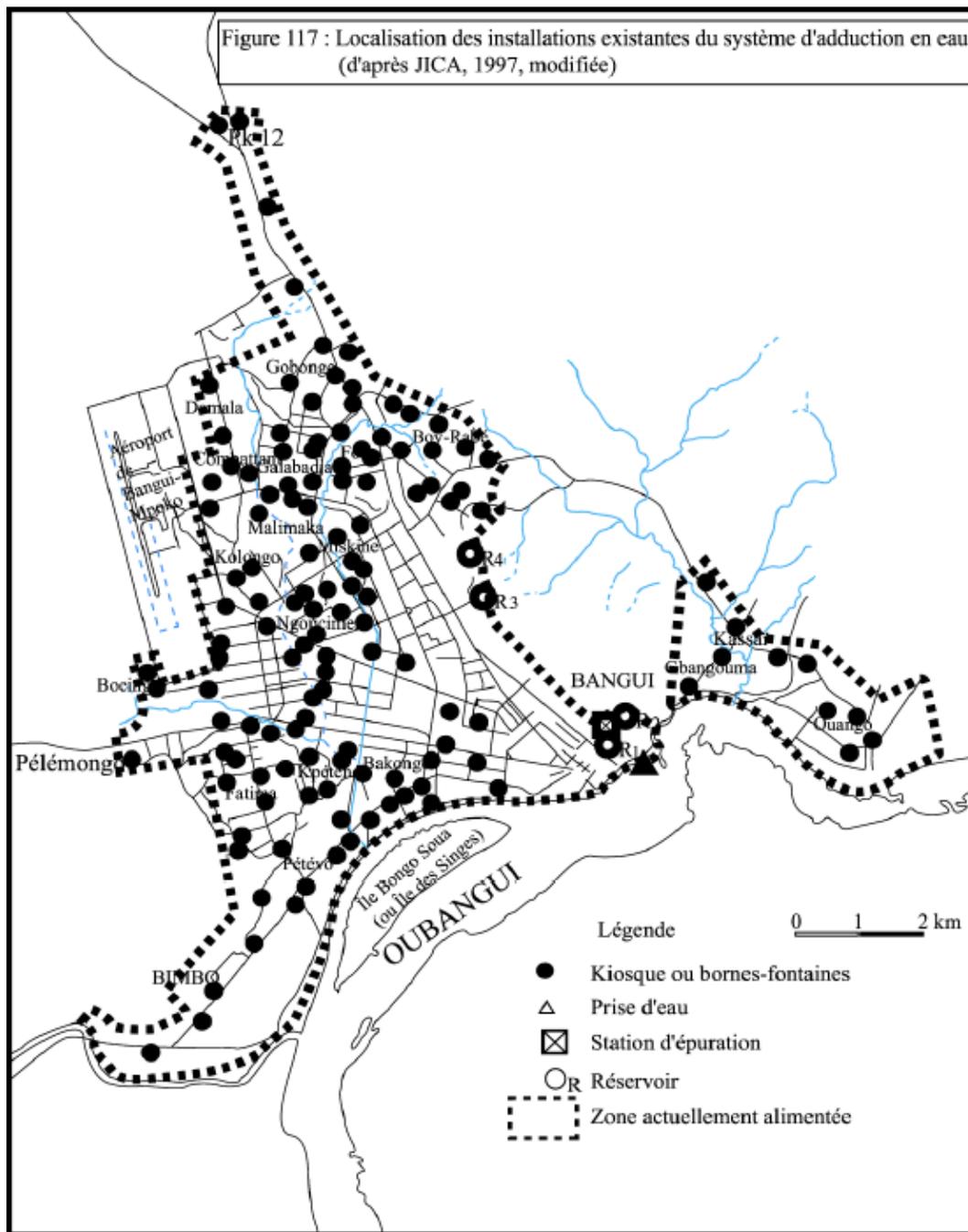
Les deux variables de gestion de l'eau en perspective symbolisent des *contraintes* pour les populations de Bangui, depuis l'état de *poste militaire colonial* au statut de *ville* aujourd'hui, et bientôt de celui d'*agglomération* avec le « Grand Bangui » (Figure 1). Il manquait de l'eau potable peut-être à cause de la présence dominante des marais dans le site, indice d'une abondance de l'eau, qui privait les hommes de l'eau de boisson. Les inondations urbaines et de l'Oubangui ont toujours fait des sinistrés depuis que le site a existé, et qu'il a été de plus en plus humanisé. Elles sont toutes deux déterminées par l'*eau pluviale* qui rythme les périodes d'abondance ou de pénurie, et les hypothèses réalistes en dépendent ; c'est sous l'influence des pluies que l'eau potable et les inondations se présentent à la fois comme *ressource* et *risque* dans le cadre de la *gestion intégrée des eaux*. Néanmoins, l'approvisionnement en eau potable devrait s'appuyer sur des structures d'assainissement, car de la potabilité de l'eau dépend la qualité de vie et donc la réduction des maladies d'origine hydrique (fièvre typhoïde, parasites intestinaux, dysenteries...), qui sont liées à la déficience du réseau d'évacuation des eaux usées, lesquelles sont les lieux propices au développement des germes pathogènes ; ces maladies font malheureusement des victimes chaque année. Nous commencerons le développement de ces hypothèses d'abord par l'approvisionnement en eau potable, et ensuite par les

inondations.

3.1. Gestion de l'eau potable et pénurie

La déficience de la couverture en eau potable à Bangui (Figures 10 et 117) révèle l'incapacité du réseau qui ne s'étend qu'aux secteurs lotis de la ville, alors que ceux qui ne sont pas lotis ont pour eau de boisson, l'eau polluée des puits traditionnels. Le manque de planification urbaine de la ville est la principale cause. Plusieurs possibilités s'offrent en effet aux Banguissois pour s'alimenter en eau : *puits traditionnels, cours d'eau, sources, eau courante, et forages*. L'analyse des données recueillies en 1988 (recensement de la population) montre que près de 80 % de la population de Bangui s'approvisionne en eau non contrôlée (puits exploitant la nappe phréatique superficielle, sources et rivières) (Figure 102 : p. 280). Nous pouvons expliquer cette dynamique par l'étalement des quartiers populaires sur plus des deux tiers de la ville ; nous observons ce phénomène en comparant les quartiers lotis et les quartiers spontanés (Figure 10 : p. 35). Nous y relevons la gravité de la question de l'alimentation en eau des puits du fait que les latrines ne sont que des fosses recouvertes, qui servent de lieux d'aisance. Or la conception de ce type de lieux d'aisance ignore l'importance de la « protection » qui garantirait l'étanchéité entre les *excréta* humains et la nappe phréatique superficielle, seul moyen de préserver la qualité de cette eau destinée à la consommation. Quelquefois, les latrines se confondent avec la nappe phréatique superficielle, notamment dans les bas-fonds marécageux où elle est proche de la surface (moins de 1 m) en saison pluvieuse, entraînant une dilution rapide des déchets et leur propagation.

Figures 117 Localisation des installations existantes du système d'adduction en eau (JICA, 1997, modifiée)



Aussi, les habitations construites en « rez-de-chaussée » poussent chaque ménage ou du moins chaque habitation à disposer de ses latrines et de son puits dans des parcelles qui ne sont pas géométriques et dont les dimensions ne dépassent pas 300 m², voire 400 m². Cette pratique est source de pollution des puits, en dehors des périmètres de protection exigés, dont la proximité est fatale ; en conséquence, le taux de pollution en germes d'origine fécale est souvent très élevé (Tableau XXXII ; Figures 104 et 105) et les maladies parasitaires transmissibles par l'eau représentent 49,20 % des cas de morbidité recensés. Par ailleurs, VENNETIER (1988) a remarqué que la défaillance de la distribution de l'eau en milieu urbain en Afrique noire est à relier avec la considérable extension en surface des quartiers, induisant l'alternance spatiale quartiers lotis-quartiers spontanés. Par exemple l'habitat spontané s'est installé dans les bas-fonds inondables à proximité de l'Aéroport Bangui-Mpoko (Figure 10). Nous Le périmètre urbanisé comporte aussi de nombreux espaces non-bâties, au cœur même des quartiers ou entre eux, et de grandes parcelles appartenant à l'Etat. Cette lacune bloque la distribution de l'eau sous pression, dans une telle agglomération, et impose la mise en place d'un réseau de canalisations proportionnellement bien plus étendu que dans les pays développés

où dominent les immeubles et de fortes densités humaines, alors que les pouvoirs publics ont de faibles ressources. Cet aspect met en relief l'approvisionnement en eau des quartiers de la ville de Bangui, avec des secteurs lotis du centre-ville dont la continuité est rompue par les quartiers populaires ; ceci concourt à instituer une *pénurie artificielle d'eau* pour les habitants de cette frange de la ville.

Ainsi, l'habitat peut influencer les conditions d'alimentation en eau lorsque l'occupation du sol n'est pas réglementée, comme dans ces quartiers sans infrastructure de Bangui. Un palliatif a été néanmoins trouvé pour fournir de l'eau potable aux habitants de ces quartiers, celui des bornes-fontaines ou des *fontaines publiques* ; c'est en effet de l'eau de robinet qui est distribuée, dont le nombre avoisine 150 pour toute la ville de Bangui (Figure 117).

3.1.1. A propos de l'abondance des eaux et de ses impacts connexes

L'intérêt manifesté par l'administration de toute époque (coloniale et actuelle) en matière de gestion des eaux n'est que ponctuel, et révèle les effets nuisibles de l'eau (insalubrité, inondations), notamment quand la pression démographique pèse sur la disponibilité des ressources (alimentation en eau potable). La gestion de l'eau n'a jamais fait l'objet de concertation et de planification. C'est ainsi que les premiers travaux d'assainissement et d'adduction en eau n'ont été réalisés qu'au début des années 1950, avec la construction d'une station de pompage d'eau fluviale et d'une usine d'épuration de ces eaux brutes pour la consommation, et avec la modernisation du quartier de La Kouanga (lotissement, construction des voies, adduction en eau courante, électrification, habitations en dur,...). Nous expliquons cette évolution par l'augmentation de la population à l'époque, liée à l'exode rural, à l'envie de rejoindre un parent devenu fonctionnaire et par la concentration des services (I § 4.4 : p. 47). Or nous pensons qu'*une bonne gestion des eaux en milieu urbain* devrait se matérialiser par la *prise en compte des besoins en équipements* et les intégrer dans un plan d'urbanisme et dans *une véritable politique d'urbanisation*.

De plus, nous notons que le plan d'assainissement et de drainage financé par le PNUD et l'OMS en 1972, qui ne concernait que le façonnement des cours d'eau urbains (marécageux) en fossés collecteurs des eaux pluviales, consécutif à l'extension spatiale de la ville à l'origine d'un ruissellement généralisé, n'a jusque-là pas été réalisé dans sa totalité (Figure 9 : p. 33). De même, les collecteurs secondaires et tertiaires (caniveaux, canaux de drainage) qui, en principe, devraient soulager les collecteurs principaux en hiérarchisant l'écoulement, sont très insuffisants, voire inexistantes ; pour éviter que les eaux pluviales ne prennent des raccourcis (itinéraires naturels, pistes piétonnières) selon la ligne de plus grande pente pour gagner rapidement les réseaux principaux et causer des dommages aux riverains, nous suggérons que les systèmes d'assainissement soient construits, avec un réseau dense. Jusque-là, le collecteur primaire du bassin-versant de la Guitangola par exemple n'est pas encore construit (Figure 9) ; cela est valable pour le tronçon de la Ngoubagara (ou Kouanga) dans son cours moyen, du Pont de Miskine vers l'amont, et aussi pour le tronçon de la Ngongonon (ou Sapéké) du Pont de Combattant vers le haut du bassin. Même avec la récente réalisation du collecteur de l'Ecole Normale Supérieure, reliant le quartier de Boy-Rabé et le collecteur Kouanga (cf. Ngoubagara), la question du transfert des matières (liquides et solides) nous semble encore loin d'être résolue. Nous observons sur certaines artères principales de Bangui (avenue des Martyrs par exemple), des dépôts de sédiments suite à chaque averse, qui donnent l'impression qu'elles s'enfoncent.

3.1.2. Exploitation et alimentation en eau potable : insuffisance du réseau et risque de pénurie

3.1.2.1. La faible adduction en eau et l'insuffisance du réseau

Le premier puits traditionnel creusé par les Pères de la mission Saint-Paul des Rapides vers la fin du XIX^e siècle (en 1895) constituait en principe la première exploitation et le début d'une ère d'alimentation en eau potable à Bangui. Ce procédé a fait ses preuves dans l'alimentation des vieilles cités... dans le monde, toutefois il demeure malheureusement le *moyen par excellence* de fourniture d'eau à plus des trois quarts de la

population urbaine ; le reste s'alimente en eau courante (eau de robinet) par pompage de l'eau de l'Oubangui et grâce à une station de potabilisation qui date d'un demi-siècle aujourd'hui. La SODECA, la société para-étatique qui produit et distribue l'eau potable, ne dispose que de 11 000 abonnés (chiffre communiqué par le représentant de cette société lors des travaux en ateliers sur la validation du SDEA : *schéma directeur pour l'eau et l'assainissement*, en 2000) sur une population que nous estimons à plus de 700 000 habitants. Lorsque nous considérons les bornes-fontaines construites auxquelles les habitants des quartiers populaires s'approvisionnent en eau (Figure 117) ; nous estimons à 150 000 le nombre des personnes qui boivent l'eau potable (ou eau de robinet) à Bangui. Avec ces chiffres, la ville de Bangui représente donc un grand marché pour l'adduction en eau potable.

Le réseau d'adduction est très vieux (adapté à une population de près de 50 000 habitants), avec un débit insuffisant responsable de coupures d'eau, et un nombre de points d'eau trop limité ; depuis 1953 aucun renouvellement n'a été fait ni aucune extension (Tableau XXXV). Bien que les données récentes soulignent un accroissement du nombre des consommateurs, les conditions de la fourniture d'eau potable demeurent stationnaires.

Tableau XXXV : Système actuel de fourniture d'eau dans la ville de Bangui (JICA, 1999 ; SODECA)

a-) Volume de captage et de production

Détail par année	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Volume annuel de captage (m ³)	6958440	7078637	7601000	7 321 000	7 423 000	7 997 000	7204486	7512190	7554790	8304785
Volume annuel de production (m ³)	6851082	6983636	7230000	6 363 000	7 363 000	7 912 000	7124871	7331583	7413079	8197137
Nombre de robinets publics	-	-	126	-	144	144	-	154	155	156

b-) Types d'abonnés existants

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Branchements privés	7 376	-	6 387	6397	-	8221	8261	8697
Commerce & industrie	134	-	907	848	-	2868	3188	3601
Administration & institutions publiques	246	-	248	254	-	1316*	1343*	1652
Robinetts publics actifs	116	-	121	117	-	147	147	148
Lavage et Vente d'eau	-	-	-	-	-	2721	3041**	3453
Autres	-	-	621	677	-	-	-	-
Total	7 872	7 926	8 284	8 293	-	7052	7719	8854

* Ces chiffres n'incluent pas les données des mois de novembre et décembre.

** Il manque les données du mois de décembre.

c-) Capacité de traitement et de distribution d'eau

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Capacité de traitement d'eau (m ³ /h)	1059	1076	1139	1035	902	915	1039	1045
Moyenne de distribution (m ³)	19 500	-	20 000	23 500	-	-	-	-
Ratio facturation (%)	67	68	59	*60	-	-	-	-
Ratio de relance (%)	57	56	52	*49	-	-	-	-

* ne tient compte que de la première moitié de l'année

De plus, nous remarquons que l'eau actuellement distribuée, du point de vue limpidité, saveur et odeur, ne laisse pas insensibles les consommateurs qui n'arrêtent pas de dire que « l'eau courante n'est pas potable ». Ceci tient à plusieurs arguments. Le premier, c'est que l'eau du réseau tirée au robinet a la même coloration que les eaux brutes de l'Oubangui. Parfois elle est blanchâtre, ce qui traduit la simultanéité du traitement et de la distribution d'eau. L'autre souci est que la consommation de cette eau n'empêche toujours pas la population de souffrir des parasitoses telles l'amibiase, la schistosomiase... ce qui suppose soit des conditions d'hygiène très insuffisantes, soit des traitements chimiques de l'eau destinée à la consommation non satisfaisants. A ce propos, certains spécialistes émettent beaucoup de réserve sur la qualité de l'eau produite : elle n'est pas potable, ceci depuis plus de vingt ans ; d'aucuns estiment que l'épuration de l'eau ne se fait pas avec la même efficacité et compétence que par le passé. Pourtant les résultats d'analyses des eaux prélevées aux robinets et aux bornes-fontaines (BF) montrent que l'eau courante qui alimente la ville est bien « potable »(Tableau XXXVI).

Tableau XXXVI : Quelques résultats d'analyses de l'eau prélevée aux robinets et bornes-fontaines fournis par le Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique (Archives du Département)

a) Les résultats d'analyses de septembre 1999

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ANALYSES BACTERIOLOGIQUES												
Colonies	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E. Coli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coliformes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Strep. Féca.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conclusion	E. P.											
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES												
pH	7,0	7,1	7,1	7,0	7,2	7,0	7,0	7,2	7,0	7,1		
Températ.	27	27	27	26	27	27	26	27	27	27		
Cl ₂	1,6	1,4	1,8	1,1	1,4	1,7	1,5	1,3	1,4	1,4		
NO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-	-
Turbidité	1,2	1,4	2,0	1,4	1,0	2,1	1,6	1,0	1,2	1,0	-	-
MES	1,4	1,6	2,8	1,8	1,2	2,4	2,0	1,4	1,6	1,2	-	-
Fer	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

N.B. : les chiffres arabes (1, 2...) de la première ligne sont les numéros d'ordre des échantillons analysés

Tableau b : Les résultats d'analyses de fin février 2000

Analyses bactériologiques

Echantillons	Milieux de culture				Observations
	END	TTC	VF	STZ	
Pounguinza	01	00	00	00	Eau potable
Kalité	00	00	00	00	Eau potable
Poukré	00	00	01	00	Eau potable
BF-Benz-vi	00	00	00	00	Eau potable
BF Ucatex	01	00	00	00	Eau potable
Labo FS	02	00	00	00	Eau potable
Barc	00	00	00	00	Eau potable
BF Combattant	00	00	01	00	Eau potable
Campus Université	01	00	00	00	Eau potable
Mingala	00	00	01	00	Eau potable

Analyses physico-chimiques

Echantillons	Résultats d'analyses					
	pH	Cl2	T°	NO2	Turbidité	MES
Pounguinza	7,0	1,2	27	0,000	2,13	1,2
Kalité	6,8	1,2	27	0,001	1,4	2,0
Poukré	7,2	1,1	27	0,00	1,1	2,24
BF-Benz-vi	7,0	0,8	26	0,00	2,0	1,0
BF Ucatex	6,9	1,2	27	0,00	1,2	1,6
Labo FS	7,0	1,2	27	0,00	1,8	2,1
Barc	7,2	1,1	27	0,00	1,3	2,0
BF Combattant	6,2	1,4	27	0,00	1,0	1,24
Campus Université	7,2	1,2	26	0,00	1,8	2,30
Mingala	7,2	1,10	27	0,00	2,24	1,0

Ces démonstrations laissent planer beaucoup de doute étant donné que l'Etat est actionnaire dans la société qui distribue l'eau ; cela suppose qu'il peut masquer certaines réalités vu qu'il ne dispose pas de ressources pour résoudre cette question, et qu'il n'a pas non plus fait d'efforts notables pour « offrir » l'eau de boisson à tous les citoyens.

Concernant l'approvisionnement en eau potable de Bangui, nous remarquons une disparité parmi la population citadine : d'un côté, une minorité de gens qui habitent les quartiers lotis (Figure 10), desservis par les voies où l'eau courante existe, et de l'autre, la majorité habitant les quartiers populaires qui ne boit que l'eau de puits ou celle des fontaines publiques. Dans le second cas, LEMOTOMO (1977) estime que l'approvisionnement en eau de la population de Bangui se fait soit par un puits personnel, soit par un puits voisin, soit à une fontaine publique plus ou moins lointaine^{Note52}. Ceux qui utilisent le puits d'un voisin ont souvent moins de 100 m à parcourir. Lorsqu'il s'agit de chercher de l'eau à la fontaine publique, les gens ont environ 500 m de trajet (voir Fig. 117). Aussi une partie des habitants boit-elle de l'eau de pluies recueillie sous les tôles ondulées *des habitations*, alors que normalement elle contient des impuretés (toit rouillé, dépôt de poussières en saison sèche). *L'eau des pluies constitue une piste à développer plutôt que d'utiliser l'eau polluée des puits traditionnels*. Le réseau primaire de Bangui comptait 60 km de conduites en 1973 et la

consommation moyenne par individu et par jour était de près de 25 litres (LEMOTOMO, *op. cit.*). L'usine d'eau située à la Corniche a une capacité de production de 300 m³.heure-1, soit au total 4000 à 5000 m³.jour-1, avec une perte d'eau journalière (à l'usine) de 3000 m³. De plus le réseau ne couvre pas toutes les zones habitées, et une diminution considérable de la pression se fait sentir dans les conduites les plus éloignées du réseau et également sur le piémont des collines à pentes relativement fortes (2 à 4 %). Bien que l'abondance de l'eau à Bangui (Tableau XXXVII) devrait favoriser l'extension du réseau et l'accès à l'eau potable pour tous.

Tableau XXXVII : Présentation synthétique des ressources en eau de la ville de Bangui

Ressources en eau	Potentialités	Utilisation actuelle	Qualité	Niveau de consommation
Eaux fluviales	Fortes	Encore limitée	Non potables	Faible
Eaux marécageuses	Moyennes	Limitée	Polluées	Faible
Eau des puits	Elevées	Elevée	Polluée	Elevé
Eau profonde	Disponibles	Faible	Assez bonne	Faible
Eaux pluviales	fortes	Faible	Non potables	faible

3.1.2.2. Les effets « relatifs » de périodes de sécheresse sur la disponibilité en eau et le risque de pénurie

Un autre aspect de la gestion des eaux que nous pouvons considérer est la *pénurie* ou le *manque momentané d'eau* en saison sèche à Bangui, bien que la diversité des formes de l'eau y atteste de son abondance (chapitre III). Des cas de sécheresse ont été signalés par BRUEL (1902), SIRCOULON (1976) et DJIBRINE (1984) aussi bien en Centrafrique qu'à Bangui, mais ils auraient des effets évolutifs dans l'espace et dans le temps en raison de la croissance relative de la population et des besoins en eau pour le développement de la ville. Car l'étalement de la ville dans l'espace n'est pas suivi par des efforts d'alimentation en eau, d'où des difficultés pour desservir ses habitants en période de fort déficit hydrique. En effet, lors de la sécheresse de 1983 (période de retour plus que centennale), le très bas niveau des cours d'eau ou leur assèchement a entraîné une désorganisation des transports fluviaux, une extrême pénurie en énergie électrique, des incendies de forêt, ... (DJIBRINE, 1984). Les puits traditionnels ravitaillant les trois quarts des citadins ont tari et devant les difficultés de la fourniture d'eau courante, les femmes et les enfants étaient constamment à la recherche des points d'eau « fonctionnels » pour s'approvisionner. De plus, la dégradation de la pluviosité, étudiée par SIRCOULON (1976) entre 1968 et 1974, a créé un déficit d'écoulement de 33 % en 1971 pour l'Oubangui à Bangui, et son plus faible module observé (2710 m³.s-1) en 1973 ; ce module est de fréquence centennale, année record de la sécheresse. Néanmoins, le plus faible module que nous ayons noté durant le XX^e siècle à Bangui est de 2120 m³.s-1 en 1990 (fréquence plus que centennale) et le plus faible débit d'étiage a été obtenu le 12 avril de cette année (227 m³.s-1). Ces données nous montrent bien l'acuité de la sécheresse en milieu tropical, amorcée depuis le début des années 1970 et son impact sur les eaux de l'Oubangui. Or BRUEL (1902) a observé que l'année 1899 a été celle d'une sécheresse exceptionnelle dans toute l'Afrique et qu'à Mobaye, ville riveraine de l'Oubangui en amont de Bangui, au mois de septembre de la même année (saison pluvieuse), les bancs de sable émergeaient comme en fin janvier 1897 (saison sèche) ; la crue fut inférieure de 4 m à celle observée en 1897 (année exceptionnellement pluvieuse). Cela suppose qu'à Bangui (située en aval) en 1899, la sécheresse aurait eu la même importance qu'à Mobaye (en amont) ; une telle sécheresse de nos jours aurait de conséquences sans précédents sur les citadins et leurs ressources.

Cet historique des périodes d'abondance ou de pénurie d'eau devrait contribuer à mieux asseoir un cadre de gestion durable des eaux à Bangui, en considérant des situations extrêmes. De cette éventualité pourra naître un cadre légal et concerté global de gestion des eaux. Nous considérons par ailleurs le manque *d'accès de la majorité des citadins à l'eau potable* comme une *pénurie artificielle d'eau potable*. Car c'est essentiellement les structures actuelles qui l'ont créée.

Dans cette optique, l'absence d'eau potable aux débuts du poste colonial apparaissait déjà comme une *pénurie* dont le contexte a évolué avec l'agrandissement de la ville et de ses besoins. Ces dernières décennies, le manque d'eau momentané dans les puits et au robinet en période sèche révèle en réalité la capacité limitée de la ville de Bangui à fournir à ses habitants de l'eau en abondance pour de multiples usages. Cet événement a pris un autre virage en 1983 lorsque la saison sèche a été rude ^{Note 53} : les femmes et les enfants se déplaçaient sur des kilomètres pour puiser l'eau ; l'eau courante connaissait de longues coupures, même les centrales hydroélectriques de Boali sur la Mbali, affluent de la Mpoko (à 90 km au nord de la ville : voir Fig. 74), étaient affectées, avec de nombreux délestages. L'explication de ces cas de pénurie, bien que la ville dispose potentiellement de ressources pour la fabrication de l'eau de boisson (Tableau XXXVII), serait soit que les puits traditionnels ne sont pas suffisamment profonds pour atteindre la nappe permanente pour résister à la sécheresse (alors qu'il est possible de les creuser davantage), malgré l'utilisation de leurs eaux pour les tâches domestiques, soit que l'abaissement du niveau de l'Oubangui par rapport à la pompe d'eau fluviale est tel que l'usine a moins de volume d'eau à traiter malgré la faible capacité du réseau. D'après nos investigations à propos du second cas, la SODECA a techniquement les moyens de pomper l'eau fluviale quel que soit le débit fluvial pour produire de l'eau potable. L'extension du réseau et également la diversification de sources de production de l'eau de boisson devraient en principe créer des ressources en cas de pénurie ordinaire ou artificielle (Tableau XXXVII). Cette raison fondamentale paraît déterminante pour justifier de l'extension et du renouvellement du réseau d'adduction.

3.1.3. Les conséquences de l'essor démographique sur la qualité des ouvrages hydrauliques et sur l'adaptation du réseau aux besoins d'une population en croissance

Nous avons aussi remarqué que la croissance de la population est à l'origine d'une forte production sédimentaire et du dépôt en vrac de déchets ménagers qui gênent le bon fonctionnement des rares ouvrages d'évacuation des eaux dont la ville de Bangui dispose. Ainsi, le colmatage des principaux collecteurs par des débris minéraux résultant de l'érosion du sol nu urbain et de la végétalisation de leurs fonds, qui piègent les sédiments en transit, ajoutés aux débris organiques rejetés par les riverains, font que la ville a été soumise durant la décennie 1980 et au début des années 1990 à des inondations répétées. Depuis lors, le curage de ces collecteurs et le façonnement récent de certains tronçons de cours d'eau encore « naturels » (cf. sur la Ngongonon) tendent à réduire le problème. Toutefois, subsiste encore la *question de l'évacuation des débris solides de tous ordres* (sédiments, ordures ménagères,...) *qui augmentent la rapidité du colmatage des drains et des fossés* : il faut les entretenir une fois ces ouvrages construits mais hélas ! Dans cette ville de plus de 700 000 habitants, les services de ramassage des ordures ne sont guère existants.

En outre, nous constatons que la plupart des drains et caniveaux construits le long de nouvelles voies secondaires dans les quartiers populaires (de 1999 à 2002) ne semblent pas résoudre localement les lacunes d'évacuation des eaux, car ils paraissent perchés par rapport au sol urbain, et leur pente n'est pas adaptée. Ceci fait que les eaux de ruissellement suivent encore leur cheminement classique en l'absence de dessertes de voies, et ces drains et fossés sont inefficaces. Parfois, ces drains sont presque remplis de sédiments et nous ne voyons pas leur apport dans l'évacuation des eaux pluviales. Ceci nous amène à remettre en cause la conception et la réalisation de ces ouvrages qui sont en fin de compte inadaptés aux besoins réels.

Dans cette ambiance, la nécessité de la gestion des eaux à Bangui se pose avec acuité du fait du dynamisme démographique et spatial, et du cadre même du développement de la ville (législatif et réglementaire) qui ne s'y prête pas. La croissance démographique de Bangui est un phénomène de forte intensité : le taux de croissance annuel a été de 4,40 % entre 1975 et 1988, la population est passée de 279 792 à 451 690 habitants. Ce taux de croissance apparaît très fort si nous le comparons au taux national (2,66 %) et à celui de la population rurale (1,63 %) (RGP, 1988). Or le taux de croissance depuis l'origine de la ville jusqu'en 1975 a été de l'ordre de 6 à 7 %. Depuis la fin des années 1970, il ne cesse de baisser à cause du ralentissement des activités économiques, puis de l'exode rural, et se situe à 3,8 % actuellement (RGP, 1988). Sur la base de ce taux de croissance (3,8 %), nous estimons la population de la ville à 707 000 habitants en l'an 2000

(projection à partir de 1988), soit 255 000 habitants de plus qu'en 1988 (451 690 habitants), ce qui aggrave la question de cette difficile maîtrise de l'eau.

Ce mouvement démographique s'est accompagné d'une forte extension spatiale, caractérisée par une croissance spatiale non contrôlée de la ville (que nous estimons à plus de 20 km² actuellement). Il s'en est suivi un sous-équipement progressif des quartiers, aggravé dans les zones périphériques par défaut de programmation et de financement. De ce fait, les populations de ces quartiers marginalisés n'ont pas accès aux services de base.

3.1.4. L'impact de l'absence du réseau d'assainissement sur la qualité de l'eau

La ville de Bangui manque depuis toujours de structures d'assainissement dignes de ce nom. Le principal inconvénient est que les pollutions d'origine humaine affectent les *eaux superficielles* et *eaux souterraines* destinées à la consommation. Jusqu'ici, les eaux brutes de l'Oubangui, traitées et distribuées, ne sont consommées que par 20 % environ de la population de la ville (§1) ; ce taux est peut-être à minimiser aujourd'hui. Si nous considérons que ce cours d'eau est bordé, de l'amont à l'aval, de villes secondaires de toutes tailles et de villages, et que les structures d'assainissement font cruellement défaut, il y a lieu de penser que ces eaux superficielles s'exposent à des pollutions de tous types. Or la très forte urbanisation entraîne la présence à l'amont des prises d'eau de zones très imperméabilisées, souvent à l'origine, par le truchement des réseaux de collecteurs qui les drainent, de dégradations régulières des ressources superficielles (HERREMANS, 1990). Dans le cas de la ville de Bangui, il s'agit des pollutions dites *pluviales*, qui résultent des rejets en rivières des eaux provenant du lessivage des zones urbanisées lors d'événements pluvieux. Ainsi, ces *pollutions temporaires*, dues aux précipitations, provoquent des perturbations graves de la qualité des eaux destinées à la fabrication de l'eau potable (Tableau XXXVIII) ; il faudrait des moyens techniques pour y faire face.

Tableau XXXVIII : Paramètres physico-chimiques d'eau brute de l'Oubangui exploitée par la SODECA

Année	Date	Temp. (°C)	Couleur (mg.l-1 Pt/Co)	Turbidité (NTU)	pH	TAC (°F)	Nitrite (mg.l-1)	Fer (mg.l-1)	Sulfures (mg.l-1)	Matières organiques (mg.l-1)
1995	02/03	27	15	3,5	7,4	9,5	-	0,587	-	-
	30/05	28	30	9,4	7,45	9,5	0,153	0,683	-	23,4 (31 mai)
	10/08	26	60	36	7,0	2,5	0,084	1,361	-	3
	09/11	-	-	25	7,2	2,2	0,120	0,110	-	-
1996	10/04	27	15	5,3	7,7	3,2	-	-	-	-
	05/06	24	60	36	7,6	3	0,075	0,259	-	15
	30/08	25	60	32	7,2	2,0	0,026	0,076	-	-
	12/11	27	60	23	7,1	2,8	0,026	0,079	0,013	5,4
1997	21/03	29	15	2,3	8,1	5,0	0,005	0,008	0,002	6,4
	26/05	29	30	8,4	7,5	3,8	0,008	0,011	0,005	7
	16/07	28	-	24	7,4	3,4	0,004	0,107	0,000	-
	30/09	26	60	33	7,1	3,2	0,028	0,006	0,008	-
1998	02/01	25	45	21	7,2	3,0	0,014	0,079	0,021	-
	07/05	29	15	4,3	7,5	7,0	0,004	0,002	0,001	4,8
	19/08	27	60	39	7,0	1,7	0,034	0,056	0,004	5
	10/11	27	-	25	7,1	1,8	0,001	0,019	0,000	4,8
1999										

	02/03	27	30	5,1	7,6	3,1	0,003	0,026	0,001	-
	24/06	27	30	24	7,2	1,8	0,014	0,011	0,000	4,8
	13/12	26	15	20,5	7,1	1,4	0,000	0,016	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	30/03	28	15	3,2	7,5	2,5	0,000	0,000	0,001	-
	24/08	27,6	15	38,9	7,09	2	0,001	0,006	0,002	13,2
	26/11	27,8	15	21	7,04	-	0,007	0,020	0,007	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	16/05	30,5	15	4,0	7,3	5,0	0,001	0,004	0,001	5,8
	08/08	27,9	30	27,7	6,9	2,0	0,003	0,008	0,003	5,4
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	26/02	29,8	-	4,61	7,42	6,4	0,001	0,008	0,002	3,2
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24/10	27,8	-	25,5	6,92	2,8	0,002	0,009	-	6,0

Dans cette perspective, l'idéal serait de canaliser les eaux usées (domestiques, vannes ou industrielles) dans des réseaux séparés en amont et de les épurer avant de les déverser dans les rivières ou collecteurs. Mais considérant l'inexistence de ces dispositifs techniques à Bangui depuis la fondation de la ville en 1889, pouvons-nous espérer une restauration de la qualité « naturelle » de la qualité des eaux, notamment souterraines, polluées par les effluents de la filature de l'ex-usine UCATEX, les fosses d'aisance (latrines, lieux d'aisance) et les effluents ménagers et autres (intrants, lessive, vaisselle, pesticides...) qui ne sont pas encore connus ? Notre souci viserait à réduire d'abord les pollutions. Car, nous voyons que les sens d'écoulement des nappes souterraines de Bangui selon les bassins hydrogéologiques définis (Figure 34) ne semblent pas concorder avec cette hypothèse. Ainsi la pollution persistante de la nappe phréatique superficielle par les eaux de l'UCATEX, qui, à partir d'un bassin de réception au nord de la ville, finit par gagner progressivement la nappe du sud en direction de l'Oubangui, n'arrange guère les choses. De ce fait, en fonction des trois bassins hydrogéologiques, nous supposons que les pollutions de tous genres peuvent progresser dans le sous-sol par écoulement souterrain.

3.1.5. Du souci de l'évacuation des eaux usées et de la protection de l'eau potable

L'urbanisation a atteint son apogée en 1960 dans les pays industrialisés et a modifié durablement les comportements hydrologiques des bassins-versants naturels, urbains et ruraux ; elle est à l'origine des techniques d'évacuation des eaux usées et de la protection de l'eau potable. Cette nouvelle situation, qui a des conséquences hydrologiques, entraîne des *relations complexes* entre le *cycle de l'eau* et l'*urbanisation* (DESBORDES et al., 1990). Ainsi, en matière d'aménagement de l'espace, la *technique de l'assainissement*, simple technique d'infrastructure relevant du génie civil, qui est née du premier mouvement d'urbanisation à la fin du XIX^e siècle, s'est fondée sur des considérations d'*hygiène*. Le souci premier à l'époque était d'évacuer les eaux souillées, le plus rapidement et le plus loin possible, pour éviter tout contact avec la population ; ceci se faisait sans distinction aucune de l'origine des eaux usées, d'où le concept de *réseau unitaire* ; quand il pleut les eaux usées se mélangent avec les eaux pluviales ! A la fin des années 1960, l'accroissement des nuisances (cortège d'inondations fréquentes des points bas des villes, pollutions manifestes des milieux récepteurs...) entraîna un courant de recherches dans l'optique de ralentir le ruissellement urbain lié à l'imperméabilisation des sols, d'où le concept « hydraulique » de l'assainissement, mettant en jeu des dispositifs de stockage et d'infiltration. Ces analyses de l'évolution du concept d'assainissement dans les pays industrialisés devraient servir de guide à une véritable politique d'assainissement de Bangui.

Dans le contexte de notre étude, qui connaît la même dynamique d'urbanisation caractérisée par une extension spatiale incontrôlée, due à une croissance rapide de la population, l'évacuation des eaux usées ne devrait pas se faire seulement selon le modèle *hygiéniste*, les eaux mélangées devant partir loin (vers l'Oubangui, le réceptacle) au bénéfice des citoyens ; la dimension *traitement des eaux avant rejet* devrait être considérée. Malheureusement, depuis les premiers aménagements visant à donner à la ville de Bangui des structures d'assainissement, seule la réalisation des fossés de drainage est notable. Les habitations modernes qui devraient s'y raccorder, ne le sont pas réellement. Celles-ci avaient pourtant des fosses septiques qui étaient vidées lorsqu'elles étaient pleines et déversées dans une ancienne carrière d'extraction de la latérite transformée en déchetterie au NO de l'Aéroport Bangui-Mpoko, par un Service de la Mairie ; même si ce service n'étant pas régulier dans le temps. Nous estimons néanmoins que l'usage des fosses septiques et les vidanges pouvaient protéger plus ou moins les eaux de la nappe superficielle de la pollution fécale. A Bangui, rares sont les particuliers qui ont des maisons comportant une canalisation souterraine évacuant les eaux usées domestiques (vaisselle, lessive...), même lorsque l'habitat est moderne. Cela, nous le remarquons d'ailleurs à l'échelle de la ville où des eaux domestiques sont déversées partout sur les voies, dans des canalisations... servant de gîte aux anophèles dont le développement dans ces eaux stagnantes et polluées donne le paludisme et d'autres maladies liées à l'eau ; de même, pour la construction de certains lieux d'aisance dans les quartiers populaires, les eaux issues des douches sont stockées dans des fosses à ciel ouvert, rendant malsain le cadre de vie. Ces analyses montrent bien que nous sommes loin d'observer le modèle hygiéniste à Bangui.

De plus, en saison pluvieuse, la pollution serait intense parce que les eaux pluviales, qui ruissellent partout, peuvent entraîner et diffuser ces polluants dans l'espace ; ils sont repris par les cours d'eau ou fossés collecteurs jusqu'à l'exutoire de leur bassin. Toutefois, dans la perspective du recul de la limite urbaine aux confins de la Mpoko à l'Ouest, au pont du pk 9 SO et au pk 30 sur les deux sorties Nord, selon le projet d'extension de la limite urbaine (Figure 1), beaucoup d'espace reste à aménager. Déjà, la colonisation anarchique du sol de ces dernières années a commencé à gagner tout l'Ouest de la ville non-bâti jusqu'aux confins de la Mpoko ; seuls les projets d'adduction en eau potable (partant de la nappe souterraine profonde) de la Coopération japonaise (JICA), de logements sociaux (Coopération chinoise) et de la construction des axes routiers sont en cours ; l'habitat moderne qui doit être au centre de ce mouvement ne semble pas s'y impliquer, selon ce que nous avons constaté. Il est bien que le réseau d'adduction en eau puisse se développer pour couvrir toute la ville, et même se diriger vers les villages et hameaux de la région de Bangui, mais il faudrait que cette fois l'assainissement, avec une séparation des eaux usées, puisse fonctionner pour préserver la qualité d'une partie de ressources en eau superficielles et souterraines au profit des générations à venir. Ce sera de cette manière que nous pourrions parler de la sécurité pour l'eau potable.

3.1.6. Quelques orientations

Les difficultés des branches « eau potable » et « assainissement » à Bangui, telles que nous les avons décrites précédemment, mettent en relief les limites du secteur et doivent être la base des réformes visant à innover et à améliorer les conditions d'adduction en eau potable et d'assainissement urbain. Car il faudrait une rupture avec la gestion passée pour redynamiser le secteur « eau et assainissement » de la ville. Un état des lieux s'impose pour cerner tous les détails relatifs aux facteurs de blocage du secteur, ceci dans le but de cerner les défaillances structurelles de ces systèmes afin de remédier durablement aux questions de pollution de l'eau ou de la matière première de l'eau et de dégradation des réseaux existants. A ce propos, DROUET (1990) a montré que les systèmes d'offre et services pour la distribution d'eau et l'assainissement urbain dans les principaux pays industrialisés (Etas-Unis, Allemagne, Japon, Angleterre, Italie et France) ont été modifiés durant les années 1980 en raison des difficultés structurelles de systèmes où les exigences de performances sont renforcées pour répondre à des problèmes nouveaux : les questions de pollution et de dégradation des réseaux, tout en ayant la possibilité de faire appel à des ressources technologiques plus variées. Cette démonstration est un canevas pouvant guider la rentabilisation des systèmes « eau et assainissement » à Bangui, du fait que les pollutions et la vétusté des réseaux sont un problème pour la qualité de l'eau potable. Par ailleurs dans l'étude des systèmes d'approvisionnement en eau dans les petits centres et villes d'Afrique (COING et al., 1998), l'organisation des services d'eau potable distingue les milieux urbains et ruraux. Les

petits centres et les quartiers péri-urbains ont la particularité d'être des « espaces intermédiaires » au regard des catégories précédemment définies, car ils ont été négligés dans les organigrammes institutionnels. Nous pensons que le SDEA a pris partiellement en compte ces dispositions en distinguant en Centrafrique l'hydraulique urbaine et l'hydraulique rurale. Mais ces auteurs ont remarqué que les petits centres et les périphéries urbaines ont de puissants dynamismes démographiques et spatiaux, qui ont des incidences majeures sur la demande en eau à moyen terme. Néanmoins, cet aspect nous semble bien cadrer avec les réalités des quartiers à développement spontané de Bangui où les fortes densités de population ne correspondent pas aux systèmes d'eau et d'assainissement modernes. Cela pose des problèmes évidents. Après les évaluations de la première décennie de l'eau, il est recommandé que les projets contribuent à créer ou à renforcer des structures institutionnelles et des dispositifs financiers viables : ils doivent favoriser la formation des personnels impliqués et, enfin, encourager la participation (concertation, contribution financière, implication dans la gestion), mode plus applicable à l'hydraulique villageoise et peut-être aux systèmes de bornes-fontaines.

L'usage des bornes-fontaines à Bangui est un début de solution relative à l'AEP, mais nous estimons que cette solution demeure encore insuffisante du fait que le réseau ne longe que des voies de communication réglementaires, ce qui fait que ces points d'eau sont relativement éloignés des consommateurs. Il faut parfois plus d'un km de parcours aller-retour pour avoir de l'eau de robinet, ce qui ne nous semble pas incitatif pour la consommation ; plus des trois-quarts des habitants de ces secteurs n'ayant pas les moyens requis pour transporter cette eau selon leurs besoins. En revanche, c'est l'eau qui doit aller vers les utilisateurs du fait de sa disponibilité, afin que la consommation actuelle d'eau par litre et par habitant (estimée à 20-25 l.habitant-1.jour-1) puisse augmenter. Enfin, les problèmes des systèmes d'assainissement, déjà abordés, nous amènent indirectement à étudier les inondations à Bangui, lesquelles se produisent à cause de l'insuffisance du réseau d'évacuation, expliquant un ruissellement pluvial généralisé qui cause parfois des dommages aux citadins.

3.2. Le risque et la gestion des inondations à Bangui

Les *inondations* sont des manifestations hydrologiques exceptionnelles liées à l'*eaupluviale* et à la *remontée de nappe*. Ces phénomènes constituent des *ressources* pour les zones inondables et les nappes phréatiques qu'elles rechargent ; ils représentent aussi un *risque* par leur production dans des *espaces humanisés, urbanisés*. Ce *risque pluvial* résulte de l'association de l'*aléahydraulique* (précipitations, ruissellements, crues, remontées de nappes), d'ordre climatique, et de la *vulnérabilité des zones exposées* (types d'occupation des sols et divers autres facteurs), d'ordre socio-économique (HINGRAY et al., 2000). A Bangui, nous constatons que la ville fait face à deux types d'inondations :

- les *inondations de l'Oubangui*, résultant des lames d'eau précipitées sur tout son bassin-versant ;
- les *inondations à l'échelleurbaine*, qui dépendent de la pluviométrie locale et de l'*impluvium*, et qui caractérisent les cours d'eau collecteurs et les zones déprimées marécageuses.

En effet les inondations sont accentuées par la présence humaine à Bangui en raison de la compaction du sol urbain qui accroît le ruissellement en conduisant par gravité les eaux dans les talwegs ou zones basses ; de même, l'insuffisance des aménagements ne permet de drainer les bas-fonds marécageux sommairement occupés où les eaux stagnent ; l'absence ou l'insuffisance d'exutoires entraîne souvent des inondations le long des petites rivières urbaines (Planche XII) et des marais (Planches X et XI). Toutefois, nous savons très peu de choses sur les modalités de gestion des inondations dans l'espace et dans le temps, à cause du manque de documentation ou d'archives.

3.2.1. L'enjeu de la question des inondations urbaines et des inondations liées à l'Oubangui

Nous considérons les *inondations* comme *un des éléments de base de la gestion des eaux*. Notre hypothèse se fonde sur leurs effets nuisibles en milieu urbain, qu'il faudrait éviter par la prévention et la réglementation de l'usage du sol. Elles apparaissent en effet comme les conséquences de l'occupation anarchique du sol dans le cas de Bangui, et de la modification des conditions hydrologiques et géomorphologiques des bassins-versants par la présence humaine.

De fait, nous avons noté que la récurrence des inondations de l'Oubangui à Bangui et des cours d'eau urbains, dont certains tronçons ont été transformés en collecteurs principaux des eaux pluviales (Fig. 37), n'a jamais poussé les pouvoirs publics à prendre des dispositions réglementaires et juridiques pour circonscrire ces zones à risque (plaines, lits d'inondation), afin d'en empêcher leur occupation par des activités et établissements humains. Les pouvoirs publics se contentent toujours de ne réagir que pour apporter une « assistance sommaire » aux sinistrés (Planche X, Photo D), alors que ces phénomènes se produisent toujours dans les mêmes secteurs. Cela nous amène à supposer qu'une délimitation d'un *espace de liberté* des cours d'eau (PIEGAY *et al.*, 1996), qui considère les zones de débordement de leurs eaux, serait une solution efficace et durable pour prévenir ces risques bien qu'il n'existe pas des plans officiels d'occupation et d'aménagement de ces lits majeurs. A partir de nos constats, *l'enjeu de la colonisation de ces espaces* se situe à *l'interface du manque d'espace à bâtir et de la croissance démographique* puisque, à Bangui, il n'y a pas de sociétés de construction qui s'occuperaient des logements (appartements, maisons résidentielles). La conséquence est la pression exercée sur ces zones normalement inconstructibles et à risque (vallées inondables et mal drainées, marécages) qui appartiennent logiquement à l'Etat, puisqu'il est le seul propriétaire foncier. Toutefois, les chefs de terre, de village ou de quartier se substituent à lui dans ces zones sans infrastructure pour délimiter des parcelles à construire moyennant une contre-partie, au mépris des inconvénients majeurs tels qu'inondations, écroulements des maisons, infection des maladies parasitaires, etc. Par ailleurs, nous proposons que des études hydrologiques classiques et des études d'urbanisme soient menées sur la base des phénomènes majeurs connus dans le temps et dans l'espace à Bangui, pour déterminer les périodes de retour (fréquence) et le dimensionnement des ouvrages de drainage.

3.2.2. Les cas d'inondations sur le fleuve Oubangui

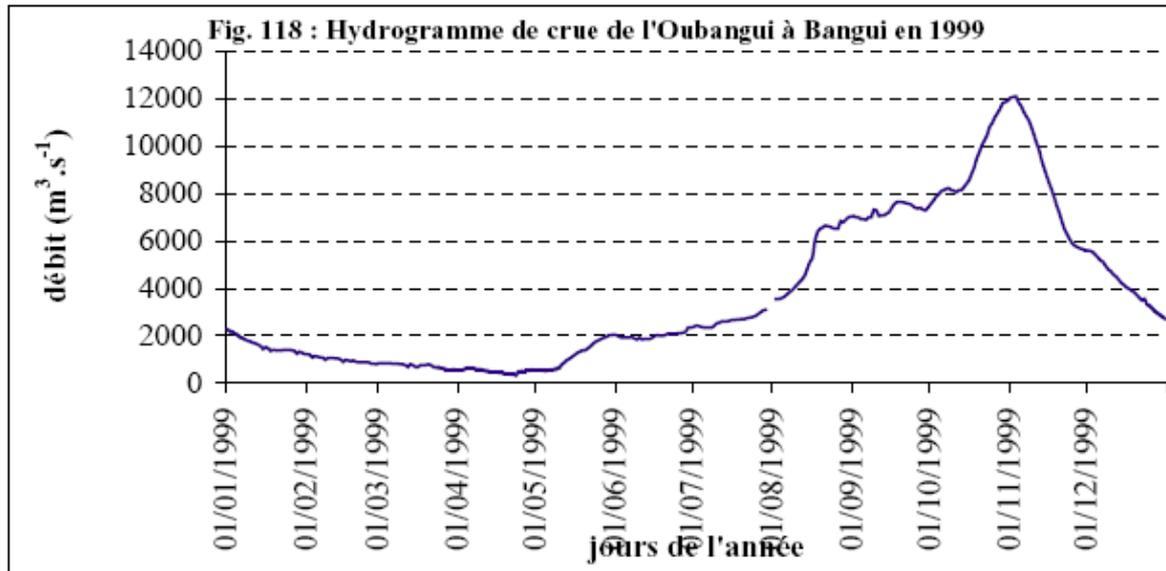
La principale difficulté lorsqu'il s'agit d'étudier les crues et inondations passées d'un cours d'eau comme l'Oubangui à Bangui réside dans le manque d'*archivage* des événements ; ceci devrait constituer pour nous un support scientifique à l'analyse des phénomènes. Des enquêtes réalisées auprès des personnes qui ont vécu les événements ont cependant contribué à mettre en relief les événements récents (1961 : le plus marquant, 1962, 1964 : marquants, 1969 : faibles, 1975 et 1999), et quelques éléments de littérature nous permettent de retracer les épisodes remontant à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle (BOULVERT, 1989 ; CALLEDE *et al.*, 1992 ; WESSELINK *et al.*, 1994).

3.2.2.1. Une étude de cas : la crue et l'inondation d'octobre novembre 1999

Nous exposons dans ce paragraphe les résultats d'observations et de levés de terrain, et des photographies prises lors d'une reconnaissance des sites inondés sur les rives humanisées de l'Oubangui à Bangui, partant de la partie orientale de la ville (quartier Ouango-Sao) jusqu'à Bimbo *via* le centre-ville (Fig. 118, voir aussi Fig. 119). Le 23 octobre 1999, l'Oubangui a déversé ses eaux dans la zone *inféroflux*, constituée des bas-fonds marécageux qui longent sa rive droite depuis l'Ouest des Bureaux des TP (Travaux Publics) et des Douanes^{Note 54}, jusqu'à l'Ouest du port pétrolier au confluent Mpoko-Oubangui (Planche XI, Photo E). L'indisponibilité du rapport écrit chiffrant les conséquences cette inondation nous empêche de fournir un bilan « exhaustif » des dommages. De plus, l'hydrogramme a enregistré son pic le 3 novembre, avec 12 088 m³.s⁻¹ (Figure 118), alors que le débordement des eaux avait commencé une semaine, voire dix jours avant lorsque le débit était de près de 10 800 m³.s⁻¹, cela nous donne une idée de la durée de crue antérieure au pic. Il nous

montre qu'une concentration des précipitations dans le temps, entre la mi-août et la mi-octobre sur toute l'étendue du bassin-versant de l'Oubangui, est à l'origine de ce gonflement différé du niveau de la rivière Oubangui à Bangui ; elle s'est d'abord traduite par un nivellement de la crue, puis par un gonflement progressif après la mi-octobre, qui a abouti au débordement des eaux à la fin du mois d'octobre et au début du mois de novembre. Le pic de crue ne s'est pas beaucoup étalé dans le temps par rapport à la crue de septembre-novembre 1961, celle qui a enregistré la durée maximale d'inondation de ce cours d'eau durant le XXe siècle, avec une durée de 70 jours.

Figure 118 Hydrogramme de crue de l'Oubangui à Bangui en 1999



De l'inondation du secteur de l'Est de la ville : Ouango-Gbangouma

A Ouango, le site inondé que nous avons observé s'est étendu sur près de 300 m de long et correspond à un ancien lit de l'Oubangui ; ce secteur est connecté à un replat d'une hauteur de 3 à 4 m, voire 5 m par rapport au lit actuel en périodes de hautes eaux normales. Le débordement du chenal était localement de 60 à 80 m, voire de 100 m de large. Le problème était qu'en raison de l'abaissement du niveau de l'Oubangui lié à l'assèchement climatique depuis 1970 (Figures 71 et 72), *les gens ont pensé que construire dans cette plaine inondable ne comportait aucun risque*, alors qu'ils ignorent la période de récurrence des crues catastrophiques (Tableau XXII ; voir Annexes IV). Voilà pourquoi ils ont été sinistrés. Pourtant, il semble qu'en 1961 et 1962 (de sources orales), lors des crues de l'Oubangui, ce même site a été inondé en causant des dommages aux occupants de l'époque. Ceci avait suscité l'intervention de l'Etat (du temps de DACKO I) qui a fait construire des habitations sur le terrain en hauteur, hors d'eau (sur le bourrelet alluvial), où est passée l'unique voie qui borde le cours d'eau à ce niveau.

De l'autre côté de la route, nous avons un bas-fond marécageux, entre 100 et 50 cm sous le niveau de la route (cote 348), qui a failli communiquer avec l'Oubangui par le gonflement des eaux. Durant cette crue, le cours d'eau a eu le même niveau que celui des marais, alors qu'en temps normal son niveau se situe à 3, voire 4 m plus bas. Les habitants du secteur ont heureusement creusé un canal « déversoir » d'environ 0,70 m de large et de plus de 2 m de profondeur, sur une partie élevée de la rive pour évacuer vers le fleuve l'excès d'eau, qui devait envoyer tout le site ainsi que la voie routière.

Le quartier d'Ouango est localisé sur un plateau latéritisé et cuirassé du même aspect morphostructural que celui de Pélémongo (Figure 32). Sur leur bordure, il existe un bas-fond marécageux (Figures 91 et 95) ; un autre est situé à Gbangouma sur l'ancienne plaine d'inondation de l'Oubangui, en direction du pied de Kaga

Daouba-Kassai ; il a été inondé aussi bien par les eaux de sources marécageuses que par celles de l'Oubangui. Dans la basse-Nguito, l'Oubangui a déversé ses eaux au-delà de la cote 340. Ceci a eu une répercussion sur le comportement de ce petit affluent : l'inondation de la vallée aval marécageuse a atteint des centaines de mètres aussi bien sur la rive droite que sur la rive gauche (vallée de la Gbangouma), alors que le lit de l'Oubangui est à environ 50 m du pont sur la route qui va du centre-ville à Ouango.

La situation du promontoire rocheux

Au centre-ville, sur le promontoire rocheux de l'ancien *rocher de l'Artillerie* où est construit l'hôtel SOFITEL Note55, depuis 1967 (Planche I, Photo B et C), il ne manquait que quelques centimètres pour que l'enceinte de l'hôtel soit touchée, en partie grâce aux aménagements qui ont protégé le site. Néanmoins à environ 200 m en aval, le Bureau du Service d'Emigration-Immigration du Port s'est effondré sous l'effet de la montée des eaux. En allant vers le Port, l'Oubangui était à moins de 20 cm de passer au-dessus de l'ancien bourrelet alluvial qui est aujourd'hui construit. Si les berges n'avaient pas été aménagées à ce niveau, l'Oubangui aurait dû en principe envahir les bâtiments qui le bordent, comme cela se produisit en 1890 et 1892 à la création du poste colonial.

Entre le centre-ville et Bimbo

Nous supposons que la zone du sinistre est le lit holocène de l'Oubangui, ou sa plaine actuelle d'inondation, dont la hauteur de berge est d'environ 2 m ; il s'observe sur la route menant vers le CPI (Collège Préparatoire International : Planche X, Photo C), en amorçant une légère descente en direction de l'Oubangui, à près de 200 m du lit actuel.

Entre Ngou-Etat et les Abattoirs frigorifiques de Bangui au sud du quartier Bruxelles et au SO de La Kouanga (voir Figures 119), le fleuve renvoie par deux exutoires son trop-plein d'eau dans les zones basses marécageuses. Le premier est le canal Sapéké (nom d'un ruisseau aménagé qui lui est attribué par les urbanistes) par lequel la trilogie Kokoro-Ngongonon-Ngoubagara gagne l'Oubangui (Figure 36), et le second est le déversoir des excédents d'eau des marais et des eaux usées de l'ex-fabrique centrafricano-israélienne (CICI). Ces exutoires ont localement provoqué les inondations, étant donné que ces bas-fonds ont progressivement été colonisés par des habitations ; on dénombre de nombreux sinistrés, des sans abris, des pertes de biens mobiliers et immobiliers : 9 017 personnes ont été touchées et 1 131 maisons détruites dans les quartiers des 2^e, 3^e, 6^e et 7^e arrondissements de Bangui, selon l'*Hebdomadaire VOUMA* (novembre 1999) (Planche I, Photo E).

S'il n'y avait pas eu ces deux exutoires par lesquels l'Oubangui a regagné son ancien lit, ses eaux auraient probablement débordé sur les rives aménagées. Malgré ces aménagements, nous constatons une variation des hauteurs de berge de l'amont à l'aval, entre Ngou-Etat et le canal Sapéké (Ngoubagara, Ngongonon et Kokoro) : elles varient de 1-1,20 m à 0,80-0,70 m à Ngou-Etat et d'environ 0,3-0,2 m à la confluence du canal. Or si nous soustrayons de ces hauteurs les 20 à 40 cm, voire 50 cm d'exhaussement dus aux aménagements, le centre-ville aurait été inondé à cette période dans les conditions naturelles. Par ailleurs, nous remarquons que l'altitude des bas-fonds se situe localement entre -50 et -100 cm par rapport au *plein bord* ou au niveau des berges « naturelles » ou artificielles. Toutes les voies (pistes notamment), reliant la route qui borde l'Oubangui et la rive droite exondée et habitée, sont en effet coupées. La liaison ne se fait que par les pirogues ; le CPI est à 99 % inondé et l'on se sert d'une petite pirogue pour construire des « ponts » en posant des planches sur des blocs de pierre, pour faire passer les gens (Planche X, Photo C).

Le phénomène entre Pétévo et Bimbo

De notre périple à Pétévo, nous retenons que les bas-fonds marécageux, au travers desquels passe une route reliant le Rond point, l'ancienne Villa Kolongo et les Voies Navigables (VN) au bord du fleuve, qui sont le prolongement de la zone d'« inféroflux », sont inondés (Planches X et XI) ; ils sont distants du lit actuel de

près de 200 m. La hauteur d'eau, d'environ 1,5 à 2 m, a englouti des habitations dans l'enceinte marécageuse. De même, derrière le Port pétrolier juste en amont de la confluence avec la Mpoko, la route est inondée par les eaux et nous nous étions servi d'une pirogue, comme tout le monde, pour joindre la ville de Bimbo (Planche X, Photos E et F ; Planche XI, Photo D) et les quartiers environnants le samedi 6 novembre 1999 [Note 56](#). Dans ce secteur, les habitations sont inondées jusqu'à près des trois-quarts de leur hauteur (Planche X, Photo E) : la profondeur de l'eau était d'environ 1,20 m derrière le Port pétrolier, et de 3 à 4 m au cœur des marais du Sud-Ouest (SO). Au paroxysme de la crise, une communication entre les eaux de la Mpoko et les eaux marécageuses s'était opérée (Planche X, Photo F) : la Mpoko s'élargissait d'environ 50 m au niveau du Bac à environ 100 m de la confluence avec l'Oubangui, mais de 100 à 150 m en allant vers les Huileries et Savonneries HUSACA sur la rive gauche. Le petit marché du confluent a été sous l'eau, car situé dans les bas-fonds. Pourtant vers la fin du mois de septembre 1999, où nous avons effectué l'échantillonnage qui a servi à l'étude sédimentologique (chapitre VI), le niveau des eaux était plus bas ; durant la crue, les eaux s'étendaient sur 100 m environ (Planche IX, Photos A, B et C).

La présentation de l'unique cas d'inondation de l'Oubangui auquel nous ayons assisté révèle les limites de la gestion de ce phénomène, basée sur la politique du fait accompli. Aucune disposition en amont n'est prévue pour réduire ce risque ; *elle consisterait en effet à considérer au moins la zone urbaine sinistrée en 1961 pour réglementer l'occupation du sol, de sorte que l'habitat ne se développerait plus dans le lit d'inondation de l'Oubangui*. Les pouvoirs publics ne se contentent d'intervenir que lorsque le phénomène est en cours ou achevé, notamment au travers des Services de la Croix-Rouge Internationale qui apporte des tentes, des couvertures, des médicaments,... et des produits alimentaires fournis par la Représentation du Programme Alimentaire Mondial (PAM) (Planche X, Photo D). Pourtant un bel exemple a été montré par le Gouvernement de DACKO I, en améliorant les possibilités d'intervention et surtout en se servant de la limite atteinte par le phénomène, pour *empêcher la colonisation du site par les établissements humains*. Nous pensons que cette initiative devrait être appuyée par une application rigoureuse d'un POS, mais hélas ! Depuis lors, les habitants ne font que subir passivement les contraintes liées à l'eau. Quant aux victimes, elles se contentent de gérer à la « traditionnelle » les inondations, sans trop se poser de questions. Par exemple si les gens ont le choix entre une maison inondable tous les dix ans et pas de maison, peut-être choisissent-ils la première solution. Cela est effectivement le cas souvent, mais les raisons économiques dans le cas de Bangui les empêchent de trouver mieux.

3.2.2.2. Esquisse cartographique des inondations du fleuve

Notre démarche a consisté, à partir de la crue de référence de 1999 (12 088 m³.s⁻¹), à extrapoler l'extension de la crue record du XX^e siècle qui a eu lieu en octobre 1916 (16 000 m³.s⁻¹), sachant que le contexte hydrogéomorphologique a évolué à cause de la modification des paysages due à la présence humaine, celle-ci ayant donné une autre dimension et une autre perception au phénomène. Nous estimons donc que les autres crues de puissance intermédiaire ont une extension comprise entre les deux inondations de 1916 (période de retour 50 ans ou presque centennale) et 1999 (période de retour 7,5 ans) considérées comme les « références » (Figure 119 a). L'inondation de 1916 devait concerner un espace beaucoup plus important à l'époque qu'aujourd'hui ; pour projeter cette extension de l'inondation, nous avons tenu compte des zones anciennement occupées par les marais et marécages, *via* les cours d'eau, qui se connectaient en crue à l'Oubangui aux débuts du poste de Bangui. Si elle se reproduisait maintenant, le centre-ville risquerait d'être entièrement sous l'eau en raison des 4 000 m³.s⁻¹ de différence par rapport au débit de crue de 1999. Par ailleurs, nous ignorons si les crues de la fin du XIX^e siècle (entre 1890 et 1892), qui avaient engendré des inondations répétées du poste colonial, étaient plus ou moins fortes que celle d'octobre 1916.

L'intérêt de cette esquisse cartographique est de fournir quelques éléments d'appréciation des possibles extensions des inondations de l'Oubangui, de fréquence rare (voir Annexes IV), dans le site actuellement urbanisé, ce qui éviterait à la ville de très lourds dommages. Ainsi, nous n'avons fait qu'extrapoler les limites d'extension des inondations de 1999 en supposant l'extension probable du sinistre de 1916 par rapport au site actuel et à l'environnement urbain.

3.2.3. Les inondations dans les collecteurs urbains et dans les zones marécageuses

Elles se produisent lorsque les cours d'eau manquent d'*espace de liberté*, de lit majeur ou d'inondation, ce dernier étant colonisé par l'*habitatspontané* (Planche XII, Photos A, B, C et D), pour amortir, casser la puissance des crues urbaines soudaines et rapides. Ces inondations sont la conséquence d'un important ruissellement pluvial sur un sol nu compacté par l'occupation du sol, et la capacité des chenaux (dimensions, densité,...) ne suffit pas pour répondre à la soudaineté des crues à Bangui. Car ces chenaux sont plutôt adaptés à un fonctionnement hydrologique plus *naturel*, avec un sol couvert qui montre une harmonie, une synchronie entre les pics de crue et les volumes à écouler, qu'*humanisé* (ruissellement généralisé de l'eau pluviale dans les bassins-versants urbains) : c'est ce qui explique cette inadaptation actuelle des chenaux à la montée des crues dont résultent des inondations parfois répétées.

Figure 119 a) Esquisse des inondations de 1916 et de 1999

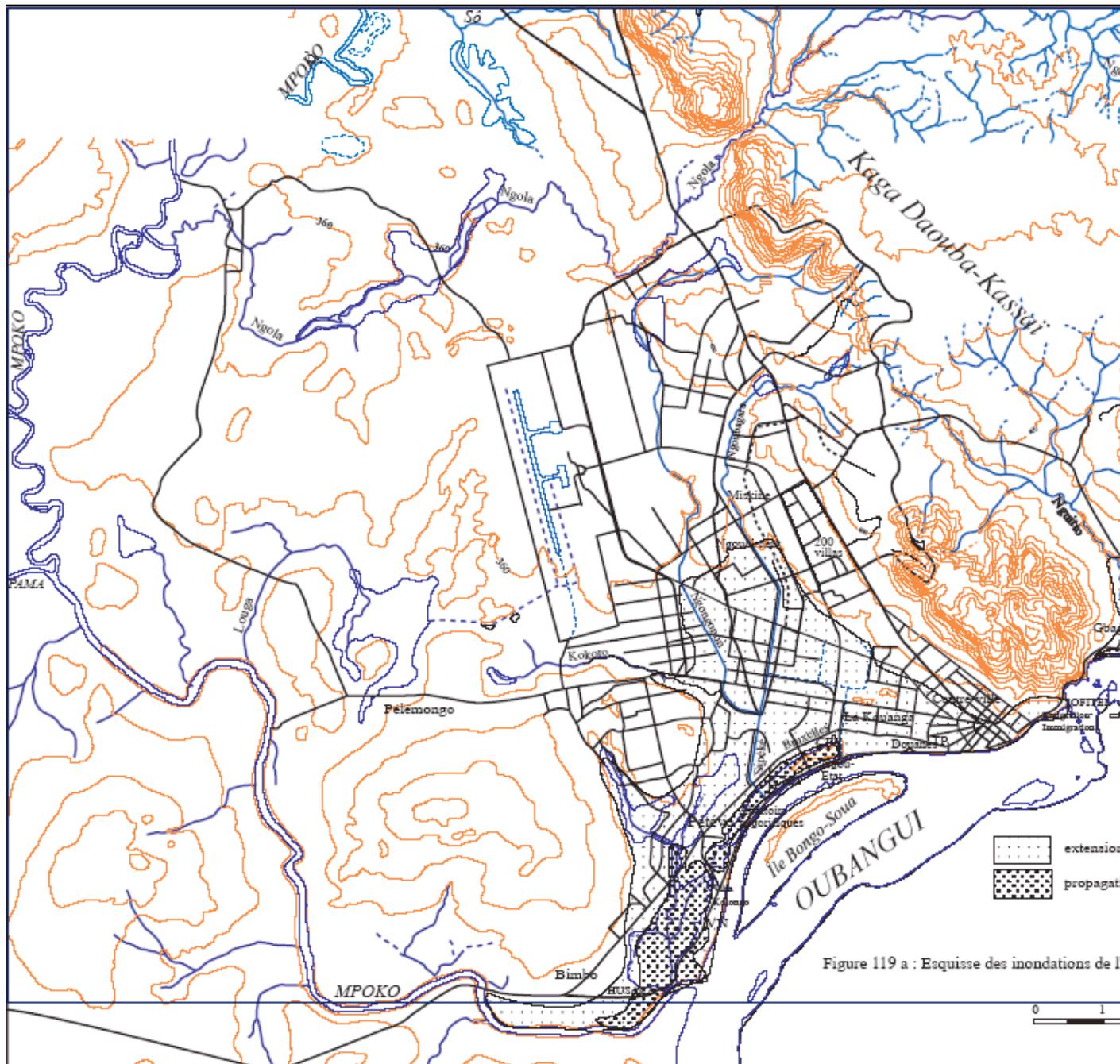
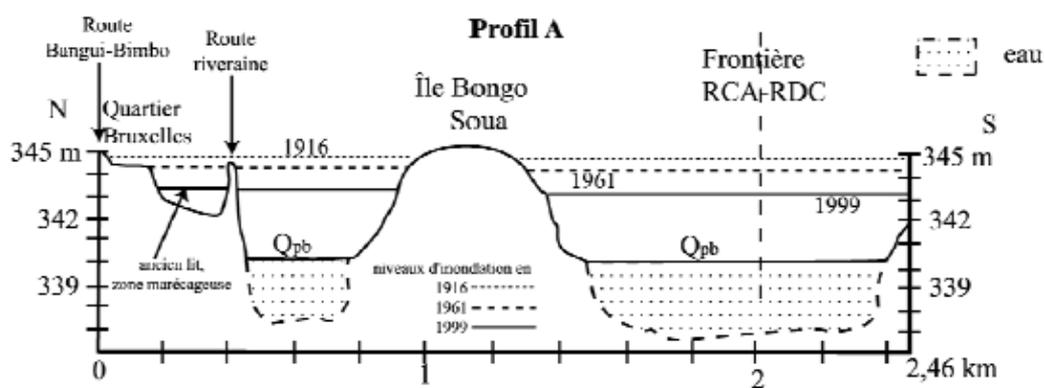
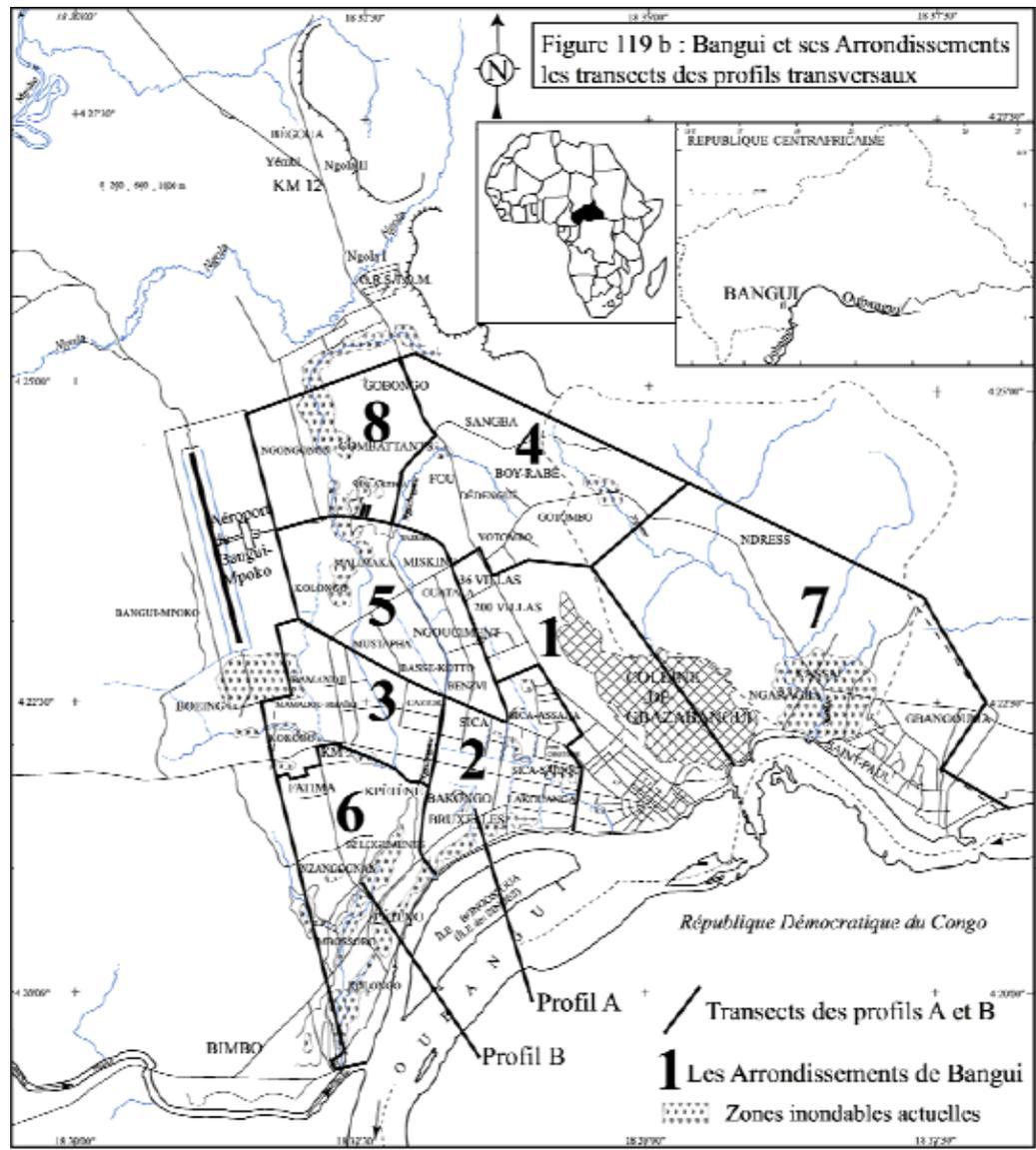
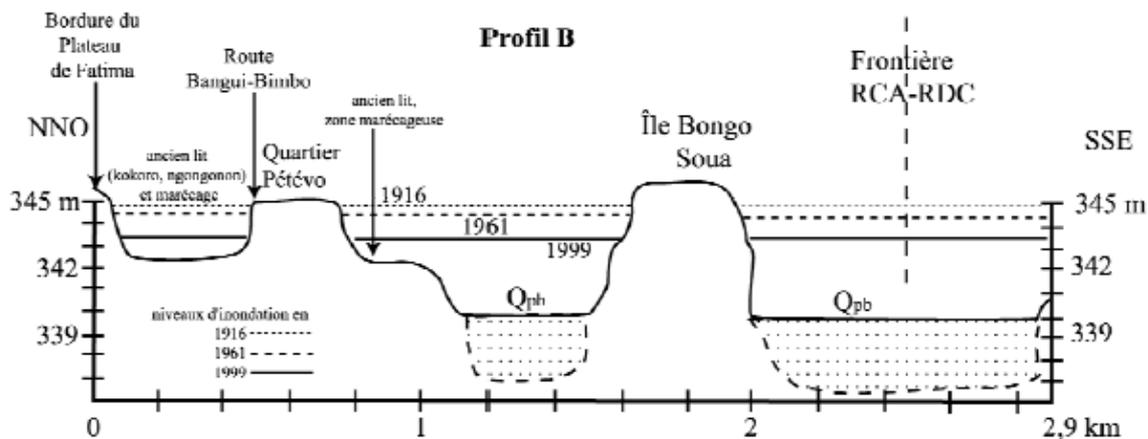


Figure 119 b) Quelques profils transversaux de l'Oubangui à Bangui simulés/adaptés aux inondations de 1916, 1961 et 1999





3.2.3.1. Du drainage des eaux pluviales. Dynamisme du processus à l'échelle de la ville de Bangui

Les eaux pluviales que nous appelons communément « eaux de ruissellement » sont l'une des conséquences des établissements humains dans un site dont la dénudation du sol favorise l'altération de l'*impluvium* ou de l'aire de collecte ; toutefois cette définition n'exclut pas le mouvement des eaux pluviales en contexte « naturel ». Nous remarquons qu'elles sont davantage conditionnées par l'habitat spontané dans le cas de la ville de Bangui.

Le drainage des eaux pluviales, qui se combine aux structures d'assainissement, est une variable principale de la maîtrise de l'eau avec la branche de l'adduction en eau potable. Nous estimons que ce processus devient plus aigu dans la ville de Bangui, probablement en raison des toitures en tôles ondulées, des habitations de style « rez-de-chaussée », qui entrant en communication, concentrent de grosses quantités d'eau en un court laps de temps dans le site de la ville, enfin en raison du manque naturel d'exutoires (faible densité de drainage dans la plaine marécageuse : 0,81 km.km⁻² pour le bassin aval de la Ngola, 0,77 km.km⁻² pour le bassin de la Kokoro et 0,45 km.km⁻² pour le bassin de la Guitangola). Car nos maisons à Bangui ne comportent guère de gouttières qui pourraient canaliser les eaux collectées sur les toits et réduire peut-être leur propagation rapide, liée vraisemblablement à la violence des abats et à la taille des gouttes de pluie. Nous relevons que ce phénomène prend de l'ampleur aussi bien dans les quartiers lotis, où les eaux circulent sur les voies et inondent momentanément les concessions clôturées, que dans les quartiers spontanés où les réseaux hydrauliques anthropiques font cruellement défaut. Or si les constructions en hauteur dominaient, représentant l'habitat par excellence à Bangui, des réseaux d'évacuation existeraient, et surtout le nombre de toits qui produisent beaucoup d'eau, serait réduit car nous constatons que ces toitures réagissent simultanément comme des « surfaces contributives » quand il pleut. Ces éléments nous montrent que la circulation des eaux pluviales dans la ville n'est pas hiérarchisée, c'est-à-dire orientée par des caniveaux, des fossés.

Toutefois, à l'échelle de la ville de Bangui, les anciens lits de petits cours d'eau urbains ont été façonnés pour tenir lieu de collecteurs principaux ou réseaux primaires de drainage, mais nous déplorons la quasi-inexistence des réseaux secondaires et plus encore de réseaux tertiaires (Figure 9 : p. 33). Nous estimons et suggérons que le rallongement, la densification des réseaux primaires, secondaires et tertiaires, voire quaternaires confèreraient à ces structures la capacité d'augmenter le temps de transit de ces eaux en direction des collecteurs principaux (Ngoubagara, Ngongonon, Kokoro...).

De l'historique des plans d'assainissement de la ville de Bangui (GROUPE HUIT, 1991), nous constatons un manque de politique volontariste et/ou peut-être un défaut de financements qui explique l'absence d'une mise en oeuvre. Nous estimons que la multiplication des drains et caniveaux s'avère primordiale pour l'assainissement pluvial de Bangui, pour pallier l'inefficacité et la vétusté des ouvrages existants. Nous notons toutefois que quelques réalisations ont été récemment effectuées dans certains quartiers (Bacongo,

Kpéténé...), notamment le tracé des voies et quelques ouvrages de drainage qui sont de moins en moins opérationnels.

3.2.3.2. De l'importance du ruissellement urbain à la maîtrise des eaux pluviales

L'importance du ruissellement urbain à Bangui peut se comprendre du fait des caractéristiques des pluies (violence et grosseur des gouttes) qui, alliées au sol tassé, produisent du ruissellement. Ainsi, nous remarquons qu'un ruissellement généralisé se produit après une averse de deux manières dans les principaux groupes de quartiers à Bangui (lotis et spontanés) et en fonction de la rugosité représentée par les bâtis et l'occupation du sol face au mouvement des eaux. Ces deux modes de ruissellement urbain sont rendus possibles par l'inefficacité et l'insuffisance des structures actuelles d'assainissement de la ville.

- Le *premier mode*, nous l'observons dans les quartiers lotis lorsque les eaux de ruissellement s'évacuent par les voies ou par-dessus les caniveaux et rigoles colmatés par des débris d'érosion et des déchets ménagers, voire organiques.
- Le *second mode de ruissellement*, nous le voyons se produire dans les quartiers périphériques, sans plan, où la concentration d'habitations (3 à 4 maisons par parcelle en moyenne) représente une source potentielle de ruissellement en faisant communiquer leurs toitures comme « surfaces contributives artificielles ». Les eaux tombées simultanément des toitures se concentrent rapidement dans des « exutoires » possibles de ces quartiers que sont les sentiers, les pistes, les cheminements piétonniers, les rigoles, les ravines d'érosion ou artificielles, voire des ravins quand la pente et la profondeur du sol le permettent tels que sur le piémont des quartiers Boy-Rabé, Cité Jean XXIII, Foù ou Gobongo.

Le ruissellement pluvial à l'échelle de la ville de Bangui est la conséquence d'un manque de structures appropriées d'évacuation des eaux. La question pendante est de maîtriser les eaux pluviales.

Ces arguments nous montrent que la maîtrise du ruissellement pluvial est difficile, voire aléatoire à Bangui, et s'impose comme un problème majeur de l'assainissement de la ville, avec la présence des bas-fonds marécageux qui sont des « surfaces contributives naturelles » ou classiques au ruissellement. Par ailleurs, de nombreux travaux ont proposé toute une panoplie d'approches pour la maîtrise des eaux pluviales (MUSQUERE et GUICHARD, 1990 ; DEUTSCH et al., 1990 ; CANALI et al., 1990 ; CHOFFE et al., 1990 ; COGEZ et al., 1990) pouvant être utiles, applicables au cas de Bangui. En effet, cette branche de la gestion des eaux constitue un enjeu économique de plus en plus fort pour les collectivités locales (MUSQUERE et GUICHART, 1990), par l'adoption des dispositions réglementaires très strictes pour accompagner un vaste plan de lutte contre les inondations, en mettant en œuvre de grands équipements publics, mais aussi des équipements privés. Ce contexte est renforcé par les aspects techniques, financiers, juridiques et institutionnels (DEUTSCH et al., 1990), ce qui suppose que la maîtrise de l'eau pluviale doit passer par des réseaux complexes, considérés comme l'*anciennemaîtrise des eaux pluviales urbaines*, avant de retourner dans le milieu naturel (COGEZ et al., 1990). Cette dernière considération suggère que l'eau pluviale soit dépolluée avant rejet, ce qui s'insère dans la *nouvelle maîtrise des eaux pluviales* à travers la question de la pollution de ces eaux (CHOFFE et al., 1990 ; DEUTSCH et al., 1990). Toutefois, nous avons également retenu de MOREL A L'HUISSIER (1998) deux principes stratégiques en vue d'améliorer la maîtrise du ruissellement pluvial urbain et des inondations pour les villes africaines, que nous voudrions transposer pour une évolution saine de Bangui :

- le *premier* cerne l'assainissement dans le contexte global de l'environnement urbain et intègre des considérations de nature urbanistique, sanitaire, économique, politique, socioculturelle et éducative au même titre que les critères techniques ;
- le *second principe* est de préférer aux investissements structureaux correctifs les mesures préventives lors de la conception même des aménagements urbains et d'orienter l'assainissement pluvial vers la recherche de solutions de maîtrise du ruissellement. Il s'applique au drainage des eaux, et présente l'originalité de favoriser la *rétenion* ou l'*infiltration* de celles-ci avant qu'elles ne se concentrent en

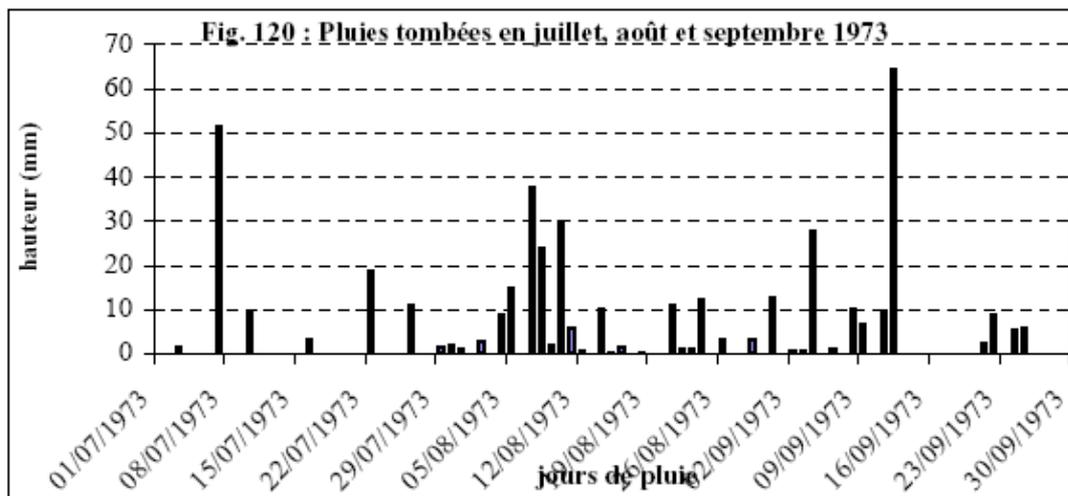
débats ruisselants plus élevés.

Ces approches n'ont jamais été appliquées à la ville de Bangui, au vu de nombreux projets d'assainissement sans réalisation, sinon peut-être partiellement à travers quelques ouvrages, primaires essentiellement, qui essaient d'évacuer les eaux de ruissellement. Ainsi, nous soutenons que l'insuffisance et la saturation des évacuateurs par les débits liquides et solides dans un espace qui n'est pas pavé, constituent un handicap pour la circulation de l'eau pluviale à Bangui. L'érosion des piémonts et des témoins de plateaux fournit le matériel hétérogène ferrugineux (nodules, graviers, sables et limons) qui se retrouve dans toutes les surfaces drainantes à l'échelle de la ville, même sur les routes bitumées, colmatant les fossés et caniveaux : ce phénomène est très actif à Bangui et fait penser, pour certaines gens, à une *avancée du désert* (sic !) dans cette zone tropicale humide puisque les sables et graviers s'obtiennent partout à cause du ruissellement pluvial ; car bien avant, dans les années 1960 et 1970, voire au début des années 1980, la plupart des surfaces qui participent aujourd'hui au ruissellement étaient couvertes de végétation herbacée avec des ligneux résiduels^{Note57}, ce qui limitait l'érosion. Parallèlement à ce processus sédimentaire, les ordures ménagères exhausent les talwegs et sont charriées par les eaux pluviales. Ceci amorce un cycle de pollution qui serait peut-être intense en saison pluvieuse à cause de la présence constante de l'eau à cette période de l'année. En outre, les surfaces imperméabilisées ci-dessus définies expliquent le dynamisme du processus de ruissellement, du transfert rapide des eaux des toitures (aires imperméables) par exemple à la naissance des crues, et concourent au phénomène inondant. Dans le souci de bien maîtriser les eaux pluviales à Bangui, nous suggérons la nécessité de créer une ou des ONG pour sensibiliser la population à une *action concertée pour la maîtrise du ruissellement et de l'assainissement*. Car si des ONG de protection de la nature, de lutte contre le SIDA et autres existent en Centrafrique, pourquoi une *dimension assainissement* ne sera-t-elle pas prise en compte ?

3.2.3.3. Les inondations des rivières urbaines de septembre 1973

Des inondations dues aux pluies du 12 au 13 septembre 1973 ont eu lieu dans la ville de Bangui (MOKODOPO, 1973). Selon le rapport écrit portant sur le sinistre, les activités menées à l'issue de la crise ont consisté à délimiter la zone atteinte, à évaluer le nombre de victimes et à dresser un bilan des dégâts subis pour connaître le nombre de cases détruites, des cases inondées non détruites, et l'effectif des sans abri. Les mesures d'urgence ont été d'évacuer les sinistrés, puis de s'occuper de leur alimentation, de les soigner, de prendre des mesures d'hygiène ; la fourniture d'eau potable, la distribution des médicaments antipaludiques et diverses vaccinations ont été assurées. Une requête d'assistance a été, en outre, adressée aux ONG et Ambassades. En effet, les pluies tombées au mois de septembre 1973 ont produit un total cumulé de 175,4 mm (Figure 120), réparti en treize événements d'inégales quantités, alors que 98,8 mm en juillet et 180,8 mm en août ont été enregistrés respectivement.

Figure 120 Pluies tombées en juillet, août et septembre 1973



La pluie qui a causé le sinistre a été de 64,4 mm (période de retour probable 1 an), du 12 au 13, et a été précédé la veille (11.09) d'une lame précipitée de 9,6 mm. Les pluies de juillet et août ont en fait imbibé d'eau le sol. Nous ignorons tout des intensités qui ont caractérisé ces précipitations. Dans le même temps, à la station de Bangui-ORSTOM, les pluies du sinistre n'ont été que de 16,7 mm (12.09), et un jour plus tôt, il y est tombé 8,1 mm (11.09) ; or aux mois de juillet et août, cette station a respectivement recueilli 80,5 mm et 161,4 mm, des lames précipitées bien inférieures à celles de Bangui-Mpoko. Cependant, le bilan a été lourd : 14 499 personnes ont été touchées, 2 905 se sont retrouvées sans abri, ce qui faisait 5,22 % de la population à l'époque pour un effectif total de 277 815 habitants ; il y eut 3 754 cases inondées dont 733 détruites. Les dommages aux cases ont été évalués à 187 700 000 FCFA, à raison de 32 900 FCFA la case (habitation), et pour le mobilier ; le coût total a été de 123 506 000 FCFA (corrélation étroite et bien naturelle).

Par la suite, nous avons tenté une spatialisation du sinistre en fonction de la liste des quartiers urbains concernés par l'inondation (Figure 121). Notre premier travail a consisté à dresser la liste des quartiers par arrondissement ; à l'époque il devait y avoir 3 ou 4 arrondissements à Bangui, mais le découpage n'est pas disponible si bien que nous avons utilisé l'actuel avec huit arrondissements. De ce fait, cinq arrondissements de la ville de Bangui auraient été concernés : il s'agit des 2^e, 3^e, 5^e, 6^e et 8^e arrondissements. L'essentiel des résultats que nous avons noté met en évidence *une corrélation étroite entre surfaces inondées et zones marécageuses et riveraines des cours d'eau*. Nous avons esquissé cette carte en fonction donc des quartiers figurant dans la liste et qui ont pu être localisés.

Figures 121 Spatialisations des inondations urbaines de septembre 1973

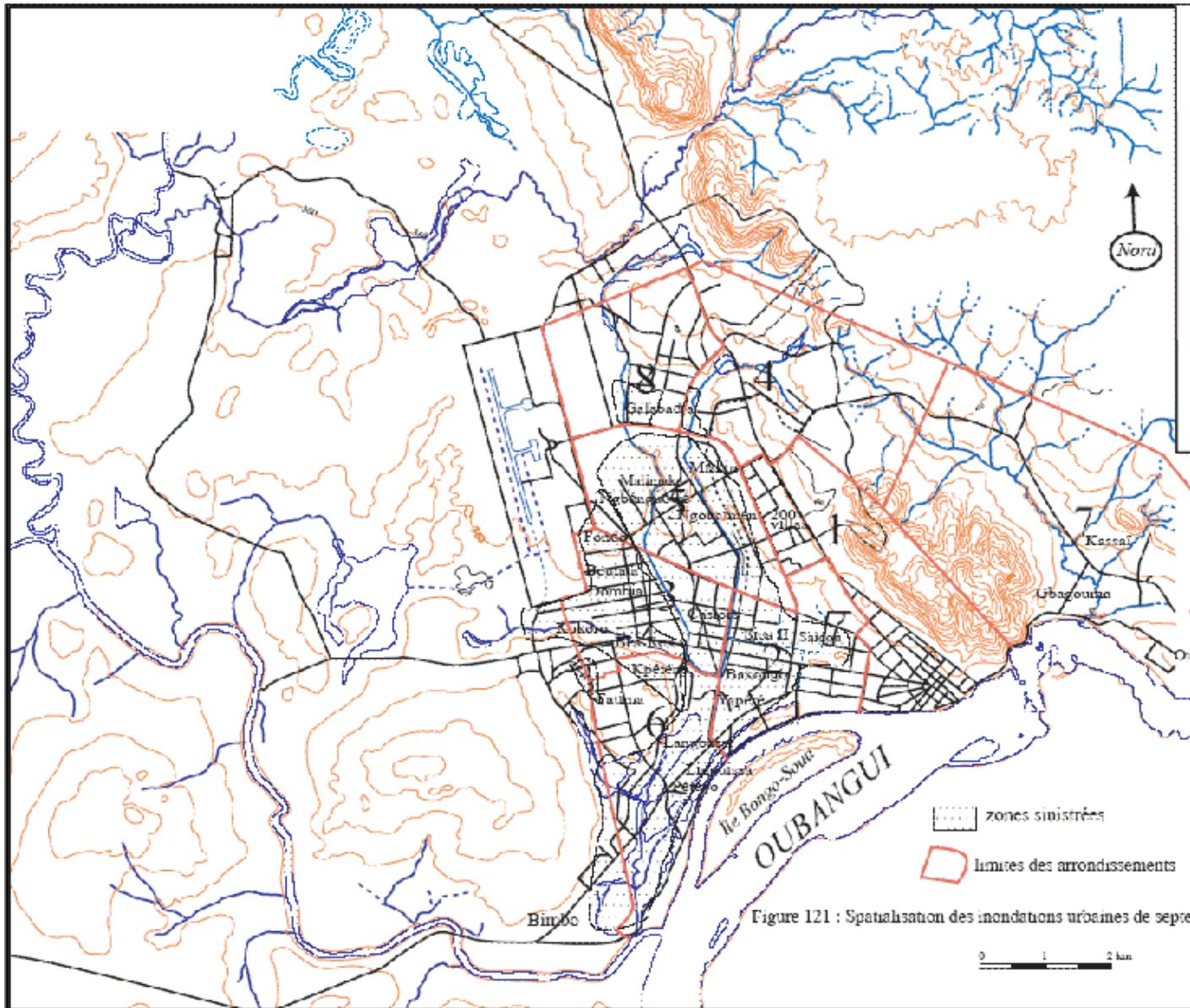


Figure 121 : Spatialisation des inondations urbaines de septembre 1973

En se fondant sur ces données spatialisées du sinistre de 1973, et à la lumière de l'expérience concernant la régularité des crues et des inondations urbaines, nous avons extrapolé ce phénomène inondant à Bangui en projetant/supposant des inondations urbaines en l'absence de l'entretien, de curage du réseau actuel de drainage (Figure 122), comme cela s'est maintes fois reproduit. Nous avons, par la suite, confronté le secteur inondé en 1973 qui pour nous est une référence aux quartiers de la plaine marécageuse que nous avons vus régulièrement inondés par les eaux de ruissellement durant toute la décennie 1990 et même récemment. *Ces informations nous ont permis en effet de proposer une extension de la zone qui peut être constamment soumise aux débordements des réseaux d'assainissement urbain et de cours d'eau par les eaux de ruissellement pluvial.* Dans cette perspective, nous voulons contribuer à montrer l'importance des aménagements liés à l'eau contre les effets néfastes du ruissellement urbain ; ceux-ci sont connus et vécus à Bangui à cause d'abord de l'absence d'entretien des réseaux existants et ensuite de l'insuffisance des réseaux d'assainissement. *Nous pensons que cette esquisse se cale bien sur la période des années 1980 et 1990 où une pluie même de faible intensité produisait une inondation, particulièrement dans des terrains argileux et hydromorphes.*

3.2.4. A propos de la prévention des inondations

La prévention demeure le meilleur remède contre des risques tels que les inondations dans une cité, en raison des dommages qu'elles peuvent causer aux personnes et à leurs biens. Nous pouvons admettre que l'idéal est d'avoir une *culture du risque* qui passe par son institutionnalisation et sa réglementation. En Centrafrique en général et à Bangui en particulier, la perception du risque paraît plus se résumer à la manifestation du phénomène d'inondation et à sa gestion en aval, ce qui suppose que le risque n'est pris en compte que quand la catastrophe arrive. Or en principe, le risque doit être perçu dans les probabilités de ses manifestations en amont, en prenant en compte les aléas offerts par le milieu physique (pluies, ruissellements, crues, inondations) et les vulnérabilités des espaces urbanisés (absence de réglementation, pression foncière...). L'observation de ces dispositifs n'est forcément pas synonyme de la non occurrence du phénomène d'inondation, mais elle contribuerait à rendre minimales les dommages, les atteintes aux sociétés. Nous savions que les hommes sont toujours attirés par les points ou la présence d'eau, ce qui pourrait démontrer leur exposition aux risques liés à l'eau, néanmoins la prévention en matière de risque crée un équilibre durable entre les hommes et leurs milieux.

Figure 122 Esquisse des inondations urbaines en l'absence de curage du réseau actuel de drainage

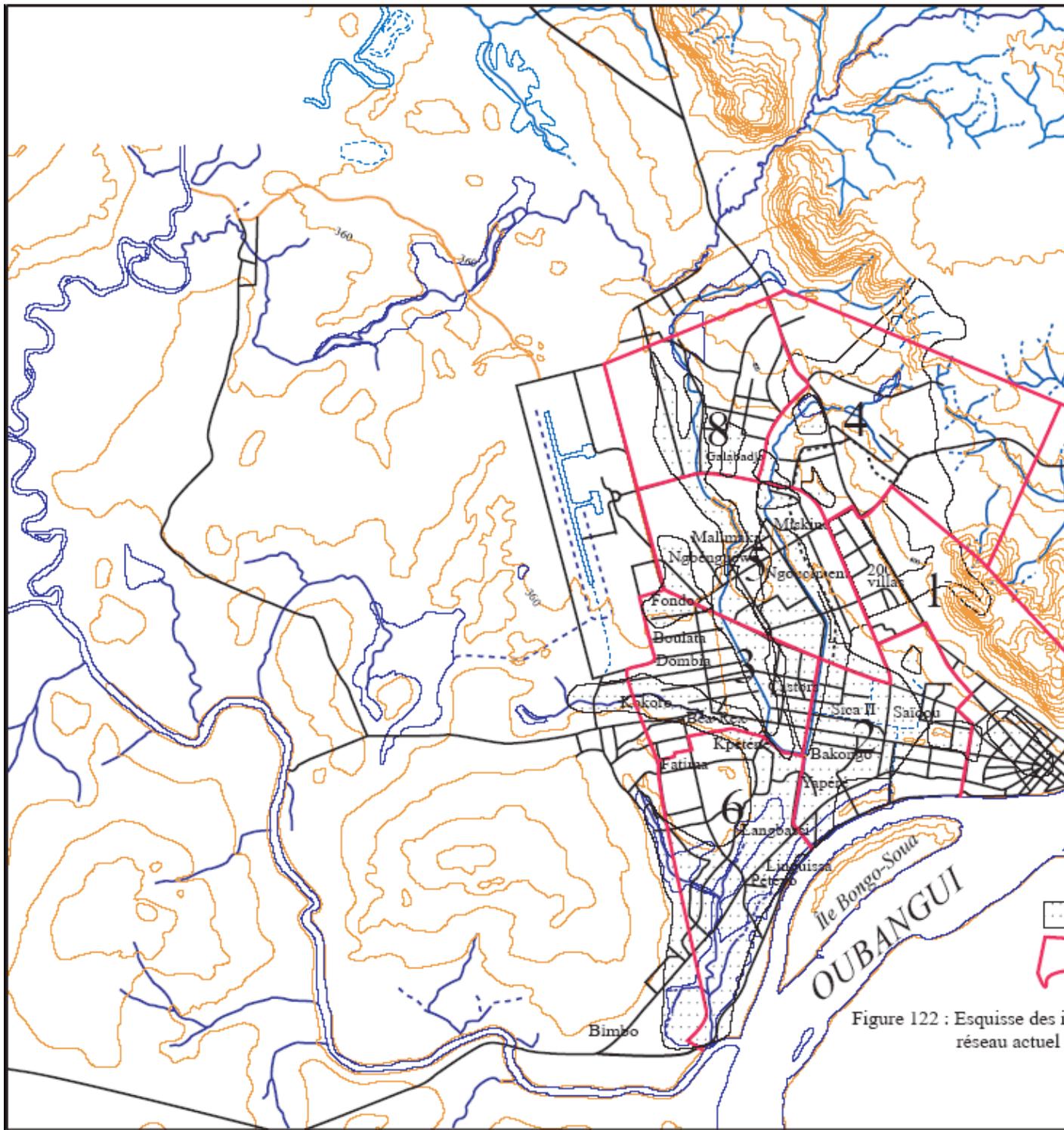


Figure 122 : Esquisse des r...
réseau actuel

GARRY (1997) propose l'analyse hydrogéomorphologique que nous pouvons utiliser dans la prévention du risque d'inondation. C'est une démarche naturaliste assez novatrice qui trouve aujourd'hui sa place dans la cartographie des zones inondables. Elle consiste à identifier les éléments déterminants du milieu naturel et de l'occupation des sols qui participent à l'écoulement des eaux, à distinguer les lits mineur, moyen et majeur pour les placer dans leur contexte géologique afin de mettre en évidence les zones favorables à l'expansion des crues.

Néanmoins, au vu de l'analyse des paramètres et des variables qui conditionnent la soumission du site urbain aux épisodes inondants, nous proposons quelques solutions pour la prévention des inondations aussi bien à

l'échelle urbaine que sur l'Oubangui.

1. A l'échelle urbaine :

- il faudrait en amont sur les versants des collines, plateaux et piémonts, construire des pièges à sédiments, des pièges à déchets ménagers et organiques ;
- il faudrait fortement sensibiliser la population et lui inculquer une *culture de l'hygiène* contre l'usage des drains, caniveaux, fossés, collecteurs, bref de lignes d'écoulement comme dépotoirs ;
- il faudrait densifier le réseau de drainage, augmenter la longueur des évacuateurs en construisant des ouvrages hydrauliques hiérarchisés : primaires, secondaires, tertiaires, voire quaternaires ;
- il faudrait enfin définir une périodicité pour l'entretien des ouvrages, le curage des fossés, afin de prévenir leur colmatage qui provoque la répétition des inondations urbaines, par le ruissellement pluvial.

1. Sur l'Oubangui :

- il faudrait principalement préserver l'occupation de l'ancien lit fluvial ou de la plaine inondable, qui est en partie marécageux aujourd'hui, par l'habitat et les activités humaines par une réglementation, afin de prévenir les sinistres et les dommages collatéraux.

4. DE NOUVELLES ORIENTATIONS POUR UNE BONNE GESTION DES EAUX

A l'heure actuelle, des orientations réglementaires et statutaires s'imposent comme cadre idéal pour une bonne gestion des ressources en eau. Dans ce souci, nous souhaitons que le législateur mette à la disposition des gestionnaires et décideurs des outils afin de réduire la pression des sociétés humaines sur le milieu naturel au travers de l'extension de la navigation fluviale, de la multiplication des équipements hydrauliques sur les cours d'eau (écluses, barrages...), de la production de l'énergie hydraulique et des prélèvements pour l'alimentation des zones urbaines ou industrielles en pleine croissance (CADOR, 1993). En France par exemple, cet auteur a souligné que les insuffisances de la loi de 1964 ont servi de prétexte pour préparer la loi sur l'eau de 1992. Des dispositions nouvelles y sont prises en matière de protection de la ressource sur les plans qualitatifs et quantitatifs. La gestion de l'eau à l'échelle de l'unité hydrologique élémentaire : *bassin hydrographique, système aquifère*, est renforcée avec la mise en place de « schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux » (SDAGE), qui nécessiteront des outils de programmation et de gestion. En Centrafrique par contre, aucune loi sur l'eau n'est d'actualité, même si quelques textes liminaires sont consacrés à la gestion des eaux. Nous pensons que certaines dispositions de la loi sur l'eau, énoncées par CADOR (1993), peuvent s'appliquer au Centrafrique et particulièrement à la région de Bangui, du fait que la densité du réseau hydrographique revêt d'énormes potentialités pour des aménagements hydrauliques multiformes. Cependant, un *Schéma directeur pour l'eau et l'assainissement* (SDEA) définit depuis l'an 2000 les grandes orientations de la politique de l'eau du pays.

4.1. Les dispositions du SDEA par rapport à une gestion intégrée des eaux

Selon ce document (DGH, 2000), le principe de base de la politique nationale de l'eau est une gestion intégrée des ressources en eau. Nous y notons que la gestion et la mise en valeur des ressources en eau doivent associer usagers, planificateurs et décideurs à tous les niveaux ; car une bonne gestion exige une approche globale, qui concilie développement socio-économique et protection des ressources naturelles, en intégrant l'utilisation du sol et de l'eau à l'échelle d'un bassin-versant ou d'un système aquifère. Nous voyons que ces principes se calquent bien sur les modèles formalisés dans la loi sur l'eau en France. Des transferts de compétence et de responsabilité y sont également prévus à différents niveaux : local, régional, national et international. La participation effective des populations à la gestion de l'eau et à l'entretien des infrastructures hydrauliques

suppose un transfert de compétences et de responsabilités, acquis par des programmes d'information, d'éducation et de communication et par la mise en place de structures de concertation décentralisées. Le rôle des différents partenaires (Etat, collectivités locales, secteur privé, usagers) sera statutairement défini, et des sessions de formation adaptées aux diverses responsabilités seront organisées aux échelles centrale et régionale (DGH, 2000). Or nous nous rendons compte jusque-là que la régionalisation et la décentralisation des pouvoirs, délicates dans cette perspective, ne sont pas opérationnelles en Centrafrique pour servir de support à cette gestion saine et concertée des eaux.

Nous constatons néanmoins, sur le plan juridique, que le futur *code de l'eau* définira le domaine hydraulique public, qui comporte les ressources en eau superficielle et souterraine ainsi que les aménagements et ouvrages hydrauliques installés dans ses limites. Il comprendra le droit d'usage et les droits coutumiers, et traitera de la délimitation des ressources en eau, de leur protection quantitative et qualitative, des nuisances et pollutions de divers domaines d'utilisation de l'eau, des infractions et sanctions.

4.2. A propos de quelques pistes novatrices concernant la gestion des eaux

Nous avons montré que la *réglementation de l'usage du sol* constitue *a priori* un élément indéniable dans la perspective de gestion durable des eaux (§ 1). De ce fait, nous estimons que l'urbanisation, qui devrait être une transformation planifiée et ordonnée d'un espace, ne peut se faire sans que, préalablement, des opérations d'envergure soient définies et programmées. Cela suppose qu'existe un cadre réglementaire et juridique sous la forme d'un *schéma directeur d'urbanisme* et de *plans de détails*. Or nous remarquons que les plans d'urbanisme de la ville de Bangui datent de 1970 et sont inadaptés aux structures actuelles (I §1 : p. 21). Voilà pourquoi la gestion des eaux nous semble plus aisée lorsqu'il existe des infrastructures ou lorsqu'elles sont prévues, d'où l'intérêt que présentent les schémas directeurs, les programmes d'aménagement proposant la rationalisation de l'occupation de l'espace. Mais nous pensons qu'il ne suffit pas d'avoir les plus beaux schémas d'aménagement..., il faudrait les moyens de les réaliser. C'est pour cela que la ville de Bangui, bien qu'elle ait un schéma directeur d'urbanisme obsolète (voir Documents annexes), n'est pas parvenue à réaliser par exemple tous ses plans ou programmes d'assainissement successivement proposés depuis plus de deux décennies : faute de financements une fois de plus, mais aussi d'une politique volontariste.

Nous avons retenu deux approches de la gestion des eaux, imbriquant des procédés divers qui peuvent se superposer, s'emboîter, voire se coupler dans le cas de la ville de Bangui. La première (LAGANIER *et al.*, 2000) concerne la gestion du risque d'inondation et des milieux humides qui nécessite de prendre en compte les dimensions historiques des informations spatialisées, pouvant expliquer les pratiques et les crises hydrologiques actuelles. En effet, connaître le passé de ces milieux humides et fragiles, ainsi que l'identité de ces territoires, permet de mettre en relief le facteur *temps* dans leur construction à l'interface du *naturel*, par les règles de fonctionnement de l'hydrosystème, et de l'*artificiel*, par le poids de l'anthropisation du milieu et des représentations sociales dans les pratiques d'aménagement. Par ailleurs, la constitution d'une base d'informations sur l'*aléainondation* s'articule sur des informations qualitatives comme les dates d'événements historiques majeurs, les représentations sociales de l'inondation ou des milieux humides, l'évolution de l'intégration du risque dans les pratiques d'aménagement et de la vulnérabilité, lesquelles servent à engager le débat sur la gestion du risque et à rappeler la permanence du danger en conférant un sens historique aux crises hydrologiques récentes. Ces données issues de la *géographie historique* contribuent à porter un regard critique sur la mise en place de la réglementation de l'occupation du sol qui cherche à exprimer les temps de crises hydrologiques et ceux de l'usage des sols.

Nous avons constaté que la démarche utilisée par ces auteurs s'est basée sur une étude diachronique de l'usage du sol (données cadastrales, photographies aériennes, images satellitales) et de l'analyse des facteurs d'explication par le dépouillement d'archives écrites précisant ainsi l'évolution des rapports entre la société et la contrainte hydrologique. L'inventaire diachronique, permettant une confrontation des paysages d'eau passés et actuels, nécessite un important travail de correction géométrique des documents informatifs, ce qui déboucherait sur la constitution d'un système d'information géographique (SIG) pour disposer de l'ensemble

des données dans un même référentiel géographique, dans un but comparatif. Nous avons appliqué en partie ces méthodes en étudiant les crues historiques de l'Oubangui à Bangui (NGUIMALET, 2003 a) et en esquissant un MNT pour la région de Bangui dans cette perspective de gestion de l'eau (voir §5). A défaut d'archives suffisantes sur les inondations de l'Oubangui à Bangui et sur leur gestion passée, nous avons plutôt déterminé et analysé les fréquences de ces crues indispensables pour la définition du *débit seuil* auquel une inondation est à prévoir (Annexes IV). Celui-ci nous permettra de prendre en compte le débit moyen journalier maximum, ou bien le débit maximum journalier s'il en existe, d'inondation du fleuve à Bangui dans la gestion de l'eau.

L'autre procédé présente l'intérêt des banques de données urbaines et des SIG pour une modélisation hydrologique (RODRIGUEZ et ANDRIEU, 2000), car il conviendrait mieux à un espace parfaitement maîtrisé, bien planifié et urbanisé. En effet, la transformation perpétuelle du milieu urbain rend nécessaire une bonne connaissance géographique et physique de la ville, un atout pour la modélisation hydrologique. En cela, le fonctionnement hydrologique des bassins-versants est perturbé dans le territoire urbanisé, d'où la nécessité de développer un SIG pour une meilleure appréhension des caractéristiques géométriques, morphométriques et humaines locales, utile dans le cadre d'une bonne gestion des contraintes dues à l'eau. Les variables à considérer sont la délimitation des bassins-versants, le calcul du coefficient d'imperméabilisation, la détermination des réponses hydrologiques impulsives des bassins urbains, la forme de la ville qui est liée à son histoire et au tracé des principaux axes de circulation au cours de l'histoire, la voirie, le découpage parcellaire, la topographie et le réseau de drainage (caniveaux et réseaux d'assainissement : voir chapitre I). Ainsi, la constitution d'une telle banque de données urbaines à partir de l'archivage des informations, spatiales et temporelles de la ville permettrait de diagnostiquer le « mal » hydrologique et de le pallier de façon durable. Au-delà, ces données urbaines peuvent être réactualisées au fur et à mesure que la ville connaît des changements de tous ordres.

Notre thèse en cours est en train de produire, de réactualiser et de synthétiser des données physiques (géologiques, pédologiques, géomorphologiques, climatologiques, hydrologiques, etc.) et humaines (démographiques, urbaines...) que nous couplerons ultérieurement avec le MNT en confection pour constituer le SIG de la ville de Bangui, pouvant supporter tous ses programmes de gestion durable de l'eau. Plus la ville croît spatialement, plus on aura besoin d'un réseau grand ou étendu pour la distribution de l'eau potable par exemple. Le problème se pose de manière identique pour la distribution de l'électricité, du réseau d'égouts, etc.

Dans une nouvelle perspective de gestion des eaux DOURLENS et VIDAL-NAQUET (1992) ont précisé qu'au début du 3^e millénaire les équipements d'eau potable seront consacrés à la « sécurité », et les trois mots assignant cette évolution sont : « quantité, qualité, sécurité ». Car la sécheresse relative de ces dernières décennies ainsi que la pollution des nappes souterraines ont réactualisé la question de la *sécurité* dans les pays développés notamment. Quant aux pays en voie de développement dont fait partie le Centrafrique, nous y observons le caractère récurrent de la question de la sécurité lorsque nous voyons la pollution de la nappe phréatique superficielle, aussi bien par les effluents de la filature de l'ex-UCATEX que par les eaux usées des latrines ; de plus, l'insuffisance du réseau d'adduction et sa vétusté représentent bien des raisons d'insécurité pour l'eau potable auxquelles les pouvoirs publics restent « insensibles » à Bangui. Ceci nous montre que la « conquête de l'eau » est bien loin de finir à Bangui, voire dans tout le pays. Or la *sécurité* se définit ici en termes de *seuil de protection*, de *niveau de risque acceptable*, de *surveillance et de contrôle de gestion* de risques potentiels.

4.3. Pour une bonne gestion de l'eau

Le concept de *gestion de l'eau* a beaucoup évolué de nos jours, car il implique la notion de *durabilité* dans la gestion et intègre des *préoccupations sociales et environnementales* aux critères traditionnels de performance technique et d'efficacité économique (GANOULIS, 2001). La *gestion de l'eau* est en cours de transformation pour s'adapter aux nouveaux changements socio-économiques qu'imposent les mutations des sociétés

actuelles. Cette discipline est cernée à plusieurs niveaux, notamment scientifique (sciences de l'eau et de la terre), technique (domaine de l'ingénierie), économique (prix et tarification des services de l'eau) et social (perception publique de l'eau et de son utilisation). Du fait d'une certaine unanimité sur les limites de la technique seule à même de résoudre la question de l'eau, sur l'importance de l'environnement et des retombées sociales des projets de gestion de l'eau, et sur les nouvelles techniques informatiques appliquées à la planification et à la gestion des ressources en eau (SIG par exemple), cet auteur montre que ces changements ont entraîné la prise en considération de la gestion des ressources en eau en tant que processus *technico-social* compliqué, où plusieurs disciplines doivent être simultanément associées.

L'approche traditionnelle de la gestion des ressources en eau met l'accent sur la satisfaction des besoins de l'homme notamment dans les pays développés, aussi bien sur le plan de la quantité que sur celui de la qualité de l'eau. Nous pensons qu'il est indéniable dans le cas de la ville de Bangui de passer par cette gestion traditionnelle des ressources en eau, car malgré l'abondance de la matière première de l'eau (Tableau XXXVII), les besoins en eau tant du point de vue quantitatif que qualitatif sont des buts à atteindre. Le SDEA a prévu en fait une amélioration de la quantité et de la qualité de l'eau potable, et d'importants prélèvements pour les besoins agricoles et industriels. Mais nous ne sommes même pas encore à un début de réalisation.

Quant à la protection contre les inondations, le principe était la rétention de la totalité du volume de la crue extrême loin de la zone à protéger ou l'évacuation rapide des flux d'eau le plus loin possible. Ainsi, de grands barrages sont construits pour écrêter les crues, des lits fluviaux sont corrigés soit en élargissant des sections, soit en modifiant les sinuosités pour augmenter la rapidité du flux... Nous préconisons pour la ville de Bangui que des *tranchées filtrantes* et des *puits d'infiltration* soient construits pour absorber une partie des eaux de ruissellement pluvial, notamment dans les secteurs de piémont et de témoins de plateaux latéritisés et cuirassés là où la nappe phréatique superficielle n'est pas proche de la surface topographique, afin d'éviter la saturation du sol par capillarité, pouvant elle-même accélérer le ruissellement pluvial. Ceci ne sera possible que quand l'occupation de l'espace sera rationnelle, ce qui suppose que *les quartiers à habitat spontané doivent disparaître*. Il nous semble aussi possible que des collecteurs primaires (fossés, tronçons de lits fluviaux aménagés...) soient revêtus, car ils ont l'avantage d'avoir une faible rugosité, du fait de leurs parois lisses, qui leur permet donc de produire de fortes vitesses d'écoulement ; celles-ci proviennent de la soudaineté de la concentration des eaux pluviales. Mais il faut les curer de temps en temps car les pluies de faibles intensités donnent lieu à un dépôt de sédiments fins, favorables à la recolonisation végétale puis au piégeage de sédiments, comme nous l'avons remarqué sur certains tronçons de collecteurs revêtus à Bangui (V §5 ; Fig. 81). Toutefois, en matière de *gestion du risque d'inondation*, TORTEROTOT et ROCHE (1990) préconisent des évaluations socio-économiques des dommages subis, lesquels présentent une grande diversité tant dans leur nature physique qu'économique, pouvant se résumer aux « impacts immédiats » qui sont :

- des pertes en vies humaines, des effets sur la santé ;
- des dommages matériels aux différents biens privés et publics, qui correspondent à des logiques économiques de réparation ; ils sont qualifiés de « directs » et sont dus à l'action physique de la submersion ;
- des pertes économiques faisant suite aux pertes de services et d'échanges, qualifiées d'impacts « indirects » ; localisés dans la zone submergée (impacts indirects primaires) ou à l'extérieur (impacts secondaires), ces impacts correspondent aux perturbations induites : arrêts d'activité, coupures de voies de communication, ruptures de circuits économiques,...

Nous constatons que la démarche proposée pour les évaluations socio-économiques des dommages causés par les inondations offre des éléments qui puissent être adaptés au cas de Bangui. Car les dommages causés par les inondations de 1973 et celles de 1999 par exemple n'ont pas connu ces degrés d'évaluation. Ces analyses succinctes offrent en réalité plusieurs modalités de gestion du phénomène inondation à court et moyen termes. Il en est de même de la synthèse présentée par COING et al. (1998). Nous avons retenu et proposé certains points communs aux problèmes de gestion de l'eau à Bangui tels que :

- la *législation sur l'eau*, point focal qui complètera le SDEA ;
- le *cadre juridique et réglementaire* qui passe par un schéma directeur d'urbanisme, devant considérer les évolutions actuelles et futures des points de vue spatial, structurel, démographique et prospectif ;
- la *définition des politiques régissant le secteur de l'AEP* en zone péri-urbaine ;
- le *rôle des collectivités locales* (nécessité de décentralisation + régionalisation des pouvoirs) ;
- la *révision de la politique d'habitat et d'urbanisation* visant à coloniser les bas-fonds marécageux ;
- la *question du risque d'inondation*, qui devra être revue, étant donné qu'une lecture des crues historiques de l'Oubangui et de quelques inondations urbaines peut nous permettre de jeter les bases d'une gestion durable ;
- il faudrait un système d'alerte ou de contrôle pour évaluer chaque année les besoins en eau de la population en saison sèche, afin d'apprécier les « effets » du climat sur l'eau (puits, robinet).

5. UN OUTIL APPLICABLE A LA GESTION DE L'EAU : LE MNT

Pour synthétiser nos suggestions et fournir un cadre de base à une bonne gestion de l'eau à Bangui, nous travaillons à un MNT (modèle numérique de terrain) pour nous aider à mettre en relief des secteurs vulnérables à l'eau (Figures 123). Car le MNT est fondamental à une rationalisation de l'occupation du sol dans ce contexte, et à une desserte de l'eau potable accessible à tous, puisque certains secteurs pentus du site urbain et de sa région ne semblent pas bien alimentés du fait de la faiblesse relative de la pression dans le réseau.

Le MNT nous aidera à disposer d'une représentation des altitudes relatives et absolues à partir des données topographiques. DEPRAETERE et MONIOD (1991) le définissent comme la représentation numérique de la surface topographique sous la forme d'une grille au maillage régulier où l'altitude est donnée en chaque nœud ou en chaque centre d'une maille élémentaire. Il peut aussi s'établir par interpolation en fonction des courbes de niveau et des cotes d'altitude numérisées à partir de carte (DEPRAETERE, 1990) ; c'est cette méthode que nous avons utilisée pour produire le MNT. Celui-ci, une fois constitué, nous autorise une analyse aisée et synoptique du relief de l'espace bangouais ainsi que de toute sa région. Car il commanderait la modélisation hydrologique dans sa diversité (cycle de l'eau, érosion des sols, évacuation des eaux pluviales et des polluants,...) pour un développement local voire régional, en raison des opportunités offertes par les pentes et les directions des flux potentiels dans cette perspective de gestion de l'eau. En effet, quand la pente est faible, l'espace est soumis à une concentration des eaux (de ruissellement), et quand la pente est forte, c'est l'érosion... avec une fourniture sédimentaire vers les bas-fonds ou secteurs à faible pente qui se constate. Dans cet esprit, les éléments du cycle urbain de l'eau que nous avons examinés dans ce travail, notamment dans les précédents paragraphes, peuvent se caler ou s'emboîter dans la série de solutions que nous fournisse le MNT. Par exemple les concentrations et la propagation des pollutions sont en relation avec la faiblesse ou l'accentuation de la pente, couplée avec l'occupation du sol et avec les activités humaines en zones urbanisées.

Nous réalisons le MNT à l'aide du logiciel ARCVIEW 3.2 à partir des données cartographiques, constituées par des courbes de niveau et des points cotés sur les cartes au 1 : 50000e de Bangui et sa région (IGN, 1988) ; l'équidistance est de 20 m.

Ce MNT nous a permis de mettre en évidence une *dépression* de type radial, voire semi-concentrique à concentrique (Figures 123). Cette dépression se trouve au NNE de la feuille topographique analysée et s'ouvre en direction du fleuve Oubangui par les cours d'eau Yadji, Ouoro, Ngadoula et Ngoungandja qui la drainent et qui déversent leurs eaux dans le fleuve. Ainsi, nous appelons cette dépression la *Dépression de la Yadji-Ouoro-Ngadoula-Ngoungandja*. Par la suite, nous avons calculé les superficies de chacun des bassins-versants de ces cours d'eau : la Yadji constitue le plus grand bassin avec son réseau qui fait 187 km² ; vient l'Ouoro qui a un réseau environ deux fois moins important que celui de la Yadji avec 105 km² ; la Ngadoula et la Ngoungandja possèdent des bassins-versants relativement petits de cette dépression dont les superficies respectives sont de 42 km² et 16,7 km². Le cumul de ces données nous donne, pour cette dépression, une superficie totale de 357 km².

Cette dépression, dont l'origine est encore mal connue, est délimitée à l'est par l'Oubangui, à l'ouest et au sud-ouest par le bassin-versant de la Yangana (comprenant principalement la Guéringou, la Ngoukomba et la Gbango en rive gauche, et la Bo en rive droite), au sud par le bassin-versant de la Likéma (57,74 km²). Au nord, la Dépression de la Yadj-Ouoro-Ngadoula-Ngoungandja s'arrête aux confins du bassin-versant de la Makassa, rivière qui se jette dans l'Oubangui vers le NE. Enfin au NO, le bassin de la Gbango, cours d'eau qui grossit la Yangana, la délimite. L'interfluve qui sépare le bassin-versant de la Yangana et cette dépression (...) présente des altitudes qui varient entre 500 et 625 m ; ce point le plus élevé (625 m) est fixé sur un filon de quartzites à l'ouest, où sourd un affluent de la Vouvourou, elle-même se jetant dans la Yadj.

Figure 123a)– Le modèle numérique de terrain (mnt) de Bangui et de sa région ;

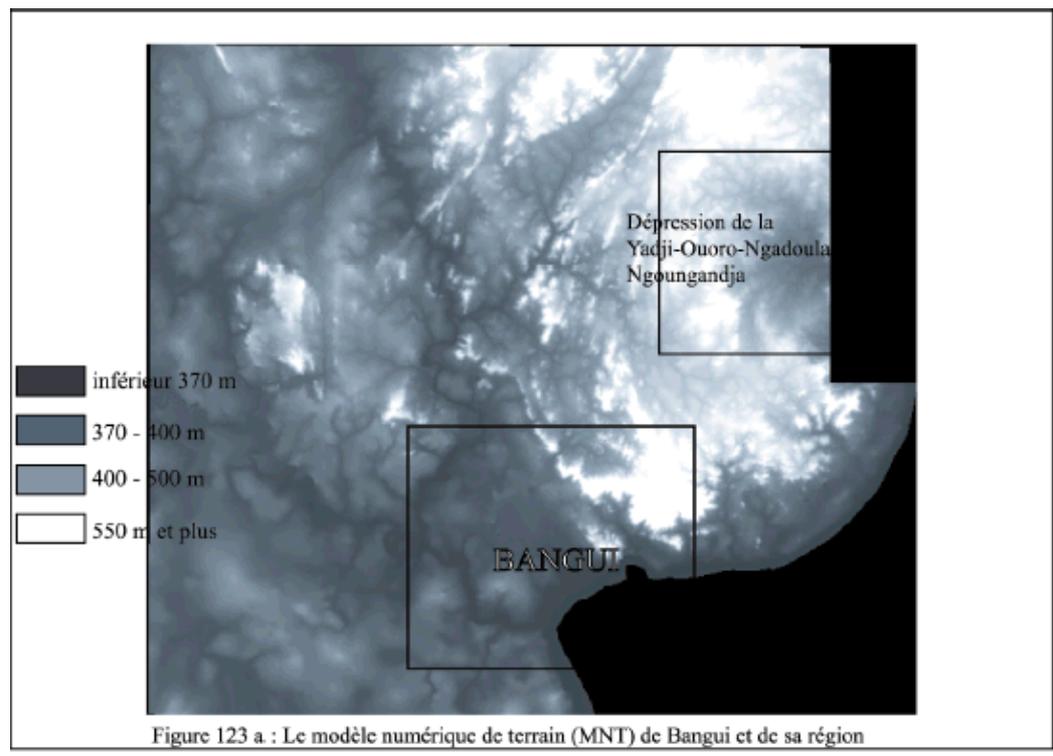
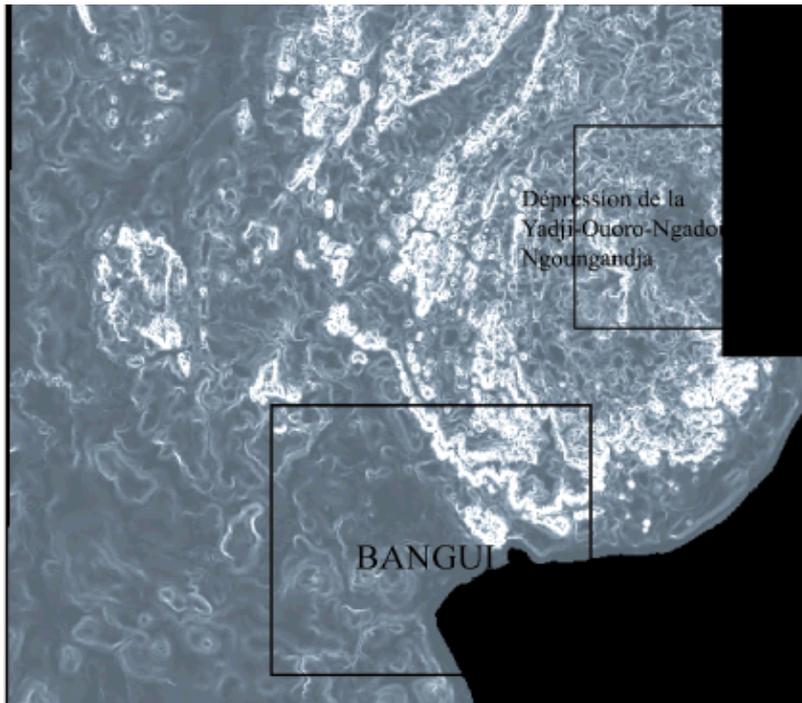


Figure 123b) L'organisation des pentes à Bangui et dans sa région



La Yangana et ses affluents la Ngoukomba et la Guérenbou ont contribué à disloquer, voire à entailler le Plateau témoignant de l'extension passée de la Surface centrafricaine des 600 m et plus dont les morceaux (reliques) subsistent d'ouest en est :

- le long de la faille et de l'escarpement ouest de Daouba-Kassai se prolongeant jusqu'au-delà du confluent Yangana-Mpoko ;
- entre les confluences Ngoukomba-Yangana et Guérenbou-Yangana, voire sur l'interfluve Ngoukomba-Guérenbou dans leurs cours amont et moyen ;
- sur les deux bordures du fossé tectonique où coule la Yangana de l'amont à l'aval aux confins de la Mpoko ; mais la vallée de la rivière Bo, un affluent de la Yangana en rive droite, a rompu la continuité de cette « surface » depuis sa source jusqu'à la confluence ;
- entre la rivière Bo et la Mpoko ;
- enfin, entre la Mpoko à l'est et la Mbali à l'ouest.

Figure 123 c) Le réseau hydrographique de Bangui et de sa région.

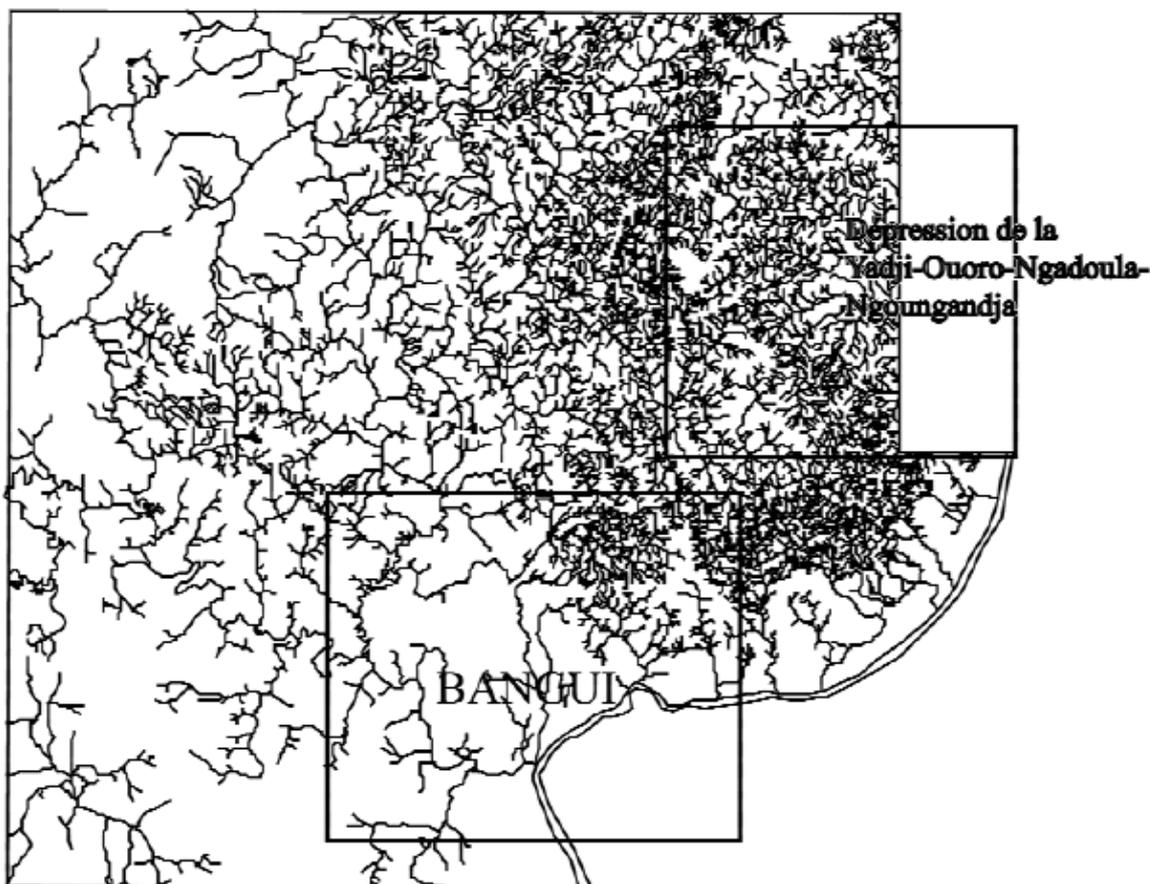


Figure 123 c : Le réseau hydrographique de Bangui et de sa région

Nous retenons dans cette étude que la maîtrise de l'usage du sol est le point focal d'une gestion saine des eaux en milieu urbain, pour prévoir et prévenir des risques potentiels dommageables. L'habitat, qui y est aussi intégré, est un *élément composite* induisant des infrastructures urbaines et impliquant une rationalisation de l'organisation de l'espace urbain dont peut profiter le drainage de l'eau. En effet, nous nous rendons compte que l'évacuation des eaux, la protection des ressources en eau (eaux superficielles et nappes souterraines) en milieu urbain tendent à améliorer le cadre de vie dans lequel l'habitat apparaît comme un baromètre, avec tout ce qu'il nécessite comme commodité. Toutefois, une gestion saine des eaux reposerait à l'heure actuelle sur une *loi sur l'eau* qui définirait les acteurs de ce secteur avec leurs responsabilités, dans un cadre beaucoup plus général auquel s'agrègerait la ville de Bangui. Ce système législatif et réglementaire manque au Centrafrique et à la ville de Bangui qui connaît donc d'énormes difficultés en terme de gestion des eaux. Néanmoins, nous pensons qu'une partie des solutions aux problèmes de la ville de Bangui serait le *drainage efficace des zones marécageuses* et/ou le *remblai avant construction*. Il faudrait ainsi un réseau soutenu de caniveaux et drains pour évacuer les eaux pluviales et protéger les nappes phréatiques par la construction des fosses sceptiques ou d'aisance qui garantissent l'étanchéité entre les eaux usées et les nappes phréatiques. Car nous estimons que la prolifération des moustiques à l'origine du paludisme est la conséquence de la multiplication des latrines, lesquelles leur servent de milieu de vie, de biotope.

Ce chapitre a également exposé et analysé les voies et moyens limités, voire aléatoires qui ont été utilisés dans l'espace et dans le temps en matière de gestion de l'eau, aussi bien dans les zones déprimées marécageuses que le long des cours d'eau à Bangui. Il a traité des crues et inondations et de l'eau potable, qui sont des variables de la gestion intégrée des eaux en milieu urbain. Nous avons étudié ces ressources et risques liés à l'eau en relation avec l'eau pluviale dont l'intensité ou le volume détermine le type de problème à résoudre. L'évolution de l'AEP et de l'assainissement qui en ressort nous a montré la somme des faiblesses en matière de gestion des eaux auxquels les pouvoirs publics n'ont guère apporté de solutions en raison d'une absence de

politique volontariste. Ces difficultés transparaissent dans l'insuffisance des aménagements, dans la non réglementation de l'usage du sol urbain et dans la pression foncière sur ces zones non-bâties, avec des problèmes récurrents de gestion de l'eau connus jadis à Bangui. Ainsi, le processus d'urbanisation véritable pourra être un catalyseur à une gestion intégrée des ressources en eau au vu de ce qu'il implique pour une « ville » comme Bangui.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette étude a analysé de manière détaillée les éléments de la gestion intégrée des eaux, en insistant particulièrement sur les inondations et le système d'eau potable à Bangui, à l'interface duquel est situé l'assainissement. En effet, cette branche de la gestion des eaux à elle seule peut constituer un bon indicateur pour la maîtrise de l'eau. L'évacuation des eaux usées (vannes, domestiques,...) et des eaux pluviales vise à sécuriser l'eau potable, en réduisant les risques de pollution, et à réduire le risque d'inondation. Ceci n'est pas simple car le caractère aléatoire du risque d'inondation dépend de la topographie, sans effet sur les crues de l'Oubangui.

Dans ce contexte d'une gestion saine des eaux en milieu urbain, l'*habitat moderne* doit en être le cœur en sa qualité d'essence même vitale des communautés humaines à Bangui comme partout ailleurs, en raison des actions à mener. Néanmoins, l'intérêt de la législation sur l'eau à l'heure actuelle, en définissant les acteurs et les responsabilités en matière de gestion des eaux, est aussi fondamental que complémentaire des schémas directeurs d'urbanisme (à renouveler) et pour l'eau et l'assainissement, afin de créer un cadre nouveau et le début d'une nouvelle ère pour la gestion intégrée des ressources en eau. Par ailleurs, l'étude de la gestion antérieure des eaux à Bangui dans une perspective historique nous a permis de mettre en relief les lacunes dans la gestion des inondations de l'Oubangui et des rivières urbaines. Nous avons même esquissé les extensions spatiales des phénomènes produits en 1973 et en 1999. Ces informations pourront peut-être servir de point de départ à une prise de conscience en matière de prévention des risques liés à l'eau. Il en est de même pour la disparité qui a toujours caractérisé la distribution de l'eau potable contre le gré des habitants de Bangui, soit qu'ils logent dans des quartiers lotis, équipés, soit qu'ils soient dans des quartiers dits « populaires », sans infrastructures. Ainsi, un nouveau contexte de gestion des eaux doit être créé à Bangui, prenant en compte tous les aspects développés. Le MNT que nous avons réalisé pourra nous donner une vue synoptique et spatiale des divers problèmes de gestion des eaux par les systèmes d'altitudes et de pentes auxquels les effets néfastes de l'eau puissent se noter dans la région Bangui.

CONCLUSION GENERALE

« Il est fondamental de connaître le cycle hydrologique pour gérer les ressources en eau et l'environnement aquatique. » **M. ACREMAN (in L'hydrologie des zones humides, 2000)**

Notre étude du cycle et de la gestion de l'eau à Bangui a permis de voir comment le paramètre « eau » imprègne le milieu, pour ensuite se poser en *contrainte*, notamment pour les hommes et leurs biens. Si la présence de l'homme dans le site a servi de référence au point de départ de l'étude (échelle historique), l'intérêt et l'approfondissement des connaissances imposent de remonter le temps dans le but de cerner les manifestations hydrologiques passées qui ont influencé la région. Cette démarche vise à comprendre comment les séries sédimentaires ont été piégées dans le fossé tectonique de Bangui ; les marécages s'y sont installés et par la suite la ville s'y est majoritairement développée, avec les problèmes d'aménagement et de gestion de l'eau qui se posent avec acuité : ruissellement et drainage pluvial, dégradation de la ressource en eau par pollution des eaux superficielles et souterraines, etc. C'est ainsi que nous avons appliqué l'approche hydrogéomorphologique au cycle et à la gestion de l'eau dans ce site pour préciser les *contraintes hydrologiques* en relation avec l'occupation du sol et l'espace urbain. Néanmoins, nous présentons une synthèse des enseignements tirés de ce travail en cinq points :

1. Historique du site de l'étude et caractéristiques du milieu physique par rapport à l'eau

Le suivi de la dynamique de la population et de l'espace où elle vit, et le suivi de la dynamique du sous-sol, constituent le fondement de cette étude du mouvement de l'eau et des spécificités de sa gestion liées à diverses vulnérabilités dans la ville de Bangui. L'objectif est de définir les facteurs qui peuvent influencer la distribution et l'organisation de l'eau pluviale, à l'origine de l'eau dans le site : l'occupation du sol et les caractéristiques hydrodynamiques des terrains. L'occupation humaine du site a été déterminée par différentes cultures (I §4.1 : p. 43), mais le début de l'impact humain sur les eaux du site n'a pas été précisé. Cet impact semble cependant très récent à l'échelle historique puisqu'il remonte à la fondation de la ville en 1889. En effet, la ville suscite l'essor démographique et spatial qui modifie les conditions d'écoulement dans le site par les différentes formes d'aménagement (réseaux hydrauliques, carrières d'extraction, nudité du sol, déforestation, etc.). Ces raisons expliquent l'*imperméabilisation du sol urbain* qui favorise plus le ruissellement et l'érosion que l'infiltration des lames d'eau précipitées. Ainsi, la circulation de l'eau tant en surface qu'en profondeur peut en être affectée.

Cependant, nous constatons que la dynamique de l'eau se présente en fonction des différentes unités topographiques et des formations géologiques du site. En surface par exemple, les eaux de ruissellement qui dévalent les versants des collines et plateaux ne trouvent pas la pente nécessaire à l'écoulement dans la plaine, car elle est localement faible. En outre, les réseaux d'évacuation sont insuffisants, exposant ainsi les habitations installées dans les bas-fonds marécageux au risque d'inondation. Ces zones marécageuses se sont formées dans un contexte paléoclimatique et géodynamique que nous ne maîtrisons pas ; leur présence et leur formation sont cependant tributaires des mouvements de l'eau en conditions naturelles. En revanche, l'eau semble bien circuler dans les unités hydrogéologiques fini-précambriennes (carbonatées et non carbonatées) à cause de la fracturation, des diaclases, des fissures et des failles.

2. De la diversité de l'eau : cycles et ressources

L'analyse de la diversité de l'eau à Bangui indique des potentialités de par l'abondance des pluies, mais elles ne sont pas bien réparties selon les saisons (pluvieuse et sèche). Ceci peut affecter l'alimentation en eau en saison sèche à cause de la faible quantité d'eau recueillie par rapport aux besoins.

La dynamique des eaux superficielles et des linéaires d'écoulement dans l'espace urbain de Bangui est étudiée en relation avec l'impact des eaux pluviales. Elle met en évidence un *contexte géomorphologique fragile* : collines aux pentes fortes, piémonts et versants des plateaux ayant des pentes variant de 4 à 2 %, voire plus localement, plaine aux pentes < 1 %. En effet, l'*eaupluviale*, en tombant sur un sol nu, tassé et imperméabilisé, engendre le ruissellement et l'érosion. Ce transfert de matières liquides et solides, du versant au lit fluvial, est mesuré aussi bien sur des parcelles expérimentales qu'à l'exutoire des bassins-versants urbains qui acheminent l'eau et le *sédiment* de l'amont à l'aval. Les résultats obtenus dans les deux types d'expérimentation montrent qu'environ 50 % en moyenne, quelquefois 98 %, de l'eau qui tombe s'écoule sur parcelles nues ; cela engendre une *réaction simultanée des bassins au ruissellement*. L'érodibilité des sols donne des pertes de l'ordre de 40 à 90 t.ha⁻¹.an⁻¹, avec des valeurs plus fortes sur sols nus que sur sols couverts, mais les données fournies par des parcelles ne traduisent qu'une image partielle des processus. Ces résultats sont déterminés par des paramètres tels que l'humidité préalable du sol, le volume et l'intensité des pluies, le taux de couverture du sol...

Aussi, le couplage *marais-rivières* dans l'optique de la compréhension de la dynamique globale de l'eau à l'échelle urbaine nous permet-il de rendre compte des potentialités de drainage (pente, exondation des terrains) de la ville. Le transfert de l'eau des versants vers ces milieux (après une averse) ne se faisait pas avec la brutalité et la rapidité que nous connaissons aujourd'hui du fait de la nudité du sol urbain ; ceci modifie la dynamique hydrologique des marais, soumise à l'alternance des pluies et de la sécheresse, et celle des rivières.

En saison pluvieuse, le niveau des marais augmente et les sols marécageux, hydromorphes, se comportent comme des « surfaces contributives » quand il pleut, tandis qu'en saison sèche les eaux tarissent et les sols sont désengorgés ; les maraîchers les exploitent, et les constructions d'habitations y poussent. Nous observons l'impact des eaux pluviales sur les zones marécageuses par l'infiltration qui recharge la nappe phréatique, laquelle à son tour les alimente (les marais), et par leur concentration par ruissellement vers ces dépressions du fait de leur position locale en cuvette.

Quant aux nappes phréatiques entrant dans ce cycle de l'eau (système hydrologique) à Bangui, les battements saisonniers de leurs niveaux suivent annuellement la variabilité des précipitations. Cela suppose que la recharge des deux nappes (superficielle et profonde) ne souffre pas de l'excès de ruissellement des eaux pluviales, ni de la compaction du sol urbain. Cette tendance se remarque très bien lors des pluies isolées en saison sèche qui influencent le niveau piézométrique des puits traditionnels. Les fluctuations du niveau de la nappe profonde mesurées sont tributaires de l'évolution saisonnière des pluies (Fig. 112 : p. 299), soumettant les deux nappes à la rythmicité des précipitations ; la nappe profonde est en outre alimentée par l'Oubangui au travers des calcaires qui tapissent son lit entre Bangui et Bobassa, suivant ce régime d'alimentation.

Ces eaux *pluviales, superficielles et souterraines* constituent donc des *ressources* en eau qui peuvent être destinées à la consommation. Malgré cette abondance de ressources, la ville n'alimente que 20 % environ de la population urbaine en eau parce qu'on ne traite pas davantage l'eau de l'Oubangui. Pourtant, les besoins croissent avec les dynamismes démographiques et spatiaux auxquels devraient faire face les pouvoirs publics. Ces motifs devraient servir de détonateur à une valorisation de ces ressources variées en eau, par la définition des programmes concrets de développement des ressources hydriques. Cette perspective ne devrait pas perdre de vue la question de la qualité de ces eaux puisque l'urbanisation tend à dégrader les ressources par diverses formes de pollution, d'où la nécessité de les protéger, de les sécuriser.

3. Les interrelations entre le mouvement de l'eau, l'occupation du sol et l'espace urbain

L'espace urbain présente des spécificités quant à la circulation de l'eau. Nous constatons ces transformations par l'extension des réseaux d'écoulement, en y incluant les réseaux anthropiques qui peuvent s'adapter ou non au nouveau contexte hydrologique en raison des types de transferts. Ces mouvements de l'eau pluviale montrent que l'habitat, développé sur les marges de liberté des lits fluviaux et des marécages, ne rend pas aisé le transfert de l'eau ; il rétroagit généralement par le phénomène d'inondation. Ainsi, les eaux et les sédiments acheminés se concentrent dans la zone basse, marécageuse, où l'évacuation se fait mal. L'examen des profils en long nous enseigne que les cours d'eau urbains ont des pentes plus élevées sur les collines et sur le piémont que dans la plaine (Fig. 78 a et b) ; ceci justifie la rapidité des crues et décrues, avec leur caractère soudain et brutal. En amont des bassins, les chenaux « naturels » sont denses, ce qui n'est pas le cas en aval. De plus, le ruissellement, quand il est concentré sur ces pentes fortes, emporte des sédiments qui se déposent dans les principaux cours d'eau collecteurs à la baisse de la compétence de leur énergie ; il concourt indirectement au risque d'inondation. Également, les riverains se servent de ces rares exutoires comme dépotoirs des déchets ménagers, qui contribuent à obstruer les chenaux.

En effet, les profils transversaux des rivières urbaines sont adaptés aux écoulements en contexte *naturel* où le ruissellement de surface ne trouve pas les mêmes conditions qu'actuellement, avec d'importants volumes et des pics de crue. *Cette artificialisation du système d'écoulement exagère la mauvaise circulation de l'eau*, en l'absence d'aménagements adéquats. Néanmoins, cette étude nous pose la question de l'imbrication des zones humides (rivières et marais) dans les transferts (concentration des eaux de ruissellement et déversement dans les cours d'eau). Les contraintes hydrologiques connues dans les bas-fonds ou le long des cours d'eau sont en relation avec les formes d'occupation du sol et avec le réseau de drainage inadapté. Cette combinaison des marais et des rivières implique les eaux souterraines qui les alimentent. Ces effets des eaux pluviales et de l'occupation du sol se montrent par la pollution de la nappe phréatique superficielle par infiltration et

exfiltration des eaux usées dont certaines proviennent de la surface du sol. En effet, la déficience des conditions d'hygiène à l'échelle de la ville, qui se note par les excréments des animaux et mêmes des humains dans certains secteurs ou aux abords des zones habitées, le rejet des eaux des toilettes sur les voies ou dans des fosses à ciel ouvert, ... offre des polluants variés aux eaux de ruissellement qui ne polluent pas seulement les eaux superficielles mais aussi la nappe phréatique (superficielle et profonde). Par exemple, l'infiltration des eaux usées de l'ex-usine UCATEX a pollué la nappe phréatique superficielle des quartiers nord de Bangui, et à cause de l'inclinaison nord-sud du bassin hydrogéologique de ce secteur, la pollution affecte cette nappe en direction de l'Oubangui au sud. La pollution de la nappe phréatique par les polluants d'origine humaine persiste encore aujourd'hui dix ans après l'arrêt du fonctionnement de l'usine. Ainsi, l'urbanisation induit diverses formes de pollution de la nappe phréatique de Bangui, lesquelles se réactualisent par la recharge due par l'infiltration des eaux. Néanmoins, l'hypothèse d'infiltration des eaux pluviales nous permet de relativiser « l'imperméabilisation du sol urbain », qui accroîtrait plus le ruissellement, dans le cas de Bangui. Car les polluants de surface d'origine humaine, atteignant la nappe profonde d'après les analyses récentes menées par la JICA, suggéreraient une infiltration probable des eaux pluviales jusqu'à la nappe du socle.

4. L'emprise de l'eau et les difficultés des aménagements liés à l'eau du site

Dans ce travail, nous avons voulu contribuer à mettre en évidence la persistance des problèmes liés à l'eau et la gestion des *contraintes hydrologiques* (pluies exceptionnelles, ruissellement, inondations, ...) dans le temps et dans l'espace, depuis que la ville a existé il n'y a guère plus d'un siècle. Cette démarche se veut une *géographie historique* des effets néfastes de l'eau pour peut-être intéresser les pouvoirs publics à agir afin d'améliorer le cadre de vie urbain. De ce fait, l'évolution historique des crues, de l'AEP et de l'assainissement a révélé la somme des faiblesses en matière de gestion des eaux.

Notre analyse détaillée de la gestion des eaux a particulièrement insisté sur les inondations et les systèmes d'eau potable à Bangui, dont l'interface revient à l'*assainissement*. En effet, cette branche de la gestion des eaux à elle seule constitue un bon indicateur pour la maîtrise de l'eau et pour maîtriser d'autres effets néfastes (pollutions, ...). Car l'évacuation séparée des eaux usées (eaux vannes, domestiques, ...) et des eaux pluviales sécuriserait l'eau potable et réduirait le risque d'inondation. De nos analyses, la gestion des inondations paraît encore « artisanale », d'autant que les pluies génératrices sont rarement de très forte intensité, à l'exception des événements enregistrés dans l'Oubangui, dont l'importance dépend des précipitations sur toute l'étendue de son bassin-versant. Toutefois, les crues et les inondations constituent une partie des manifestations du *cycle urbain de l'eau*, et s'imposent comme des éléments majeurs dans la gestion intégrée des eaux, des territoires et de leurs aménagements. Ainsi, nous estimons qu'une gestion efficace des eaux devrait aussi concerner des *événements extrêmes* (crues et *étiages*), car la pénurie (étiages) ou l'existence de l'eau potable (crues exceptionnelles) en *milieu urbain* ou rural en résultent. Dans ce contexte, *l'usage rationnel du sol*, l'habitat et la législation sur l'eau devraient compléter les schémas directeurs d'urbanisme et de gestion de l'eau et de l'assainissement, pour créer un cadre nouveau et le début d'une nouvelle ère pour la gestion intégrée des ressources en eau.

Par ailleurs, notre contribution dans une perspective historique, par l'étude de la gestion antérieure des eaux à Bangui et des fréquences de crues passées de l'Oubangui de 1911 à 1999, devient une piste dans ce processus global en l'absence des archives sur les crues « historiques ». Par exemple, le débit moyen journalier maximum de 12 088 m³.s⁻¹ en octobre novembre 1999, la dernière inondation de l'Oubangui, représente une période moyenne de retour de 10 ans sur la période 1911-1999, et de 50 ans sur la période 1970-1999. De même, nous avons pu étudier et spatialiser les inondations urbaines de septembre 1973 grâce aux archives. Ces démarches pourront peut-être servir de point de départ à une prise de conscience en matière de prévention des risques liés à l'eau. La question de l'AEP met en relief une disparité dans la distribution de l'eau potable, en raison de la différence d'équipements entre les quartiers lotis, équipés, et les quartiers périphériques, sans infrastructures. C'est ainsi que les quartiers périphériques ont plus contribué à polluer les eaux souterraines

par la multitude de fosses d'aisance.

5. De l'étude sédimentologique des zones marécageuses du Sud-Ouest

Les zones marécageuses sont des *espaces humides* à cause de l'abondance des pluies qui les entretient et de leur géomorphologie, car une aridification climatique de Bangui figerait la morphologie de ces dépressions. Est aussi à discuter dans ce contexte l'influence passée et actuelle de l'eau sur l'existence des zones marécageuses de Bangui à plusieurs échelles : de la mise en place de leur « substrat » à leur naissance, en passant par leur « évolution humaine » de nos jours. Le remplissage du fossé de Bangui a commencé avec des matériaux grossiers et de la matrice argileuse, alternant avec des dépôts fins, et s'est accompagné de l'altération latéritique qui a marqué ces séries sédimentaires. La formation de l'argile dans les premières strates des dépôts d'une certaine puissance incarnerait la genèse de ces dépressions à Bangui. L'analyse granulométrique des sables de ces bas-fonds montre une tendance aux écoulements alternativement brutaux et lents, révélant une variété de modes de sédimentation et de transport avec des matériaux fins et grossiers emballés dans une matrice argileuse qui s'intercalent. Ces sables, bien que globalement fins, s'amenuisent de l'amont à l'aval, avec une diminution du grain moyen (MD), et paraissent mieux classés (indices $Qdphi$ et SO).

Nous insistons particulièrement sur l'« *évolution humaine* » *actuelle des zones marécageuses* qui considère la présence humaine et son impact sur la circulation de l'eau dans ces milieux façonnés comme un processus d'*urbanisation anarchique et accélérée*. En effet, la question du drainage des eaux à Bangui de l'époque coloniale à nos jours se pose encore, même pour les eaux d'inondation de l'Oubangui depuis le siècle dernier ; elle est encore persistante probablement en raison de la géomorphologie de la plaine (avec des étendues marécageuses et une faiblesse locale de la pente) et de l'abondance des précipitations. La colonisation de ces bas-fonds a été et s'est faite en relation avec leur degré de fonctionnalité. Bien que ces milieux humides soient aujourd'hui colonisés ou aménagés, ils participent aux processus de transfert de matières à l'échelle urbaine de par l'hydromorphie potentielle de leurs sols, toujours fonctionnelle à des degrés divers quand il pleut abondamment. En cela, le manque chronique de politique volontariste des administrations de tous temps (coloniale et post-coloniale) pour résoudre ce problème démontre son actualité. La confirmation se traduit par la colonisation des bas-fonds encore fonctionnels, ou par l'habitat sans que l'administration actuelle s'en inquiète. Ainsi, l'évolution passée et actuelle des zones marécageuses est toujours déterminée par l'abondance de l'eau dans le site de Bangui.

* *

*

Ce travail, dont l'objectif de départ était l'analyse des données brutes du ruissellement et de l'érosion, mesurées sur le bassin-versant de la Ngoubagara, puis de l'étude de l'eau à Bangui, a finalement pris en compte les écoulements (de la transformation de la pluie aux écoulements superficiels et souterrains) à l'interface des bassins-versants hydrographiques et hydrologiques artificiels de la région de Bangui. Il constitue donc une imbrication de données variées sur la morphodynamique de l'eau, à des échelles spatiales et temporelles emboîtées, selon les différentes phases du cycle de l'eau, à l'interface du milieu naturel et du milieu urbanisé (artificiel). Son originalité est qu'il a analysé, à la fois, les phénomènes et contraintes hydrologiques à la limite du naturel et de l'artificiel. D'après la chronologie reconstituée des événements hydrologiques, ressort une synthèse des facteurs de vulnérabilité physique du site de Bangui et de vulnérabilité liés à l'occupation du sol. Cette tendance fournit de la matière aux perspectives d'une gestion intégrée et durable des eaux dans l'optique de réduire, voire d'éradiquer peut-être les contraintes hydrologiques jusque-là connues par la population.

La superposition et le brassage de diverses données humaines et physiques du site de Bangui, dont le *pont* est réalisé par l'*eau* (particulièrement pluviale à l'origine), constituent le point fort de l'étude, contribuant à la connaissance détaillée du cadre physique de Bangui en plus de ce qui est déjà fait en pédologie, phytogéographie, géologie, topographie, géophysique... Néanmoins, en raison de la spécificité de chacun des domaines scientifiques qui ont influencé le découpage et de l'orientation de l'analyse de la morphodynamique de l'eau, ce travail pourra être complété ou valorisé par :

- des recherches en hydrologie urbaine ;
- la transformation des données humaines et physiques acquises durant l'étude en SIG, ce qui aura un intérêt essentiel en termes de gestion de l'eau ;
- la réalisation d'un atlas commenté de la région de Bangui ; ce travail pluridisciplinaire aura pour objectif de centraliser et de corriger les données variées disparates et lacunaires sur la ville (population,...) ;
- des recherches pour déterminer des polluants de surface, à l'échelle saisonnière (pluvieuse et sèche), qui atteignent les nappes par infiltration et exfiltration, et si possible de détecter le mode de cette alimentation de la nappe ;
- l'analyse des eaux de puits pollués par les eaux usées de l'ex-usine UCATEX ;
- la constitution d'un plan d'assainissement véritable, peut-être à l'origine de la création d'un réseau de séparation des eaux usées par analyse isotopique ;
- l'étude du bilan de la recharge de la nappe à Bangui ;
- des études de profils longitudinaux des cours d'eau collecteurs sur les tronçons aussi bien naturels qu'urbanisés, envisageables dans une perspective d'assainissement ;
- l'établissement d'un modèle d'écoulement en milieu urbain qui pourrait s'adapter aux réalités actuelles de la ville de Bangui.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abdoulaye B.** (1996) – L'alimentation en eau de la population du quartier Combattant à Bangui. *Mém. Maîtrise, Géographie, Fac. Lettres & Sci. Hum., Univ. Bangui (RCA)*, 113 p.
2. **Acreman M.** (2000) – L'hydrologie des zones humides. *Conservation des zones humides méditerranéennes, MedWet*, **10**, Skinner J. et Crivelli A. J. (eds), Arles (France), 110 p.
3. **Afonso A.-S., Relvão A.-M.** (1990) – La gestion de l'eau dans la région Centre du Portugal. Problèmes qui se posent aux petites municipalités. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 3-8.
4. **Alvarez Ph.** (1992) – Répartition de la sédimentation dans le golfe Protérozoïque supérieur du Schisto-calcaire au Congo et au Gabon. Implications en Afrique centrale. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, **96**, 281-297.
5. **Alvarez Ph.** (1993) – Un modèle de lagune d'âge Protérozoïque supérieur : le Schisto-calcaire du Congo. *Journ. Afr. Earth Sci.*, **17**, 1, 75-87.
6. **Alvarez Ph.** (1995) – Evidence for a Neoproterozoic carbonate ramp on the northern edge of the Central African craton : relations with Late Proterozoic intracratonic troughs. *Geol. Rundsch.*, **84**, 636-648.
7. **Alvarez Ph.** (2000) – La transition Précambrien-Cambrien en Afrique centrale. Approche intégrée : paléo-environnements et données paléontologiques. *Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Univ. Poitiers (France), Fac. Sci. Fondamentales & Appliquées*, 333 p.
8. **Ambroise B.** (1999) – La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin-versant. Processus, facteurs, modèles. *Editions H* G* A**, Bucarest (Roumanie), 2ème édition, 200 p.
9. **Babau M. C.** (1986) – Etude succincte sur l'intensité des pluies de courte durée à Bangui. *Document de travail, Direction de la Météorologie / OMM*, Bangui (RCA), 14 p. (avec annexes). Inédit.
10. **Barnaud G.** (1998) – Conservation des zones humides. Concepts et méthodes appliqués à leur caractérisation. *Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN)*, Paris, 451 p.

11. **Beaufort (de) F., Maurin H.** (1988) – Le secrétariat de la faune et de la flore et l’inventaire du patrimoine naturel. *Programmes d’inventaires, réseau faune-flore et publications. Ministère de l’Environnement (DNP), MNHN-SFF, Paris, 214 p.*
12. **Beaufort (de) F., Maurin H.** (1988) – Le secrétariat de la faune et de la flore et l’inventaire du patrimoine naturel. Objectifs, méthodes et fonctionnement. *Ministère de l’Environnement (DNP), MNHN-SFF, Paris, 122 p.*
13. **Bechler-Carmaux N.** (1998) – Les risques liés à l’eau dans une Capitale sahélienne. Pénurie et excès d’eau à Niamey (Niger). *Thèse doctorat, Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 282 p.*
14. **Bernard C.** (1992) – La mesure de l’érosion hydrique en parcelles, une image partielle de la réalité ? *agrosol, V (2), 63-68.*
15. **Bernier J.** (1998) – Risque et décisions en gestion de l’eau. Essai d’analyse de la rationalité du dialogue entre hydrologue et gestionnaire. *Rev. Sci. Eau, 11 (1), Tribune libre, 3-15.*
16. **Besses (de) M., Ouayo A. B.** (1966) – Sable pour verrerie. Compte rendu des recherches effectuées dans la Ville de Bangui en juillet et décembre. *Archives DGM-RCA, 3 p.* Inédit.
17. **Bessoles B., Trompette R.** (1980) – Géologie de l’Afrique : la chaîne panafricaine « zone mobile d’Afrique centrale (partie sud) et zone mobile soudanaise ». *Mém. Bur. Géol. Min., 92, 397 p., 1 tabl.* Hors-texte.
18. **Blanpain O., Karnib A., Al-Haddjar J., Boissier D.** (1998) – Une approche pour la comparaison, du point de vue fonctionnement hydraulique, de propositions d’extension d’un réseau d’assainissement. *Rev. Sci. Eau, 11 (2), 241-254.*
19. **Boulvert Y.** (1976) – Carte pédologique de la République centrafricaine. Feuille de Bangui à 1 : 200 000e. *Ed. ORSTOM, Coll. Notice Explicative, 64, Paris, 116 p. + bibliographie.*
20. **Boulvert Y.** (1984) – A l’occasion d’un centenaire : la première exploration de l’Oubangui jusqu’aux Rapides de Bangui - Zongo par le Pasteur G. Greenfell. *ORSTOM, Bangui (RCA), 26 p.* multigr. Inédit.
21. **Boulvert Y.** (1985) – Le problème de l’Oubangui - Ouéllé, comment fut exploré et constitué un réseau hydrographique à la fin du XIXe siècle. *Cah. ORSTOM, Sér. Sci. Hum., XXI (4), 389-411.*
22. **Boulvert Y.** (1986 a) – Exploration, création d’un pays nouveau, découverte scientifique : le cas du Centrafrique de 1880 à 1914. In : *Milieux et Paysages. Recherches en géographie.* Chatelin Y. et Riou G. (eds), 89-104, Masson, Paris.
23. **Boulvert Y.** (1986 b) – Quelques réflexions à l’occasion de la publication d’un article sur la ville de Bangui. *ORSTOM, Bangui, 10 p.* multigr.
24. **Boulvert Y.** (1986 c) – Carte phytogéographique de la République centrafricaine à 1 : 1000000e. *ORSTOM éd., Coll. Notice Explicative, 104, Paris, 131 p.*
25. **Boulvert Y.** (1987) - Carte oro-hydrographique de la République centrafricaine à 1 : 1000 000e. *ORSTOM éd., Coll. Notice explicative, 106, Paris, 128 p.*
26. **Boulvert Y., Salomon J.-N.** (1988)- Sur l’existence de paléo-crypto-karsts dans le bassin de l’Oubangui (République Centrafricaine). *Karstologia, 11-12, 37-48.*
27. **Boulvert Y.** (1989 a) – Bangui 1889-1989 : Atlas. *ORSTOM, IGN-France, Paris, 20 planches.*
28. **Boulvert Y.** (1989 b) – Bangui 1889-1989. Points de vue et témoignages. *SEPIA, Saint-Maur (France), 311 p.*
29. **Boulvert Y.** (1996 a) – Le dernier grand blanc de la carte de l’Afrique : premières approches de l’Oubangui-Chari ou Centrafrique à la fin du XIXe siècle. In : *Terre à découvrir, Terres à parcourir.* Lecoq D. (ed.), 298-313, Paris.
30. **Boulvert Y.** (1996 b) – Etude géomorphologique de la République centrafricaine. Carte à 1 : 1000000e en deux feuilles (Ouest et Est). *ORSTOM éd., Coll. Notice Explicative, 110, Paris, 258 p.*
31. **Boulvert Y.** (2002) – Le Centrafrique au seuil du troisième millénaire. Essai synthétique de géographie physique, économique et humaine. Bilan. *Rev. La Géographie, Acta Geographica, 1506 (131), Paris, 46-68.*
32. **Bouvier C.** (1990) – Analyse et modélisation des écoulements en milieu urbain africain. *Editions ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Paris.*
33. **Brabant P.** (1992) – La dégradation des terres en Afrique. In : *Afrique Contemporaine,*

- l'environnement en Afrique. Pontié G. et Gaud M. (eds), Documentation française, Paris, janvier-mars 1992, 161, 90-108.*
34. **Bravard J.-P.** (1994) – L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles. *Rev. Géogr. Lyon*, 69, 5-10.
 35. **Bravard J.-P., Petit F.** (1997) – Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial. *A. Colin, Coll. U*, Paris, 222 p.
 36. **Brgm** (1963) – Recherches de matériaux destinés à la construction de l'Aéroport de Bangui Mpoko. Inédit, 44 p., 1pl. *Arch. DGM-RCA*.
 37. **Brinson M. M.** (1993) – A hydrogeomorphic classification for wetlands. USACE, Waterways Experiment Station Technical Report WRP-DE-4, 79 p. + Annexes.
 38. **Bruel G.** (1902) – Note sur la météorologie du Haut-Chari. *Mémoires, Société Météorologique de France, 50e Année*, avril 1902, 69-77.
 39. **Bruneau J.-C., Nakatanda M.** (1991) – Les problèmes liés à la maîtrise de l'eau dans l'espace péri-urbain de Kinshasa (ex-Zaïre). Une première approche. In : *Eau et Aménagement dans les régions intertropicales*, Tome 2, *Espaces Tropicaux*, 3, Talence, CEGET-CNRS, 175-189.
 40. **Brunelle A.** (1972 a) – Calcaire de Fatima. Evaluation préliminaire des réserves. Inédit, 15 p. *Arch. DGM RCA*. 6 pl.
 41. **Brunelle A.** (1972 b) - Etude des structures du gisement calcaire de Fatima Inédit, 4 p. *Arch. DGM RCA*.
 42. **Brunelle A.** (1973) - CAF11 calcaire de Fatima. Projet de rapport final par le Directeur du Projet. Inédit, 34 p., *Arch. DGM RCA*.
 43. **Cabot J.** (1965) – Le bassin du moyen Logone. *Thèse doctorat, Université de Paris*, 348 p.
 44. **Cador J.-M.** (1993) – La gestion des eaux, nouvelles perspectives. Exemple d'une méthodologie. In : *Géographie Physique et Environnement*, 1, 9-17.
 45. **Callede J.** (1969) – Premiers résultats des mesures effectuées à la station bioclimatologique de Bangui. Période 1964-1968. *Centre ORSTOM de Bangui (RCA)*, 39 p.
 46. **Callede J.** (1970) – Note sur une averse d'intensité exceptionnelle observée à la station bioclimatologique de l'Orstom à Bangui. *Centre ORSTOM de Bangui (RCA)*, 6 p. multigr. Inédit.
 47. **Callede J., Arquisou G.** (1972) – Données climatologiques recueillies à la station bioclimatologique de Bangui pendant la période 1963-1971. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, IX (4), 26 p.
 48. **Callède J., Boulvert Y., Thiébaux J.-P.** (1992) – Le bassin de l'Oubangui. *Coll. Monographies Hydrologiques, ORSTOM*, Paris.
 49. **Canali A., Ciampa F., Perrone Capano C.** (1990) – La gestion des eaux pluviales. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 19-29.
 50. **Cantournet J.** (1984) – Note sur les origines et la création de Bangui. Paris, 12 p. Inédit.
 51. **Cantournet J.** (1986) – Points de vue nouveaux. Notes sur les origines et la fondation de Bangui. *Rev. Franç. Hist. Outre-mer*, t. LXXIII (272), 347-357.
 52. **Cantournet J.** (1989) – Bangui a cent ans. In : *Mondes et Cultures, Acad. Sci. Outre-Mer*, XLIX (2-3-4), 568-572, Paris.
 53. **Cassenave G., Valentin G.** (1992) – A runoff capability classification system bases on surface features criteria in semi-arid area of West Africa. *Journal of Hydrology*, 130, 213-249, Elsevier Science Publishers.
 54. **Castany G.** (1998) – Hydrogéologie. Principes et méthodes. *Dunod, 2e cycle*, Paris, 236 p.
 55. **Censier C.** (1991) – Dynamique sédimentaire d'un système fluvial diamantifère mésozoïque : la Formation de Carnot (République centrafricaine). *Doc. BRGM*, 205, 568 p., 1 carte h.t.
 56. **Censier C., Olivry J.-C.** (1993) – Distribution de la granulométrie et de la minéralogie de la charge de fond sableuse du bassin de l'Oubangui (République centrafricaine et République du Congo) : implications sur l'origine et la dynamique sédimentaire des alluvions de l'Oubangui. In : *Grands bassins fluviaux périalantiques : Congo, Niger, Amazone*. OLIVRY J.-C. et BOULEGUE J. (eds), 159-169, *Coll. Colloques & Séminaires, Orstom*, Paris.
 57. **Censier C., Olivry J.-C., Briquet J.-P.** (1993) – Les apports détritiques terrigènes dans la Cuvette lacustre du Niger entre Mopti et Kona (République du Mali). In : *Grands bassins fluviaux*

- périatlantiques : Congo, Niger, Amazone*. OLIVRY J.-C. et BOULEGUE J. (eds), 305-315, *Coll. Colloques & Séminaires*, Orstom, Paris.
58. **Chaire en hydrologie statistique** (2002) – HYFRAN, logiciel pour l'analyse fréquentielle en hydrologie, version 1.1. *INRS-ETE, Université du Québec*.
 59. **Chatelin Y.** (1986) – Interface histoire : entre 1750 et 1900, la découverte de Milieux Naturels Nouveaux. In : *Milieux et Paysages*. Chatelin Y. et Riou G. (eds), 71-88, *Recherches en Géographie*, Masson, Paris.
 60. **Chatelin Y. et al.** (1986) – Milieux et paysages. *Recherches en géographie*. Masson, 154 p.
 61. **Chevalier P.** (1962) – Note sur l'état du gisement calcaire de Bobassa. Rapport (2 juillet 1962), *Arch. DGM-RCA*, 2 p.
 62. **Chevalier P.** (1963 a) – Synthèse des travaux effectués à Bobassa. *Arch. DGM-RCA, Rapport* (28 mai 1963), 5 p.
 63. **Chevalier P.** (1963 b) – Bobassa. Essais d'exhaure. Tranchées de vérification.
 64. **Choisnel E.** (1999) – Le cycle de l'eau. In : *L'eau : milieu naturel et maîtrise, Tome I*, Grosclaude G., coordinateur, *INRA*, 17-29.
 65. **Choffe L., Dartout R., Lancelot B., Teillot J. P., Renard D.** (1990) – La maîtrise du ruissellement et de la pollution des eaux pluviales en Île-de-France. Esquisse d'un programme d'action : estimation des coûts. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre*, Presses Ponts et Chaussées, Paris, 30-42.
 66. **Cochery-Bourdin-Chausse** (1986) – *Assainissement de la Ville de Bangui. Avant-projet sommaire, Rapport inédit*.
 67. **Cogez C., Brunelot H., Delattre J.-M., Desneux C., Ledru S., Perez I.** (1990) – Les eau pluviales et la vie urbaine en Seine-Saint-Denis (France) : enjeux, défis, orientations. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre*, Presses Ponts et Chaussées, Paris, 43-52.
 68. **Coing H., Conan H., Etienne J., Jaglin S., Morel à l'Huissier A., Tamiatto M.** (1998) – Pour une gestion durable des systèmes d'approvisionnement en eau dans les petits centres et villes d'Afrique. *Communication à la Conférence Internationale « Eau et Développement durable », UNESCO*, 19 au 21 mars, Paris, 6 p.
 69. **Colin C.** (1998) – Préface. In : *Risques et réseaux techniques, Coll. CERTU*, 189 p.
 70. **Cornacchia M.** (1983) – Un trait structural majeur du Continent africain. Les linéaments centrafricains du Cameroun au Golfe d'Aden. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **XXV** (1), 101-109.
 71. **Cornacchia M., Giorgi L.** (1985 a) – Rapport hydrogéologique. Recherche d'eau souterraine. Usine Ucatex. Janvier 1985. *Arch. DGM RCA*, 49 p. + annexes.
 72. **Cornacchia M., Giorgi L.** (1985 b) – Rapport hydrogéologique. Recherche d'eau souterraine. Brasserie Castel. Février 1985. *Arch. DGM RCA*, 48 p. + annexes.
 73. **Cornacchia M., Giorgi L.** (1986) – Les séries précambriennes d'origine sédimentaire et volcano-sédimentaire de la République centrafricaine. *Ann. Mus. Roy. Afr. centrale*, Tervuren, Belgique, sér. *in-8e, Sci. Géol.*, **93**, 51 p.
 74. **Cornacchia M., Giorgi L., Lachaud J.-C.** (1985 c) – Hydrogéologie de la région de Bangui (République Centrafricaine). Résumé. *Coll. Géol. Afr., 110e Congrès nat. Soc. Sav.*, Montpellier.
 75. **Cornacchia M., Giorgi L.** (1986) – Les séries précambriennes d'origine sédimentaire et volcano-sédimentaire de la République centrafricaine. *Ann. Mus. Roy. Afr. Centrale*, Tervuren, Belgique, sér. *in-8°, Sci géol.*, **93**, 51 p.
 76. **Cornacchia M., Giorgi L., Caruba C., Vivier G.** (1989) – Existence d'une zone de suture sur la marge Nord du craton congolais. *CRAS*, Paris, **308** (II), 107-110, 6 pl.
 77. **Cornacchia M., Delay J.-L., Giorgi L.** (1989) – Nouvelles données et état des connaissances sur l'hydrogéologie centrafricaine.
 78. **Cosandey C., Robinson M.** (2000) – Hydrologie continentale. *A. Colin, Collection U*, Paris, 360 p.
 79. **Cosandey C.** (1990) – L'origine des crues dans les bassins-versants élémentaires : du ruissellement sur les versants à l'écoulement de crue. *Ann. Géogr.*, **556** (XCIX), 641-659.
 80. **Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., Van Den Belt M.** (1997) – The value of the

world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.

81. **Courtois-Traction** (1976) – *Réseau de drainage des eaux pluviales de la ville de Bangui. Rapport préliminaire, Financement FAD*, Bangui (RCA), inédit.
82. **Cros-Cayot S.** (1996) – Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant. Contexte armoricain. *Thèse ENSAR-INRA*, Rennes, 218 p.
83. **Cyr J. F., Marcoux C., Deutsch J.-C., Lavallée P.** (1998) – L'hydrologie urbaine : nouvelles problématiques, nouvelles approches de solutions. *Rev. Sci. Eau, Spécial*, 51-60.
84. **Dabin B., Leneuf N.** (1958) – *Erosion et ruissellement en basse Côte-d'Ivoire*. ORSTOM, Abidjan, 20 p.
85. **De Bayle des Hermens R.** (1975) – Recherches préhistoriques en République centrafricaine. *Librairie C. Klincksieck, Recherches Oubanguiennes*, **3**, Nanterre (France), 343 p.
86. **De Humboldt A.** (1807) – Essai sur la géographie des plantes. *Fr. Schoell.*, Paris, 155 p.
87. **Depraetere C., Moniod F.** (1991) – Contribution des modèles numériques de terrain à la simulation des écoulements dans un réseau hydrographique. Exemple du bassin de Bras-David (Guadeloupe). *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie Continentale*, **6 (1)**, 29-53.
88. **Depraetere C.** (1990) – Seuillage du réseau hydrographique à partir du modèle numérique de terrain en fonction d'un critère de surface drainée. *Troisièmes Journées ULM (utilités et limites des modèles), Lab. Hydrologie de l'ORSTOM*, Montpellier, juin, 21-30.
89. **Depret R.** (1967) – Bangui : urbanisme et habitat. *Rapport de mission. Coopération française/RCA, Dir. Urb. Cadast.*, 55 p.
90. **Desbordes M., Deutsch J.-C., Frérot A.** (1990) – Pour une politique de formation et d'information en hydrologie urbaine. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 702-708.
91. **Deutsch J.-C., Bachoc A., Guichard M.-A., Chebbo G., Flores-Rodriguez J., Thévenot D.-R., Lebreton L., Bussy A.-L.** (1990) – Pour une nouvelle maîtrise des eaux pluviales. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 53-67.
92. **Devineau J.-L., Guillaume J.-L.** (1992) – Origine, nature et conservation des milieux naturels africains : le point de vue des botanistes. In : *Afrique Contemporaine, l'environnement en Afrique. Pontié G. et Gaud M. (eds), Documentation française*, Paris, janvier-mars 1992, **161**, 78-90.
93. **Direction Générale de l'Hydraulique** (1995) – Projet de politique et stratégies nationales en matière de l'eau et de l'assainissement en RCA. Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Hydraulique, DGH / CNEA, Bangui (RCA).
94. **Direction Générale de l'Hydraulique** (2000) – Schéma directeur pour l'eau et l'assainissement en République centrafricaine. *Ministère de l'Energie et des Mines*, Bangui, 155 p.
95. **Direction Générale de l'Hydraulique** (2002) – Analyse générale de la situation du Secteur de l'Eau à la lumière des enquêtes documentaires et régionales réalisées. Rapport, Direction du Volet Institutionnel, Bangui (RCA), 35 p. + Annexes.
96. **Direction Générale des Mines** (1964) – Lotissement du Centre Culturel Français. Sondages. *Archives, DGM*, 2 p. Inédit.
97. **Djibrine P.** (1984 a) – La sécheresse et le climat centrafricain (de 1980 à 1983). *Météorologie*, Bangui (RCA), 20 p., multigr. Inédit.
98. **Djibrine P.** (1984 b) – Note sur la pluviométrie de la saison sèche 1982-1983 à Bangui (RCA). *Météorologie*, Bangui (RCA), 9 p. + Annexes.
99. **Dourlens C., Vidal-Naquet P. A.** (1992) – La ville au risque de l'eau. *Harmattan éd., Coll. Logiques Sociales*, 127 p.
100. **Doux N.** (1993) – La notion de risque climatique : exemple de la Basse-Normandie. In : *Géographie Physique et Environnement*, **1**, 47-52.
101. **Dresch J.** (1948) – Villes congolaises : étude de géographie urbaine et sociale. *Rev. Géographie Humaine et d'Ethnologie*, **3**, juillet-septembre, p. 13.
102. **Drouet D.** (1990) – Distribution d'eau et assainissement urbain : le redéploiement de l'offre de biens et services dans les pays industrialisés. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 68-76.

103. **Duever M. J.** (1990) – Hydrology, pp. 61-69. In : *Wetlands and shallow continental water bodies, I, Natural and Human relationships*, PATTEN B. C. et al.(eds). *SPB Academic Publishing*, The Hague.
104. **Dupont J., Smitz J., Rousseau A. N., Mailhot A., Gangbazo G.** (1998) – Utilisations des outils numériques d'aide à la décision pour la gestion de l'eau. *Rev. Sci. Eau, Spécial*, 5-18.
105. **Dybowski J.** (1893) – La route du Tchad. De Loango au Chari. *Firmin Didot, Paris*, 381 p. (cf. 170-173).
106. **Ellison W. D.** (1944) – Two devices for measuring soil erosion. *Agr. Eng.*, **25** (2), 53-55.
107. **Fauck R.** (1954) – Les facteurs et l'intensité de l'érosion en Moyenne Casamance, Sénégal. In : *C. R. Congrès Internat., AISS, Léopoldville, Congo-Belge, Tome VI* : 376-379.
108. **Fauck R.** (1956) – Erosion et mécanisation agricole au Sénégal. *Bureau des Sols en Afrique Occidentale*, 24 p.
109. **Favrot J. C., Bouzigues R.** (1999) – Le drainage. In : *L'eau : milieu naturel et maîtrise, Tome I, Grosclaude G., coordinateur, INRA*, 171-186.
110. **Féizouré C. T.** (1994) – Conséquences de la variabilité hydroclimatique dans le bassin de l'Oubangui. *Mém. DEA « Climats et Contraintes », Univ. Bourgogne (France)*, Dijon, 50 p.
111. **Fourneaux J.C.** (1988) - Analyse des conditions de développement de la karstification profonde, *Karstologia*, **11-12**,19-22.
112. **Franquin P., Dizian R., Cointepas J.-P., Boulvert Y.** (1988) – Agroclimatologie du Centrafrique. *ORSTOM édition, Coll. Initiations Documentations Techniques*, **71**, Paris, 522 p.
113. **Gac J.-Y.** (1980) – Géochimie du bassin du Lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation. *Coll. ORSTOM, Travaux et Documents*, **123**, 250 p.
114. **Ganoulis J.** (2001) – La gestion de l'eau à l'aube du 3^e millénaire : vers un paradigme scientifique nouveau. *Rev. Sci. Eau*, **14** (2), Tribune libre, 213-221.
115. **Garry G.** (1997) – Adapter les études de risque d'inondation aux enjeux : l'expérience française. *PANGEA*, **27/28**, juin-décembre, 25-27.
116. **Garry G., Veyret Y.** (1996) – La prévention du risque d'inondation : l'exemple français est-il transposable aux PED ? *Cahiers des Sciences Humaines, ORSTOM*, **32** (2), 423-443.
117. **Garry G., Ballais J.-L., Masson M.** (2002) – La place de l'hydrogéomorphologie dans les études d'inondation en France méditerranéenne. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, **2002** (1), 5-16.
118. **Gérard M.** (1991) – Le problème de l'alimentation en eau d'une ville moyenne du Zaïre : le cas de Kikwit. In : *Eau et Aménagement dans les régions intertropicales, Tome 2, Espaces Tropicaux*, **3**, Talence, CEGET-CNRS, 191-211.
119. **Gilard O., Gendreau N.** (1998) – Inondabilité : une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins-versants. *Rev. Sci. Eau*, **11** (3), 429-444.
120. **Gilvear D. J., Bravard J.-P.** (1993) – Dynamique fluviale. In : *Hydrosystèmes fluviaux, Amoros C. et Petts G. E. (eds), Masson, Collection d'Ecologie*, **24**, Paris, 61-82.
121. **Gioda A.** (1999) – L'histoire de l'eau. In : *L'eau : milieu naturel et maîtrise, Tome I, Grosclaude G., coordinateur, INRA*, 31-41.
122. **Gkw-Igip** (1979) – Assainissement de la ville de Bangui (eaux usées). Rapport de dimensionnement, **I**, inédit.
123. **Godart (le Père) L., Zoubé C.** (1986) – Nos pères dans la foi. Les anciens de la mission Saint-Paul. *Imprimerie, Bangui (RCA)*, 199 p.
124. **Godart (le Père) L., Zoubé C.** (1987) – De l'esclavage à la liberté. *Imprimerie Saint-Paul, Centre Culturel de l'Archevêché, Bangui (RCA)*, 211 p.
125. **Golet-Mokonganda L., Dalla-Rosa D.** (1987) – Pont sur la Kokoro à Bangui-km 5, ancienne route de Mbaïki. Etude des sols de fondation. *LBTP, Mairie de Bangui (RCA)*, 3 p. + Annexes (1 p. + 7 figures). Inédit.
126. **Goulée A.** (1964) – Note sur la pluviométrie en République centrafricaine. *ASECNA, Bangui (RCA)*, 92 p.
127. **Gregory K. J., Park C. C.** (1976) – Stream channel morphology in North-West Yorkshire. *Rev. Géol. Dyn.*, **2**, 63-72.

128. **Groupe Huit** (1991) – Projet de développement municipal. *Rapport intermédiaire, RCA, Min. Equipement Aménagement Territ.*, 507 p.
129. **Guilcher A.** (1979) – Précis d'hydrologie marine et continentale. *Masson, 2e édition*, Paris, 344 p.
130. **Guyot C.** (1974) – Hydrologie. *Coll. Q. S. J.*, **884**, PUF, Paris (France), 126 p.
131. **Herremans L.** (1990) – L'impact des problèmes pluviaux sur l'alimentation en eau potable. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 96-99.
132. **Hingray B.** (1999) – Comportement et modélisation hydraulique des zones bâties en situation d'inondation : le cas des zones cloisonnées d'habitat individuel de Ouagadougou (Burkina-Faso). *Editions ISTEEM*, **13**, Université de Montpellier II, Th. Doctorat, 316 p.
133. **Hingray B., Bouvier C., Desbordes M., Cappelaere B.** (2000) – Inondations urbaines : un indicateur géométrique caractéristique du comportement hydraulique du bâti. *Rev. Sci. Eau***13** (1), 85-100.
134. **Homet M.** (1934) – Congo, terre de souffrance. Cité par Boulvert (1989).
135. **Horton R. E.** (1933) – Erosional development of streams and their drainage basin : hydrological approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **56**, 275-370 (cité par Cosandey, 1990).
136. **Huart C.** (1982) – *Services Techniques de la Ville de Paris. Rapport de mission, septembre*, Inédit.
137. **Jaeger** (1989) – Discussion. In : *Mondes et Cultures, Acad. Sci. Outre-Mer*, **XLIX (2-3-4)**, 598-599, Paris.
138. **Jica**(1999 b) – *Etude sur le développement de l'eau souterraine de la ville de Bangui (République Centrafricaine). Documents du séminaire*. Juin 1999, 40 p.
139. **Khobzi J.** (1972) - Erosion chimique et mécanique dans la genèse des dépressions pseudo-karstiques souvent endoréiques. *Rev.Géom. Dyn.*, **XXI** (2), 57-70.
140. **Kokamy-Yambere S.** (1994) – Erosion et dégradation des collines de Bangui : impacts sur le milieu urbain. Bilan des trois années d'étude (1991, 1992, 1993). *Centre ORSTOM, Laboratoire de Géologie et d'Hydrologie*, Bangui (RCA), 76 p.
141. **Kokamy-Yambere S.** (1995) – Erosion et dégradation des collines de Bangui : bilan de la campagne 1994 et impacts sur le milieu urbain. *Centre ORSTOM, Laboratoire de Géologie et d'Hydrologie*, Bangui (RCA), 12 p.
142. **Kyowa & Yachio** (1999) – Etude sur le développement des eaux souterraines dans la ville de Bangui (République Centrafricaine). *Rapport d'avancement (4). Agence japonaise de Coopération Internationale (JICA)*, janvier 1999, 39 p. + annexes.
143. **Laganier R., Picouet P., Salvador P.-G.** (2000) – La géographie historique dans l'analyse et la gestion du risque inondation et des milieux humides. Exemples en région Nord-Pas-de-Calais. *Bulletin du GFHN*, **25**, 153-161.
144. **Lamachère J.-M., Serpenté G.** (1991) – Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne, Burkina-Faso, région de Bidi. In : *Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins-versants en zone aride, KERGREIS A. et CLAUDE J. (eds). Actes des Journées Scientifiques du Réseau « Génie-Para-Sécheresse » de l'UREF*, Ouagadougou, 165-177.
145. **Lamy M.** (1995) – L'eau de la nature et des hommes. *Presses Universitaires de Bordeaux. Coll. « Scieteren »*, 453 p.
146. **Laurent J.** (1960) – Les transports : le Port de Bangui. In : *Les grands travaux en Afrique Equatoriale. Perspectives d'Outre-Mer, Rev. Mens. Illust.*, **35**, Editions Paul Bory, Marseille, 301 p.
147. **Le Barbe L.** (1982) – Etude du ruissellement en milieu urbain à Ouagadougou. Essai d'interprétation théorique. Recherche d'une méthode d'évaluation de la distribution des débits de pointes de crues à l'exutoire des bassins urbains. *Cahiers ORSTOM, Sér. Hydrol.*, **XIX** (3), 135-204.
148. **Leboeuf J.-P.** (1951) – Villes inconnues d'Afrique. *Rev. Française Outre-Mer*, juin, 106-107.
149. **Leboeuf J.-P.** (1953) – Ville africaine de Bangui. *Encyclopédie Mensuel Outre-Mer*, **3** (29), 15-17.
150. **Lemotomo E.** (1977) – Bangui, étude urbaine. *Thèse Doctorat 3e cycle, Géographie, Univ. Paris I-Sorbonne*, Paris, 327 p.
151. **Mabou M.** (1998) – Culture locale et organisation de l'espace urbain de Bangui (Centrafrique). *Presses Universitaires de Septentrion, Thèse à la carte*, 403 p.
152. **Mahuzier A.** (1947) – Grandes chasses en Afrique Centrale. Cité par Boulvert(1989).

153. **Mandaba B., Golet-Mokonganda L., Gasc P.** (1992) – Etude des sols de fondation sur le chantier DJIAKOUA, av. KOUDOUKOU (5^e Arrondissement). *Rapport LNBTP*, Bangui (RCA), 5 p. + 10 figures.
154. **Mandaba B., Golet-Mokonganda L., Gasc P.** (1994) – Marché de Pétévo. Etude des sols de fondation. *Rapport LNBTP, SOREIAC*, Bangui (RCA), 4 p. + 19 figures. Inédit.
155. **Mandaba B., Golet-Mokonganda L.** (1998) – Pont Fodé sur le collecteur Kokoro. Etude des sols de fondation. *Rapport LNBTP, ATRACOM*, Bangui (RCA), 7 p. + 11 figures. Inédit.
156. **Mandaba B., Golet-Mokonganda L.** (1999 a) – Ouvrage de franchissement du collecteur Malimaka, voie n° 6. Etude des sols de fondation. *Rapport LNBTP*, Bangui (RCA), 4 p. + Annexes (1 p. + 8 figures). Inédit.
157. **Mandaba B., Golet-Mokonganda L.** (1999 b) – Ouvrage de franchissement du collecteur Malimaka à l'intersection des voies n° 27 et 35. Etude des sols de fondation. *Rapport LNBTP*, Bangui (RCA), 4 p. + Annexes (1 p. + 9 figures). Inédit.
158. **Margat J.** (1996) – *Les ressources en eau*. Ed. BRGM, Coll. *Manuels & Méthodes*, **28**, Orléans (France), 148 p.
159. **Marsily (de) G.** (1981) – Hydrogéologie quantitative. *Collection Sciences de la Terre, Masson*, Paris, 215 p.
160. **Mc Gee** (1897) – Sheetflood erosion. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **8**, 87-112.
161. **Mestraud J.-L.** (avec la collaboration de **Bessoles B.**) (1982) – Géologie et ressources minérales de la République centrafricaine. Etat des connaissances à la fin 1963. *Mém. BRGM*, **60**, Orléans, 186 p.
162. **Minier V., Groues J.-P.** (1990) – Solidarité eau : un partenariat pour la gestion de l'eau dans les pays en développement. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 709-717.
163. **Mokodopo J. P.** (1973) – Inondations dues aux pluies du 12 au 13 septembre 1973 dans la Ville de Bangui : recensement des sinistrés. *Rapport d'activités du Comité National de Secours, Min. Délégué P. R. Chargé Administr. Territ.*, 117 p.
164. **Morel R., Quantin P.** (1972) – Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (RCA). *Agron. Tropicale*, **27 (6)**, 667-739.
165. **Morel à l'Huissier A.** (1998) – Maîtriser le ruissellement urbain dans les villes africaines. Pour une nouvelle approche de l'assainissement pluvial. *Communication au IX^{ème} Congrès de l'Union Africaine des Distributeurs d'Eau (UADE) « Assainissement pluvial »*, Casablanca (Maroc), février, 8 p.
166. **Musquère P., Guichard T.** (1990) – Maîtrise des eaux pluviales. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 124-142.
167. **Musy A.** (avec la participation de **Higy C.**) (1998) – Hydrologie appliquée. Editions H* G* A*, *Série coordonnée par R. Drobot et J.-P. Carbonnel, Gestion et Protection de la Ressource en eau*, Office Fédéral de l'Education et de la Science (Suisse), Bucarest, 366 p.
168. **Neuvy G.** (1991) – L'homme et l'eau dans le domaine tropical. *Masson*, Paris, 227 p.
169. **N'Guérépandé P.** (1985) – Bangui et ses quartiers. *Thèse 3^e cycle, Géographie, 2 tomes, Univ. Aix-Marseille II, Aix-en-Provence (France)*, 445 p. (tome 1- 151 p. ; tome 2- 294 p.)
170. **Nguimalet C. R.** (1999 a) – Les aspects géologiques et géomorphologiques de la ville de Bangui. Synthèse des travaux antérieurs. *Communication, Séminaire Atelier sur l'étude des eaux souterraines de la ville de Bangui*, Dir. Gén. Hydraul./ JICA, 29 juin 1999, Bangui (RCA), 5 p. + 7 figures, Inédit.
171. **Nguimalet C. R.** (1999 b) – Le site de Bangui et l'évolution des paysages. *Univ. Bangui (RCA)*, 26 p. Inédit.
172. **Nguimalet C. R.** (2000) – Approches de l'eau sur le site de la ville de Bangui (République centrafricaine) : un essai de bilan depuis la création du poste colonial à nos jours. *Univ. Bangui (RCA)*, 25 p. Inédit.
173. **Nguimalet C. R.** (2003 a) – Les crues historiques de l'Oubangui à Bangui et leurs implications dans la gestion de l'eau du site urbain. *Département de Géographie, Université de Bangui (RCA)*, 17 p.
174. **Nguimalet C. R.** (2003 b) – Premiers résultats de la quantification minérale des sols marécageux du SO de la ville de Bangui (Centrafrique) sur la karstogénèse profonde. *Université de Bangui (RCA)*, 10

p. (Inédit)

175. **Nguimalet C. R.** (2003 c) – Caractéristiques sédimentologiques et identification des modes de dépôts de sables des bas-fonds du SO de la ville de Bangui. *Université de Bangui (RCA)*, 12 p. (non publié)
176. **Ngouanze F.** (1980) – Bref aperçu sur les facteurs de formation des sols en République centrafricaine. *Service National des Sols*, Bangui (RCA), 18 p.
177. **Ngouanze F.** (1988) – Résumé sur le Centrafrique. In : *Rapport du Séminaire sur l'Aménagement et la Gestion des terres humides. FAO, Représentation Régionale pour l'Afrique*, Accra (Ghana), 67 p. (p. 5).
178. **Nicod J., Salomon J.N.** (1990) - Les mogotes : des reliefs karstiques résiduels lithostructuraux et/ou hérités. Comparaison des karsts tempérés et tropicaux. *Rev. Géom. Dyn.*, **XXXIX** (1), 15-38.
179. **Obled Ch.** (1999) – Le versant et le bassin-versant : quelques aperçus sur la formation des crues et la production du ruissellement. In : *Crues de la normale à l'extrême (précipitations, infiltrations, ruissellements, entraînements)*, Colloque d'Hydrotechnique, Publications S. H. F., **160**, 5-23.
180. **Olivry J.-C., Hoorelbeck J.** (1989-1990) – Erodabilité des terres noires de la vallée de Buëch (Alpes du sud, France). *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, **XXV** (1), **2**, 95-110.
181. **Orange D., Olivry J.-C., Censier C.** (1993) – Variations et bilans des flux de matières particulières et dissoutes de l'Oubangui à Bangui. In : *Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone*. OLIVRY J.-C. et BOULEGUE J. (eds), 147-158, *Coll. Colloques & Séminaires*, Orstom, Paris.
182. **Orange D.** (1995) – Reconstitution des données hydrologiques du bassin de l'Oubangui pour la constitution de la banque hydrologique du Programme PEGI/GBF/RCA (de l'origine des stations à 1994). *Laboratoire d'Hydrologie, UR 22, ORSTOM*, Montpellier.
183. **Orange D., Feizoure C., Wesselink A., Callede J.**, (1995) – Variabilités hydrologiques de l'Oubangui à Bangui au cours du XXe siècle. *Actes des Journées Scientifiques FRIEND-AOC*, Cotonou (Bénin), 20 p.
184. **Palud J.P.** (1968) - Rapport sur la campagne de sondage pour calcaire de Fatima. Inédit, 6 p. *Arch. DGM RCA*.
185. **Parfenoff A., Pomerol C., Tourenq J.** (1970) – *Les minéraux en grains. Méthodes d'étude et de détermination*. Masson Ed., Paris, 578 p.
186. **Piegay H., Barge O., Bravard J.-P., Landon N., Peiry J.-L.** (1996) – Comment délimiter l'espace de liberté des rivières ? *Congrès de la Société Hydrotechnique de France, 24èmes Journées de l'Hydraulique : L'eau, l'homme et la nature*, Paris, 18-19-20 sept., 275-284.
187. **Piermay J.-L.** (1993) – Citadins et quête du sol dans les villes d'Afrique centrale. *Harmattan*, Paris.
188. **Plésinger J.** (1990) – Les eaux souterraines de la République centrafricaine et leur exploitation. *Projet d'Appui Technique au Programme d'Hydraulique Villageoise, Projet PNUD*, Bangui (RCA), 70 p.
189. **Plotnikov N. A.** (1962) – Ressources en eaux souterraines : classification et méthodes d'évaluation. *Gauthier-Villars et Cie*, Paris, 194 p.
190. **Pnud-Oms** (1972) – *Ville de Bangui : Assainissement et drainage. Rapport technique sur l'évacuation des eaux pluviales et des résidus solides*. *Service Municipal d'Assainissement*, Bangui (RCA), 46 p. + Cartes, profils en long des collecteurs principaux et secondaires...
191. **Poidevin J. L.** (1976) – Le Protérozoïque Supérieur en RCA. *Musée Roy. Afr. Cent. Terveuren. Annales 8e, Sci. Géol.*, **91**, 75 p.
192. **Poidevin J.L.** (1985) - Le Protérozoïque Supérieur de la RCA. *Musée Roy. Afr. Cent. Terveuren. Annales 8e Sc. Géol.*, **91**, 75 p.
193. **Pomel S., Salomon J.-N.** (1998) – La déforestation dans le monde tropical. *Presses Universitaires de Bordeaux. Coll. « Scieteren »*, 162 p.
194. **Pouit G.** (1955) - Rapport de mission Bangui Ouest. *Dir. Min. Géol.*, Bangui.
195. **Pounoumale A.** (2000) – Les eaux souterraines de Bangui. Essai bibliographique. 51 p. Inédit.
196. **Quantin P., Combeau A.** (1962) – Erosion et stabilité structurale du sol. *AISH*, 59, 124-130.
197. **Rgp**(1988) – Habitat et urbanisation à Bangui. In : *Habitat 88. Document de travail, Direction de l'Urbanisme, Ministère de l'Aménagement du Territoire, Bangui (RCA)*, 60 p. + Annexes. Inédit.

198. **Richard R.** (1934) – La trombe et le grain orageux du 27 mai 1932 à Bangui (AEF). *Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer*, 196 (cité par Boulvert, 1989).
199. **Riou C.** (1975) – La détermination pratique de l'évaporation. Application en Afrique centrale. *Mém. ORSTOM*, **80**, 236 p.
200. **Riou C.** (1999) – Préface. In : L'eau : milieu naturel et maîtrise. Tome I, *Grosclaude G., coordinateur, INRA*.
201. **Roche M.** (1963) – Hydrologie de surface. *Gauthier-Villars*, Paris, 430 p.
202. **Rodier J.** (1964) – Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'Ouest du Congo. *Editions ORSTOM*, Paris, 137 p.
203. **Rodriguez F., Andrieu H.** (2000) – Intérêt des banques de données urbaines et des SIG pour la modélisation hydrologique. *Bulletin du GFHN*, **25**, 175-181.
204. **Roggeri H.** (1995) – Zones humides tropicales d'eau douce. Guide des connaissances actuelles et de la gestion durable. *Kluwers Academic Publishers*, 377 p. + Annexes.
205. **Rolin P.** (1992) – Nouvelles données tectoniques sur le socle précambrien de Centrafrique : implications géodynamiques. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **315**, sér. II a, 467-470.
206. **Rondet-Saint M.** (1933) – Sur les routes du Cameroun et de l'AEF. Cité par Y. Boulvert (1989).
207. **Roose E.** (1967) – Dix années de mesure de ruissellement et de l'érosion à Séfa (Sénégal). *Agro. Trop.*, **22** (2), 123-152.
208. **Roose E.** (1976) – Use of USLE to predict erosion in Western Africa. In : "Soil erosion : prediction and control" *SCSA, special publication*, Ankeny, USA, 60-74.
209. **Roose E.** (1977) – Ruissellement et érosion en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *ORSTOM Ed., Coll. Travaux et Doc.*, **78**, Paris, 108 p.
210. **Roose E.** (1984) – Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical, conséquences pour les méthodes antiérosives. *Machinisme Agric. Trop.*, **87**, 4-18.
211. **Roose E., Bertrand** (1971) – Contribution à l'étude des bandes antiérosives en Afrique de l'Ouest. *Agron. Trop.*, **26** (11), 1270-1283.
212. **Runge J., Nguimalet C. R.** (2004, sous presse) – Physiogeographic features of the Oubangui catchment and environmental trends reflected in discharge and floods at Bangui 1911-1999, Central African Republic. In: *Special volume on Large Rivers, Geomorphology*, 16 p.
213. **Salomon J.-N.** (1997) – L'homme face aux crues et aux inondations. *Presses Universitaires de Bordeaux. Coll. « Scieteren »*, 383 p.
214. **Sammy-Mackfof P.** (1978) – *L'odyssée de Mongou*. *Hatier, Paris, 2e éd., 1983*, 125 p. (cf. 74-77).
215. **Sasseville J. L., Marsily (de) G.** (1998) – Les sciences de l'eau : présent et futur. *Rev. Sci. Eau, Spécial*, 223-241.
216. **Schweinfurth G.** (1875) – *Au cœur de l'Afrique*. *Hachette*, Paris, 2 tomes.
217. **Seminiuk C. A.** (1987) – *Wetlands of the darling system- a geomorphic approach to classification*. *J. R. Soc. W. Aust.*, **69**, 95-111 (cité par Barnaud, 1998).
218. **Servan J.** (1980) – Typologie, bilan, problématique des espaces naturels. Ministère de l'Environnement, Direction de la qualité de la vie. OPIE-MNHN, Paris, 91 p.
219. **Servat E., Paturol J.-E., Kouame B., Travaglio M., Ouedraogo M., Boyer J.-F., Lubes-Nieil H., Fritsch J.-M., Madrieu B.** (1998) – Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'ouest et centrale. *IAHS Publ.*, **252**, 323-337.
220. **Seureca** (1963) – *Aménagement de la zone Ouest : avant-projet d'assainissement des eaux pluviales. Rapport d'étude*, inédit.
221. **Sff** (1982) – Instruction à l'usage du formulaire « Inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique ». SFF-MNHN, Paris, 20 p.
222. **Sircoulon J.** (1976) – Données hydropluviométriques sur la sécheresse de 1968 à 1973 en Centrafrique. *ORSTOM*, 23 p. multigr. Inédit.
223. **Sircoulon J.** (1992) – Evolution des climats et des ressources en eau. In : *Afrique Contemporaine, l'environnement en Afrique*. *Pontié G. et Gaud M. (eds), Documentation française*, Paris, janvier-mars 1992, **161**, 57-78.
224. **Sironneau J.** (1996) – *L'eau, nouvel enjeu stratégique mondial*. *Ed. Economica*, Paris, 111 p.

225. **Souchère V.** (1995) – Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion du talweg. Application à des petits bassins-versants en Pays de Caux (Haute-Normandie). Thèse Inst. Nat. Agro. Paris-Grignon-INRA, 201 p.
226. **Soumille P.** (1989) – Histoire de l'origine et du développement d'une ville (Bangui 1889-1989). In : *Wambesso, Rev. Hist. & Archéol. Centrafr., Spécial centenaire, Univ. Bangui (RCA)*, **1**, 13-28.
227. **Soyer J., Miti T., Aloni K.** (1982) – Effets comparés de l'érosion pluviale en milieu péri-urbain de région tropicale (Lumumbashi, Shaba, Zaïre). *Rev. Géom. Dyn.*, **31** (2), 71-80.
228. **Spire D.** (1998) – Ménager, aménager l'eau : plaider pour un liquide précieux. In : *Cahiers Agricultures*, **7**, 258-260.
229. **Sundborg, White** (1986) – Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins-versants. *Collection Etudes et Rapports d'Hydrologie*, UNESCO, **35**, 161 p.
230. **Susset R.** (1934) – La vérité sur le Cameroun et l'Afrique Equatoriale Française. Cité par Y. Boulvert (1989).
231. **Tardy Y.** (1986) – Le cycle de l'eau : climats, paléoclimats et géochimie globale. *Masson (ed)*, 338 p.
232. **Tchotsoua M.** (1995) – Urbanisation et érosion accélérée dans la ville de Yaoundé : comment améliorer la conservation de l'environnement urbain en milieu urbain tropical humide. *Union pour l'étude de la population africaine, Programmes de petites subventions pour la Recherche en Population et Développement, Rapport*, **15**, 127 p.
233. **Thomas M. F., Thorp M. P.** (1992) – Landscape dynamics and surface deposits arising from Late Quaternary fluctuations in the forest-savanna boundary. In : *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. Furley P. A., Proctor J., Ratter J. A. (eds), **11**, 213-253.
234. **Tixier J.** (1953) – Etude des crues sur un petit bassin de la région de Bangui (Oubangui-Chari). *Annales Hydrologiques de la FOM*, 29-47.
235. **Torterotot J.-P., Roche P.-A.** (1990) – Evaluations socio-économiques pour la gestion du risque d'inondation. In : *La gestion de l'eau, Actes du Colloque 4-6 décembre, Presses Ponts et Chaussées*, Paris, 481-490.
236. **Tricart J.** (1973) – Rôles respectifs de la tectonique et du climat dans la genèse des piémonts. *Universitatea din Bucuresti, Facultatea de Geologie Geografie*, 291-306.
237. **Tricart J. (?)** – Géomorphologie et eaux souterraines. In : *Eaux souterraines dans les zones arides, AIHS*, **57**, 22-27.
238. **Tricart J., Raynal R., Besançon J.** (1972) – Cônes rocheux, pédiments, glaciaires. *Ann. Géographie*, **443** (LXXXI), 1-24.
239. **Uzes (Duc d')** (1894) – Le voyage de mon fils au Congo. Cité par Y. Boulvert (1989).
240. **Vennetier P.** (1894) – Cadre de vie urbain et problèmes de l'eau en Afrique noire. *Ann. Géogr.*, **540**, 171-194.
241. **Vennetier P.** (eds) (1990, 1991) – Eau et aménagement dans les régions intertropicales. Tomes 1 et 2. *Espaces Tropicaux*, **1** et **2**, CNRS/CEGET, Talence, 366 p. et 286 p.
242. **Vidal P.** (1982) – Tazunu, Nana-Modé, Tola, ou de l'archéologie des cultures africaines et centrafricaines et de leur histoire ancienne. *Bangui (RCA)*
243. **Villeneuve J. P., Hubert P., Mailhot A., Rousseau A. N.** (1998) – La modélisation hydrologique et la gestion de l'eau. *Rev. Sci. Eau, Spécial*, 19-39.
244. **Villien F.** (1985) – Habitat et habitations dans les quartiers populaires de Bangui. *Cah. Outre-Mer*, **38** (151), 235-262.
245. **Villien F.** (1987) – Bangui, citadinité et ruralité d'une ville d'Afrique centrale. *Thèse de doctorat d'Etat, Géographie, Univ. Bordeaux III (France)*, 2 livres, 1 066 p.
246. **Villien F., Soumille P., Vidal P., Pirovano J.-P.** (1990) – Bangui, capitale d'un pays enclavé d'Afrique centrale. Etude historique et géographique. *CRET, Collection « Pays enclavés », 4*, 202 p.
247. **Vineri R., Causse R.** (1965) – Ecole des Douanes. Sondages à la tarière. *Archives DGM-RCA, Rapport*, 5 p. Inédit.
248. **Vouma** (1999) – Les inondations font rage. In : *Vouma la Mouche*, **116 (11-16)**, novembre, p. 6. Inédit.
249. **Wacrenier Ph.** (1960) - Rapport de mission 1960 dans la coupure de Bangui Ouest. Inédit, 32 p., 8

- pl. Cartes. Arch. DGM RCA
250. **Wacrenier Ph., Wolff J.P.** (1962) - *Rapport sur la prospection des argiles de la région de Bangui.* 10 p. multigr.
 251. **Wacrenier Ph., Wolff J.P.** (1964) - *Carte géologique de Bangui.* BRGM.
 252. **Wauters A. J.** (1887) – Exploration de l'Oubangui et de ses affluents, 1887. Bull. Soc. Belge de Géographie (1889).
 253. **Wesselink A., Orange D., Randriamiarisoa, Feizoure C.,** (1994) – Hydrométrie de l'Oubangui à Bangui de l'origine des observations à 1993 : mise en évidence d'un détarage récent. Bangui (RCA), 25 p. + Annexes.
 254. **Wesselink A., Orange D., Feizoure C., Randriamiarisoa,** (1996) – Les régimes hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin-versant de type tropical humide : l'Oubangui (République centrafricaine). *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris, mai 1995), IAHS Publ., 238,* 179-194.
 255. **Whitlow J. R., Gregory K. J.** (1989) – Changes in urban stream channels in Zimbabwe. *Regulated Rivers : Research and Management,* **4,** 27-42.
 256. **Wilby R., Gibert J.** (1993) – Dynamiques hydrologiques et hydrochimiques. In : *Hydrosystèmes fluviaux, Amoros C. et Petts G. E. (eds), Collection d'Ecologie, 24, Masson, Paris,* 43-60.
 257. **Wolff J.P.** (1962 a) - Etude des calcaires de la région de Bangui. Inédit, 11 p., Tabl.
 258. Des sondages et résultats d'analyses. 2 pl. Arch. DGM RCA.
 259. **Wolff J.P.** (1962 b) - Mission sous convention Stratégique Bangui. Prospection de la coupure Bangui Ouest. Inédit, 15 p., 24 pl. ou Tabl. Arch. DGM RCA.
 260. **Yayer J.** (1951) – Caractéristiques hydrographiques de l'Oubangui. Rapport de mission. *Service Commun d'Entretien des Voies Navigables,* Bangui (RCA), 106 p.
 261. **Yongolo E.** (1997) – L'aménagement du quartier Kpéténé dans le cadre du Projet FAC. Appui au Développement Municipal de la Ville de Bangui. *Mém. Maîtrise, Géographie, Fac. Lettres Sci. Hum., Univ. Bangui* (RCA), 100 p. Inédit.
 262. **Yongombima A. S.** (1996) – Prospections archéologiques dans les régions de Bangui (RCA). *Mém. Licence, Histoire, Fac. Lettres & Sci. Hum., Univ. Bangui* (RCA), 50 p.

Cartes

1. **Boulvert Y.** (1989) – Bangui (1889-1989). Atlas de la ville de Bangui. *ORSTOM, IGN, Paris (France),* 20 planches + Notice Explicative.
2. **Ign** (1964) – Carte topographique au 1 : 10 000e. Bangui, République centrafricaine. IGN, Paris.
3. **Ign** (1972) – Carte topographique au 1 : 10 000e. Bangui, République centrafricaine. IGN, Paris
4. **Ign** (1984) – Carte topographique au 1 : 200 000e. Bangui, République centrafricaine.
5. **Ign** (1987) – Carte topographique au 1 : 20 000e. Bangui, République centrafricaine.
6. **Ign** (1988) – Carte topographique au 1 : 50 000e. Bangui, République centrafricaine (en quatre feuilles)
7. **Ign** (1993) – République centrafricaine, carte générale au 1 : 1 50 000e. *Pays et Villes du Monde,* IGN, Paris, 3e édition.

Planches

Planche I : Quelques paysages du site initial de la ville de Bangui : les Rapides, le Promontoire rocheux et l'Oubangui durant la crue de 1999



Planche I : Quelques paysages du site initial de la ville de Bangui : les Rapides, le Promontoire rocheux et 1308 bangui c

Photo A : Vue des Rapides, en amont du promontoire rocheux, le « rocher de l'Artillerie » ou « rocher de l'Intendance », en direction de Zongo (RDC) sur l'autre rive où se présente cette colline ; elle prolonge celle de Gbazabangui, dessinant des croupes convexes et emboîtant interfluves et talwegs sur son versant.

Photo B : Vue amont du resserrement du chenal de l'Oubangui, avec des hauts-fonds rocheux à l'origine des Rapides, et de l'immeuble de l'hôtel Sofitel construit sur le « rocher de l'Artillerie ».

Photo C : Les Rapides et l'hôtel Sofitel.

Photo D : Vue depuis l'Est de la ville de Bangui (Ouango) versant de la colline côté RDC ; l'Oubangui durant les inondations de 1999 se remarque à la base du versant, et un bas-fonds marécageux inondé par les eaux en arrière des cases en paille à droite de la photo.

Photo E : Les inondations d'octobre en novembre 1999 vues par un Hebdomadaire centrafricain VOUMA (LA MOUCHE) du 11 au 16 novembre 1999.

Planche II : Caractéristiques des sommets et des versants de collines de Bangui



Planche II : Caractéristiques des sommets et des versants de collines de Bangui

Photo A : Alternance des collines quartzitiques et de dépressions intra et intercollinaires schisteuses.

Photo B : Sub-égalité des sommets souvent arrondis de collines.

Photo C : Un versant à pente relativement douce, avec une micro-dépression, comportant une végétation de dégradation anthropique et des cultures à la base du versant.

Photo D : Un versant est des collines de Daouba-Kassaï au niveau du pk 11-pk 12 sur la piste du village de Koukourou, dans la vallée de la Ngola ; sur celui-ci, le sol est rocailleux (sol lithique), expliquant le caractère rabougri de la végétation (arbustive) dans une zone à dominance forestière.

Photo E : Vue d'un contact entre la dépression e le sommet d'une colline ; le sommet arrondi est recouvert d'une végétation clairsemée alors que la végétation se densifie progressivement vers le pied du versant.

Photo F : Même site que la photo E ; ici le versant de la colline est en train d'être colonisée par l'habitat ; le front de colonisation est symbolisé par les cultures installées à mi-pente.

Planche III : Les carrières d'extraction de pierres de construction, facteurs de production de matières dommageables à l'échelle urbaine



Planche III : Les carrières d'extraction de pierres de construction, facteurs de production de matières dominiées à

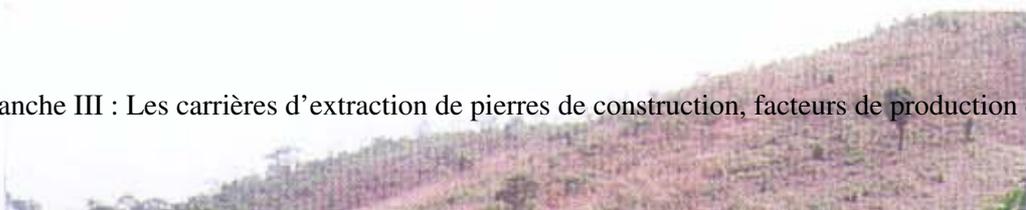


Photo A : Une carrière d'extraction et ses produits non loin d'un quartier habité vers l'amont de la source de la Ngoubagara.

Photo B : Cette carrière de pierres est connectée à une piste par laquelle les produits sont vendus.

Photo C : Une carrière sur un versant de la Daouba-Kassaï ; la colonisation humaine du site est nette, avec des jeunes manguiers ; bientôt, ce sera le tour de l'habitat.

Photo D : Ces processus créés par l'extraction sont relayés et entretenus par les eaux pluviales qui rongent les couloirs d'évacuation à leur tour. Ici, ce couloir abandonné par l'extraction se réactive par l'écoulement des eaux pluviales dévalant le versant.

Photo E : Le processus prend de l'ampleur ici avec la connexion du couloir artificiel de drainage légué par l'activité extractive et le talweg naturel vers le haut de la Daouba-Kassaï. Les résidus de l'extraction sont mobilisés par les eaux ruisselantes.

Photo F : Vers l'aval, le couloir se transforme en ravin et charrie les fragments de quartzites vers la source de la Ngoubagara. La tache blanchâtre dans le paysage verdoyant vers l'arrière-plan est le toit de l'hôpital de l'Amitié, construit sur un ancien marécage.

Planche IV : De l'anthropisation des collines à l'installation des sites de mesures expérimentales du ruissellement et d'érosion



Planche IV - De l'anthropisation des collines à l'installation des sites de mesures expérimentales du ruissellement et d'

Photo A : Vue des couloirs d'extraction, d'évacuation de pierres de construction sur un versant de la Kaga Daouba-Kassaï (mars 2001).

Photo B : Couloirs d'extraction de pierres sur la Daouba-Kassaï.

Photo C : Emplacement de la parcelle nue n° 1 au large du site ORSTOM en 1991 (cliché KOKAMY). La pente à l'échelle serait peut-être de 10 %.

Photo D : Emplacement de la parcelle couverte n° 1 sur le même site ORSTOM en 1991 (cliché KOKAMY), avec pente de 10 %.

Photo E : Emplacement de la parcelle nue n° 2 sur le site ORSTOM de la Daouba-Kassaï en 1992 (cliché KOKAMY), avec pente de 10 %.

Photo F : Emplacement de la parcelle couverte n° 2 sur le site ORSTOM de la Daouba-Kassaï en 1992 (cliché KOKAMY), avec pente de 10 %.

Planche V : Le ruissellement urbain et les unités de collecte : bas-fonds et cours d'eau



Planche V : Le ruissellement urbain et les unités de collecte : bas-fonds et cours d'eau

Photo A : Faute d'exutoire ou de canaux de drainage dans les quartiers populaires, les eaux de ruissellement empruntent les pistes carrossables ou cheminements piétonniers.

Photo B : Connexion entre un ruissellement provenant des quartiers périphériques et les eaux circulant à même sur les voies bitumées, à défaut de canalisation.

Photo C : Idem photo B ; ici les eaux sont acheminées par des rigoles façonnées par l'érosion des sols nus urbains.

Photo D : Phase de décrue progressive après la concentration des eaux pluviales.

Photo E : Le flat marécageux de la Guitangola, avec les eaux chargées et de dépôts frais (de décantation) au lendemain d'une pluie (septembre 1999) ; ces dépôts résultent du ruissellement urbain.

Photo F : Résurgence d'une source sur le site d'un ancien marais, Kalakpata, à Galabadja complètement colonisé par l'habitat en août-septembre 1999 ; due à la pluviométrie exceptionnelle (plus de 2000 mm à la station de Bangui-Orstom), elle a disparu à la fin de l'épisode, comme bien d'autres à l'échelle de la ville, cette année-là.

Planche VI : Quelques paysages des vallées fluviales de la Ngoubagara et de la Ngongonon



Planche VI : Quelques paysages des vallées fluviales de la Ngoubagara et de la Ngongonon

Photo A : Vers la source de la Ngongonon, ici aménagée en bassins piscicoles ; la vallée est entaillée dans des argiles et schistes profonds d'environ 6-7 m.

Photo B : En aval de cette source, une connexion de la rivière s'opère par un canal d'écoulement avec le piémont latéritisé de Gobongo, dont l'érosion urbaine fournit par ruissellement pluvial du sable et du gravier ferrugineux.

Photo C : Vue du contact versant ouest de Daouba-Kassaï et bas-fond marécageux du pk 10 (route du pk 12) ; entre les eaux du bassin piscicole et le versant, des manguiers, bananiers, palmiers à huile,... précurseurs d'une forte anthropisation. Un couloir d'évacuation de pierres extraites est visible sur le versant.

Photo D : Paysage, depuis l'amont de la source de la Ngoubagara individualisé par ce kapokier (grand arbre) ayant perdu ses feuilles en cette saison sèche, et du reste de la vallée ; le secteur bombé vers le fond de la photo à gauche est le piémont rocheux de Boy-Rabé, dominé par l'habitat qui est très récent (post 1970).

Photo E : Les marques de la morphodynamique de la rivière Ngoubagara, distinguées ici par l'érosion en berge dans la roche en place (cuirasse) ; elles mettent à découvert les racines d'un manguier qui piègent au passage les débris solides organiques en transit.

Photo F : Une vallée de la Ngoubagara en saison sèche, avec un faible écoulement qui favorise la recolonisation végétale du chenal. A droite, la rive bombée est constituée de sables consolidés (fins et grossiers, mélangés avec du gravier), dont l'origine demeure inconnue ; tout au-dessus, s'étale la culture des jardins.

Planche VII : Dynamique saisonnière du chenal de la Ngoubagara en relation avec la colonisation végétale, le transit sédimentaire et le régime hydraulique



Planche VII : Dynamique saisonnière du chenal de la Ngoubagara en relation avec la colonisation végétale. 340 transit sé

Photo A : Important niveau d'eau et d'écoulement dans ce tronçon de la Ngoubagara en saison sèche, avec la colonisation végétale.

Photo B : Lits saisonniers (mineur et majeur) sur le coude de la Ngoubagara en aval du Pont de l'Hôpital de l'Amitié ; la culture des jardins occupe le lit majeur sur la rive gauche.

Photo C : Important apport sédimentaire lors des premières pluies à la fin de la saison sèche dans le lit de la Ngoubagara ; la végétation du talweg, alimentée par un écoulement faible, voire diffus, est presque ennoyée par les sédiments.

Photo D : Un tronçon fortement colonisé par la végétation en saison sèche ; cette végétation est dominée par une graminée péri-forestière, appelé sosongo en Sango, langue nationale ou herbes à éléphants : *Pennisetum purpureum*.

Photo E : La Ngoubagara en pleine saison pluvieuse : la végétation du talweg ne résiste pas à la violence des crues et à l'importance du charriage de fond

Photo F : L'importance de la charge sédimentaire s'observe ici sur la rive convexe.

Planche VIII : Lits fluviaux, fossés de drainage et bas-fonds marécageux aménagés



Planche VIII : Lits fluviaux, fossés de drainage et bas-fonds marécageux aménagés

Photo A : Des ouvrages de protection contre les crues de la Ngoubagara.

Photo B : Correction du lit de la Ngoubagara et reprise d'érosion sur la rive concave dans un lit initialement argileux ; la charge sédimentaire provient de l'érosion du versant latéritique/latéritisé dénudé par l'occupation humaine.

Photo C : Tronçon amont d'un fossé de drainage dans le bassin Aviation, partant de Sica III via Sica II, curé pour l'évacuation des eaux pluviales, car le développement des strates herbacées dans les fossés en terrain marécageux freine l'écoulement du fait de la faiblesse de la pente.

Photo D : Tronçon aval en direction de Sica-Saïdou.

Photo E : Confluence de l'ensemble Kokoro-Ngongonon et de la Ngoubagara : les lits ont été aménagés mais faute de récurage, la colonisation végétale s'opère ; à gauche, l'ensemble Kokoro-Ngongonon, et à droite, la Ngoubagara.

Photo F : L'aval de cette confluence : la terrasse construite s'est effondrée devant l'ampleur des flux d'eau et de sédiments. La strate « Sossongo » est persistante dans le chenal malgré les aménagements.

Planche IX : La variété de paysages des marais de Bangui



Planche IX : La variété de paysages des marais de Bangui

Photo A : Paysage de marais avec au premier plan une nasse qu'utilise la population riveraine pour pêcher des poissons.

Photo B : Vue des marais fonctionnels du sud-ouest (en amont du confluent Mpoko-Oubangui), avec la colonisation progressive de l'habitat.

Photo C : Paysage des marais avec des palmiers à huile (sur terre ferme), des bananiers, des buissons épineux, de strates herbacées et de l'eau...

Photo D : Paysage stratifié des marais du sud-ouest en amont du Pont Mbossoro, sur la Guitangola ; l'interface milieu terrestre-milieu aquatique est à noter. Nous notons l'envahissement des cours d'eau par la jacinthe d'eau (*Eichornia crassipes*)

Photo E : Des nénuphars (*Nymphéa*) dans les marais du sud-ouest... Ils se raréfient en raison de la forte dégradation subie par ces milieux humides.

Photo F : Construction des barrages dans les eaux chargées marécageuses pour piéger les poissons dans des nasses ; en l'occurrence, les nasses sont placées sur l'emplacement ouvert de toute la section barrée.

Planche X : Les inondations de l'Oubangui et des bas-fonds marécageux d'octobre en novembre 1999



Photo A : Propagation de l'inondation de l'Oubangui dans les bas-fonds marécageux, avec ici le péril d'une bananeraie au sud du quartier Bruxelles, le long du fleuve.

Photo B : Une habitation inondée ; elle est située dans le prolongement de la zone d'inféoflux de l'Oubangui, non loin de l'ancienne résidence de l'Empereur Bokassa 1^{er} à Kolongo (Pétévo).

Photo C : Inondation de l'enceinte de l'ex-Collège Préparatoire International (CPI) situé à Ngou-Etat, sur la partie amont de la zone inféoflux au sud-ouest du quartier La Kouanga. Durant cet événement, une petite pirogue faisait la liaison entre les bâtiments.

Photo D : Des tentes construites pour abriter les sinistrés non loin du CPI et près de l'Oubangui.

Photo E : Une habitation engloutie à près des trois-quarts de sa hauteur dans les bas-fonds du sud-ouest en allant vers le confluent Guitangola-Mpoko, puis le confluent Mpoko-Oubangui ; en ce moment, la circulation a été rendue possible par à la pirogue, et les pêcheurs y trouvaient leur compte.

Photo F : Communication entre les eaux des bas-fonds du sud-ouest (avec la Guitangola), de la Mpoko et de l'Oubangui sur leurs confluences respectives, où le petit marché a été ennoyé ; on y trouve du vin de palme et du poisson frais...

Planche XI : Les inondations de l'Oubangui et des bas-fonds marécageux de 1999 (bis)



A



D



B



E

Planche XI : Les inondations de l'Oubangui et des bas-fonds marécageux de 1999 (bis)

Photo A : Une habitation inondée au travers de la route Pétévo-Kolongo et des Voies Navigables, située dans les bas-fonds du sud-ouest.

Photo B : Ici, un groupe d'habitations est concerné par l'inondation.

Photo C : Un hangar sur les marges marécageuses est inondé ; c'est toujours dans ces marais encore fonctionnels entre Pétévo et Bimbo.

Photo D : Un groupe de maisons inondé s'observe, de même que la route qui les dessert, dans les bas-fonds du sud-ouest.

Photo E : Inondation de tout le secteur situé derrière le Port pétrolier, juste en amont du confluent Mpoko-Oubangui.

Planche XII : Les inondations urbaines



A



D



E

Photo A : Inondation du centre-ville sur l'avenue de l'Indépendance, non loin de la Place de la République, par la pluie du 19 mars 2002.

Photo B : Le phénomène du 19 mars 2002, mais à la décrue rapide des eaux de ruissellement.

Photo C : Inondation, due à la pluie du 10 juin 2002, des eaux de la Ngoubagara dans une section des lits mineur et majeur fortement colonisée par l'habitat ; la photo est prise dans une rue débouchant sur l'avenue des Martyrs.

Photo D : Inondation d'une cour d'habitation à la suite de cet événement pluvieux, riveraine de la rue.

Photo E : Le processus atteint les concessions voisines.

Photo F : Inondation de l'avenue des Martyrs, route de l'Aéroport, par les eaux de ruissellement pluvial.

Planche XIII : Quelques indications sur les conséquences du ruissellement anarchique des eaux pluviales en l'absence d'un réseau adéquat



Planche XIII : Quelques indications sur les conséquences du ruissellement anarchique des eaux pluviales en l'absence de

Photo A : Les eaux de ruissellement suivent les lignes de grande pente et s'organisent en fonction du recoupement des voies ; le terrain est ici cuirassé et latéritisé, situé en amont morphologique d'un ancien marais, le Kalakpata (cliché Billy).

Photo B : Concentration des eaux de ruissellement sur un côté en relation avec la pente, mais surtout de l'érosion différentielle, et des aménagements sommaires dus au curage unilatéral des riverains ; les eaux sont chargées en MES et reprennent les ordures ménagères entreposées en général dans ces lignes d'écoulement pour être acheminées vers l'aval...

Photo C : Idem ; les eaux de ruissellement façonnent au passage leur linéaire et créent de ce fait des problèmes d'érosion : des rigoles naissent et peuvent évoluer en ravines ou en ravins quand les caractéristiques morphostructurales le permettent, telles qu'à Boy-Rabé où l'épais manteau argileux est tranché par des ravins.

Photo D : Les rigoles et les ravines dégradent les voies de par les eaux qui les entaillent à chaque pluie.

Photo E : Les eaux de ruissellement se dirigent vers l'ancien marais de Kalakpata, là où se trouvent les bananiers, du fait de la cote topographique locale basse ; un dépôt d'ordures ménagères est situé le long de la ravine qui évacue les eaux, au premier plan.

ANNEXES I : DONNEES DU RUISSELLEMENT ET D'EROSION A BANGUI (KOKAMY-YAMBERE, 1994, 1995)

Pluie et crue du 06.10.93 : Station du Marché de Miskine

Temps (heure)	Ruissellement		Temps (heure)	Erosion	
	Débit (m ³ /s)	Volume (m ³)		Débit (kg/s)	Sédiment (kg)
6h55mn	0,18	58,62	6h55mn	0,03	165,6
6h57mn	0,8	1643,4	6h57mn	2,73	4593,6
7h09mn	3,77	1269	7h09mn	10,03	3369
7h14mn	4,69	1854,3	7h14mn	12,43	5670
7h21mn	4,14	541,2	7h21mn	14,57	1905
7h23mn	4,88	2242,8	7h23mn	17,18	7845,6
7h30mn	5,8	4742,8	7h30mn	20,18	15213,9
7h43mn	6,36	8955	7h43mn	18,83	25218
8h13mn	3,59	17744,4	8h13mn	9,19	38278,8
10h17mn	1,18	8611,2	10h17mn	1,1	6435
13h32mn	0,29		13h32mn		
Volume d'eau ruisselé :		47662,72		Exportation MES :	108694,5

Pluie et crue du 12.10.93 : Station du Marché de Miskine

Temps (heure)	Ruissellement		Temps (heure)	Erosion	
	Débit (m ³ /s)	Volume (m ³)		Débit (kg/s)	Sédiment (kg)
9h49mn	0,08	220,32	9h49mn	0,01	163,8
10h01mn	0,53	612,48	10h01mn	0,12	1279,2
10h09mn	2,02	402,6	10h09mn	5,21	2310,6

10h11mn	4,69	730,2	10h11mn	33,3	2137,2
10h13mn	7,48	1553,4	10h13mn	2,32	6264,9
10h16mn	9,78	8055,6	10h16mn	67,29	73993,5
10h30mn	9,4	4372,8	10h51mn	3,18	3593,1
10h38mn	8,82	2559	11h20mn	0,95	3915,6
10h43mn	8,24	966	12h12mn	1,56	200,4
10h45mn	7,76	1819,2	12h16mn	0,11	1044,12
10h49mn	7,3	2104,5	17h24mn	0,003	
10h54mn	6,73	1548			
10h58mn	6,17	5568			
11h14mn	5,43	563,4			
11h16mn	3,96	2138,4			
11h25mn	3,96	1938,6			
11h34mn	3,22	706,8			
11h38mn	2,67	2110,5			
11h53mn	2,02	2923,2			
12h21mn	1,46	11115,6			
14h58mn	0,9	1812,6			
15h36mn	0,69	2492,88			
16h44mn	0,53	1605,39			
17h43mn	0,38				

ANNEXES II : CARACTERISTIQUES DES FORAGES ET DONNEES PIEZOMETRIQUES (d'après DGH ; JICA, 1997, 1999)

	Date réalisat	Prof_totale	Altération	Roche saine	Niv piézo	Lithologie	Longitude	Latitude	Débit	Tube plein
Bangui (AR1)	02/03/1996	-107,00	28,00	79,00	-16,36		18,566100	4,383900	0,62000	
Bangui (AR1)	02/01/1996	-84,26	84,26	0,00			18,566900	4,385000		
ALIMA		-33,00			-2,00	ALT	18,549510	4,447580	15,00000	14,0000
BAFFIO		-36,00			-17,00	ALT	18,588740	4,393460	6,00000	
GBANGOUMA		-22,00			-8,00	ALT	18,626320	4,380920	1,20000	
BOYRABE		-23,00			-12,00	ALT	18,588740	4,393460	1,50000	
CATTIN		-201,00	30,00	171,00	-20,00	CAL	18,536700	4,364370	3,00000	
FOYER		-69,00	49,00	20,00	-13,00	CAL	18,536700	4,364370	3,60000	
CHARITE										
GALABADJA 1		-36,00			-13,00	ALT	18,554710	4,393350	0,36000	16,3000
GALABADJA 2		-21,00			-9,00	ALT	18,556510	4,396970	1,20000	15,0000
GARABA		-55,00	50,00	5,00	-11,00	QZT	18,620900	4,364630	1,20000	
GBADOUKA		-36,00			-22,00	ALT	18,628120	4,382730	0,90000	
GBAKOUATA		-30,00			-13,00	ALT	18,628120	4,382730	1,08000	12,3800

GOBONGO		-30,00			-20,00	ALT	18,561920	4,407840	2,40000	
GOLOPA		-27,00			-10,00	ALT	18,626320	4,380920	7,20000	14,40000
KAIMBA		-49,00			-21,00	ALT	18,588740	4,393460	1,80000	20,41000
KASSAI		-42,00	36,00	6,00	-13,00	QZT	18,626320	4,380920	7,20000	41,41000
KPETENE 1		-21,00			-9,00	ALT	18,538480	4,360760	4,20000	16,50000
KPETENE 2		-21,00			-10,00	ALT	18,538480	4,360760	1,20000	16,50000
KPETENE 3		-35,00			-11,00	ALT	18,538480	4,360760	1,20000	
LEON		-84,00			-58,00	ALT	18,603120	4,406160	0,66000	15,00000
GIUDAIC										
MANDABA		-35,00	17,00	18,00	-22,00	QZT	18,590540	4,395270	3,60000	15,00000
PK 10		-75,00	43,00	32,00	-18,00	SCH	18,549570	4,465660	2,40000	16,00000
PK 12 I		-64,00	50,00	14,00		SCH	18,526260	4,458350	0,00000	
PK 12 II		-27,00				ALT	18,547670	4,433110	0,00000	9,00000
PK 12 III	11/05/1987	-77,00	40,00	37,00	-12,06	SCH	18,549530	4,454810	1,10000	4,00000
S.C.B 1		-37,00	6,00	31,00	-7,00	CGL	18,527600	4,322760	15,00000	
S.C.B 2		-53,00	51,00	2,00		CGL	18,527600	4,322760	0,00000	20,05000
S.C.B 3		-41,00	23,30	17,70	-6,67	CGL	18,527600	4,322760	40,00000	13,60000
UCATEX 1		-156,00	153,00	3,00	-27,00	CAL	18,554740	4,404200	30,00000	13,60000
UCATEX 2		-171,00	145,00	26,00	-28,00	CAL	18,554740	4,404200	50,00000	17,75000
UCATEX 3							18,554740	4,404200	0,00000	
ORSTOM		-54,00				QZT	18,558410	4,429520	15,00000	
UNICEF	31/03/1989	-37,08	24,00	13,08	-10,35	SCH	18,597630	4,371790	1,40000	16,00000
ECOLE	31/10/1987	-54,42	41,00	13,42	-3,10	SCH	18,554850	4,438550	13,85000	9,00000
POLICE PK10										
FERME							18,586980	4,400680	0,00000	18,20000
BENAM 1										
FERME	31/08/1991	-63,62	49,75	13,87	-5,80	SCH	18,586980	4,400680	1,70000	
BENAM 2										
GONGORO 1		-54,00				ALT	18,549360	4,402380	0,00000	18,75000
GONGORO 2		-57,00				ALT	18,549360	4,402380	0,00000	16,75000
GUIANGOLA	30/04/1990	-51,00	45,00	6,00	-5,00	CAL	18,543730	4,322810	20,00000	18,92000
GUIANGOLA	30/04/1990	-52,00	39,00	13,00	-5,00	CAL	18,543730	4,322810	20,00000	17,30000
MARTINE PK 10	31/01/1993	-43,00	39,70	3,30	-1,04	SCH	18,558390	4,424100	10,00000	20,00000
PK 12 DISP.1		-68,00				SCH	18,563910	4,467510	8,00000	22,00000
QTIER	31/08/1987	-49,62	36,00	13,62	-10,45	SCH	18,565710	4,471130	9,92000	12,40000
BEGOUA										

Forages sur l'Axe Bangui-Boali

Villages	Lithologie	Profondeur totale (m)	Niveau statique (m)	Débit (m ³ .h ⁻¹)	Date d'exécution
Yembi 1	Schistes	-57	-12,9	1,5	mai-95
Sô 1	Calcaire	-86	-20,76	10,8	mai-95
Bafini 1	Schistes	-38	-3,9	12	juin-95

Ndèrè 2	Quartzite	-38	-16,37	2	juin-95
Bouboui 7	Quartzite	-22,75	-7,9	2,5	juin-95

Forages sur l'Axe Bangui-Damara

Villages	Lithologie	Profondeur totale (m)	Niveau statique (m)	Débit (m ³ .h-1)	Date d'exécution
Fafara	Schistes	-41,25	-9,24	6	avr-95
Liton 3	Schistes	-31,4	-13,93	2	avr-95
Délébama 2	Schistes	-61	-16,76	1,08	avr-95
Nguéréngou	Schistes	-67	-11,5	0,47	avr-95
Gbangou 1	Schistes	-37,05	-11,61	1,9	mai-95

Forages sur l'Axe Bangui-Mbaïki

Villages	Lithologie	Profondeur totale (m)	Niveau statique (m)	Débit (m ³ .h-1)	Date d'exécution
Nzila 1	Calcaire	-32,15	-15,76	1,12	mars-96
Samba 1	Sable	-35	-19,76	0,8	août-95
Sékia 1	Calcaire	-70	-14,72	0,6	août-95
Yamboro 2	Dolomie	-80,47	-21,57	0,83	juin-95
Ndangala 2	Grès	-80,25	-25,62	1,2	août-95
Bimon 1	Sable	-43	-8,04	3	juin-95
Kapou 1	Gravier	-17	-3,74	0,8	juin-95

MESURES PIEZOMETRIQUES DE mars 1984 à avril 1985 (m) (NGOKOTO, 1988)

	Puits 1	Puits 2	Puits 3	Puits 4	Puits 5	Puits 6	Puits 7
Altitude (m)	360	362	372	374	383	415	420
Profondeur (m)	5,6	2,9	7,2	4,3	9,7	8,2	19,8
	Puits 1	Puits 2	Puits 3	Puits 4	Puits 5	Puits 6	Puits 7
15/03/1984	355	360	368	373	377,7	410	403,8
12/07/1984	358,7	360,9	368,9	373,4	378,4		404,1
19/07/1984	359	361	369	373,4	378,3	411,5	404,2
20/07/1984	358,7	360,9	369	373,4	378,3	411,5	404,2
25/07/1984	357,9	360,7	368,8	373,3	373,1	411,3	403,9
30/07/1984	358,2	360,6	368,6	373,2	377,4	410,9	403,5
15/11/1984	358,4	360,2	368,1	373,2	377,7	411,4	-
23/11/1984	358,4	360,9	368,1	373,2	377,5	408,5	405,8
08/12/1984	358	360,7	367,7	373	378	410,6	405,5
13/12/1984	357,7	360,5	367,5	372,9	377,4	410,5	405,6
17/12/1984	357,5	360,6	367,4	372,9	377,4	410,4	-
22/12/1984	357,3	360,6	367,4	372,8	377,5	410,3	405,6
02/01/1985	356,7	360,7	367,2	372,6	377,4	409,8	405,5

09/01/1985	356,3	360,6	367,1	-	-	-	-
16/01/1985	356,9	360,7	367,4	373,7	377,5	409,9	405,3
22/01/1985	357,2	360,7	368,2	372,9	377,7	410,4	405
01/02/1985	356,5	360,7	367,9	372,7	377,4	409,8	-
14/02/1985	355,5	360,6	367,1	372,3	377,3	408,9	404,7
28/02/1985	354,9	360,6	367,1	371,7	377,1	407,7	404,6
02/04/1985	358,1	360,9	368,8	-	-	-	-
09/04/1985	358,2	360,7	369,3	373,2	378	411,1	404,1
18/04/1985	-	360,8	369	373,1	377,7	411	403,7
26/04/1985	358,1	360,8	368,7	-	-	-	-

MESURES PIEZOMETRIQUES DE novembre 1987 en avril 1988 (m) (NGBOKOTO, 1988)

	Puits 1	Puits 2	Puits 3	Puits 4	Puits 5	Puits 6	Puits 7
Altitude (m)	360	362	372	374	383	415	420
Profondeur (m)	-5,6	-2,9	-7,2	-4,3	-9,7	-8,2	-19,8
	Puits 1	Puits 2	Puits 3	Puits 4	Puits 5	Puits 6	Puits 7
12/11/1987	358,6	360,5	368,4	-	-	411,8	-
23/11/1987	358,7	360,4	368,4	-	-	411,5	-
05/12/1987	358,7	360,7	368,5	-	-	411,4	-
13/12/1987	358,1	360,6	368,1	-	-	411,6	-
20/12/1987	357,5	360,5	367,7	-	-	411,5	-
27/12/1987	357	360,5	367,3	-	-	411,1	-
05/01/1988	356,5	360,4	367	-	-	410,7	-
11/01/1988	356,5	360,5	366,8	-	-	410,6	-
18/01/1988	356	360,7	366,8	-	-	410,2	-
26/01/1988	355,8	360,7	366,5	-	-	410	-
05/02/1988	355,5	360,6	366,4	-	-	409,8	-
12/02/1988	355,2	360,6	366,2	-	-	409,2	-
20/02/1988	355	360,5	366,1	-	-	408,8	-
28/02/1988	355,2	360,5	366,2	-	-	408,7	-
08/03/1988	356,5	360,6	366,4	-	-	408,7	-
19/03/1988	357,2	360,8	366,8	-	-	408,6	-
27/03/1988	357,3	360,8	367,3	-	-	408,3	-
03/04/1988	358	360,7	367,8	-	-	408,2	-
11/04/1988	358,2	360,7	367,9	-	-	408	-
18/04/1988	359,2	360,9	368,2	-	-	408,6	-
24/04/1988	359,4	360,9	368,3	-	-	408,9	-

RESULTATS DES MESURES MENSUELLES DE NIVEAU D'EAU (PUITS et FORAGES) (JICA, 1997, 1999)

DW 11

DW 41

	Profondeur (m)		Profondeur (m)
	0		
23/04/1996	-2,46	23/04/1996	-5,3
22/08/1996	-1,8	22/08/1996	-4,05
05/09/1996	-1,7	06/09/1996	-4,1
04/10/1996	-1,6	04/10/1996	-3,9
07/11/1996	-1,8	07/11/1996	-4,4
20/12/1996	-2,1	20/12/1996	-5,2

DW 44

	Profondeur (m)
25/04/1996	-8,59
22/08/1996	-5,15
05/09/1996	-5,3
04/10/1996	-4,95
07/11/1996	-5,15

SW 5

	Profondeur (m)
29/04/1996	-13,5
22/08/1996	-6,4
05/09/1996	-7,1
04/10/1996	-6,9
07/11/1996	-6,55

SW 24

	Profondeur (m)
03/05/1996	-0,76
22/08/1996	-0,95
05/09/1996	-1,2
04/10/1996	-0,7
07/11/1996	-1,35
20/12/1996	-2

SW 31

	Profondeur (m)
03/05/1996	-4,12
22/08/1996	-3,95
06/09/1996	-3,9
04/10/1996	-3,6
07/11/1996	-4
20/12/1996	-4,5

SW 36

	Profondeur (m)
03/05/1996	-1,5
22/08/1996	-0,8
05/09/1996	-0,7
04/10/1996	-0,6
07/11/1996	-0,8
20/12/1996	-1,8

DW 38

	Profondeur (m)
03/05/1996	-9,2
22/08/1996	-5,5
05/09/1996	-6,1
04/10/1996	-6
07/11/1996	-5,7
20/12/1996	

SW 44

	Profondeur (m)
06/05/1996	-0,71
22/08/1996	-0,45
05/09/1996	-0,5
04/10/1996	-0,4
07/11/1996	-0,45

SW 47

	Profondeur (m)
06/05/1996	-3,83
22/08/1996	-1,1
05/09/1996	-1,1
04/10/1996	-0,95
07/11/1996	-1,5

26/12/1996 -0,9

26/12/1996 -1,2

RESULTATS DES MESURES SAISONNIERES DE NIVEAU D'EAU (PUITS et FORAGES)

	sept-96			déc-96				avr-97				
SW 11	8,8											
SW 15	4,9											
SW 19	12,6											
SW 25	2,1											
SW 26	6,6			4,3								
SW 34	3,4			2,5								
SW 39	2,1			2,9								
SW 40	0,3			1								
SW 41	2,7											
SW 48	13,9			5,3								
	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Pluie (mm)	20,69	19,7	93	141,87	134,33	127,4	213,3	202,7	201,7	194	88,4	23,75
DW 1	-11	-11,5	-12	-12,2	-12,3	-11,9	-9,9	-8,9	-7,4	-7,9	-8,1	-9,8
DW 11				-2,46				-1,8	-1,7	-1,6	-1,8	-2,1
DW 41				-5,3				-4,05	-4,1	-3,9	-4,4	-5,2
DW 44				-8,59				-5,15	-5,3	-4,95	-5,15	
SW 5				-13,5				-6,4	-7,1	-6,9	-6,55	
SW 24					-0,76			-0,95	-1,2	-0,7	-1,35	-2
SW 31					-4,12			-3,95	-3,9	-3,6	-4	-4,5
SW 36					-1,5			-0,8	-0,7	-0,6	-0,8	-1,8
DW 38					-9,2			-5,5	-6,1	-6	-5,7	
SW 44					-0,71			-0,45	-0,5	-0,4	-0,45	-0,9
SW 47					-3,83			-1,1	-1,1	-0,95	-1,5	-1,2

	sept-96	déc-96
SW 11	-8,8	
SW 15	-4,9	
SW 19	-12,6	
SW 25	-2,1	
SW 26	-6,6	-4,3
SW 34	-3,4	-2,5
SW 39	-2,1	-2,9
SW 40	-0,3	-1
SW 41	-2,7	
SW 48	-13,9	-5,3

ANNEXES III : DONNEES SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES (JICA, 1997, 1999)

Tableau I :

	DW 2	DW 6	DW 8	DW 10	DW 12	DW 16	DW 17	DW 22	DW 37	DW 42	DW 46	DW 47	DW 35	GOTOMBOA.	J.
NO ₃ (mg.l-1)	0	1,8	2,2	2,2	1,8	0	14,1	3,1	1,8	1,8	0,9	0	0,4	0	0
NH ₄ (mg.l-1)	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0	0,5	0,3	0	0,3	0	0	0,3	0	0,5
SO ₄ (mg.l-1)	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	0	0	0	9
Mn (mg.l-1)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	< 0,5	0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe (mg.l-1)	0,14	0,11	0,01	0,01	0	0,12	0,01	0,03	3,7	0,01	0,09	0,8	0,64	2,83	2,65
Cl (mg.l-1)	2	1,3	1,8	1,3	1,3	1,9	3	1,6	5,3	1,1	4,8	3,8	5,1	1,7	6,6
Ca (mg.l-1)	40	93	95	4	45	52	4	4	7	80	18	40	15	10	10
Mg (mg.l-1)	10	7	5	1	5	8	1	1	1	20	2	10	5	5	10
K (mg.l-1)	1,3	1,4	1,5	0,4	1,3	1,4	2,6	1,5	1	1,2	0,9	1,5	1,2	1,5	1,6

Tableau II :

	DW 2	DW 4	DW 6	DW 8	DW 12	DW 16	DW 22	DW 31	DW 37	DW 42	DW 46	DW 47	GOTOMBO	A.	J.
NO ₃ (mg.l-1)	<u>52,8</u>	<u>55</u>	44,8	43,5	8,8	<u>51</u>	9,2	12,3	11,8	10,5	6,1	10	11,8		16,2
NH ₄ (mg.l-1)	0,27	0,16	0,11	0,09	0,1	0,2	0,11	0,1	0,36	0,12	0,07	0,23	0,2		0,3
SO ₄ (mg.l-1)	9	7	5	5	4	8	5	4	13	6	16	8	8		22
Mn (mg.l-1)	<u>3</u>	<u>1,2</u>	<u>1,2</u>	<u>1,4</u>	<u>0,8</u>	<u>3,4</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>2,3</u>	<u>0,8</u>	<u>1</u>	<u>1,4</u>	<u>2,2</u>		<u>2</u>
Fe (mg.l-1)	<u>0,68</u>	0,28	0,21	0,11	0,08	<u>0,36</u>	0,08	0,1	<u>1,61</u>	0,09	0,91	0,9	<u>0,89</u>		<u>1,68</u>
Cl (mg.l-1)	11,5	6,6	9,9	4,9	9,9	11,5	6,6	13,2	11,5	11,5	13,2	13,2	4,9		21,4
Ca (mg.l-1)	57,2	12,8	52	60,8	33,6	16,8	0,5	0,7	1,2	72,4	62,4	76,8	3,6		20,4
Mg (mg.l-1)	17,6	10,2	19,6	15,6	20,4	21,6	0,1	1,3	0,8	59,2	47,6	14	9,2		18,8
K (mg.l-1)	1,1	1	0,9	1	1,2	1,1	1,3	1,2	1,4	1,2	0,9	1,3	1,7		1,7
HCO ₃ (mg.l-1)	223	50	173	286	150	113	1,7	2	2,4	280	223	260	30,3		84,4

Tableau III : Forages

	DW 2	DW8	DW 9	DW 10	DW 12	DW 16	DW 42
NO ₃ (mg.l-1)	8,8	7,4	17,1	7,4	7,9	11,8	34,7
NH ₄ (mg.l-1)	0	0	0,15	0,29	0	0	0,38
SO ₄ (mg.l-1)	11	6	16	5	5	11	6
Mn (mg.l-1)	3,6	1,7	6	1	1	4,7	1
Fe (mg.l-1)	0,4	0,1	2,6	0,1	0	0,6	0,3
Cl (mg.l-1)	23,1	9,9	18,1	16,5	14,8	14,8	64,3
Ca (mg.l-1)	61,6	63,2	40,8	2,4	34	14,8	72
Mg (mg.l-1)	14	12	25,2	0,8	22,4	18,8	50,8
K (mg.l-1)	1,4	1,2	1,3	0,2	1,1	1,3	1,1
HCO ₃ (mg.l-1)	183	176	141	4,9	146	107	243

Tableau IV :
Puits 1

	SW 7	SW 28	SW 29	SW 32	SW 33	SW 39	SW 44	SW 45	SW 46	SW 47
NO ₃ (mg.l-1)	0	5,7	10,1	15	16,7	0	0	11,4	0	3,1
NH ₄ (mg.l-1)	0,5	0,3	0,5	1	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
SO ₄ (mg.l-1)	1	0	23	1	1	0	0	0	0	1
Mn (mg.l-1)	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,7	< 0,8	< 0,5	0,5	0,5	< 0,5	< 0,5
Fe (mg.l-1)	0,6	0,11	0,09	0,26	0,07	0,21	1,14	0,22	0,09	0,09
Cl (mg.l-1)	19,8	18,5	76,8	16,2	10,6	1,5	8,3	9,6	1,2	0,8
Ca (mg.l-1)	9	1,5	8	9	4	2,5	4	9	4,5	6
Mg (mg.l-1)	1	0,5	2	1	1	0,5	1	1	0,5	1
K (mg.l-1)	2,6	2,5	7,3	3,3	2,9	1	1,2	2,3	0,7	0,7

Tableau V :
Puits 2

	SW 7	SW 28	SW 29	SW 32	SW 33	SW 36	SW 39	SW 44	SW 45	SW 46	SW 47
NO ₃ (mg.l-1)	26,4	11,4	34,3	43,1	65,5	11,8	14,9	6,1	8,3	7,4	11,8
NH ₄ (mg.l-1)	0,23	0,12	0,14	0,15	0,56	0,12	0,15	0,12	0,19	0,11	0,2
SO ₄ (mg.l-1)	10	6	24	7	15	5	5	5	7	4	8
Mn (mg.l-1)	1,2	1	1,4	1,2	3,4	0,8	0	1	1,2	0,6	0
Fe (mg.l-1)	0,44	0,11	0,22	0,14	0,92	0,22	0,17	0,53	0,46	0,12	0,3
Cl (mg.l-1)	36,3	54,4	93	122	26,4	13,2	9,9	24,7	23,1	18,1	4,9
Ca (mg.l-1)	4,4	5,2	6,4	16,8	0,9	0,6	0,7	1,6	1,1	0,6	0,8
Mg (mg.l-1)	2	9,2	0,8	13,2	1,1	0	1,3	0,4	1,1	0,9	0,6
K (mg.l-1)	1,5	3,6	> 8	4,8	3,1	1	1,2	1	1	1,2	1,1
HCO ₃ (mg.l-1)	9,8	2,7	7	20,4	2,4	1	1,6	1,1	2,4	1,9	1,4

Tableau VI :
Puits 3

	SW 28	SW 29	SW 32	SW 33	SW 36	SW 39	SW 44	SW 45	SW 46	SW 47
NO ₃ (mg.l-1)	11,8	7,9	9,2	11,4	8,3	8,3	10,1	10,5	9,6	10,1
NH ₄ (mg.l-1)	0,38	0,43	1,5	0,51	0,29	0,43	0,59	0,65	0,47	0,5
SO ₄ (mg.l-1)	5	38	14	8	5	8	8	8	7	7
Mn (mg.l-1)	1	2,3	3,8	1,7	0,8	1,5	1,5	1,9	1,2	1
Fe (mg.l-1)	0,1	1,1	0,8	0,4	0,1	0,2	1	0,3	0,2	0,2
Cl (mg.l-1)	11,5	150	6,6	26,4	19,8	57,7	19,8	33	13,2	8,2
Ca (mg.l-1)	3,6	5,6	7,2	0,8	0,1	1,2	0,6	1,8	0,7	0,8
Mg (mg.l-1)	2,4	6,4	6,4	1,1	0,6	0,2	1	1,8	0,4	0,8
K (mg.l-1)	2,4	> 8	3,2	1,9	0	0,6	1	0,9	0,4	0,6
HCO ₃ (mg.l-1)	4,9	20,4	13,9	4	2,4	2,9	4	2,4	3,2	2,1

ANNEXES IV : ANALYSE DES PERIODES DE RETOUR DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS MAXIMUMS DE L'OUBANGUI A BANGUI

Tableau I : Probabilités d'occurrence des Q moyens journaliers maximums annuels (m³.s⁻¹) sur la période 1911-1969

Temps de retour	Loi GUMBEL	Loi WEIBULL	Loi NORMALE	Moyenne des Q estimés par temps de retour	Valeurs maximales observées
2 ans	10600	10900	10800	10767	
5 ans	12200	12500	12300	12333	16000 m ³ .-1 en 1916
10 ans	13300	13200	13000	13167	
20 ans	14300	13800	13700	13933	13710 m ³ .-1 en 1917
50 ans	15600	14400	14400	14800	
100 ans	16700	14800	14800	15433	14400 m ³ .-1 en 1961
500 ans	19100	15500	15800	16800	
1000 ans	20100	15800	16200	17367	14100 m ³ .-1 en 1964
10000 ans	23400	16600	17200	19067	

Tableau II : Probabilités d'occurrence des Q moyens journaliers maximums annuels (m³.s⁻¹) sur la période 1935-1999

Temps de retour	Loi GUMBEL	Loi WEIBULL	Loi NORMALE	Moyenne des Q estimés par temps de retour	Valeurs maximales observées
2 ans	9450	9840	9720	9670	
5 ans	11700	11500	11400	11533	14400 m ³ .-1 en 1961
10 ans	13200	12200	12300	12567	
20 ans	14600	12800	13000	13467	
50 ans	16500	13500	13800	14600	14100 m ³ .-1 en 1964
100 ans	17800	13900	14300	15333	
500 ans	21000	14600	15400	17000	
1000 ans	22400	14900	15800	17700	
10000 ans	27000	15700	17100	19933	

Tableau III : Probabilités d'occurrence des Q moyens journaliers maximums annuels (m³.s⁻¹) sur la période 1935-1969

Temps de retour	Loi GUMBEL	Loi WEIBULL	Loi NORMALE	Moyenne des Q estimés par temps de retour	Valeurs maximales observées
2 ans	10500	10800	10700	10667	
5 ans	12000	12100	12000	12033	14400 m ³ .-1 en 1961
10 ans	13000	12700	12600	12767	
20 ans	13900	13200	13200	13433	
50 ans	15200	13700	13800	14233	14100 m ³ .-1 en 1964
100 ans	16100	14000	14200	14767	
500 ans	18300	14600	15000	15967	
1000 ans	19200	14800	15400	16467	
10000 ans	22200	15400	16300	17967	

Tableau IV : Probabilités d'occurrence des Q moyens journaliers maximums annuels (m³.s⁻¹) sur la période 1970-1999

Temps de retour	Loi GUMBEL	Loi WEIBULL	Loi NORMALE	Moyenne des Q estimés par temps de retour	Valeurs maximales observées
2 ans	8270	8640	8550	8487	
5 ans	10200	10200	10100	10167	12700 m ³ .-1 en 1975
10 ans	11500	10900	10900	11100	
20 ans	12700	11500	11600	11933	
50 ans	14300	12100	12300	12900	12088 m ³ .-1 en 1999
100 ans	15500	12500	12800	13600	
500 ans	18300	13200	13800	15100	
1000 ans	19400	13500	14200	15700	
10000 ans	23400	14300	15400	17700	

Tableau V : Statistiques de base des Q moyens journaliers maximums (m³.s⁻¹) de l'Oubangui à Bangui Période 1911-1999

Nombre d'observations	73 (années)
Minimum	4930 m ³ .s ⁻¹
Maximum	16000 m ³ .s ⁻¹
Moyenne	9900 m ³ .s ⁻¹
Ecart-type	2090
Médiane	9800
Coefficient de variation (Cv)	0,211
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,168
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3,20

Période 1911-1969

Nombre d'observations	43 (années)
Minimum	7910 m ³ .s ⁻¹
Maximum	16000 m ³ .s ⁻¹
Moyenne	10800 m ³ .s ⁻¹

Ecart-type	1720
Médiane	10700
Coefficient de variation (Cv)	0,158
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,770
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3,56

Période 1935-1999

Nombre d'observations	65 (années)
Minimum	4930 m ³ .s ⁻¹
Maximum	14400 m ³ .s ⁻¹
Moyenne	9720 m ³ .s ⁻¹
Ecart-type	1980
Médiane	9790
Coefficient de variation (Cv)	0,204
Coefficient d'asymétrie (Cs)	-0,0878
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2,76

Période 1935-1969

Nombre d'observations	35 (années)
Minimum	7940 m ³ .s ⁻¹
Maximum	14400 m ³ .s ⁻¹
Moyenne	10700 m ³ .s ⁻¹
Ecart-type	1500
Médiane	10500
Coefficient de variation (Cv)	0,140
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,463
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2,82

Période 1970-1999

Nombre d'observations	30 (années)
Minimum	4930 m ³ .s ⁻¹
Maximum	12700 m ³ .s ⁻¹
Moyenne	8550 m ³ .s ⁻¹
Ecart-type	1830
Médiane	8660
Coefficient de variation (Cv)	0,215
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,200
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2,51

Test d'ajustement de la loi de Gumbel et fréquences des Q moyens journaliers maximums de l'Oubangui à Bangui (1911-1999)

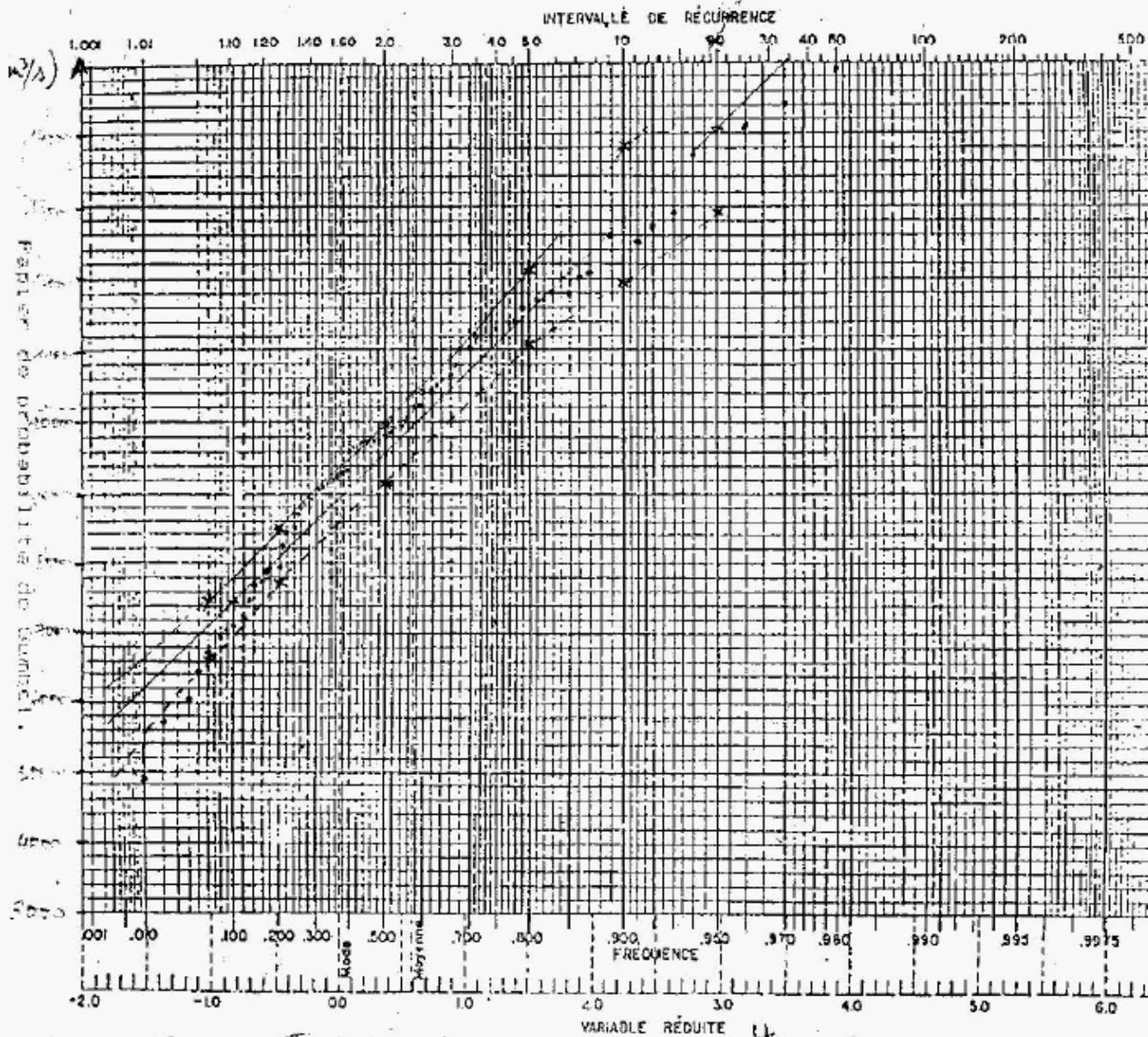
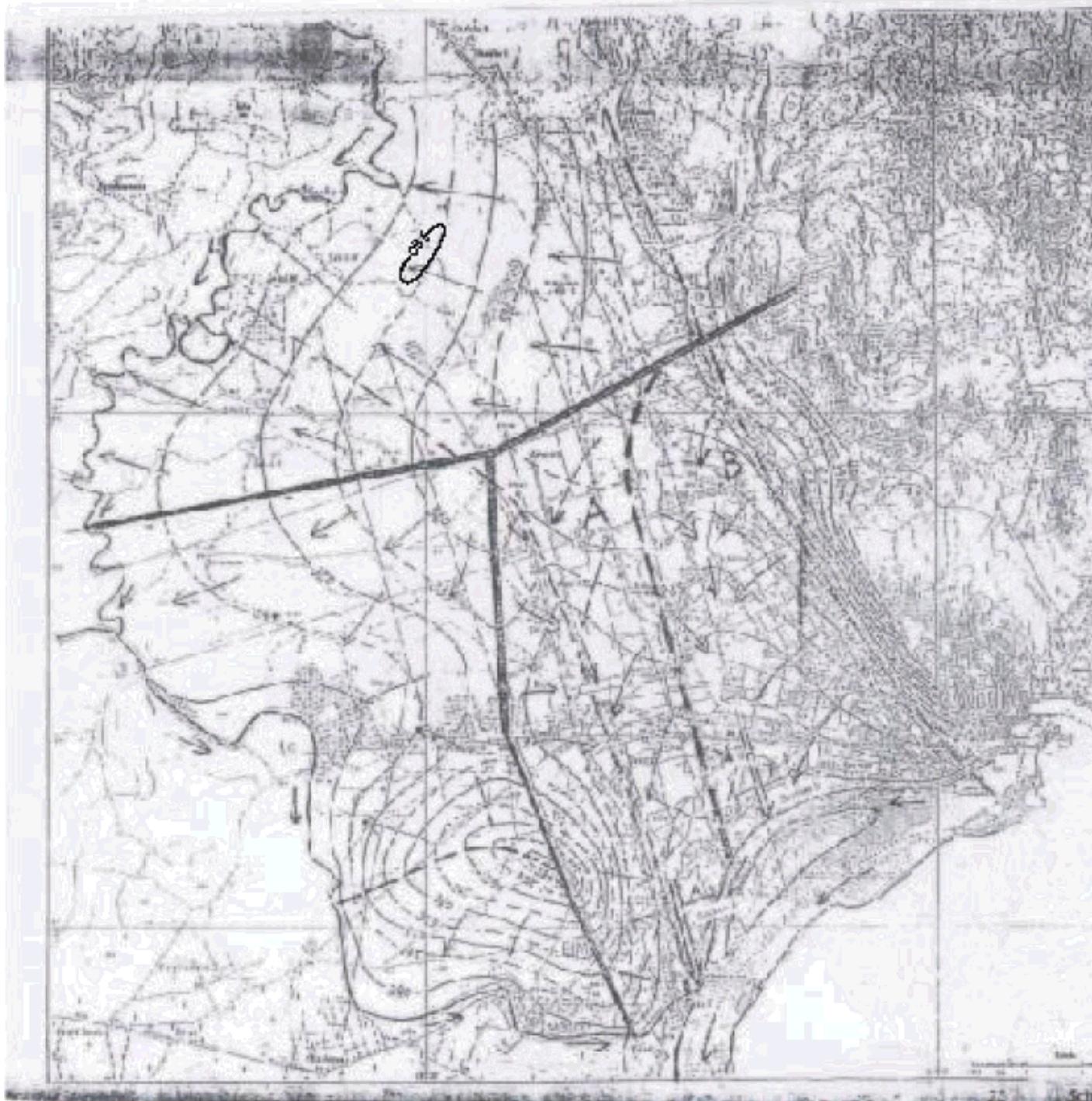


Fig. 121 - Test d'ajustement de la loi Gumbel et indépendance de 2 variables (m³/s)

ANNEXES V : DOCUMENTS DIVERS

1) Découpage des bassins hydrogéologiques de la ville de Bangui (d'après la JICA, 1999)



2) Plan d'urbanisme directeur de la ville de Bangui de 1971 (d'après le Service du Cadastre : in DEPRET, 1967)



Note1. Selon le recensement de décembre 2003, Bangui compte 531 763 habitants et Bimbo 144 086, soit une agglomération de 640 000 habitants.

Note2. Union Douanière et Economique en Afrique Centrale

Note3. Ecole Normale Supérieure

Note4. La Centrafricaine des Pétroles

Note5. Société centrafricaine des Télécommunications

Note6. Nous avons successivement : 6,42 km² en 1945, 22,56 km² en 1960, 37 km² en 1976, 55 km² en 1987 et 63 km² en 1990.

Note7. Ce rond-point abritait la statue de l'Empereur BOKASSA 1er avant sa chute en 1979.

Note8. L'emplacement de cet aéroport sur le tronçon de l'actuelle avenue des Martyrs, compris entre l'avenue KOUDOUKOU et le Monument des Martyrs, est situé au centre-ouest et au nord de la ville.

Note9. Dans les quartiers populaires, il y a de moins en moins d'espace entre les habitations servant d'*espaces verts*. Alors que dans les quartiers résidentiels, des *espaces verts* sont intégrés aux parcelles construites ; ils le sont moins dans les parcelles construites des quartiers lotis, d'après nos observations par photo-observation.

Note10. On y note une prédominance de sables argileux gris que nous avons reconnu en échantillonnant dans la Guitangola.

Note11. Le recouvrement sableux sur ce site est plus ou moins argileux jaune.

Note12. Bobassa est le nom d'un village remontant à la fin du XIXe siècle qui est situé à 45 km au sud et en aval de Bangui par l'Oubangui.

Note13. Elles comprennent le *Néoprotérozoïque* (900-550 Ma) qui est appelé aussi Protérozoïque Supérieur ou Précambrien A, le *Mésoprotérozoïque* (1600-900 Ma) ou Protérozoïque Moyen ou intermédiaire ou Précambrien B, et le *Paléoprotérozoïque* (2500-1600 Ma) i.e. Protérozoïque Inférieur ou Précambrien C.

Note14. Dans ce paragraphe, nous entendons par *toit calcaire* le *toit du socle ou du substratum atteint par le forage*. La profondeur moyenne est en fait la moyenne arithmétique des profondeurs de forages réalisés.

Note15. C'est le nom du cours d'eau qui draine ce quartier, sans doute sur un ancien marécage appelé *Ngou-lôssô*. Ce marécage se situait entre les quartiers Combattant, Ngongonon lui-même et Gobongo.

Note16. La *Surface centrafricaine* est constituée du bouclier précambrien séparant les trois grands bassins africains : congolais, nilotique et tchadien (BOULVERT, 1996).

Note17. La *Surface de Bangui* est la zone plane du site de Bangui qui comprend les petits cours d'eau affluents et la Mpoko, la drainant, relayant et communiquant avec la plaine (inondable) de l'Oubangui. Elle fait partie du piémont oubanguien, constitué de glacis cuirassés et de secteurs déprimés crypto-karstiques, qui est défini par BOULVERT (1996) comme une succession d'entailles d'érosion ayant laissé subsister des reliefs résiduels importants.

Note18. Le *Rocher de l'Artillerie* est le nom donné au promontoire rocheux au pied des Rapides de l'Oubangui, au-dessus duquel l'hôtel SOFITEL est construit.

Note19. La *latérite*, sol rougeâtre du milieu tropical humide, a une granulométrie hétérogène. Elle est composée de concrétions, graviers ou gravillons et de fines, et caractérisée par la présence d'alumine libre et d'oxyde de fer. Lorsque ce sol est soumis à l'érosion hydrique, les fines particules s'en vont et les nodules, gravillons ou graviers (2 cm à 2 mm) sont transportés et se concentrent par relais progressifs dans les talwegs ou linéaires d'écoulement, en fonction de la compétence des eaux de ruissellement.

Note20. L'aquifère de la latérite est en fait ici celui des couches superficielles.

Note21. L'hydromorphie = engorgement en eau des sols.

Note22. La Ngola a un débit variable et ses eaux sont pompées par une station pour alimenter l'ex Centre IRD de Bangui comme les quartiers alentours.

Note23. La dénivellation des bas-fonds marécageux par rapport à l'Oubangui est variable localement : 4 à 15 mètres.

Note24. Les collecteurs existants sont souvent dépassés par les volumes d'eau qui ruissellent suite à chaque averse.

Note25. Nous pouvons expliquer ces profondeurs variables par des arguments morphostructuraux et tectoniques de l'aquifère profond.

Note26. Occurrence d'arrachement des particules du sol.

Note27. Des fines aux graviers, voire des blocs de pierres se retrouvent sur certaines voies de la ville de Bangui après chaque averse.

Note28. Il se pratique systématiquement tous les matins et peut-être 2 à 3 fois par jour selon que des feuilles d'arbres fruitiers et autres tombées encombrant la cour d'habitation, ou après certains travaux domestiques.

Note29. Etant donné que cet auteur a installé trois (3) stations sur le cours d'eau, nous les avons prises en compte pour calculer les différentes superficies des bassins-versants correspondants (voir fig. 53 pour les étendues relatives des sous-bassins) ; nous avons considéré les paramètres d'artificialisation des réseaux (voirie...) pour une présentation et un développement des stations hydrométriques, à l'exutoire de la Ngoubagara.

Note30. Le *temps de latence* se définit comme le temps qui s'écoule entre la précipitation et le ruissellement lequel provoque une réponse des cours d'eau. Le *temps de réponse* est le décalage chronologique entre le maximum de la pluie et la pointe de la crue.

Note31. Ce logiciel est développé par l'équipe de la Chaire en hydrologie statistique (HYDRO-QUEBEC/ALCAN/ CRSNG) à l'INRS-ETE (Université du Québec).

Note32. La *première station* sur la Mpoko à Bangui a été installée par l'ORSTOM le 1er avril 1951, à l'emplacement de l'ancien bac de la route Bangui-Mbaïki, 8 km en amont de l'actuelle. Les éléments 1-3 m, fixés sur des rôniers, ont été emportés à la montée de la crue. Les éléments 1-3 m et 6-7 m ont été réinstallés le 8 mai 1952 (CALLEDE, 1992). La station a été reconstruite sur le site actuel le 14 mai 1953, 150 m en amont du pont.

Note33. Elle est située sur la rive gauche, à l'amont immédiat du pont de la route Bangui-Bossembélé (4°32'N-18°28'E). Ces stations sont donc installées en 1957 par l'ORSTOM et abandonnées en 1974. La remise en état de la station limnimétrique a été faite le 18 septembre 1985, et celle du limnigraphe, le 4 septembre 1986, par le Projet CAF/84/007.

Note34. Deux sources de données de débits de la Mpoko nous ont été utiles. Dans les *Annuaire Hydrologiques* de la RCA disponibles à la Direction de la Météorologie Nationale, nous avons obtenu les données de 1955 à 1973 ; celles de 1974 à 1985 ont été estimées et fournies par ORANGE (1995).

Note35. Le modèle de calcul du bilan hydrologique est le suivant :

$$Q(\text{Mpoko}) = Q(\text{Zinga}) - Q(\text{Bangui}) - Q(\text{Léssé}) - S(\text{Zinga-Bangui-Mpoko-Léssé}) * Q_s(\text{Région/mois})$$

d'où $Q_s(\text{Région/mois}) = Q_s(\text{Léssé/mois})$ et $Q_s(\text{Léssé}) = Q(\text{Léssé})/S(\text{Léssé})$

Note36. La faible pente à la confluence entraîne un déversement de ses eaux dans la Mpoko, ce qui explique que la mesure des débits à ce niveau ne serait pas fiable.

Note37. Ce bassin est situé sur tout le Nord de la ville de Bangui (voir Figures 2 : p. 8, et 36 : p. 97).

Note38. La station de la Ngola a été installée en 1952 par l'ORSTOM et a servi pour l'expérimentation, puis a été abandonnée en 1974. Elle est reprise par le Projet CAF/84/007 en 1987, et pour l'année hydrologique 1987-1988, la hauteur d'eau maximale du cours d'eau est lue à 143 cm à l'échelle.

Note39. RODIER (1953) estime le débit spécifique de la Ngola à $2000 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ (avec moins de $1000 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ pour une superficie de 25 km^2) ; il attribue ses valeurs à la couverture végétale.

Note40. Ces chenaux anastomosés n'ont rien à voir avec ceux de la rivière Aoûk in BOULVERT, 1996 – Fig. 49, p. 157.

Note41. Ce sont des faux fromagers : *Ceiba pentandra* ; les vrais (*Bombax costatum*) poussent plus au nord du pays-voir BOULVERT, 1986.

Note42. L'*Opération BOKASSA* est antérieure à la *réforme agraire* de 1971 qui a permis de nationaliser les instituts français de recherches agronomiques devenus des coquilles vides (BOULVERT, 2002).

Note43. Cette dynamique est très active dans le lit de la Mpoko et de son gros affluent la Pama, fournissant une charge en suspension abondante à l'Oubangui à l'ouest-sud-ouest de la ville, et a été à l'origine de nombreux recouplements de méandres, ou bras morts, qui ne sont jusque-là pas étudiés.

Note44. Selon BOULVERT (2003, comm. orale), le premier puits fut creusé en 1895 par la mission noire qui construisit également le premier four à chaux à partir d'huîtres, les premières briques, car il manquait de l'eau potable.

Note45. Ces dépôts sont aussi mis en évidence par les forages de l'UCATEX, et nous avons oublié de les mentionner dans la géologie du site.

Note46. D'après BESSOLES et TROMPETTE (1980) et POIDEVIN (1985), les conglomérats noirs de Bimbo sont sous-jacents aux calcaires de la Série de Fatima (p. 70), alors que CORNACCHIA et GIORGI (1986) les dispose au-dessus de la Série de Fatima. ALVAREZ (2000) place ces formations dans une même série, celle de Fatima. Il situe en revanche les calcaires au-dessus des conglomérats noirs de Bimbo (p. 72).

Note47. TA : titre alcalimétrique ; TAC : titre alcalimétrique complément.

Note48. Nous avons fait un test pour voir si le seul pompage d'eau fluviale de l'Oubangui suffit à produire de l'eau potable à Bangui et ne poserait pas de problème à l'écoulement de ce cours d'eau en saison sèche, où le débit minimal absolu a été de $227 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ en avril 1990. Sur la base de $100 \text{ l.habitant}^{-1}.\text{jour}^{-1}$, nous avons calculé le volume d'eau à prélever pour approvisionner 150000, 200000, 700000 et 1400000 habitants. Nous avons obtenu $0,174 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour 150000 habitants, $0,232 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour 200000 habitants, $0,81 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour 700000 habitants et $1,62 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour 1400000 habitants. Ces résultats nous montrent qu'il y aurait de l'eau disponible même si la population de Bangui triple ou quadruple. Car le débit critique d'étiage calculé avec la loi de Weibull (méthodes de vraisemblance et des moments) nous donne respectivement $58 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $56 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ de fréquence millénaire. Ceci montre qu'aucun problème ne se poserait, il suffit d'accroître la capacité de production journalière.

Note49. VENNETIER (1988) entend par eaux usées, les eaux ménagères (lessive, toilettes, cuisine), les eaux vannes (matières fécales et urine) ; les eaux industrielles (rejet) sont considérées à part.

Note50. Elle a bien été détournée pour un projet d'aménagement piscicole des Eaux et Forêts. En effet d'après nos enquêtes, l'origine des stations ou centres piscicoles en Centrafrique est liée aux périmètres de reboisement dès 1952. Ce n'est qu'à partir de 1968 que différents projets s'intéressent à la pisciculture. Car à l'origine, les colons qui reboisaient avaient besoin de l'eau pour alimenter les jeunes plants/pousses, et donc de la proximité des cours d'eau ; et comme ils avaient des engins qui leur permettaient de dériver l'eau et de construire les bassins, ils l'avaient fait et ont ainsi donné lieu à la naissance de la *pisciculture* dans le pays

et dans la région de Bangui.

Note51. Du nom d'une station hydrométrique sur la Ngoubagara dans le chapitre IV ; voir aussi Figure 53.

Note52. L'eau des fontaines publiques (= eau courante ou eau de robinet) n'est pas la même que celle des puits traditionnels.

Note53. Le cas de 1983 paraît exceptionnel heureusement. On nous a aussi signalé une crise similaire en 1963.

Note54. C'était l'ancien site exondé du village *Bogbaya*, futur quartier La Kouanga déplacé.

Note55. Le SAFARI Hôtel, construit en 1967, a été pillé et détruit après la chute de l'Empereur BOKASSA 1^{er} en septembre 1979 ; refait en 1983, il est devenu le SOFITEL.

Note56. Le débit journalier à la date du 6 novembre où nous avons effectué cette excursion était de 11 440 m³.s⁻¹, ce qui confirmerait qu'une crue inondante de l'Oubangui serait possible pour un débit journalier de 11 000 m³.s⁻¹.

Note57. En 1900, la végétation forestière était dense dans le site de Bangui.