

**Banque Mondiale
Programme des Nations Unies
pour le Développement
Banque Africaine de Développement
Ministère Français de la Coopération**

Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-Saharienne Pays de l'Afrique de l'Ouest

Rapport de pays : BENIN

Janvier 1993

**Mott MacDonald
International
Cambridge, UK**

**BCEOM
Montpellier
France**

**SOGREAH
Grenoble
France**

**ORSTOM
Montpellier
France**

REMARQUES

En 1991 une réorganisation ministérielle est intervenue modifiant la dénomination de certains ministères cités dans ce rapport. Ainsi la Direction de l'Hydraulique dépend maintenant du Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Hydraulique (MEMH).

PREAMBULE

Cette étude constitue la troisième tranche de l'évaluation hydrologique régionale de l'Afrique Subsaharienne financée par le PNUD (Projet RAF/87/030), la Banque Africaine de Développement, et le Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française. L'étude a porté sur 23 pays de l'Afrique de l'Ouest et a débuté en septembre 1990. Les pays furent visités par les membres de l'équipe d'étude entre novembre 1990 et novembre 1991. Le temps global consacré à chaque pays a été de six semaines en moyenne, dont la moitié au bureau des consultants. Dans 17 pays, ces derniers ont été introduits par le CIEH. L'étude a été organisée de manière à ce que les évaluations soient réalisées par le personnel de Mott MacDonald International, du BCEOM, de SOGREAH, de l'ORSTOM et de plusieurs consultants nationaux. Dès le début, une attention particulière a été portée à la cohérence de l'approche et à l'homogénéité de l'évaluation.

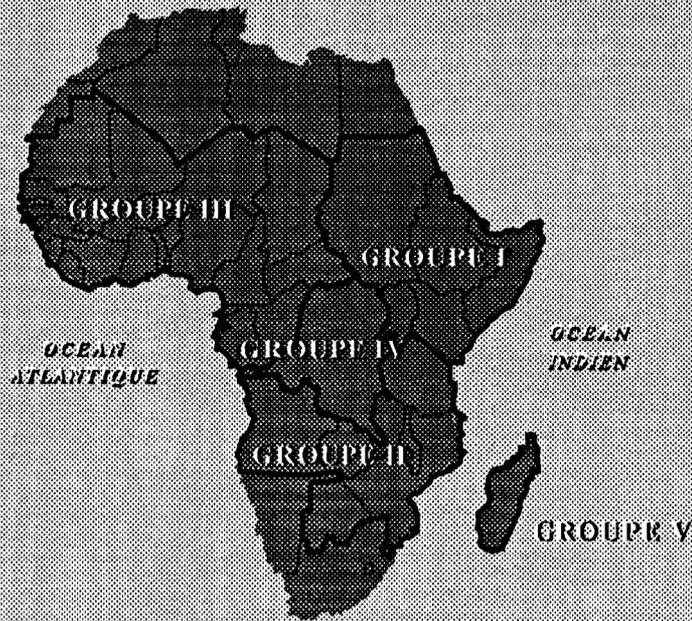
Le projet consistait à évaluer l'état des systèmes de collecte de données hydrologiques existants, et à formuler des recommandations nécessaires à leur amélioration, de manière à assister les pays dans l'établissement ou l'amélioration de bases de données hydrologiques fiables en vue de leur permettre une meilleure planification des programmes et projets de l'aménagement des ressources en eaux superficielles et souterraines. Le but était donc d'identifier les domaines où l'aide internationale serait nécessaire et de développer ces recommandations dans des propositions de projets sous une forme convenant aux bailleurs de fonds.

Les évaluations nationales, recommandations et propositions de projets identifiés ont fait l'objet de rapports nationaux. Un rapport régional complète les rapports par pays sur les aspects de l'étude qui nécessitent une approche au niveau de la région ou d'un grand bassin. Il résume également les caractéristiques communes des évaluations nationales et inclut des propositions de projets pour les activités qui couvrent tout ou partie de la région.

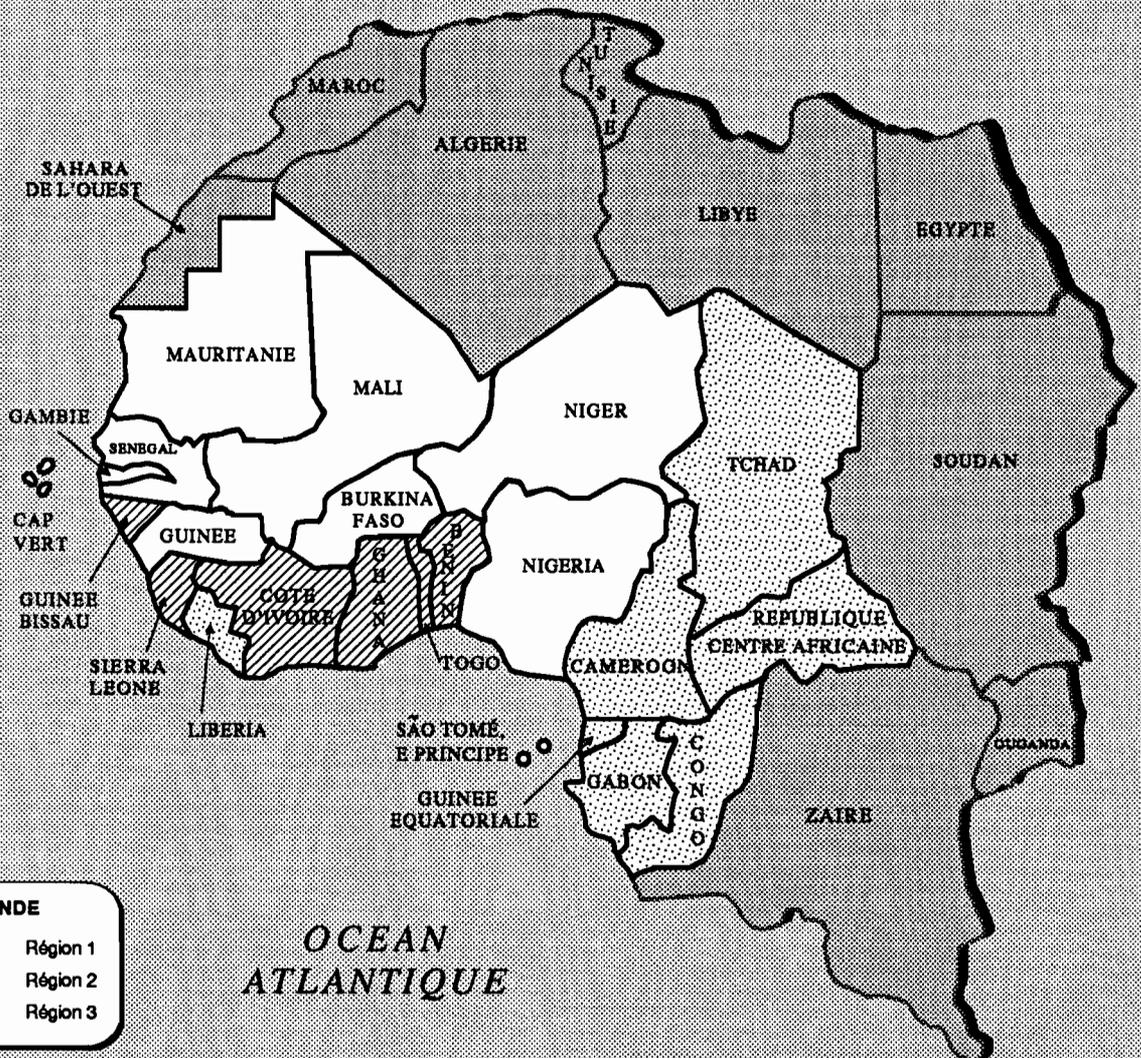
Le présent rapport a été réalisé par SOGREAH et l'ORSTOM à partir des informations et documents rassemblés durant la mission effectuée au Bénin du 24 novembre au 15 décembre 1990.

Nous souhaitons insister particulièrement sur l'aide précieuse apportée par des personnalités trop nombreuses pour être citées, et qui nous ont aidés à mener à bien cette évaluation.

Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-Saharienne



Pays de l'Afrique de l'Ouest - Groupe III



LEGENDE

	Région 1
	Région 2
	Région 3

CHAPITRE 1

DONNEES GENERALES

1.1	Géographie	I-1
1.2	Population	I-2
1.2.1	Estimation de la population rurale du Bénin et prévisions de croissance	I-4
1.2.2	Estimation de la population urbaine du Bénin et prévisions de croissance	I-5
1.3	Santé	I-6
1.4	Education	I-6
1.5	Economie	I-8
1.5.1	Activités du secteur primaire	I-8
1.5.2	Activités du secteur minier et industriel	I-10
1.5.3	Secteur tertiaire	I-10
1.5.4	Plan de développement	I-11
1.5.5	Budgets votés	I-11
1.6	Climat	I-11
1.6.1	Zones climatiques	I-12
1.6.2	Précipitations	I-13
1.7	Géologie	I-18
1.7.1	Cadre géologique général	I-18
1.7.2	Aperçu sur la structure géologique du Bénin	I-18
1.7.3	Structure du bassin sédimentaire côtier	I-20
1.8	Hydrologie	I-22
1.8.1	Bassin de la Pendjari	I-22
1.8.2	Bassin du Niger	I-22
1.8.3	Hauts bassins de la Keran et de la Kara	I-24
1.8.4	Bassin de l'Ouémé	I-24
1.8.5	Bassin du Couffo	I-25
1.8.6	Bassin du Mono et de la Sazue	I-25
1.9	Hydrogéologie	I-25
1.9.1	Caractéristiques hydrogéologiques des formations du socle	I-26
1.9.2	Caractéristiques hydrogéologiques des formations sédimentaires	I-30
1.9.3	Qualité des eaux souterraines	I-36

CHAPITRE 2

RESSOURCES EN EAU

2.1	Ressources en eau disponibles au Bénin	II-1
2.1.1	Evaluation des ressources en eaux de surface	II-2
2.1.2	Evaluation des ressources en eau souterraine	II-14
2.2	Aménagements existants	II-27
2.2.1	Utilisation actuelle des eaux de surface	II-27
2.2.2	Utilisation actuelle des eaux souterraines	II-29
2.3	Besoins en eau	II-34
2.3.1	Alimentation des populations	II-34
2.3.2	Besoins de l'agriculture	II-41
2.3.3	Besoins en hydroélectricité	II-49

CHAPITRE 3

CLIMAT

3.1	Organisation et gestion	III-1
3.1.1	Service Météorologie National	III-1
3.1.2	Autres organisations	III-3
3.1.3	Personnel et formation	III-5
3.1.4	Budget	III-6
3.2	Données climatologiques	III-6
3.2.1	Réseau climatologique	III-6
3.2.2	Equipement	III-7
3.2.3	Entretien et soutien sur le terrain	III-14
3.2.4	Traitement des données	III-15
3.2.5	Disponibilité des données	III-18
3.3	Données pluviométriques	III-18
3.3.1	Réseau pluviométrique	III-18
3.3.2	Equipement	III-28
3.3.3	Entretien et soutien sur le terrain	III-28
3.3.4	Traitement des données	III-28

3.3.5	Qualité des données	III-29
3.3.6	Disponibilités des données	III-38

CHAPITRE 4

EAUX SUPERFICIELLES

4.1	Organisation et gestion	IV-1
4.1.1	Service de l'Hydrologie	IV-1
4.1.2	Autres organisations	IV-3
4.1.3	Personnel et formation	IV-5
4.1.4	Budget	IV-7
4.2	Données hydrologiques	IV-8
4.2.1	Réseau hydrométrique	IV-8
4.2.2	Méthodes de mesure des débits	IV-22
4.2.3	Equipement	IV-22
4.2.4	Entretien et soutien sur le terrain	IV-28
4.2.5	Traitement des données	IV-29
4.2.6	Qualité des données	IV-31
4.2.7	Disponibilité des données	IV-40
4.3	Transport solide	IV-43
4.4	Qualité des eaux	IV-44

CHAPITRE 5

EAUX SOUTERRAINES

5.1	Organisation et gestion	V-1
5.1.1	Service géologique	V-1
5.1.2	Service des études d'hydrogéologie	V-3
5.1.3	Service de la programmation et de la réglementation	V-7
5.1.4	Société Béninoise d'eau et d'électricité	V-9
5.1.5	Autres	V-11

5.2	Données géologiques	V-12
5.2.1	Cartographie géologique	V-12
5.2.2	Carothèque - Conservation des échantillons de roche	V-13
5.3	Données hydrogéologiques	V-13
5.3.1	Cartographie des aquifères	V-13
5.3.2	Données de base hydrogéologiques	V-14
5.3.3	Données piézométriques	V-28

CHAPITRE 6

EXPERTISE ET EVALUATION

6.1	Besoins en données	VI-1
6.1.1	Besoins en données pour l'évaluation des ressources en eaux souterraines	VI-1
6.1.2	Besoins en données sur la qualité de l'eau	VI-2
6.1.3	Connaissance du milieu lagunaire nécessaire	VI-3
6.1.4	Besoins en données de la Direction des Voies Urbaines	VI-4
6.1.5	Besoins en données de la Direction des routes et ouvrages d'art	VI-4
6.1.6	Besoins en données de la Direction de l'urbanisme et de l'habitat	VI-4
6.1.7	Besoins en données de la Direction de l'agriculture	VI-5
6.1.8	Besoins en données de la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement	VI-5
6.1.9	Besoins en données de la Direction de la Recherche agronomique	VI-6
6.1.10	Besoins en données de la Direction du génie rural	VI-6
6.1.11	Besoins en données des eaux et forêts	VI-7
6.1.12	Besoins en données de la Direction des pêches	VI-7
6.1.13	Besoins en données dans le domaine de l'hydroélectricité	VI-8
6.2	Pluviométrie	VI-8
6.2.1	Evaluation générale	VI-8
6.2.2	Situation actuelle	VI-9
6.2.3	Besoins à venir	VI-11
6.3	Climat	VI-11
6.3.1	Evaluation générale	VI-11
6.3.2	Situation actuelle	VI-12
6.3.3	Besoins à venir	VI-13

6.4	Hydrologie	VI-13
6.4.1	Réseau hydrométrique	VI-14
6.4.2	Traitement et disponibilité des données	VI-17
6.4.3	Matériel hydrométrique et véhicules	VI-17
6.4.4	Personnel	VI-17
6.4.5	Aspects budgétaires et institutionnels	VI-19
6.4.6	Conclusion : Adéquation aux besoins actuels et futurs	VI-19
6.5	Hydrogéologie	VI-21
6.5.1	Evaluation générale	VI-21

CHAPITRE 7

RECOMMANDATIONS

7.1	Description générale du niveau de changement nécessaire	VII-1
7.1.1	Législation du régime des eaux	VII-1
7.1.2	Cadre institutionnel	VII-2
7.1.3	Coordination - Comité National de l'Eau	VII-2
7.1.4	Recommandations pour la coordination du domaine hydraulique	VII-3
7.1.5	Statut du service hydrologique	VII-4
7.1.6	Nécessité d'une politique de l'eau	VII-4
7.2	Pluviométrie et climat	VII-5
7.2.1	Structure organisationnelle	VII-5
7.2.2	Réseaux	VII-6
7.2.3	Données	VII-7
7.3	Eaux superficielles	VII-7
7.3.1	Structure organisationnelle	VII-7
7.3.2	Réseau	VII-8
7.3.3	Données	VII-9
7.3.4	Autres recommandations	VII-10
7.4	Eaux souterraines	VII-12
7.4.1	Structure organisationnelle	VII-12
7.4.2	Recommandations concernant les données géologiques	VII-15
7.4.3	Recommandations concernant les données hydrogéologiques	VII-17
7.5	Projets identifiés	VII-36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.2.1 : Densité de population au Bénin	I-2
Tableau 1.2.2 : Prévisions de croissance de la population rurale	I-4
Tableau 1.2.3 : Projections démographiques pour les centres urbains les plus importants du bassin sédimentaire côtier	I-5
Tableau 1.2.4 : Projections démographiques pour les centres urbains les plus importants en zone de socle	I-7
Tableau 1.5.1 : Cultures vivrières	I-8
Tableau 1.5.2 : Cultures d'exportation	I-9
Tableau 1.5.3 : Evolution du budget de l'Etat	I-11
Tableau 1.9.1 : Caractéristiques générales des unités hydrogéologiques du Bénin	I-27
Tableau 1.9.2 : Caractéristiques générales des 27 unités hydrogéologiques	I-31
Tableau 1.9.3 : Tableau récapitulatif sur la nature géologique des aquifères du bassin sédimentaire	I-35
Tableau 2.1.1 : Influence de la pluviométrie sur l'alimentation des nappes	II-16
Tableau 2.1.2 : Estimation des réserves des différentes unités hydrogéologiques du Bénin	II-17
Tableau 2.1.3 : Caractéristiques des captages en fonction des différents aquifères du bassin sédimentaire côtier du Bénin	II-19
Tableau 2.1.4 : Bilan des aquifères du CT et du Crétacé	II-22
Tableau 2.1.5 : Bilan de la nappe du CT/Quaternaire d'Allada en régime permanent	II-23
Tableau 2.1.6 : Bilan hydraulique de la nappe d'Allada calculé par le modèle dans le cadre du projet PNUD BEN/85/004	II-24
Tableau 2.1.7 : Estimation de la recharge annuelle des eaux souterraines du Bénin	II-26
Tableau 2.2.1 : Evolution de la production d'eau à partir des petits barrages	II-27
Tableau 2.2.2 : Evolution de la production des forages SBEE à Godomey pour alimenter Cotonou	II-30
Tableau 2.2.3 : Production des installations de la SBEE à partir des eaux souterraines	II-31
Tableau 2.2.4 : Alimentation des populations rurales par l'eau souterraine	II-32
Tableau 2.3.1 : Satisfaction des besoins en eau en 1989 pour le milieu urbain	II-34
Tableau 2.3.2 : Objectifs d'approvisionnement en eau des populations urbaines	II-35
Tableau 2.3.3 : Evolution des prélèvements de la nappe de Godomey	II-26
Tableau 2.3.4 : Estimations de la consommation d'eau des centres urbains	II-36
Tableau 2.3.5 : Répartition des villages selon le degré d'urgence des besoins en eau	II-38
Tableau 2.3.6 : Besoins en points d'eau des villages selon la taille et l'urgence	II-38
Tableau 2.3.7 : Besoins en points d'eau des équipements collectifs	II-39
Tableau 2.3.8 : Evaluation des besoins en points d'eau ruraux	II-39
Tableau 2.3.9 : Besoins en prélèvements globaux de l'hydraulique villageoise au Bénin	II-41
Tableau 2.3.10 : Pourcentage de la superficie sans point d'eau à usage pastoral	II-44
Tableau 2.3.11 : Hydraulique pastorale au Bénin	II-45
Tableau 2.3.12 : Récapitulation des besoins en hydraulique pastorale	II-46
Tableau 2.3.13 : Nombre de points d'eau à créer en hydraulique pastorale au Bénin	II-47

Tableau 2.3.14 : Caractéristiques de sites hydroélectriques aménageables	II-49
Tableau 3.1.1 : Effectif du personnel du service météorologique	III-5
Tableau 3.1.2 : Niveau de qualification des différents grades	III-5
Tableau 3.2.1 : Liste des stations du réseau synoptique et climatologique	III-18
Tableau 3.2.2 : Réseau synoptique et climatologique	III-10
Tableau 3.2.3 : Réseau synoptique et climatologique - Paramètres observés/mesurés	III-12
Tableau 3.2.4 : Instruments utilisés sur les stations du réseau climatologique	III-14
Tableau 3.3.1 : Liste des stations pluviométriques	III-19
Tableau 3.3.2 : Chronologie du réseau pluviométrique	III-20
Tableau 3.3.3 : Inventaire des lacunes mensuelles	III-23
Tableau 3.3.4 : Inventaire des lacunes aux postes pluviométriques	III-26
Tableau 3.3.5 : Inventaire des totaux annuels utilisés pour la critique	III-32
Tableau 3.3.6 : Décompte des anomalies	III-34
Tableau 3.3.7 : Inventaire des pluies journalières du fichier CIEH/ORSTOM	III-39
Tableau 4.1.1 : Montant financier des projets FAC	IV-7
Tableau 4.1.2 : Budget annuel du service de l'hydrologie part de l'Etat	IV-9
Tableau 4.2.1 : Inventaire des stations hydrométriques en service au 31/12/1990	IV-14
Tableau 4.2.2 : Inventaire des stations hydrométriques abandonnées	IV-15
Tableau 4.2.3 : Couverture et résolution du réseau hydrométrique	IV-19
Tableau 4.2.4 : Liste et type des balises "ARGOS"	IV-25
Tableau 4.2.5 : Inventaire des lacunes à 6 stations du réseau - Période 1985-1990	IV-33
Tableau 4.2.6 : Comparaison entre débits jaugés et calculés	IV-36
Tableau 4.2.7 : Inventaire des lacunes d'observations aux stations du réseau actuel	IV-41
Tableau 5.1.1 : Niveau de qualification du personnel du service des études d'hydrogéologie	V-4
Tableau 5.1.2 : Niveau de qualification du personnel du service de la programmation et de la réglementation	V-8
Tableau 5.1.3 : Analyses bactériologiques et techniques de recherche	V-10
Tableau 5.3.1 : Données disponibles à la division hydrochimie	V-26
Tableau 5.3.2 : Bassin sédimentaire côtier - Localisation du réseau piézométrique du projet PNUD-BEN 85/004	V-30
Tableau 5.3.3 : Bassin sédimentaire côtier - Description du réseau piézométrique du projet PNUD-BEN 85/004	V-32
Tableau 5.3.4 : Points d'eau du réseau piézométrique inventoriés et visites	V-35
Tableau 5.3.5 : Description du réseau piézométrique du cordon littoral	V-38
Tableau 5.3.6 : Description du réseau de surveillance dans les grès de Kandi	V-40
Tableau 5.3.7 : Description du réseau piézométrique dans les alluvions du Niger	V-41
Tableau 5.3.8 : Description du réseau piézométrique dans l'Atacora	V-42
Tableau 6.2.1 : Densité des réseaux pluviométrique et climatologique	VI-10
Tableau 6.2.2 : Besoins en personnel pour la collecte des données météorologiques	VI-12
Tableau 6.4.1 : Comparaison densités du réseau hydrométrique	VI-14
Tableau 6.4.2 : Effectifs du réseau hydrologie	VI-18

Tableau 6.5.1 : Niveau en informatique du personnel du SPR	VI-24
Tableau 6.5.2 : Etat du réseau piézométrique PNUD du bassin sédimentaire côtier	VI-31
Tableau 7.4.1 : Personnel nécessaire à la conception de la carte de synthèse géologique	VII-17
Tableau 7.5.1 : Récapitulatif des projets identifiés	VII-37

LISTE DES FIGURES

Figure 1.2.1 : Carte administrative du Bénin	I-3
Figure 1.6.1 : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle en mm	I-15
Figure 1.6.2 : Variation interannuelle de la pluviométrie du Bénin	I-16
Figure 1.6.3 : Répartition spatiotemporelle des pluies sur le Bénin en année moyenne	I-17
Figure 1.7.1 : Carte géologique du Bénin	I-19
Figure 1.7.2 : Schéma morpho-structural	I-21
Figure 1.8.1 : Carte des bassins hydrographiques	I-23
Figure 1.9.1 : Carte des unités géologiques et hydrogéologiques du Bénin	I-28
Figure 1.9.2 : Carte des unités hydrogéologiques du bassin sédimentaire côtier du Bénin	I-31
Figure 2.1.1 : Hydrogrammes observés	II-4
Figure 2.1.2 : Lames écoulées annuelles : moyenne en cm	II-7
Figure 2.1.3 : Lames écoulées annuelles : écart type en cm	II-8
Figure 2.1.4 : Lames écoulées annuelles : coefficient de variation	II-9
Figure 2.1.5 : Variation de la lame d'eau écoulée annuelle	II-10
Figure 2.1.6 : Schéma de situation générale des systèmes lagunaires Béninois	II-13
Figure 2.1.7 : Extrait de la carte hydrogéologique du Bénin	II-25
Figure 3.2.1 : Carte du réseau climatologique	III-9
Figure 3.2.2 : Comparaison ETP calculée/Evaporation sur BAC	III-17
Figure 3.3.1 : Carte des stations pluviométriques	III-22
Figure 3.3.2 : Evolution du nombre de postes pluviométriques	III-25
Figure 3.3.3 : Nombre théorique de mois/stations par décennie	III-25
Figure 3.3.4 : Lacunes par type et par décennie	III-33
Figure 3.3.5 : Anomalies par type et par décennie	III-33
Figure 3.3.6 : Laboratoire d'Hydrologie - Montpellier - Vecteur régional - Résultats	III-35
Figure 3.3.7 : Laboratoire d'Hydrologie - Montpellier - Vecteur annuel - Critique des stations	III-36
Figure 3.3.8 : Laboratoire d'Hydrologie - Montpellier - Vecteur annuel - Critique des stations	III-37
Figure 4.2.1 : Carte du réseau hydrométrique en activité	IV-16
Figure 4.2.2 : Carte du réseau hydrométrique abandonné	IV-17
Figure 4.2.3 : Comparaison des débits jaugés et calculés	IV-37
Figure 4.2.4 : Comparaison des débits jaugés et calculés	IV-39
Figure 5.1.1 : Organigramme de la Direction de l'Hydraulique	V-2
Figure 5.3.1 : Bassin sédimentaire côtier du Bénin	V-29
Figure 5.3.2 : Bassin sédimentaire côtier du Bénin - Carte piézométrique	V-34
Figure 7.5.1 : Evaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne - Chronogramme des projets proposés pour le Bénin	7.5.1

LISTE DES ABREVIATIONS UTILISEES DANS LE TEXTE

ABREVIATIONS D'INSTITUTIONS NATIONALES

CARDER	Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural
CEB	Communauté Electrique du Bénin
CFPAE	Centre de Formation du Personnel pour l'Adduction d'Eau
CNE	Comité National de l'Eau
DH	Direction de l'Hydraulique
DHA	Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement
DROA	Direction des Routes et des Ouvrages d'Art
DUH	Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat
DVU	Direction des Voies Urbaines
MET	Ministère de l'Equipeement et des Transports
OBEMINES	Office Béninois des Mines
SBEE	Société Béninoise d'Electricité et d'Eau
SEH	Service des Etudes d'Hydrogéologie
SERHAU	Service d'Etudes Régionales de l'Habitat Urbain
SH	Service de l'Hydrologie
SMN	Service Météorologique National
SPR	Service de la Programmation et de la Réglementation
STH	Service des Travaux Hydrauliques
UNB	Université du Bénin

ABREVIATIONS D'INSTITUTIONS INTERNATIONALES

ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne
BID	Banque Islamique de Développement
BOAD	Banque Ouest Africaine pour le Développement
CCCE	Caisse Centrale de Coopération Economique
CIEH	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
DTCD	Département des Nations Unies pour la Coopération Technique et le Développement
FAC	Fonds d'Aide et de Coopération - France
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FED	Fonds Européen pour le Développement
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONU	Organisation des Nations Unies
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
UNSO	Bureau des Nations Unies pour le Sahel
USAID	Assistance Internationale des Etats Unies au Développement

ABREVIATIONS D'ORGANISMES EXTERIEURS

AGRHYMET	Centre de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BURGEAP	Bureau d'Etudes et de Géologie Appliquée
GIGG	Groupement IGIP-GKW-GRAS
ORSTOM	Institut Français de la Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ex-Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer)

ABREVIATIONS DE TERMES TECHNIQUES

AEP	Alimentation en Eau Potable
AEPA	Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement
DIEPA	Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement
EPE	Equivalent Point d'Eau
ETP	Evapotranspiration Potentielle
PIB	Produit Intérieur Brut
PROSPER	Programmation et Suivi des Points d'Eau Ruraux
PUB	Projet Plan d'Urbanisme en République du Bénin
UBT	Unité de Bétail Tropical

CHAPITRE 1

DONNEES GENERALES

1.1 Géographie

La République du Bénin est située au Sud de l'Afrique de l'Ouest dans la région équatoriale. Sa superficie est de 112 600 km². Le pays s'étend sur un axe Nord-Sud sur environ 670 km. Il est limité, au Nord, par le Burkina Faso et le Niger, à l'Ouest, par le Togo, à l'Est, par le Nigéria. Au Sud, la façade atlantique est constituée par le Golfe de Guinée qui comporte un littoral de 100 km environ.

Du point de vue relief, le Bénin est un pays peu accidenté qui ne comporte que deux zones élevées dont l'altitude varie de 400 à 800 m :

- . La première correspond à la chaîne de l'Atacora, d'altitude variant de 500 à 800 m au Nord-Ouest du pays, massif qui se prolonge au Togo.
- . La seconde chevauche le 10^e parallèle et correspond à la ligne de partage des eaux des bassins du Niger et de l'Ouémé. De part et d'autre de ce 10^e parallèle, la pénéplaine granito-gneissique s'incline doucement vers le Niger au Nord et l'Océan Atlantique au Sud.

Dans la partie méridionale précédant le cordon littoral, se trouvent les basses plaines facilement inondables par les fleuves, les lacs et les lagunes aux rives marécageuses.

En résumé, cinq régions naturelles peuvent être distinguées en République du Bénin :

- . La zone côtière, bande d'une largeur de 2 à 5 km, basse et sablonneuse, limitée au Nord par un cordon de lagunes et de lacs.
- . Une zone intermédiaire représentée par des plateaux, notamment ceux d'Allada, d'Abomey et de Sakété.
- . Au Nord de cette deuxième zone, une vaste pénéplaine interrompue par les monts de Savalou, Dassa-Zoumé et Savé.
- . Dans le Nord-Ouest, le massif de l'Atacora où la plupart des grands fleuves et rivières irriguant le Bénin prennent leurs sources.
- . La partie la plus septentrionale est une zone de plaine qui descend progressivement vers le bassin du fleuve Niger.

1.2 Population

La population du Bénin est estimée, en 1990, à environ 4 740 000 habitants dont plus de 2 300 000 ruraux.

Cette population est inégalement répartie dans 6 départements : Atacora, Atlantique, Borgou, Mono, Ouémé et Zou (figure 1.2.1).

La densité de population portée dans le tableau 1.2.1 reflète les conditions d'environnement naturel et économique :

Tableau 1.2.1 - DENSITE DE POPULATION AU BENIN		
Région	Département	Habitants/km2
Nord	Atacora - Borgou	14
Centre	Zou	41
Sud	Mono - Atlantique - Ouémé	235

La moitié des habitants vit en milieu rural dans des agglomérations de moins de 3000 habitants.

Le taux d'accroissement annuel de la population a été de :

- . 2,6 % par an entre 1961 et 1979,
- . 3,9 % par an entre 1979 et 1984.

Les études démographiques retiennent un taux d'accroissement de 3,1 % par an pour la période 1984-2005.

Le taux de croissance élevé de la population résulte de l'excès sensible du taux de natalité de 5,5 % sur le taux de mortalité de 2,6 %, incluant 1 % de décès d'enfants de moins d'un an, dont une partie notable résulte des maladies hydriques.

Les mouvements de population s'effectuent selon trois axes principaux :

- . De l'Atacora vers le Borgou et le Nord du Zou.
- . Vers les périmètres agricoles nouvellement aménagés dans le Mono et l'Atlantique.
- . Du rural vers les centres urbains de Cotonou, Porto-Novo, Abomey, Parakou, ce déplacement ayant pour objectif la recherche d'un emploi et de loisirs.

1.2.1 Estimation de la population rurale du Bénin et prévisions de croissance

Les prévisions de croissance données dans le tableau 1.2.2 sont très certainement discutables car elles supposent une croissance continue de la population rurale.

Tableau 1.2.2 - PREVISIONS DE CROISSANCE DE LA POPULATION RURALE					
Département	1990	Annuel	1995	2000	2005
Atacora	366 824	0,7 %	396 080	410 138	424 700
Atlantique	376 609	1,0 %	453 224	476 343	500 640
Borgou	354 651	1,6 %	424 382	459 436	497 400
Mono	424 451	1,4 %	497 392	533 198	571 600
Ouémé	440 712	0,8 %	482 150	501 747	522 140
Zou	427 077	2,0 %	531 000	586 266	647 290
Bénin	2 390 324	1,4 %	2 784 228	2 967 128	3 163 770

Qu'en sera-t-il en réalité ?

Deux théories sont actuellement développées :

- Une continuation de l'attraction des ruraux vers les centres urbains. Plus les villes croissent, plus elles attirent de ruraux et plus elles sont à même d'en absorber.

Ceci pourrait se traduire, dans les 15 ans à venir, non pas à un accroissement important de la population rurale mais un renversement de tendance :

- stagnation de la population rurale, sans doute à moins de 3 millions d'habitants,
- accroissement de la population urbaine (essentiellement en zones péri-urbaines).
- Ou bien, au contraire, un ralentissement, voire un arrêt de la migration des ruraux vers les villes, pour les raisons suivantes :
 - le réservoir de population pouvant alimenter les zones urbaines n'est peut-être pas en mesure de fournir, jusqu'en 2005, le surplus de population indiqué par les projections,
 - d'autre part, l'effet de la crise économique s'est manifesté dans d'autres pays par un ralentissement de la croissance urbaine et un "retour à la terre". Il est probable qu'il en soit de même au Bénin.

Il faut mentionner le cas particulier du bassin côtier (Mono, Atlantique, Ouémé) où les zones rurales sont déjà surpeuplées et éprouvent de grandes difficultés à accueillir un surplus de population rurale. La réduction de la taille des exploitations agricoles et le non-respect de la jachère à cause du manque de terrain disponible sont des indicateurs alarmants de la surpopulation rurale.

Par ailleurs, on constate que, depuis plusieurs années, les éleveurs traditionnellement nomades se sédentarisent. Ce mouvement tend à s'accélérer.

1.2.2 Estimation de la population urbaine du Bénin et prévisions de croissance

Le développement du secteur tertiaire et du marché de l'emploi dans les villes et principalement à Cotonou ont augmenté l'attrait de ces centres urbains et favorisé la croissance de leur population beaucoup plus rapidement que celle des chefs-lieux de sous-préfecture.

Les tableaux 1.2.3 et 1.2.4 donnent les projections de populations pour les centres urbains les plus importants, en distinguant :

- . la zone du bassin sédimentaire côtier,
- . la zone du socle.

Pour les raisons évoquées au § 1.2.1, selon certains spécialistes, les projections de population concernant Cotonou sont discutables et devraient, peut-être, être révisées à la baisse.

Tableau 1.2.3 - PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUES POUR LES CENTRES URBAINS LES PLUS IMPORTANTS DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER							
Département	Centre urbain	1990	Taux (%) 1990-1995	1995	Taux (%) 1995-2005	2005	Source d'information
Atlantique	Cotonou (6 arrondissements) . Agglomération	801 000 -	-	- 1 144 000		2 276 000	GIGG
	Allada	20 400	5	25 000	5	41 000	DH-IGUE-ADAM
	Abomey-Calavi	18 700	5	23 000	5	37 000	DH-IGUE-ADAM
Mono	Lokossa	32 200	10	47 000	10	101 000	PUB/SERHAU
	Come	22 500	5	27 000	5	44 000	DH-IGUE-ADAM
	Grand Popo	13 400	5	16 000	5	26 000	DH-IGUE-ADAM
Ouémé	Porto-Novo (3 arrondissements) . Agglomération	254 400 300 500	4,9 4,9	309 000 363 000	4,6 6,1	486 000 656 000	PUB/SERHAU PUB/SERHAU
	Sakete	36 600	5	44 000	5	72 000	DG-IGUE-ADAM
	Zou	Abomey-Bohicon	116 500	5,9	146 000	6,2	266 000	DG-IGUE-ADAM

Signification des sigles :

- GIGG : Groupement IGIP, GWK, GRAS
 PUB : Projet plans d'urbanisme en République du Bénin
 SERHAU : Service d'Etudes Régionales d'Habitat et d'Aménagement Urbain
 DH : Direction de l'Hydraulique

1.3 Santé

La situation socio-sanitaire des populations constitue une des préoccupations majeures des autorités béninoises. Les problèmes rencontrés sont les suivants :

- . Insuffisance chronique d'infrastructures sanitaires.
- . Insuffisance de l'éducation pour la santé et de moyens logistiques pour la médecine préventive, pour l'éducation sanitaire et pour la médecine mobile.
- . Approvisionnement en eau potable des populations encore problématique dans le milieu rural et certains centres urbains.
- . Faiblesse du secteur assainissement.
- . Insuffisance des infrastructures socio-sanitaires, surtout en milieu rural.

Les maladies nutritionnelles et les affections liées à l'eau, aggravées par l'ignorance de la population, occupent une place prépondérante dans les causes de mortalité.

Les maladies les plus courantes sont les parasitoses, les affections gastro-intestinales et les infections.

1.4 Education

Le taux de scolarisation s'améliore d'année en année. Il dépasse 50 % dans l'enseignement de base.

Le taux d'alphabétisation varie entre 20 et 25 % pour les béninois de 15 ans et plus.

Dans les villes du Sud, 80 % des enfants d'âge scolaire fréquentent l'école tandis que, dans les régions rurales du Nord, ce chiffre atteint à peine 25 %. Les mesures prises en matière d'enseignement visent à adapter celui-ci aux exigences du développement : intégration de l'école dans le milieu rural.

Tableau 1.2.4 - PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUES POUR LES CENTRES URBAINS LES PLUS IMPORTANTS EN ZONE DE SOCLE						
Département	Centre urbain	1990	Taux (%) 1990-1995	1995	Taux (%) 1995-2000	2005
Atacora	Natingou	31 770	10,5	50 000	8	108 000
	Djougou	32 980	6	44 000	6	78 800
	Bassila	54 790	5	73 420	5	125 550
	Boukoumbe	66 560	5	89 190	5	152 510
	Cobly	30 980	5	41 515	5	70 990
	Copargo	59 070	5	79 150	5	135 350
	Kerou	38 580	5	51 700	5	88 410
	Kouande	59 490	5	79 720	5	136 320
	Materi	65 390	5	87 620	5	149 830
	Ouaké	42 720	5	57 240	5	97 880
	Pehunco	29 810	5	39 945	5	68 310
	Tanguieta	44 200	5	59 230	5	101 280
	Toucountouna	32 160	5	43 100	5	73 700
Sous-total		588 500		795 830		1 386 930
Borgou	Parakou	118 770	8,5	178 590	8,5	407 000
	Banikoara	95 920	5	128 530	5	219 790
	Bembereke	62 330	5	83 520	5	142 820
	Gogounou	45 475	5	60 940	5	104 205
	Kalale	58 100	5	77 850	5	133 125
	Kandi	65 330	5	87 540	5	149 690
	Karimama	30 265	5	40 560	5	69 360
	Malanville	59 420	5	79 620	5	136 150
	N'Dali	37 900	5	50 790	5	86 850
	Nikki	57 360	5	76 860	5	131 430
	Perere	30 890	5	41 390	5	70 780
	Segbana	31 560	5	42 290	5	72 315
	Sinende	31 830	5	42 650	5	72 930
	Tchaourou	59 190	5	79 310	5	135 620
Sous-total		784 340		1 070 440		1 932 065
Zou	Bante	45 780	5	61 340	5	104 890
	Dassa Zoume	78 700	5	105 450	5	180 320
	Glazoue	69 050	5	92 530	5	158 225
	Ouesse	51 330	5	68 780	5	117 615
	Savalou	84 160	5	112 770	5	192 840
	Save	57 830	5	77 490	5	132 510
Sous-total		386 850		518 360		886 400
Total zone de socle		1 759 690		2 384 630		4 205 395

Les extrapolations ci-dessus ont été faites à partir de données recueillies auprès du SERHAU.

1.5 Economie

Les principaux indicateurs économiques du Bénin sont les suivants :

- . Monnaie : 1 franc CFA = 0,02 franc français.
- . Produit intérieur brut par habitant : 400 \$ en 1988.
- . Evolution du PIB (en milliards de francs CFA) :
 - 1985 = 500,
 - 1986 = 503,
 - 1987 = 503,
 - 1988 = 525,
 - 1989 = 542.
- . Répartition du PIB :
 - primaire = 37,8 %,
 - secondaire = 13,0 %,
 - tertiaire = 49,2 %.

1.5.1 Activités du secteur primaire

L'agriculture occupe 70 % de la population active et couvre 29 % de la superficie du territoire.

La principale préoccupation des pouvoirs publics dans l'élaboration de leur politique agricole est de développer les cultures de rente et d'améliorer l'autosuffisance alimentaire.

1.5.1.1 Cultures vivrières

Les principales productions sont les suivantes :

Tableau 1.5.1 - CULTURES VIVRIERES			
En milliers de tonnes	1987/88	1988/89	1989/90 (prévisions)
Manioc	570,2	779,6	1004,3
Ignames	834,9	922,1	1072,6
Mais	267,3	429,7	454,2
Mil/sorgho	114,8	120,4	134,7

1.5.1.2 Cultures d'exportation

Tableau 1.5.2 - CULTURES D'EXPORTATION			
En milliers de tonnes	1987/88	1988/89	1989/90 (prévisions)
Régime de palme	65,1	13,3*	ND
Palmistes	7,4	ND	ND
Huile de palme	12,5	ND	ND
Coton-graine	70,0	108,7	115,4

* Sur 3 mois seulement

Les palmeraies représentent 400 000 ha. Leur production est faible mais couvre la consommation locale. La mise en valeur de 28 000 ha de palmeraies sélectionnées se fait au prix d'investissements considérables qui comprennent notamment la construction d'usine de traitement.

1.5.1.3 Elevage

L'élevage représente environ 10 % du PIB et ne couvre que 60 % de besoins du fait de l'augmentation de la consommation. Ainsi, le cheptel se renforce régulièrement. Il est estimé à :

- . 950 000 bovins,
- . 1 190 000 ovins,
- . 1 135 000 caprins,
- . 610 000 porcins.

1.5.1.4 Pêche

L'essentiel de la production halieutique est le fait de la pêche lagunaire : 90 % de la pêche totale.

Le secteur de la pêche garde une place marginale dans l'économie locale : moins de 2 % du PIB en 1988 avec une production annuelle de 9000 t qui ne couvre pas la consommation du pays, ce qui a nécessité l'importation de 7000 t en 1988.

1.5.1.5 Forêt

Pour enrayer l'exploitation abusive des forêts, des projets sont élaborés pour assurer le reboisement et la restauration des ressources forestières.

1.5.2 Activités du secteur minier et industriel

1.5.2.1 Industries extractives

L'exploitation du gisement pétrolier off-shore de SEME a débuté en 1982. Les réserves avaient été estimées à 14 millions de tonnes.

Les réserves pourraient être épuisées en 1991 en l'absence de découvertes.

Le pays possède deux cimenteries : ces sociétés cimentières tournent à faible rendement du fait de l'étroitesse du marché intérieur et du manque de débouché extérieur.

1.5.2.2 Industries manufacturières

Une huilerie mixte coton-arachide-karité existe. Elle a une capacité journalière de traitement de 115 t de graines de coton ou de 70 t d'arachides ou de karité. Sur ses 6 huileries d'huile de palme, 3 seulement fonctionnent encore.

Le complexe sucrier de Savé, d'une capacité annuelle de 47 000 t de sucre raffiné, destiné pour 40 % au marché intérieur et pour 60 % au Nigéria, exploite un domaine de 6000 ha.

Parmi les plus importantes industries alimentaires, on relève les brasseries, les minoteries, les maïseries et une usine de concentré de tomate et de jus de mangue.

L'activité textile traite le coton local et dispose d'une usine de filature et de tissage. Capacité nationale : 120 000 t de coton-graine.

1.5.3 Secteur tertiaire

En raison de la situation géographique du Bénin, le commerce avec les pays limitrophes y est traditionnellement une activité importante. Les restrictions des échanges imposées aux frontières du Nigéria peuvent affecter durement l'économie.

Un important programme de réhabilitation et d'entretien des infrastructures routières ainsi que de modernisation du port de Cotonou est prévu jusqu'en 1992.

1.5.4 Plan de développement

Le Plan de Développement 1983/87 a donné la priorité, en plus de l'agriculture, à l'énergie, aux communications et au secteur balnéaire. Le récent changement dans la politique nationale va entraîner de nouvelles orientations dans la planification nationale.

Actuellement en cours d'élaboration, cette nouvelle planification ne peut être explicitée dans le cadre du présent rapport.

1.5.5 Budgets votés

Le tableau 1.5.3 donne l'évolution des composantes du budget de l'Etat de 1987 à 1990.

Tableau 1.5.3 - EVOLUTION DU BUDGET DE L'ETAT (en milliards en francs CFA)				
	1987	1988	1989	1990
Dépenses	55,9	53,7	103,6*	67,0*
Ressources	50,1	51,9	75,3	39,0
Recettes fiscales	43,4	42,9	37,2	ND
Autres	6,7	9,0	38,1	ND

* Y compris dépenses d'investissement

1.6 Climat

Le climat du Bénin est de type subéquatorial humide au Sud avec une transition progressive vers le Nord à un climat tropical continental.

Le pays se situe dans une zone où se réalise l'équilibre entre l'influence du régime de mousson humide, en provenance du Golfe de Guinée et celle de l'harmattan sec, soufflant du Nord-Est. Le mouvement de va-et-vient Nord-Sud de ces deux masses d'air au cours de l'année explique l'existence de deux zones climatiques bien identifiées, la *bande côtière* et l'*intérieur du pays*, dans laquelle existent de nombreuses nuances climatiques liées à la position géographique et au relief.

Les précipitations constituent le facteur climatique le plus important : nous ferons une description séparée de leur amplitude et de leur répartition.

1.6.1 Zones climatiques

1.6.1.1 Bande côtière

Elle a pour limite Nord approximative la latitude 6°45' ; placée sous le régime quasi permanent des alizés océaniques (dominante des vents du Sud-Sud-Ouest), elle est caractérisée par des profils de température très amortis (amplitude annuelle de l'ordre de 3° entre 25° en juillet et 28° en mars, amplitudes journalières jamais supérieures à 7°), une forte humidité (toujours supérieure à 70 %) et une ETP Penman faible comprise entre 3 et 5 mm/jour.

Les précipitations dans cette zone suivent un régime à deux saisons bien marquées : l'une de mars à juin correspond à la montée vers le Nord de l'équateur météorologique, la seconde de septembre à novembre avec un maximum en octobre.

1.6.1.2 Intérieur du pays

L'influence océanique décroît progressivement, ce qui se traduit par une augmentation du Sud au Nord :

- . de la fréquence des vents du Nord-Est (harmattan constant de novembre à mars dans le Nord du pays) ;
- . des amplitudes thermiques annuelles qui, à l'extrême Nord, atteignent 7° pour les températures moyennes annuelles (entre 27° en août et 34° en avril) et des amplitudes journalières de plus de 20° en décembre et voisines de 10° en août ;
- . de la sécheresse de l'air, qui descend au-dessous de 20 % en pleine saison sèche au Nord ;
- . de l'ETP qui atteint 7 mm/jour en avril et 5 mm/jour en août dans le Nord.

La pluviométrie passe progressivement de 2 à une seule saison des pluies ; dans le Nord, toutes les précipitations sont concentrées dans la période mai à octobre.

1.6.2 Précipitations

1.6.2.1 Pluviométrie annuelle

La pluviométrie moyenne annuelle varie de 700 mm au Nord à plus de 1500 mm dans l'extrême Sud, mais le tracé des courbes isohyètes n'est pas simple comme le montre la carte de la figure 1.6.1, établie à partir des moyennes pluviométriques homogénéisées pour la période 1940-1984.

Entre 12°30' et 10°50', le gradient pluviométrique du Sud vers le Nord est régulier (2,5 mm/km) entre 700 et 1100 mm.

Sous l'influence des reliefs de l'Atacora, un maximum pluviométrique régional, supérieur à 1300 mm, apparaît dans la région de Djougou-Natitingou.

Plus au Sud, un gradient Ouest-Est qui va en augmentant jusqu'à la côte se superpose au gradient pluviométrique Nord-Sud : de 900 mm à la frontière du Togo jusqu'à 1600 mm à la frontière nigériane, ce qui correspond à un gradient moyen de 6,5 mm/km.

1.6.2.2 Variations interannuelles

La figure 1.6.2 montre la variation interannuelle de la pluviométrie moyenne entre 1925 et 1985 pour cinq zones différentes.

On peut observer :

- . que l'amplitude des variations est beaucoup plus importante au Sud qu'au Nord : 600-2400 mm près du littoral, 700-1200 mm au Nord ;
- . que les variations sont à peu près synchrones sur les différentes zones ;
- . qu'il n'existe pas de cycles nettement marqués, bien que la période 1950-70 soit, en moyenne, plutôt excédentaire à l'inverse de la période 1970-85 qui est plutôt déficitaire.

1.6.2.3 Répartition mensuelle

Le bloc diagramme de la figure 1.6.3. représente de façon synthétique, mais très parlante, la répartition spatio-temporelle moyenne des pluies, suivant le temps (répartition mensuelle) et la latitude (du Sud vers le Nord). La hauteur pluviométrique est exprimée en % de la pluviométrie moyenne annuelle calculée sur l'ensemble du territoire.

On remarque :

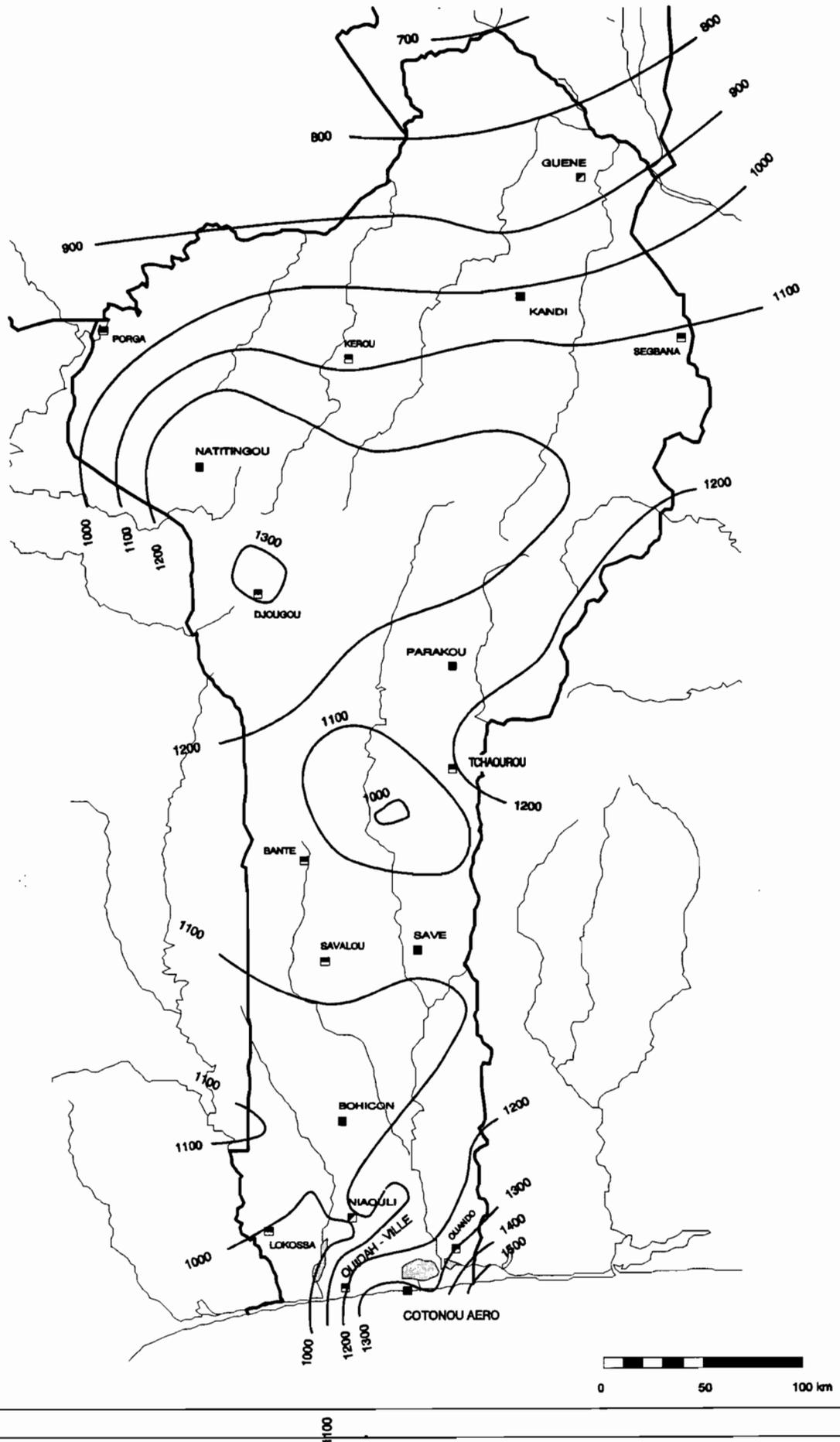
- . le passage progressif du régime de deux à une saison des pluies ;
- . la décroissance rapide des pluies entre 6° et 7°N au mois de juin ;

Le schéma présenté par ce diagramme est celui d'une année moyenne ; une particularité importante du régime des pluies au Bénin est que cette année moyenne se produit assez rarement. Les schémas possibles sont très nombreux et vont de la disparition de la petite saison sèche au sud à des décalages de plusieurs semaines dans le démarrage ou dans la durée de la saison des pluies.

Dans la basse vallée, la pente du lit est très faible (0,05 m/km) et le réseau hydrographique est dégradé. Un seul lit est bien marqué, c'est celui de la Sazue d'une longueur de 63 km.

A la Station d'Athiémé, le bassin versant du Mono est de 21 475 km² et le module interannuel est égal à 86 m³/s (module spécifique de 4 l/s/km²).

Fig 1.6.1 : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle en mm (40-84)



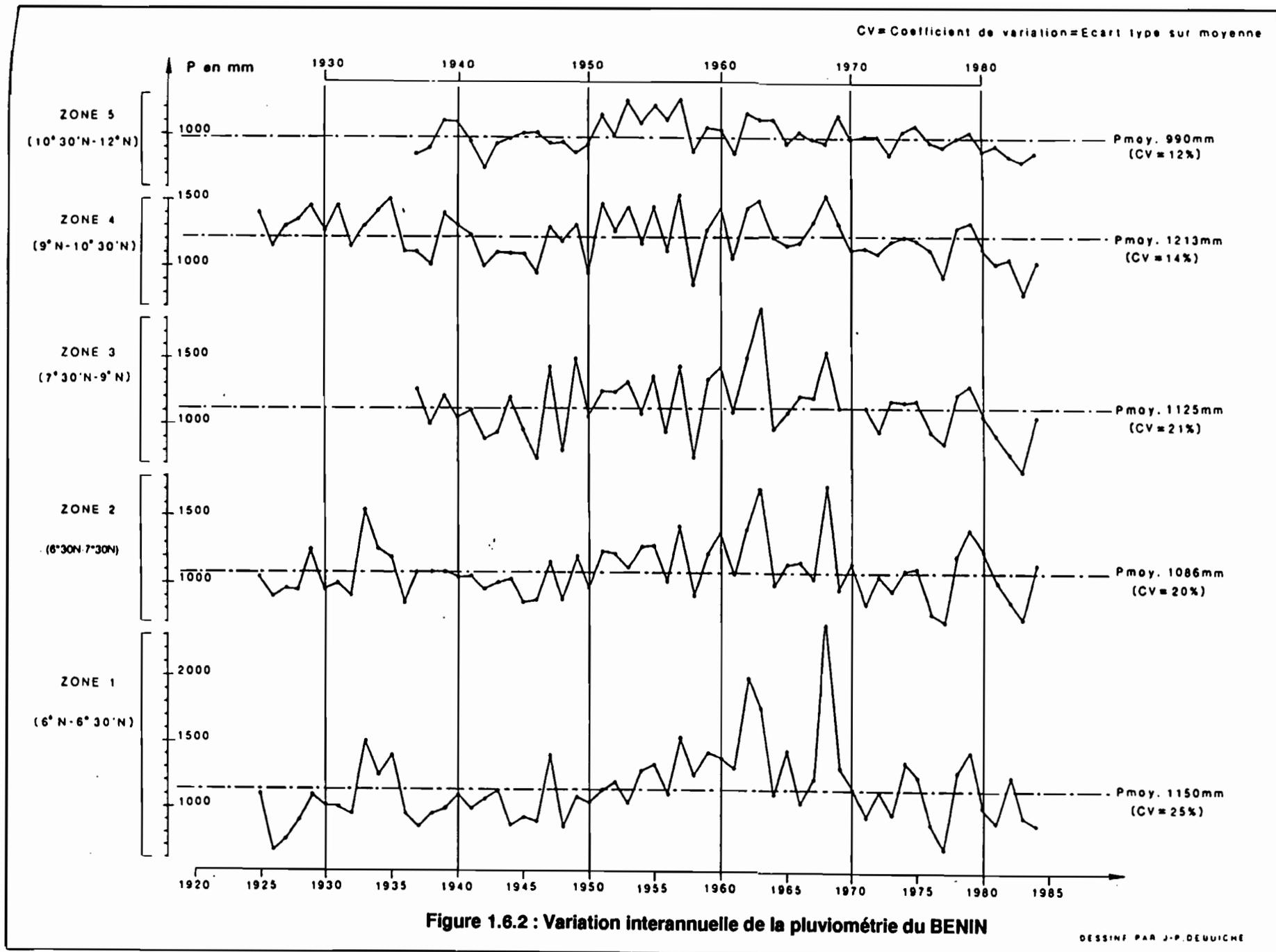
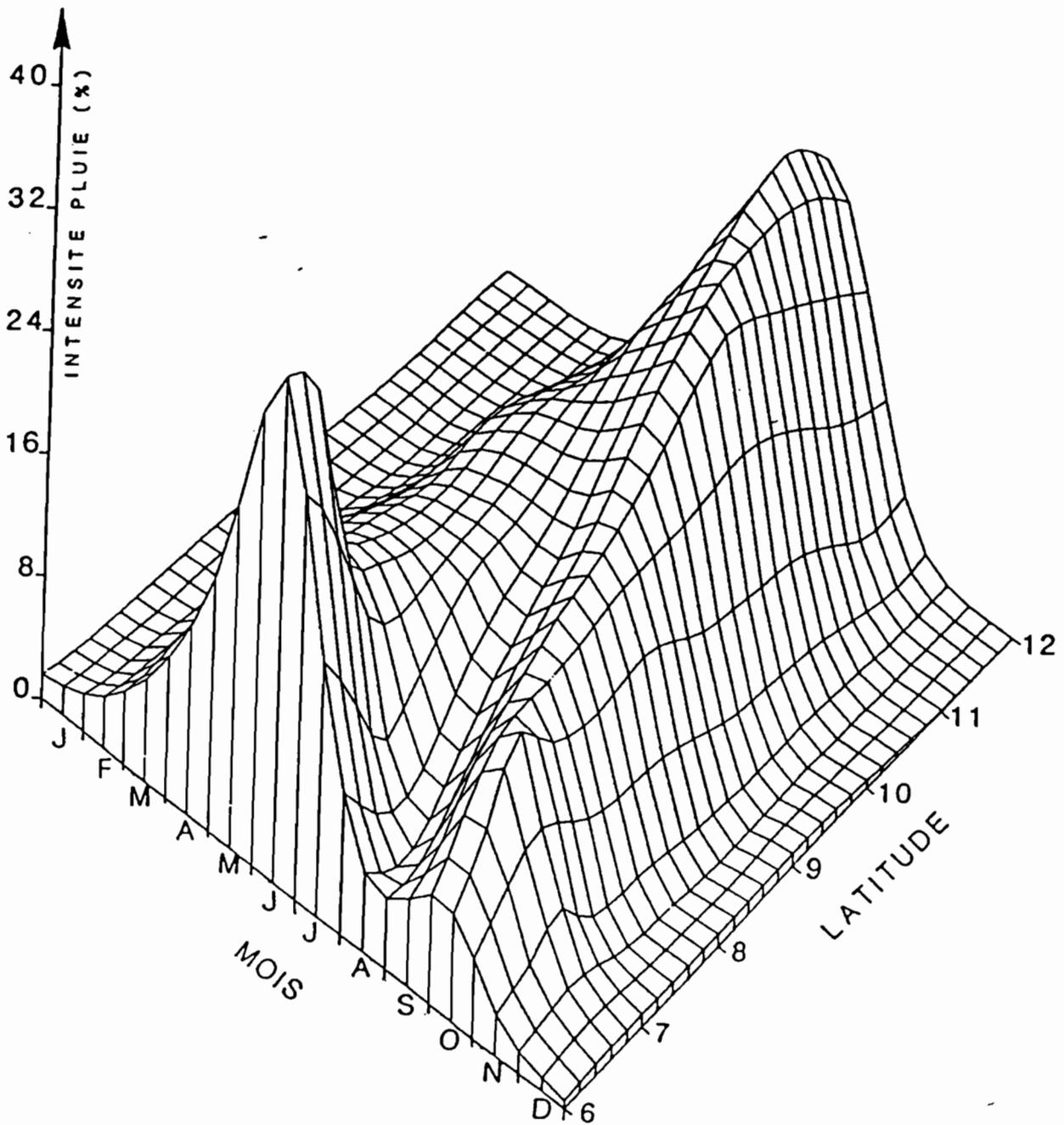


Figure 1.6.3 : Répartition spatiotemporelle des pluies sur le BENIN en année moyenne

L'intensité de pluie est exprimée en % de la pluie moyenne annuelle sur l'ensemble du pays et par mois



1.7 Géologie

1.7.1 Cadre géologique général

La plus grande partie du Bénin est occupée par des roches anciennes précambriennes, groupées sous le nom de Dahomeyen, qui constituent le socle (voir figure 1.7.1). Le Dahomeyen est formé d'anciennes séries sédimentaires et plutoniques, soumises à un intense métamorphisme et à un cycle orogénique.

Les roches les plus fréquentes sont des micaschistes, des gneiss et des migmatites.

L'érosion des formations dahoméennes donne une série argilo-gréseuse d'âge Protérozoïque supérieur : la série de l'Atacora qui subit un métamorphisme donnant des quartzites et des micaschistes.

L'Atacorien et, en partie, le Dahomeyen, sont affectés par un cycle orogénique.

De puissantes séries granitiques se sont mises en place dans le Dahomeyen et l'Atacorien.

Au Cambrien-Silurien, se forme le bassin de Kandi, avec accumulation de dépôts argilo-gréseux. Ce bassin est réactivé au Crétacé avec la sédimentation de grès concordants sur le Cambro-Silurien.

Au Crétacé supérieur, commence la formation du bassin sédimentaire côtier ; la subsidence se continue actuellement.

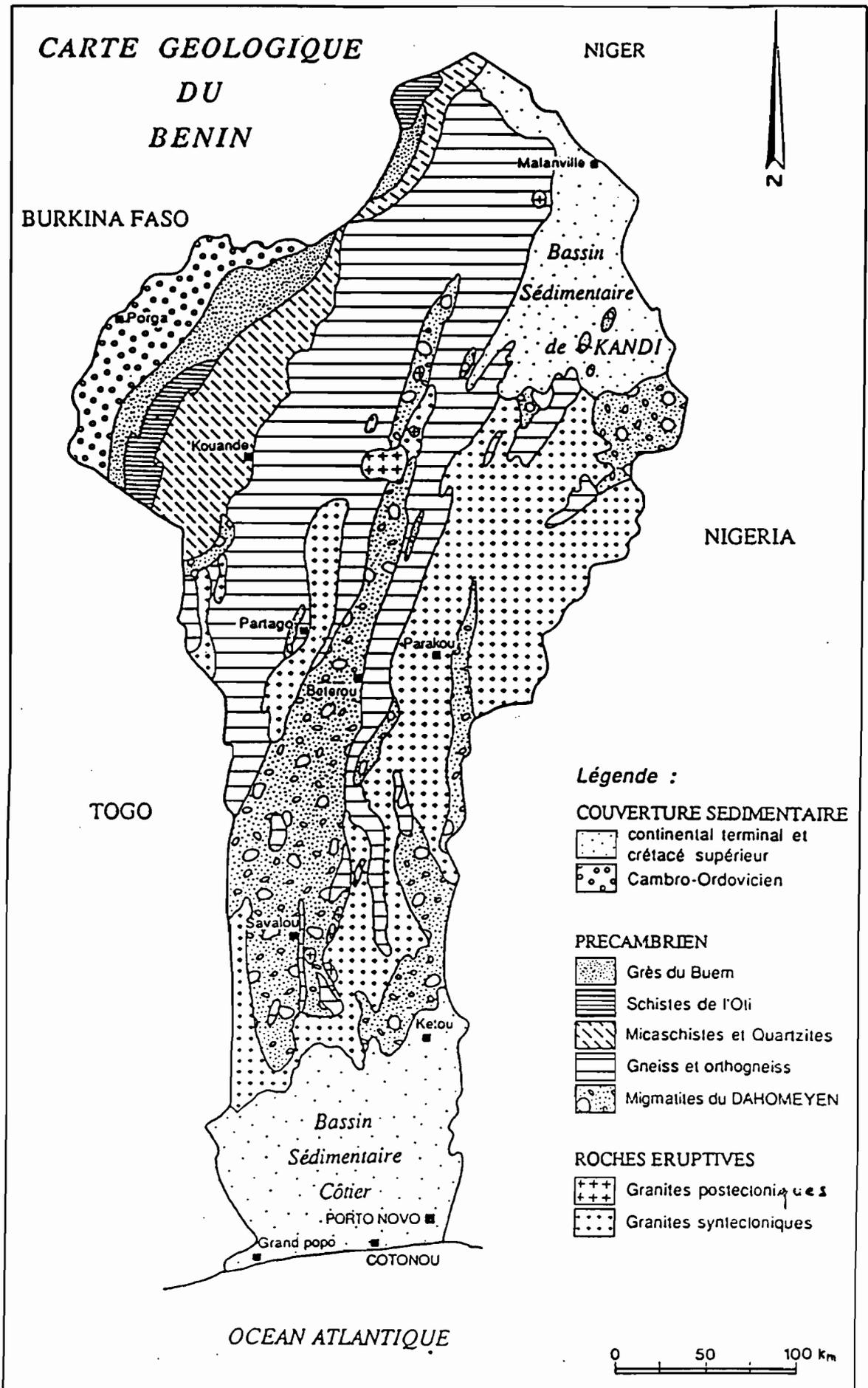
1.7.2 Aperçu sur la structure géologique du Bénin

Pour certains auteurs, les séries de la Pendjari, du Voltaïen, de la Podiéga et de l'Atacora appartiennent à la même formation mais sont différenciées par le degré de métamorphisme qui croît d'Ouest en Est : cette hypothèse respecte le passage des schistes et des grès aux micaschistes et aux quartzites, les orthogneiss étant les termes ultimes de la transformation. Toutes ces formations sont écaillées vers l'Ouest avec des chevauchements importants au niveau des quartzites. En arrière de la chaîne de l'Atacora, des granites et des gneiss du Dahomeyen sont écaillés et peuvent chevaucher l'Atacorien.

Le Dahomeyen peut se décomposer en trois unités principales d'Ouest en Est :

- Les gneiss à faciès amphibolitique (séries de la Mekrou et de Djougou), associés à des formations cristallines (complexes de Founogo, Pototouna, Kompagourou, granulite de Derouvarou, gabbros, granite de la Pako ou volcano-sédimentaires).

Figure 1.7.1



- . Les migmatites de la zone axiale (complexes de Kandi, Alibori, Sansoro, Weve, Pira, Wari-Waro, Couffo).
- . Les gneiss du sillon de l'Ouémé, les granites, granitoïdes, gneiss, migmatites de Nikki-Perere, de l'Okpara, les granito-gneiss de Save-Ouesse, Tchaourou, avec la présence de roches volcaniques et de volcano-sédimentaires.

Toutes ces formations sont affectées par des accidents de style tangentiel (écaillage de l'Atacora) ou par des failles dont la plus importante est celle de Kandi qui souligne la limite entre la zone axiale et les formations granito-gneissiques de l'Est.

De nombreux accidents longitudinaux reprennent la direction d'allongement des structures (Nord/Nord-Sud, Sud/Sud-Ouest) ; les failles transverses sont fréquentes.

1.7.3 Structure du bassin sédimentaire côtier

Le morcellement du socle, d'origine tectonique, engendre une subsidence de plus en plus accentuée vers le Sud/Sud-Est (voir figure 1.7.2).

Le socle cristallin qui affleure au Nord du bassin à +250 m d'altitude est à la cote -2390 à Porto-Novo, soit un affaissement de plus de 2500 m sur 100 km (pente moyenne : 2,5 %).

L'affaissement a pour origine de nombreux accidents qui compartimentent le socle ; les blocs jouent, les uns par rapport aux autres, dans un style tectonique en "touches de piano".

L'affaissement en gradins est guidé par des failles de direction moyenne N50° à 70°E, longues, nombreuses, plus ou moins parallèles au littoral. Une faille normale majeure limite, au Nord, le bassin sédimentaire.

Des accidents allongés Nord-Sud (Ouémé) à N20°E (lac Toho) à N30°E (lac Ahémé) délimitent des fossés d'effondrement occupés par des dépressions marécageuses ; ces accidents jouent aussi en décrochements sénestres. Enfin, des accidents transverses, de direction Nord-Ouest/Sud-Est, encadrent la dépression du Mono et du lac Nokoué.

Le découpage du socle se retrouve dans la répartition des terrains sédimentaires. Le jeu des failles introduit des rejets importants avec des approfondissements rapides des couches par paliers successifs.

1.8 Hydrologie

Le réseau hydrographique du Bénin est bien développé et, dans l'ensemble, très actif car toutes les régions reçoivent des précipitations importantes. Il est réparti entre six ensembles principaux, qui sont (voir la carte de la figure 1.8.1) :

- . le bassin de la Pendjari,
- . le bassin du Niger,
- . les hauts bassins de la Keran et de la Kara,
- . le bassin de l'Ouémé,
- . le bassin du Couffo,
- . le bassin du Mono et de la Sazue.

1.8.1 Bassin de la Pendjari

La Pendjari est un affluent de la Volta. Son cours qui marque la frontière avec le Burkina Faso sur plus de 200 km, a une longueur de 420 km sur le territoire béninois.

La Pendjari est formée par la Kounne (46 km, bassin de 550 km²), la Tikou (27 km, bassin de 317 km²) et la Sarga (48 km, bassin de 567 km²), qui drainent vers le Nord les hauts plateaux de la région de Natitingou et viennent converger vers la boutonnière de l'Atacora. Dans ce tronçon supérieur d'une longueur de 130 km, la pente moyenne est assez forte (1,5 m/km).

Dès la sortie de l'Atacora, la pente devient faible (0,3 m/km en moyenne jusqu'à la frontière burkinabé). La Pendjari reçoit en rive droite des affluents burkinabés importants en rive droite (Kourtiagou, Doudodo et Singou) et de petits apports en rive gauche, du côté béninois.

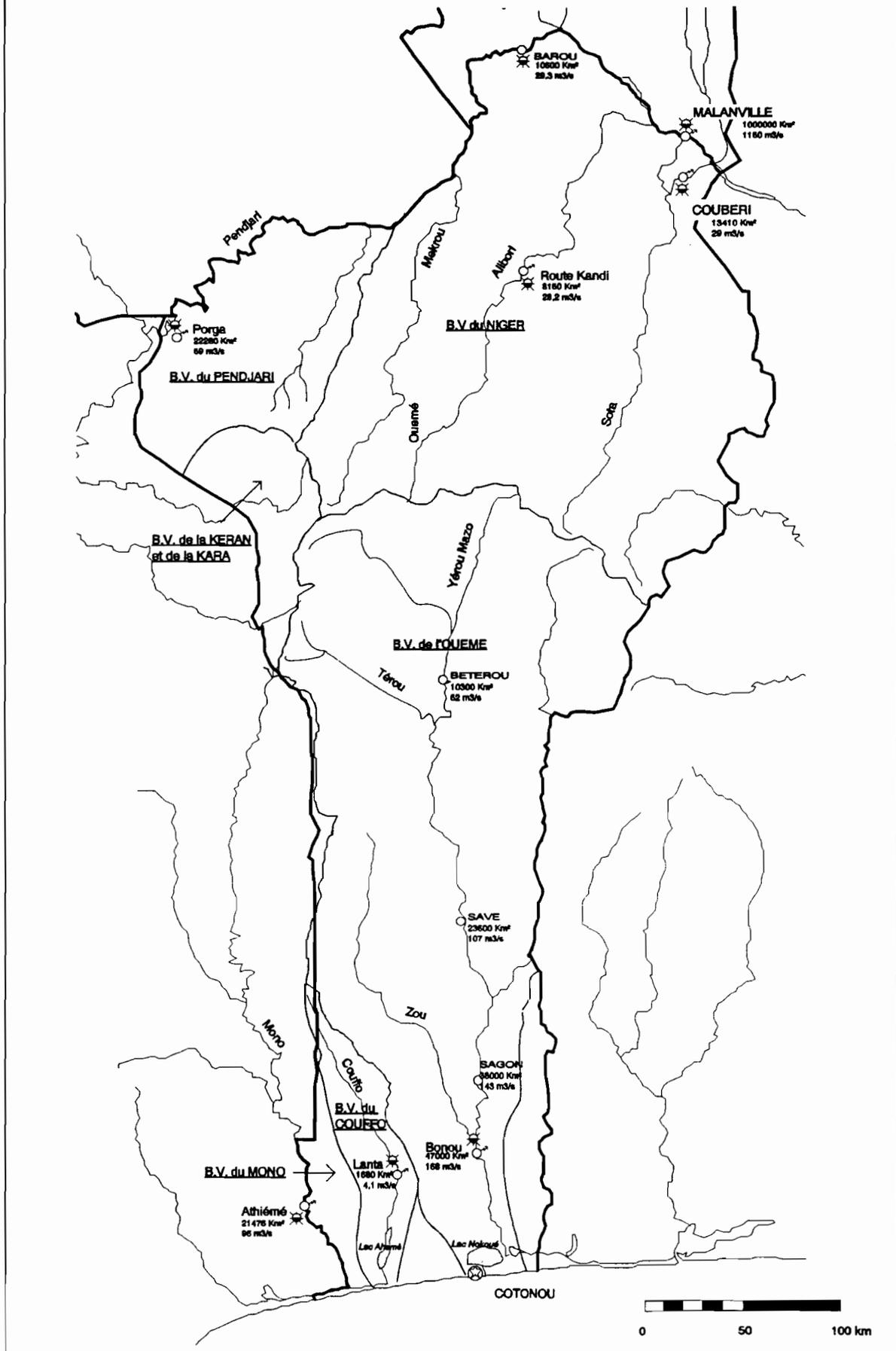
A la station hydrométrique de Porga, située à 37 km de la frontière togolaise, le bassin versant contrôlé est de 22 280 km² et le module interannuel de 55 m³/s (module spécifique de 2,5 l/s/km²).

1.8.2 Bassin du Niger

Le fleuve Niger constitue la frontière avec la République du Niger, sur une distance de 135 km. Le bassin versant du fleuve atteint 1 000 000 km².

Sur ce parcours, le Niger reçoit, sur sa rive droite, les apports de 3 affluents importants, qui sont de l'amont vers l'aval :

**Fig 1.8.1 : Carte des bassins hydrographiques
Superficie et modules (40-84) aux principales stations**



- la Mekrou, qui prend sa source à l'Est de Bimi, a un cours d'une longueur de 480 km, à pente modérée (0,45 m/km en moyenne) et un bassin à réseau hydrographique peu dense ; à la station hydrométrique de Barou, située à 20 km du confluent avec le Niger, le bassin versant a une superficie de 10 500 km² et le module interannuel dépasse 29 m³/s (module spécifique de 2,8 l/s/km²),
- l'Alibori, qui prend sa source dans le massif granitique de Kita, a une longueur de 427 km et une pente moyenne faible (entre 0,5 et 0,2 m/km) malgré de nombreuses zones de rapides ; le bassin contrôlé à la station du pont de la route de Kandi-Banikoara (à près de 150 km du Niger) est de 8150 km² et le module interannuel de 28 m³/s (module spécifique de 3,5 l/s/km²),
- la Sota, qui prend sa source sur le plateau gréseux de Kalalé, a une longueur de 254 km et une pente moyenne de l'ordre de 0,6 m/km ; à la station hydrométrique de Couberi, à moins de 10 km de la confluence, le bassin versant a une superficie de 13 410 km² et le module interannuel est de 29 m³/s (module spécifique de 2,2 l/s/km²).

Le Niger à Malanville a un module interannuel voisin de 1150 m³/s.

1.8.3 Hauts bassins de la Keran et de la Kara

Cette partie de bassin hydrographique est située à l'Ouest du pays, sur le flanc Sud du massif de l'Atacora et sur les flancs Ouest et Sud-Ouest des monts Taneka. Le réseau hydrographique y est très dense et les pentes très élevées.

Les principaux cours d'eau sont :

- la Koumongou, affluent de la Keran au Togo, d'une longueur de 62 km, avec un bassin de 650 km² ;
- la Keran, 2475 km² sur le territoire béninois, formée par l'Ina Issere (57 km) et la Ouemou (35 km).

1.8.4 Bassin de l'Ouémé

C'est le principal bassin hydrographique du Bénin : sa superficie totale dépasse 50 000 km² à l'embouchure. L'Ouémé prend sa source au Nord de Djougou, sa longueur est de 600 km et sa pente moyenne est de 0,9 m/km, sauf en tête de bassin où elle dépasse 2 m/km et dans les derniers km de son parcours où elle est extrêmement faible (5 m en 85 km).

On distingue :

- . l'Ouémé Supérieur, dont le bassin de 46 500 km² est situé sur le socle dahomeyen, qui a pour principaux affluents le Yerou Maro (2590 km², 120 km) et l'Okpara (plus de 10 000 km², 341 km) en rive gauche, la Terou (3320 km², 139 km), l'Adjiro (2151 km², 160 km) et surtout le Zou (8440 km², 250 km) en rive droite,
- . l'Ouémé Inférieur, où le système hydrographique est fort complexe en raison de la pente très faible ; un ensemble de bras, tantôt affluents, tantôt défluent, forment le delta de l'Ouémé ; c'est le cas de la Sô, rivière qui s'écoule parallèlement à l'Ouémé.

L'Ouémé et la Sô se jettent dans le lac Nokoue qui communique avec la mer par le chenal de la lagune de Cotonou et par les lagunes de Porto-Novo et du Nigeria.

La station hydrométrique aval de l'Ouémé est celle de Bonou ; le bassin contrôlé a une superficie de 47 000 km² et le module interannuel est de 168 m³/s (module spécifique de 3,2 l/s/km²).

1.8.5 Bassin du Couffo

Le Couffo prend sa source au Togo à proximité de la frontière et son bassin, d'une superficie totale de 4000 km², est donc presque en totalité sur le territoire béninois. Il a une longueur de 190 km et un profil en long d'allure exponentielle avec des pentes qui passent de plus de 10 m/km en tête de bassin à 0,3 m/km en amont du lac Ahémé.

A la station de Lanta, le bassin contrôlé est de 1680 km² et le module interannuel de 4,1 m³/s (module spécifique de 2,4 l/s/km²).

1.8.6 Bassin du Mono et de la Sazue

Sur les 148 km de son parcours sur le territoire béninois, le Mono ne reçoit pratiquement aucun apport puisque la superficie passe de 20 500 km² à la frontière à 21 500 km² à l'embouchure.

1.9 Hydrogéologie

Les eaux souterraines sont disponibles partout au Bénin mais dans des conditions très variables :

- . de stockage,
- . d'accès à la ressource.

La connaissance des eaux souterraines s'est nettement améliorée ces dernières années avec l'interprétation des nombreuses données obtenues lors des différentes campagnes de forages réalisées pour l'alimentation en eau du pays (voir tableau 1.9.1 et figure 1.9.1).

Les quatre formations hydrogéologiques principales sont :

- . le socle granito-gneissique et l'Atacorien,
- . le bassin sédimentaire de Kandi, au Nord-Est,
- . le bassin sédimentaire de l'Oti, à l'extrême Nord-Ouest,
- . le bassin sédimentaire côtier au Sud.

1.9.1 Caractéristiques hydrogéologiques des formations du socle

1.9.1.1 Généralités

Les formations du socle ne renferment pas d'aquifère continu en raison de l'absence de porosité d'interstice.

Les roches cristallines et métamorphiques ainsi que les quartzites, les grès massifs et les schistes sont quasi imperméables s'ils ne sont pas fissurés ou altérés.

L'altération des roches se développe le long des fissures ; les produits de l'altération sont inégalement répartis ; ils forment des milieux poreux recelant des aquifères "en poches".

Dans la roche non altérée, l'eau circule et est emmagasinée dans les fissures.

1.9.1.2 Aquifère lié à l'altération

Le développement de l'altération est lié à l'humidité, à la nature de la roche et à l'intensité de la fissuration.

Les grès et les quartzites ne donnent que peu de produits altérés, mais des éboulis perméables sur une faible épaisseur.

Tableau 1.9.1

CARACTERISTIQUES GENERALES
DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES
DU BENIN

AGE	N° de la zone	Facies, lithologie	Profondeur des forages (m)	Niveau de l'eau (m)	Débits en m³/h	% de réussite
Quaternaire	1	Sables eoliens et marins du cordon littoral actuels et récents. Base vers — 30 m de profondeur ; le sommet correspond aux terrasses de 5 à 7 m. Lentille d'eau douce sur eau salée.	< 30	Peu profond	1 à 15	> 80
	2	Alluvions argilo-sableuses des vallées inférieures des fleuves. Epaisseur : 90 m max. Aquifères entre 0-20, 50 et 60, parfois jusqu'à 90 m. Eau salée à l'aval.	20 à 90	< 5 parfois artésien	5 à 12	> 80
	3	Sables fins du Niger, sables grossiers de l'Alibori, du Mékrou et de la Sota.	Puits 20	≤ 10	1 à 20	—
	4	Dépôts pelliculaires argilo-sableux de la Pendjari.	—	5 à 10	0 à 4	—
	5	Terrasses de + 5 à 40 m, celle de + 25 m est la plus développée - Argile et sable - graver à 15 m, de 25 à 30, de 50 à 60 m et de 75 à 92 m. Localisées sur la façade littorale. Front saisi à l'aval.	40 à 90	< 25 à artésien	5 à 100	> 80
Mio-Pliocène Quaternaire IV	Buttes latéritiques cuirassées - Stériles	—	—	—	—	
Continental terminal (C.T.)	Latente Argile rouge latéritique, argile bariolée, argile sableuse, noire ou colorée. Sable fin à grossier, grès, graver.	—	—	—	—	
Mio-Pliocène	6	Dans le bassin côtier le C.T. est quasi stérile quand il affleure.	50 à 100	25 à > 80	0 à 10	—
	7	C.T. bon aquifère sous les terrasses du IV de la façade maritime (jusqu'à — 135 m à Vakou).	25 à 150	< 25 à artésien	5 à > 100	> 80
	8	Dans le nord du Bénin le C.T. est sous forme de buttes perchées quasi-stériles. Epaisseur : 100 m.	—	—	—	—
Eocène	Argile grise, gris-bleu, beige-gaiets de quartz, sable fin blanc. Calcaire phosphaté, coquillier, à nummulites. Eau parfois ténde.	60 à plus de 500 m	> 80 à artésien	0 à 90	65 à > 80	
Paléocène	Argile, mame, gris-bleu, calcaire coquillier, calcaire marneux, nodules de pyrite. Calcaire aquifère, peu épais.	—	—	—	—	
Crétacé supérieur	10	Dans le bassin côtier, e) sables blancs fins à grossiers, argiles brunes, beige, verdâtres, qui s'approfondissent rapidement du N au S. b) "Terre de barre". Altération argilo-sablo-gréseuse rouge. Facies continental.	50 à > 700	> 80 à artésien	0 à 50	0 à > 80
	11	Dans le bassin de Kandi, faciès gréseux, grès grossiers, silt, argiles. Plateaux tabulaires. Epaisseur 30 m. A capter avec les grès du Cambro-Silurien.	45 à 30	5 à 15	10 à 40	> 80
Cambrien Silurien	12	En concordance et sous les grès de Kandi, grès anciens fins, moyens ; conglomérats, brèches, silt, argiles, dépôts grossiers le long de la faille de Kandi. Conglomérats, parfois moins productifs que les grès.	> 80	5 à 15	1 à 20	> 80
	13	Série de la Mékrou : a) Silt, argiles, intercalations de grès phosphatés. b) Argiles, silt, grès rares.	< 45	10 à 25	< 2 ?	50 à 65 ?
Paléozoïque	14	Série du Voltaien : Grès, quartzites, grès cimentés.	< 45	10 à 25	< 2 ?	50 à 65 ?
	15	Série de la Pendjari : Argilites, silt, grès fins.	< 45 (65)	10 à 25	≥ 5	73
Protérozoïque supérieur	16	Série de la Podlega : Grès, quartzites fins et moyens, siltites, jaspe, schistes argileux.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	65
	17	Série de l'Atacora : Quartzites, grès, conglomérats.	> 45 à < 85	10 à > 50	< 2	25
Protérozoïque supérieur	18	Groupe de Kanson : Schistes sénécio-quartziteux-quartzites.	45 à 65 (85)	10 à 25	< 2	64
	19	Série Kandi-Boukoumbé : Schistes sénécio-chionto-quartziteux-grès-conglomérats-dolomies.	< 45 (65)	10 à 25	< 5	60
	20	Groupe de Tagayé : Quartzites, schistes à sericite et quartz Groupe de Kouandé : Quartzites, schistes à muscovite et quartz.	< 45 (85)	10 à 25	< 2	67

AGE	N° de la zone	Facies, lithologie	Profondeur des forages (m)	Niveau de l'eau (m)	Débits en m³/h	% de réussite
Dahoméyen	21	Série des gneiss de la Mékrou et de Djougou : Gneiss à biotite, à deux micas, amphibole, gneiss à botte et grenat. Amphibolite à pyroxène et grenat, leptynite. Paragneiss à muscovite. Filons de pegmatite, gneiss fin ; micaschistes à deux micas. Amphibolite schisteuse (Djougou).	45 à 65 (Nord) < 45 (65)	25-50 (Nord) 10 à 25	< 2	29 (Nord) 70
	22	Formations associées aux gneiss : a) Complexe amphibolitique gneissique de Founogo : Amphibolites, gneiss, micaschistes ; mylonitisés et en écaillés.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	74
	23	b) Complexe granulitique de Pototouma-Kompagourou : Granulites basiques-pegmatites. Parachistes de GAMA : micaschistes, paragneiss.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	64
	24	c) Complexe granulitique de Dérouvarou : Granulite basique ; faciès amphibolitique.	—	—	—	—
	25	d) Gabbros.	—	—	—	—
	26	e) Complexe éruptif alcalin de la Pako Granite - filons de dolérite	—	—	—	—
	27	Laves, tufs, brèches volcaniques, filons de rhyolite.	?	?	?	?
	28	f) Complexe volcano-sédimentaire de la Pako : Composition basaltique et andésitique. Sédiments péliques.	—	—	—	—
Dahoméyen	29	Orthogneiss acide de Lama-Kara : Orthogneiss à muscovite, gneiss à amphibole, granite porphyroïde.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	53
	30	Orthogneiss basique de Kabré : Gneiss plagioclase à amphibole. Amphibolite à grenat.	—	—	—	—
Birmien	31	Faciès de la zone axiale : a) Complexe migmatitique de Kandi : — Migmatites granitiques, granodiorites, gneiss amphibolites.	< 45 (65)	10 à 50	< 2 à 5	53 à 70
	32	— gneiss caillés granitiques et granodioritiques.	—	—	—	67
	33	b) Complexe mylonitique de l'Alibori : — gneiss, amphibolites, gabbros schisteux ; mylonitisés.	—	25 à 50	2 à 5	—
	34	— granulites acides transformées en schistes verts.	—	—	—	—
	35	c) Orthogneiss de Sessoro : — Orthogneiss à muscovite.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	58
	36	d) Ultramylonite de la faille de Kandi.	—	—	—	—
Birmien	37	e) Faciès de la Wéré : — migmatites, migmatites granitiques à biotite.	45 à 85	10 à 25	2 à 5	58
	38	f) Groupe de Pira : Migmatites, embréchées indifférenciées au Sud du 9° parallèle. Gneiss, schistes, quartzites.	< 45 (65)	10 à 25	2 à 5	58
Panafricain ou postérieur	39	g) Complexe alcalin de Warl-Waro : Syéno-monzonite - granite - Microsénite.	—	—	—	—
	40	h) Granites calco-alcalins syntectoniques du Couffo-Charnockites - gneiss granitoïdes - granites migmatiques.	< 45 (65)	10 à 25	2 à > 5	70 à 80
Dahoméyen	41	Sillon gneissique de l'Ouémé : gneiss, micaschistes à deux micas. Amphibolites schisteuses. Îlots de quartzites.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	50 à 67
	42	Complexe Nikti-Péré : Migmatites granitoïdes ; gneiss migmatiques ; amphibolites, diorites quartz en intercalations.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	82 à > 80
	43	Granites syntectoniques calco-alcalins, granitoïdes, leptynites, migmatites, gneiss migmatiques à botte.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	82
	44	Complexe de l'Okpens moyen : migmatites indifférenciées, gneiss, granitoïdes.	< 45 (65)	10 à 25	2 à 5	63
	45	Volcano-sédimentaire de l'Ouémé. Basaltes, rhyolites.	< 45 (65)	10 à 25	< 2	80
Intrusions tardives	46	Massifs intrusifs - granites - granites prophyriques grano-diorites.	< 45 (80)	10 à 25	2 à 5	52

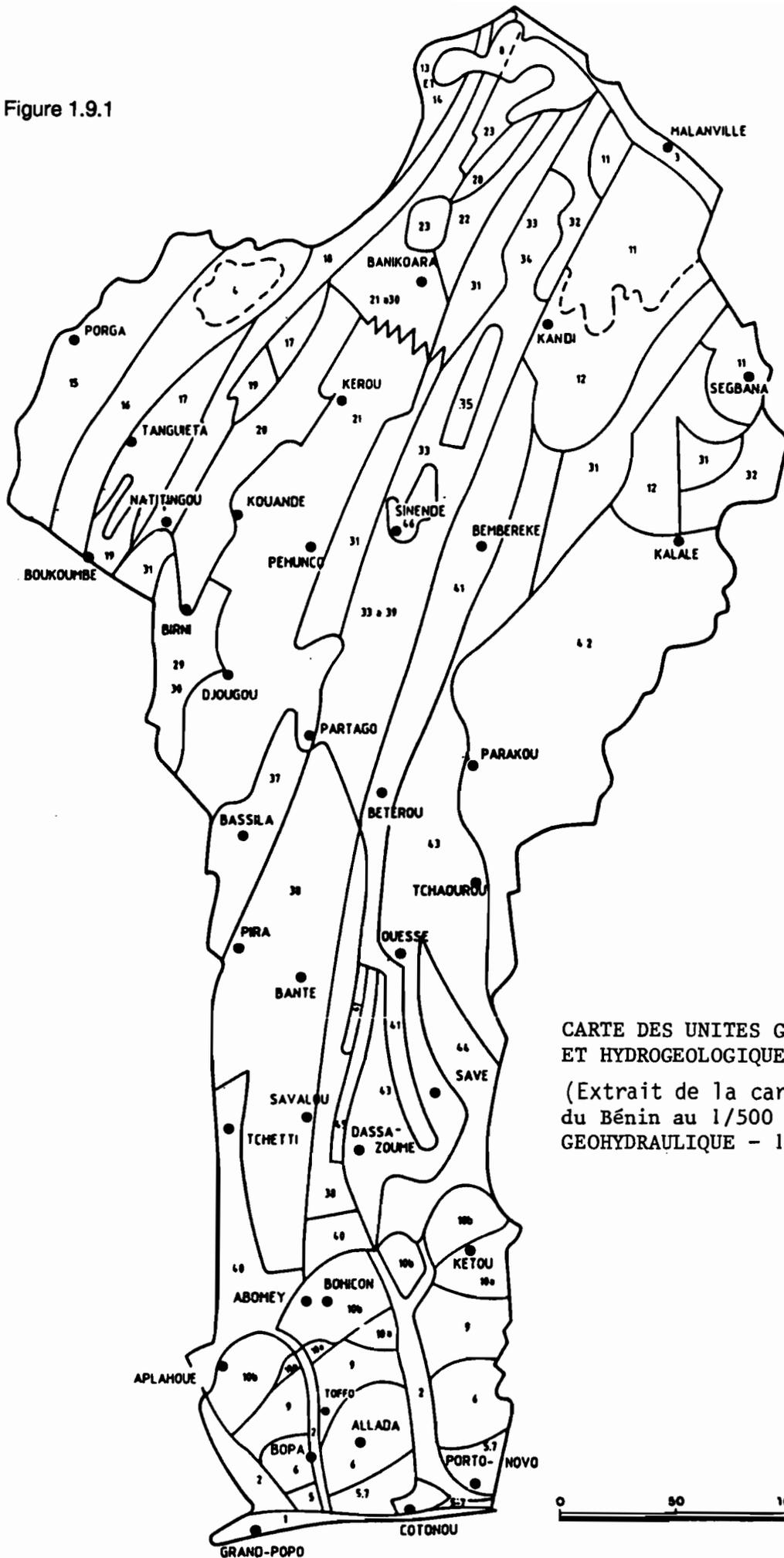
Profondeur des forages : de 1 à 12 en fonction du toit et de la base de l'aquifère (sédimentaire) de 13 à 45 d'après la profondeur de la dernière venue d'eau connue augmentée de 5 m (optimum hydrogéologique). Profondeur maximale entre parenthèses.

Débit des forages : débit d'exploitation déduit des essais de pompage.

Taux de réussite : dans le cadre de l'hydraulique villageoise seuls les débits d'exploitation à 0,7 m³/h sont retenus (ne sont pas considérés ni les débits de fonction ni les débits de soufflage).

Pour les zones de 13 à 45 les valeurs annoncées sont celles pour au moins 50 % des forages positifs.

Figure 1.9.1



CARTE DES UNITES GEOLOGIQUES
ET HYDROGEOLOGIQUES DU BENIN

(Extrait de la carte hydrogéologique
du Bénin au 1/500 000 -
GEOHYDRAULIQUE - 1985)

Les schistes s'altèrent en donnant des argiles plastiques très peu perméables ; l'altération sur schistes chloriteux est faible ; elle est plus développée sur les schistes sériciteux. Les micaschistes se décomposent facilement en sable argileux.

Les gneiss s'altèrent plus profondément que les migmatites.

L'altération est généralement plus argileuse dans la partie supérieure et arénacée vers la base dans les roches cristallines. La perméabilité des terrains est plus élevée à l'approche de la roche mère.

Sur schistes, l'altération est argileuse sur toute la hauteur et la transition avec la roche est brusque.

L'aquifère des altérites est exploité par les puits mais il s'avère que le puits est un ouvrage de captage inadapté aux conditions naturelles sur la quasi-totalité du socle du Bénin en raison, entre autres, du manque d'épaisseur de l'altération.

Ce qui importe le plus est l'épaisseur de la tranche saturée en eau qui assure la pérennité des puits et, d'une façon générale, la ressource en zone de socle.

Les formations altérées du Bénin ont, pour 70 % des cas, une perméabilité faible ($1 \text{ à } 9.10^{-7} \text{ m/s}$) ; les bonnes perméabilités, dans les couches arénacées, ne représentent que 5,4 %.

La porosité utile est estimée entre 2 et 5 % suivant la roche mère.

1.9.1.3 Aquifère lié à la fissuration

Toutes les roches, de toutes les formations géologiques du socle, sont fracturées. La fracturation est intense ; la fréquence des fractures varie suivant la nature de la roche, son âge, sa position structurale, son litage.

Les inclusions rigides (filons de quartz, dolérites, diorites, pegmatites, etc.) dans des schistes ou des roches foliées sont le siège d'une intense fracturation par rapport aux roches encaissantes malléables.

Les grands accidents favorisent une intense fissuration.

La fracturation n'est pas anarchique ; elle est orientée en fonction des diverses phases de contraintes tectoniques qui ont affecté le socle.

Les phases de compression ont donné naissance aux structures géologiques ; les fractures longitudinales, parallèles à l'allongement des structures sont souvent fermées mais la compression a pu écraser la roche et la rendre perméable ; les fractures transversales aux structures sont généralement ouvertes ; les fractures médianes aux précédentes jouent parfois en décrochements avec des ouvertures variables.

1.9.1.4 Système hydraulique des aquifères du socle

La fonction d'emmagasinement d'un massif fissuré est faible en raison de la porosité utile réduite à quelques ‰.

Le stockage des eaux souterraines peut être 50 fois plus élevé dans l'altération que dans la roche fissurée. Le rôle des fractures est de drainer la masse altérée car la réserve d'eau accumulée dans l'altération ne peut être directement et efficacement captée en raison de la très faible perméabilité. Une fracture kilométrique peut drainer plusieurs dizaines d'hectares d'altération saturée.

Lorsque le niveau de l'eau se trouve au-dessous de la base de l'altération ; la ressource en eau est très réduite.

Dans les fractures, l'eau est généralement en charge sous la couverture altérée.

En zone de socle, les ressources hydrauliques sont exploitées d'une façon optimale par un forage implanté sur une fracture ouverte, capable de drainer le plus grand volume d'altération saturée.

1.9.2 Caractéristiques hydrogéologiques des formations sédimentaires

1.9.2.1 Les aquifères (voir tableau 1.9.2 et figure 1.9.2)

a. Aquifères du Quaternaire

- a1. Les sables du cordon littoral renferment un aquifère exploité par des puits qui soutirent des débits de 1 à 15 m³/h par ouvrage. La perméabilité des sables est assez élevée, entre 10⁻² et 10⁻⁴ m/s.

La profondeur du niveau de l'eau varie de 2,5 m à 3,5 m avec un battement annuel de l'ordre du mètre.

Une lentille d'eau douce flotte sur de l'eau salée : eau de l'Océan au Sud, eau des lagunes saumâtres au Nord. Le cordon littoral est très étroit au Bénin ; il disparaît pratiquement à l'Est de Grand-Popo pour s'élargir à l'Est de Cotonou.

L'alimentation par les pluies provoque une "bosse" piézométrique située entre 1 et 3 m au-dessus du niveau moyen de la mer, ce qui laisse suggérer que la base du contact eau douce-eau salée se trouve entre 27 et 81 m de profondeur.

Tableau 1.9.2

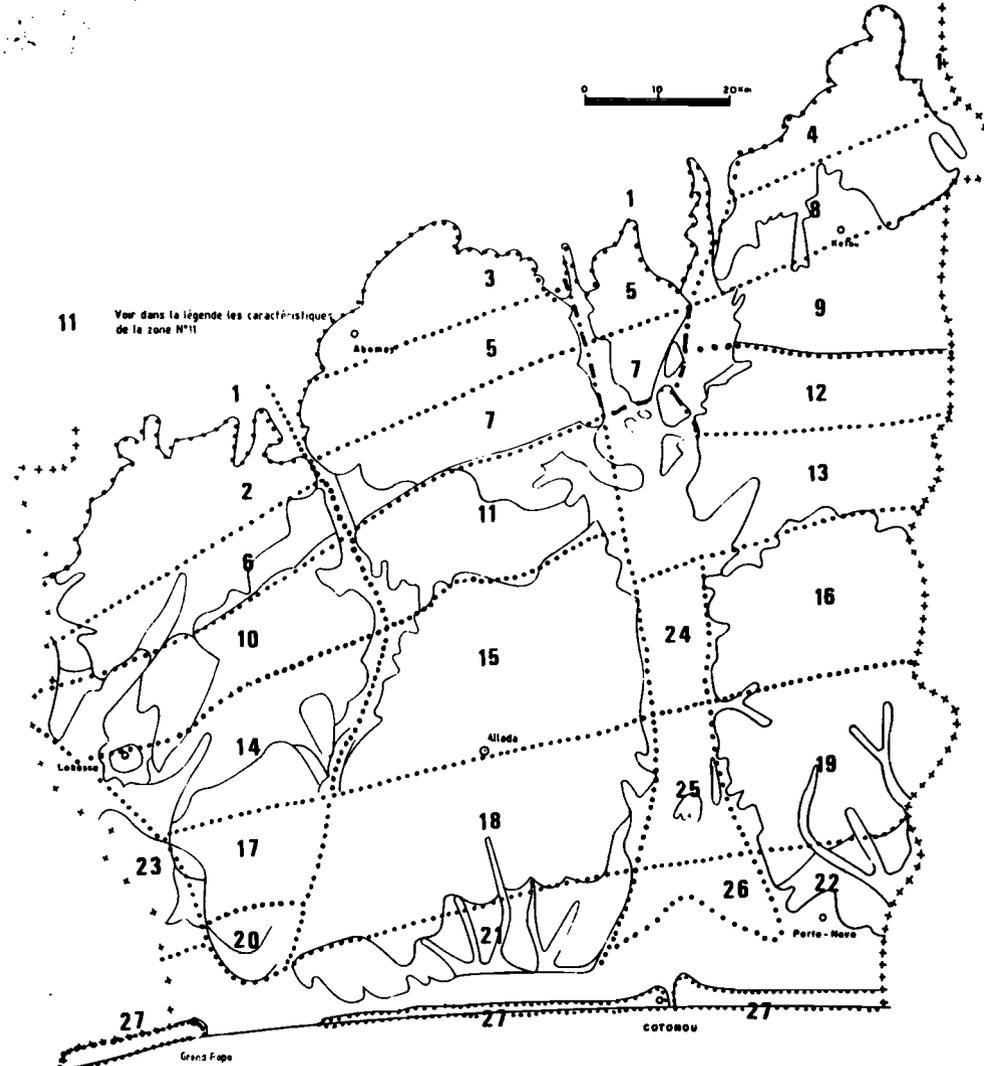
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES 27 UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

Figure 1.9.2

CARTE DES UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER DU BENIN

I-31

UNITÉS	CARACTÉRISTIQUES DES UNITÉS
1	Socle granito-gneissique. Aquifère discontinu de fissures. Forages de 45 à 60 m placés sur les fractures. Débit : 0 à 6 m ³ /h. N.S. profond à l'approche du Crétacé. ailleurs eau entre 5 et 15 m de profondeur. Puits déconseillés car la couche altérée est peu épaisse.
2	Le Crétacé continental est quasi-stérile car N.S. profonds au-delà de la base du Crétacé. Rechercher les points bas dans les vallées et à la périphérie de la zone. Forages dans les fractures du socle, foncés à travers les sédiments du Crétacé. Problème de l'exhausta. Puits fortement déconseillés.
3	MONO. NS plus profonds que 50 m. Forages de 50 à 100 m de profondeur. Débits de 0 à 7 m ³ /h.
4	ZOU. NS entre 40 et plus de 70 m de profondeur. Forages de 50 à 100 m. Débits de 0 à 5 m ³ /h.
5	OUEME. NS entre 50 et 80 m de profondeur. Forages de 60 à 100 m.
6	Eau profonde (40 à plus de 70 m) mais Crétacé relativement épais (60 à 80 m) pouvant être saturé à la base. Rechercher les fonds des vallées. Forages de 60 à 100 m atteignant ou pénétrant le socle (dans ce cas, rechercher les fractures). La productivité croît du N au Sud. Puits déconseillés. Débit : 0 à 8 m ³ /h.
7	MONO. Le Crétacé continental est productif dans la zone Ouest, avec de bons débits. Forages de 40 à 70 m. NS = 25 à 40 m. S'il est stérile, rechercher les sables du Crétacé avec des forages de 50 à 120 m de profondeur. NS de 25 à 60 m. Débits de 3 à 11 m ³ /h.
8	ZOU. Crétacé continental peu productif. Exploiter les sables du Crétacé avec des forages de 50 à 130 m. NS de 20 à 50 m. Débits de 1 à plus de 10 m ³ /h (jusqu'à 50 m ³ /h).
9	OUEME. Le Crétacé continental est vide car NS à plus de 50 m de profondeur. Rechercher l'eau dans le Crétacé marin sableux avec des forages de 80 à 130 m.
10	Aquifère des sables du Crétacé. Dans la partie Ouest, implanter des forages de 50 à 70 m (vers le Sud). NS de 15 à 20 m, parfois artésien. Bons débits (50 m ³ /h). Dans la partie Est, l'eau est profonde (problème de l'exhausta), chercher des sites dans les bas-fonds. Forages de 80 à 150 m de profondeur. Débits élevés (50 m ³ /h). Puits déconseillés.
11	Forages dans les sables du Crétacé et les calcaires du Paléocène sont secs (limite N) ou si les faciès sont marnés. Forages de 90 à 190 m. NS artésien à l'Ouest et profonds sous les - CT - (60 m). Débits de 0 à plus de 20 m ³ /h.
12	Forages de 80 à 120 m (au S) dans le Paléocène. Les calcaires peuvent être argileux ou absents, rechercher, dans ce cas, les sables du Crétacé situés à 80 m de profondeur au N et vers 160 m au S, les pénétrer de 10 à 30 m. Le Crétacé argileux affleure au NE de la zone. NS sèren à 25 m. Débits de 15 à 50 m ³ /h.
13	Le Paléocène est peu ou pas productif. Sables du Crétacé avec des forages de 50 m (Ouest) à plus de 150 m (Est). Puits à l'Ouest seulement. NS de 30 à 50 m à l'Est et peu profonds à l'Ouest. Bons débits (20 à 50 m ³ /h).
14	Forages de 60 à 120 m, du N au S, dans les calcaires du Paléocène. NS à moins de 25 m de profondeur parfois artésien (point bas). Sables du Crétacé vers 200 m au Nord et plus profonds vers le Sud (400 m). Puits possibles seulement en limite Nord mais profonds (60 m) ou en bordure de l'Ouémé.
15	CT stérile. Forages de 120 à 190 m de profondeur exploitant les calcaires du Paléocène épais de 5 à 15 m. Faciès parfois marnés. NS artésien sur les bordures à très profond sous le C.T. Débits de 0 à 90 m ³ /h. Le toit du Crétacé aquifère se trouve entre 120 m (N) et 250 m (S).
16	CT quasi-stérile car NS souvent à plus de 50 m de profondeur. Les puits sont déconseillés. Paléocène argileux ou profond. 150 m au N et 325 m au Sud. Le Crétacé aquifère est profond : 160 m au N et 590 m au Sud. Pour l'hydraulique villageoise, forages de 30 à 50 m dans les bas-fonds, en bordure de la zone sinon forages de 150 à 500 m, avec des débits parfois importants (30 m ³ /h).
17	CT productif malgré un NS profond. la base du CT se trouve vers 65 à 75 m de profondeur. L'Éocène sous-jacent est stérile. Les calcaires du Paléocène sont entre 150 à 200 m de profondeur au Nord et 300 m au Sud. Le toit des sables du Crétacé sont à 400 m (au N) à près de 600 m au centre avec de bons débits (jusqu'à 50 m ³ /h). Pour l'hydraulique villageoise, créer des forages de 30 à 50 m dans les bas-fonds (3 à 10 m ³ /h). Puits possibles seulement sur les bordures quand le NS est à moins de 30 m de profondeur.
18	CT complètement énoyé et stérile, débit faible à la limite Sud de l'affleurement du CT (0,2 m ³ /h) et dans les bas-fonds. Le Paléocène aquifère se trouve vers 240 m au N et 350 m au Sud et le Crétacé entre 300 m (N) et 600 m (S). Tenir des forages de 40 à 60 m dans le CT ; N.S. de 30 à 40 m (bordures, bas-fonds).
19	Zone mal connue N.S. profonds en général, sauf sur les bordures, ce qui réduit les ressources du C.T. Forages dans le CT, de 50 à 70 m de profondeur. La productivité croît du N au S. Paléocène entre 250 m au N et plus de 400 m au Sud. Crétacé de 400 à 1000 m environ.
20	C.T. aquifère dans l'ensemble. Eviter les interfluvés où le NS peut être à plus de 50 m de profondeur. Forages de 50 à 80 m. Débits 1 à 10 m ³ /h. Puits profonds dans les vallées. Le Paléocène est à plus de 450 m de profondeur et le Crétacé entre 650 et 700 m.
21	Le Quaternaire et le C.T. s'épaississent vers le S, de 50 m à plus de 100 m. N.S. de 25 m de profondeur au N à artésien au Sud. Débits parfois élevés (20 à 40 m ³ /h). Forages de 25 à 150 m. Puits possibles. Front salé sur la bordure Sud.
22	Le C.T. et le Quaternaire s'épaississent de 70 m au N à 150 m au Sud. NS de 25 m au N à artésien au Sud. Débits localement très élevés, supérieurs à 100 m ³ /h. Forages de 25 à 150 m. Puits possibles. Front salé sur la bordure Sud.
23	Forages de 40 à 60 m dans le Quaternaire et le C.T. Débits de 5 à 100 m ³ /h. N.S. de 10 à 25 m de profondeur. Front salé sur la limite sud. Paléocène à plus de 500 m et Crétacé vers 1000 m.
24	Quaternaire et C.T. de la dépression du Mono. Débits de 5 à 12 m ³ /h avec des forages de 40 à 50 m. NS peu profond, parfois artésien. Accès parfois difficile. Paléocène productif à 120 m de profondeur. Crétacé à 250 m (Aithémé).
25	Dépression de l'Ouémé. Sources nombreuses sur les berges, mais inondables 3 à 6 mois par an. Puits dans les terres émergées. Protection de l'eau difficile. Accès difficile. Les argiles de l'Éocène affleurent sur les berges. Pour le pompage, le CT en profondeur mais certainement absent. Pour les forages, voir 15 et 16.
26	Dépression de l'Ouémé. Sources nombreuses sur les berges, mais inondables 3 à 6 mois par an. Puits dans les terres émergées. Protection de l'eau difficile. Accès difficile. Les argiles de l'Éocène affleurent sur les berges. Pour le pompage, le CT en profondeur mais certainement absent. Pour les forages, voir 15 et 16.
27	Dépression de l'Ouémé, mêmes caractéristiques que 25, mais artésianisme généralisé. Front salé sur la limite Sud. Le CT peut contenir de l'eau douce sous la zone salée, mais grandes difficultés pour capter l'eau douce sans induire l'eau salée du dessus.
27	Cordon littoral sableux assez large à l'Est de Cotonou et à l'Ouest de Grand-Popo et filiforme entre ces deux zones. Lentilles d'eau douce flottant sur l'eau salée. NS peu profond se raccordant avec l'océan et la lagune. Protection de l'eau difficile car sable très perméable. Bons débits (1 à 15 m ³ /h). Écrire la nappe avec des puits peu profonds ou des batteries de points filtrants. Forages déconseillés malgré le CT aquifère entre 80 et 150 m, échec à Grand-Popo avec de l'eau salée ou saumâtre dans les forages.



Les calculs définissent la profondeur maximale des puits :

- . pour une cote de l'eau de +1 m ; la profondeur est 11,5 m,
- . pour une cote de l'eau de +3 m ; la profondeur est 39,5 m.

Dans la pratique, l'eau douce peut être exploitée par des puits ou des forages peu profonds, éloignés des limites du cordon littoral.

Le débit d'exploitation est limité par le rabattement obligatoirement faible ; il dépend de la perméabilité de l'aquifère qui n'autorise que des débits de 1 à 15 m³/h.

Le captage des niveaux aquifères profonds (Quaternaire et Continental Terminal) peut entraîner des échecs (forages de Grand-Popo).

- a2. Pour des îlots qui émergent à la cote +5 m (rarement à +10 m) dans les lagunes, la "bosse" piézométrique est entre 0,5 et 1 m au-dessus du niveau moyen de la mer, ce qui limite la profondeur du contact eau douce-eau salée à moins de 25 m ; les puits ou les forages ne devront pas dépasser 10 m de profondeur (4 pour une bosse de 0,5 m) et les débits d'exploitation seront limités de 0,5 à quelques m³/h.
- a3. A l'amont des zones salées, le Quaternaire est productif dans les bas-fonds des grandes vallées (60 m en général mais jusqu'à 90 m de profondeur). Il faut s'éloigner des bordures du bas-fond car les argiles de l'Eocène sont à l'origine de forages négatifs.

Dans toutes ces zones, la protection de l'eau est difficile et l'accès peu pratique.

Les terrasses méridionales du Quaternaire sont aquifères sur 40 à 90 m de profondeur. Les débits d'exploitation sont les plus élevés du Bénin (> 100 m³/h localement).

b. Aquifères du Continental Terminal et du Crétacé Continental

Les collines du Continental Terminal et du Crétacé (faciès continental) sont drainées à leur périphérie par les bas-fonds.

En raison de la profondeur du niveau de l'eau, souvent localisé dans les argiles de l'Eocène ou dans les fissures du socle au Nord, ce réservoir est quasi stérile partout où il affleure avec une morphologie accusée.

Dans les collines, la recherche de l'eau est aléatoire ; elle doit se limiter aux abords des thalwegs les plus importants ou à la limite des collines, c'est-à-dire à proximité des niveaux de base ou des zones d'alimentation de l'aquifère.

Le Continental Terminal n'est vraiment aquifère que dans la zone méridionale, en particulier lorsqu'il est recouvert par les terrasses du Quaternaire. Des forages jusqu'à 100 à 150 m de profondeur peuvent extraire de forts débits (> 100 m³/h).

Dans les vallées des grands fleuves, le Continental Terminal n'est présent qu'à l'aval seulement.

c. Aquifère de l'Eo-Paléocène

Dans la pratique, on ne distingue pas, dans les forages, les calcaires de l'Eocène de ceux du Paléocène.

Avec l'ancienneté et la profondeur, les sédiments du Tertiaire sont nettement structurés par le découpage tectonique.

Dans la partie Nord de la dépression de la Lama, soit les sédiments sont argileux, soit les calcaires sont dénoyés. Vers le Sud, ils sont aquifères avec une productivité variable en fonction de la faible épaisseur des niveaux calcaires : quelques mètres, jamais plus de 30 m. Mais ils s'approfondissent rapidement par paliers ; leur exploitation devient techniquement et économiquement peu intéressante.

d. Aquifère du Crétacé marin

Hormis les aquifères du Quaternaire et du Continental Terminal des zones méridionales, les sables du Crétacé supérieur forment l'aquifère le plus intéressant par sa continuité et sa productivité. Le facteur limitant est l'accès à la ressource. Dans la dépression de la Lama et sur sa bordure septentrionale, le Crétacé offre de bons débits avec des forages de profondeurs inférieures à 200 m. Mais au Sud de la dépression, les sables s'approfondissent (200 à plus de 700 m).

Les grands décrochements orientés Nord-Est/Sud-Ouest introduisent des zones argileuses peu productrices.

1.9.2.2 Alimentation des aquifères

Les seuls terrains à l'affleurement qui soient perméables sont les sables argileux du Continental Terminal, du Quaternaire et du Crétacé Continental.

Les argiles de l'Eocène, du Paléocène et du Crétacé ne favorisent pas l'infiltration directe des eaux pluviales. Le Crétacé peut être alimenté plus ou moins directement sur le versant Sud des collines septentrionales.

D'une façon générale, l'alimentation des aquifères est sous la dépendance de la pluviométrie qui varie de 800 à 1400 mm et de l'épaisseur de la tranche non saturée qui surmonte l'aquifère. Les sables argileux du Continental Terminal, du Crétacé et du Quaternaire ont une porosité totale élevée qui

favorise la rétention d'un volume important d'eau infiltrée qui, s'il est repris par évapotranspiration, ne parvient pas jusqu'à la nappe.

Diverses observations permettent d'avancer de manière générale ; qu'en deçà de 800 mm de pluie (possible les années très sèches), il n'y a pas de recharge possible des aquifères car les pertes par évaporation sont importantes ; l'alimentation reste hypothétique de 800 à 1200 mm lorsque le niveau de l'eau se trouve au-delà de 20 m de profondeur et l'alimentation est quasi nulle pour une profondeur de l'eau de 25 à plus de 50 m. Cette limite de 800 mm est à considérer avec réserves car elle dépend en réalité de facteurs locaux (topographie, recouvrement, fissuration, lithologie).

De ces observations, on déduit que les zones d'alimentation se réduisent à peu de choses en fonction de la faible pluviosité de la période 1962-1982.

En pratique, l'alimentation ne peut se faire que près des niveaux de base : bas-fonds aquatiques, fond des cours d'eau. Sur les collines, il ne peut y avoir d'infiltration que pendant les écoulements périodiques.

Ceci est confirmé par la morphologie de la nappe ; localement, la surface des eaux souterraines est déprimée et présente des remontées sous les thalwegs. Dans les collines stériles, les seules possibilités de trouver de l'eau sont localisées près des zones basses.

1.9.2.3 Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères (voir tableau 1.9.3)

Le débit spécifique (rapport du débit exploitable par le rabattement) est assimilé à la transmissivité.

Le Continental Terminal a une bonne transmissivité ($1,5$ à $8 \cdot 10^{-3}$ m²/s) qui traduit une perméabilité élevée mais la faible hauteur, voire le dénoyage total du réservoir, limite l'exploitation de cet aquifère, sauf au droit des bas-fonds ou sur la bordure méridionale du bassin.

Dans les collines méridionales du Mono, le dénoyage du Continental Terminal se traduit par des transmissivités très faibles (10^{-5} à $4 \cdot 10^{-4}$ m²/s).

Les transmissivités sont bonnes pour le Quaternaire des zones méridionales, avec des valeurs très variables comprises entre 10^{-3} et $3 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Les valeurs sont semblables pour les alluvions du Mono.

L'Eocène et le Paléocène argileux rencontrés par les forages traversant le Continental Terminal peu épais sur les rives des dépressions de l'Ouémé et du Mono ont des transmissivités faibles à cause de la perméabilité des argiles (1 à $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s).

Tableau 1.9.3 - TABLEAU RECAPITULATIF SUR LA NATURE GEOLOGIQUE DES AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE			
NATURE DES FORMATIONS DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER			
Stratigraphie	Nom local	Lithologie	Hydrogéologie
Quaternaire actuel et récent		Bas-fonds lacustres du Mono et de l'Ouémé. Vase, limons argilo-sableux des terres émergées	Puits ou forages jusqu'à 20 m (10 m en général) Eau saumâtre vers le Sud
		Sables marins et éoliens du cordon littoral Epaisseur : 18 à 32 m	Lentille d'eau douce reposant sur de l'eau salée Bonne perméabilité
Quaternaire moyen et ancien		Alluvions argilo-sableuses parfois graveleuses (entre 25 et 30 m) remplissant les fossés du Mono et de l'Ouémé	Aquifères entre 0 et 20 m (Voir IV récent) entre 50 et 60 à 65 m, parfois jusqu'à 90 m
		Terrasses parallèles au littoral, sable argileux, argile sableuse, argile noire ou colorée, sable fin à grossier, gravier	Aquifère 35 à 40 m Aquifère 50 à 60 m Aquifère 70 à 92 m
Pliocène - Miocène	Continental Terminal Bénin et Ijebu formation	Latérite ; argile rouge latéritique ; argile lie de vin, bariolée, blanche, verte, jaune ; sable argileux, sable blanc, ocre jaune ; galets de quartz Epaisseur max. : 135 m (Vakon)	Bon réservoir souvent dénoyé Productif dans la partie méridionale Aquifère jusqu'à 105 à 130 m
Miocène	Afowo formation	Argile sableuse. Non différenciée en hydrogéologie	Peu ou pas perméable
Eocène	Oshoshum -----	Argile grise, gris foncé, gris-bleu, beige, galets de quartz, sable fin blanc, calcaire phosphaté, calcaire coquiller à nummulites	Calcaire et sable aquifères Eau fétide si phosphate Peu épais par rapport aux sédiments peu perméables
Paléocène	Imo shale formation -----	Argile, marnes gris-bleues, calcaire coquiller, calcaire marneux, nodules de pyrite	Calcaire aquifère Peu épais
Sénonien	Araromi shale Awgu formation	Argile verte, beige, rose, gris clair, noire ; sable fin à grossier blanc (Maestrichtien) Faciès continental : argile, sable, sable argileux	Bon aquifère dans les horizons sableux Collines du Nord souvent dénoyées et stériles
Turonien		Grès sable Non reconnu Doit exister au moins dans le Sud du bassin	Certainement aquifère

Peu de valeurs sont disponibles pour caractériser les calcaires de l'Eocène et du Paléocène (forages mixtes avec le Crétacé ou le Continental Terminal) ; les valeurs de la transmissivité oscillent de 2.10^{-4} à 2.10^{-3} m²/s.

Le Crétacé a une transmissivité qui varie entre 4.10^{-4} et 10^{-2} m²/s ; cette variabilité, due essentiellement à la profondeur de pénétration des forages, masque les bonnes potentialités de cet aquifère.

Cet aquifère est artésien au moins dans les zones lacustres (d'après les reconnaissances réalisées par le Programme Hydraulique Villageoise en zone lacustre : CCCE - BURGEAP, en cours de réalisation).

1.9.3 Qualité des eaux souterraines

1.9.3.1 Qualité des eaux souterraines dans les formations de socle

Les eaux souterraines du socle sont généralement très peu minéralisées.

Le faciès chimique le plus représenté est du type bicarbonaté calcique avec la présence possible de sulfates dans les schistes.

Le pH est supérieur à 7 (7,2 à 8,2 en moyenne).

La potabilité physico-chimique est généralement assurée.

1.9.3.2 Qualité des eaux souterraines dans le bassin sédimentaire

Dans le Continental Terminal et le Quaternaire, la résistivité est supérieure à 2000 Ohm/cm et le pH est généralement inférieur à 7, ce qui dénote une eau agressive.

Les eaux du Continental Terminal ont un faciès chimique du type bicarbonaté calcique à sodique vers le Sud au contact des eaux salées.

Dans le cordon littoral, la lentille d'eau douce est aussi du type bicarbonaté calcique, passant en bordure au faciès bicarbonaté sodique au contact des eaux chlorurées sodiques.

La concentration en chlorures ne croît pas nécessairement avec la profondeur. A Grand-Popo, sitôt la lentille d'eau douce traversée, l'eau se sale avec un résidu sec de 18 g/l à moins de 20 m de profondeur ; pour le deuxième aquifère, entre 40 et 50 m, le résidu sec est de 3,4 g/l ; il chute à 1,9 à 83 m de profondeur.

A Kétonou (Ouémé), le premier aquifère (73 - 91 m) a une concentration en chlorures de 19,74 g/l de chlorure de sodium et le deuxième aquifère (108 - 134 m), 5,22 g/l de chlorure de sodium.

Les eaux du Paléocène et du Crétacé sont bicarbonatées calciques, parfois magnésiennes (Bakpodji dans le Mono).

Les eaux issues des calcaires phosphatés de l'Eocène ont parfois une odeur fétide.

Certains puits et forages du Mono ont de l'eau salée ou amère au contact des argiles de l'Eocène.

La protection des eaux est difficile dans les sables littoraux et dans les zones lacustres ou inondables.

oOo

CHAPITRE 2

RESSOURCES EN EAU

2.1 Ressources en eau disponibles au Bénin

Depuis 1982, le Bénin a mis en oeuvre un vaste programme d'études et de travaux visant à évaluer les ressources en eau du pays, notamment en vue d'assurer l'alimentation en eau potable des populations rurales et urbaines, ceci dans le cadre de la Décennie Internationale pour l'Eau Potable et l'Assainissement (DIEPA).

L'étude des ressources nationales en eau est un élément indispensable à la préparation d'un Plan Directeur. Les différentes études ont été :

- . 1985 - Etablissement de la carte hydrogéologique du Bénin au 1/500 000 et de la carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier au 1/200 000, financées par le FED.
- . 1986 - Etablissement de la carte des potentialités des ressources en eau souterraine (CIEH/BRGM/GEOPHYDRAULIQUE, FED).
- . 1986 - Projet sur la gestion des eaux superficielles et souterraines du Bénin avec 2 composantes :
 - eaux de surface : organisation et gestion des réseaux (ORSTOM),
 - eaux souterraines : fichier de gestion des ouvrages hydrauliques, puits et forages (fichier PROSPER).

Financement FAC.

- . 1988 - Projet sur l'inventaire des ressources en eau souterraine du Bénin dont les objectifs sont limités à l'étude détaillée de 4 zones hydrogéologiques :
 - les alluvions du Niger,
 - le bassin sédimentaire de Kandi,
 - le socle cristallin,
 - le cordon dunaire littoral.

Financement Banque Islamique de Développement.

- . Le projet PNUD-BEN-85-004 est consacré à l'étude du bassin sédimentaire côtier (à l'exclusion des cordons dunaires), à la réalisation, à l'aide d'un modèle mathématique, d'une étude des ressources et de leur gestion en fonction des besoins.

Ce projet a été exécuté de 1986 à 1989.

2.1.1 Evaluation des ressources en eaux de surface

Les ressources en eaux de surface sont abondantes sur la plus grande partie du territoire. Seul le Nord du pays apparaît défavorisé.

Ces ressources sont localisées dans les grands fleuves, dans les rivières et marigots de moindre importance et dans les lacs et lagunes.

2.1.1.1 Les grands fleuves

Les stations hydrométriques citées dans ce paragraphe sont indiquées sur la figure 1.8.1. On trouvera représentés sur la figure 2.1.1 les hydrogrammes qui y ont été observés en 1974, année très proche de la moyenne.

- . **Le Niger**

A la station de Malanville, le Niger draine un bassin d'un million de km² environ. Calculé sur la période 1952-1984, son module annuel est de 1150 m³/s. Son régime est bimodal et on distingue la crue "malienne" et la crue "soudanienne".

La première résulte de la propagation des débits en provenance du haut bassin. En année moyenne, elle survient vers le 10 février et son débit est de 1830 m³/s.

La seconde résulte des apports des affluents nigériens, burkinabés et béninois. En année moyenne, elle survient vers le 25 septembre et son débit est de 1890 m³/s.

En année moyenne, l'étiage survient vers le 30 juin et son débit est de 90 m³/s.

L'irrégularité interannuelle est grande pour un fleuve de cette importance puisque les coefficients de variation du module, des maxima des crues "malienne" et "soudanienne", de l'étiage ont pour valeurs respectives : 0,20, 0,15, 0,31 et 0,78.

On observe une différence sensible dans le régime du fleuve entre les périodes antérieure et postérieure à 1968. Le module interannuel passe de 1275 m³/s à 950 m³/s, le maximum de la crue malienne de 1950 m³/s à 1700 m³/s, celui de la crue soudanienne de 2350 m³/s à

1550 m³/s, l'étiage de 150 m³/s à 40 m³/s. Les dates d'occurrence de la crue malienne et de l'étiage passe respectivement du 20 février au 15 janvier et du 5 juillet au 15 juin. La date d'apparition de la crue soudanienne ne connaît pas de changement significatif.

. La Pendjari

A la station de Porga, située 37 km en amont de la frontière togolaise, la Pendjari a un module interannuel, calculé sur la période 1952-1984, de 59 m³/s. 88 % des apports sont concentrés au cours des mois d'août, de septembre et d'octobre. Le maximum de la crue a lieu, une année sur deux, la dernière quinzaine de septembre et atteint en moyenne 360 m³/s. Une année sur deux, le fleuve tarit complètement à la fin du mois d'avril.

L'irrégularité interannuelle est forte. Les coefficients de variation du module et du maximum de la crue sont de 0,48 et 0,42.

. L'Ouémé

De la station de Beterou (10 326 km²), qui contrôle les apports du bassin supérieur, à celle de Bonou (46 990 km²), située quelques km en aval de la confluence avec le Zou, l'Ouémé est contrôlé à deux stations, celle de Save (23 600 km²) et celle de Sagon (37 980 km²).

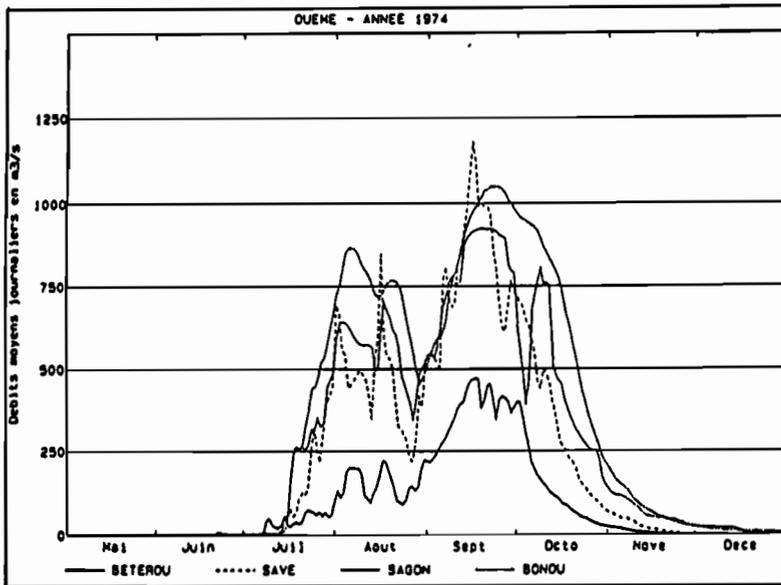
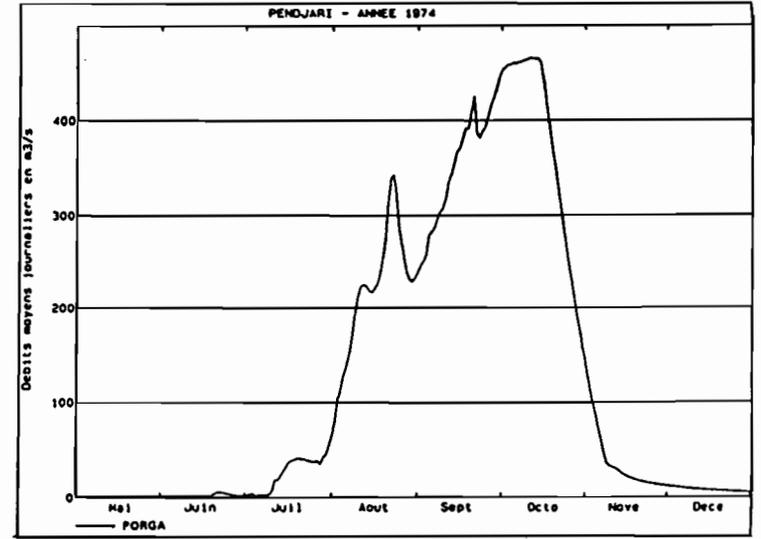
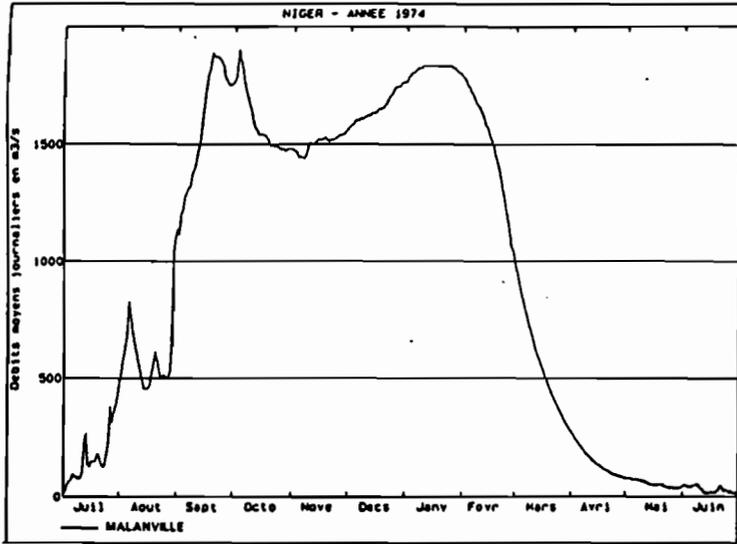
A ces quatre sites, le module interannuel est respectivement de 52 m³/s, 107 m³/s, 143 m³/s et 168 m³/s.

D'amont en aval, on constate un laminage de l'hydrogramme. Si à Beterou les apports des mois d'août, septembre et octobre, représentent plus de 90 % du total annuel, le même rapport n'est que de 80 % à Bonou.

La date d'occurrence du maximum de la crue est quasi simultanée tout le long du fleuve et a lieu une année sur deux au cours de la deuxième quinzaine de septembre. La valeur médiane du maximum aux quatre stations de référence est respectivement de 380 m³/s, 760 m³/s, 750 m³/s et 805 m³/s. Le laminage très important des crues entre Save et Sagon est en très grande partie dû aux pertes qui surviennent lors des fortes crues au contact socle-bassin sédimentaire où sont localisés des accidents géologiques majeurs. Les pertes arrivent à dépasser 30 % des apports annuels les années de forte hydraulité.

A l'amont de cette singularité géologique, les étiages sont toujours extrêmement faibles. Ils sont nuls à Beterou, de l'ordre de quelques litres par seconde à Save. En revanche, ils sont beaucoup plus soutenus à l'aval, 1,5 m³/s environ en valeur médiane à Sagon et à Bonou.

L'irrégularité interannuelle est très forte. Aux quatre stations de référence, les coefficients de variation du module sont de 0,65 - 0,67 - 0,57 et 0,61, ceux du maximum de la crue de 0,49 , 0,52 , 0,38 et 0,43.



ANNEE 1974

Figure 2.1.1 : Hydrogrammes observés

. Le Mono

A la station d'Athiémé (21 475 km²) qui contrôle la quasi-totalité des apports du Mono au Bénin, le module interannuel est de 95 m³/s.

Près de 75 % des apports annuels ont lieu au cours des mois d'août, de septembre et d'octobre.

Le maximum de la crue survient en règle générale au cours de la deuxième quinzaine de septembre. Cependant au cours des années exceptionnellement sèches (1953, 1979, 1983), il peut apparaître pendant la première saison des pluies. La valeur médiane des maxima est de 695 m³/s.

Les étiages absolus surviennent en mars ou en avril. Leur médiane est de 0,5 m³/s.

L'irrégularité interannuelle est du même ordre que celle observée sur l'Ouémé : les coefficients de variation du module et du maximum de la crue sont de 0,67 et 0,35.

2.1.1.2 Rivières et marigots

La densité du réseau hydrométrique ne permet pas un contrôle de toute la ressource en eaux de surface que représente le grand nombre de rivières et de marigots qui existent au Bénin. Cependant Le Barbe et Ale (1991) proposent dans leur étude des "Ressources en Eaux Superficielles du Bénin", une estimation régionale des régimes hydrologiques aux sites contrôlant des bassins versants inférieurs à 10 000 km².

Les résultats de leurs travaux sont résumés ci-après.

. Les unités hydrologiques

A partir des données collectées aux stations du réseau, ils ont identifié 5 unités hydrologiques :

- les reliefs de l'Atacora et des monts de Djougou,
- les plateaux gréseux de Kandi et Kalale,
- le socle,
- le contact socle-bassin sédimentaire côtier, zone d'accidents géologiques majeurs induisant des pertes d'écoulement importantes,

- le bassin sédimentaire côtier.

Seules les données collectées sur les trois premières unités étaient suffisantes pour une étude régionale des paramètres hydrologiques. Ce qui suit ne concernera donc que ces zones.

Les apports annuels

Pour chacune des unités, Le Barbe et Ale (1991) ont pu identifier une fonction de production de l'écoulement qui prend en compte l'aptitude au ruissellement, la pluviométrie des mois d'hivernage, et les distributions des hauteurs et des nombres d'averses. Les résultats sont synthétisés sur les figures n° 2.1.2 à 2.1.5 où sont représentés les cartes des moyennes, des écarts types et des coefficients de variation des lames écoulées, ainsi que l'évolution interannuelle de la lame écoulée moyenne calculée sur la totalité du territoire béninois (figure 2.1.4).

Ces graphiques appellent plusieurs commentaires :

- a. les reliefs de la région de Djougou, à la fois très arrosés et propices aux écoulements, forment ce que l'on pourrait appeler le "château d'eau" du Bénin puisque les lames écoulées y varient en moyenne de 200 à 400 mm :
 - les écoulements décroissent rapidement vers le Nord : au-delà du 11° parallèle, ils sont inférieurs à 50 mm en moyenne,
 - dans le reste du pays, les lames écoulées varient peu et sont comprises entre 100 et 150 mm,
- b. les coefficients de variation les plus faibles (entre 0,25 et 0,50) sont observés sur les plateaux gréseux où le soutien des débits des rivières par les nappes atténue la variabilité interannuelle des écoulements :
 - les coefficients les plus élevés (entre 1 et 1,25) s'observent dans le Sud du pays où la variabilité des pluies est la plus grande,
- c. s'il est difficile de parler de cycle ou de tendance dans l'évolution interannuelle des lames écoulées, on perçoit cependant une différence sensible entre les valeurs antérieures et postérieures à 1968, celles-ci étant inférieures de plus de 35 % à celles-là.

Fig 2.1.2 : Lames écouleées annuelles : moyenne en cm

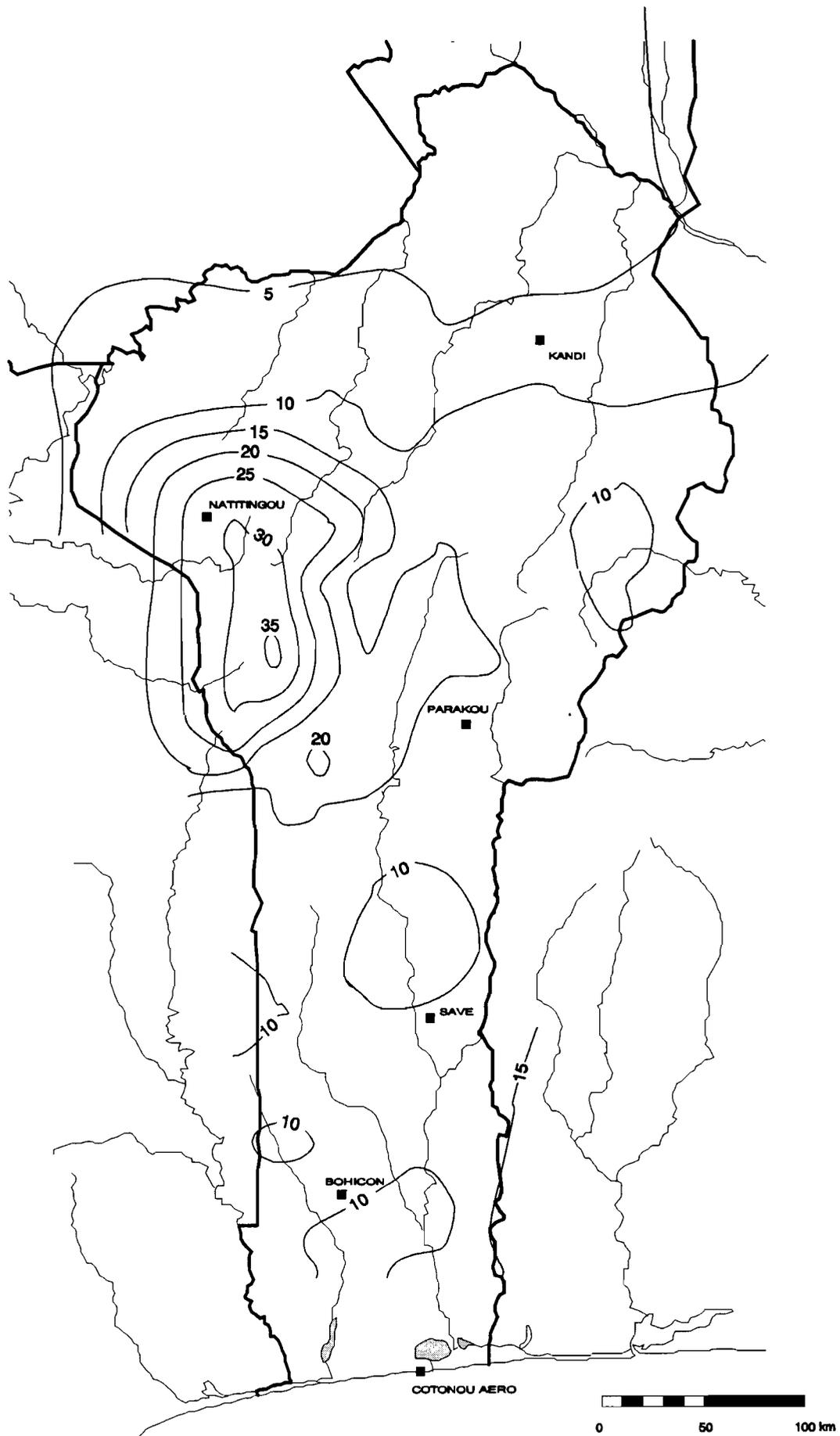


Fig 2.1.3 : Lames écouleées annuelles : écart type en cm

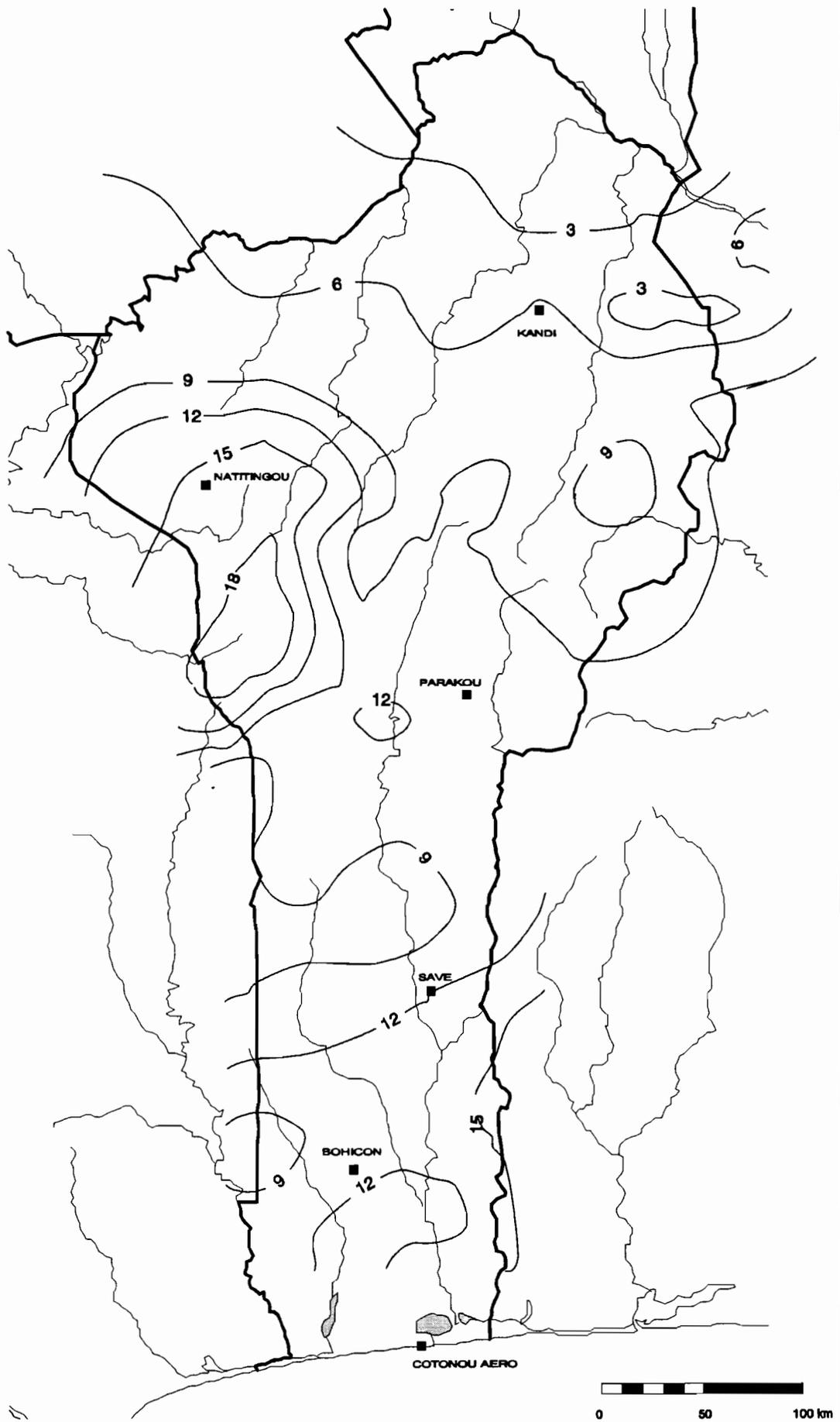


Fig 2.1.4 Lames écoulees annuelles : Coef. de variation

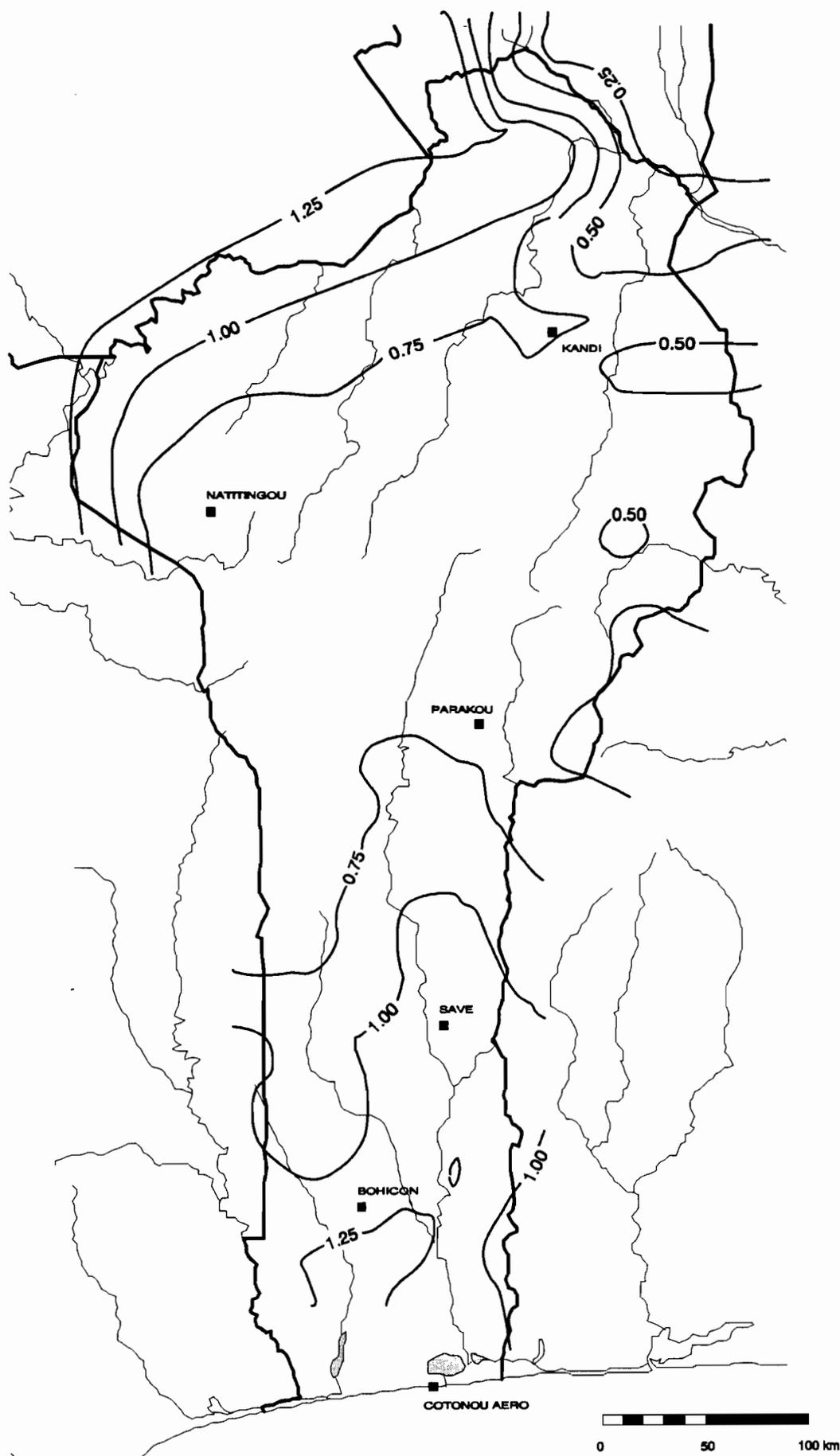
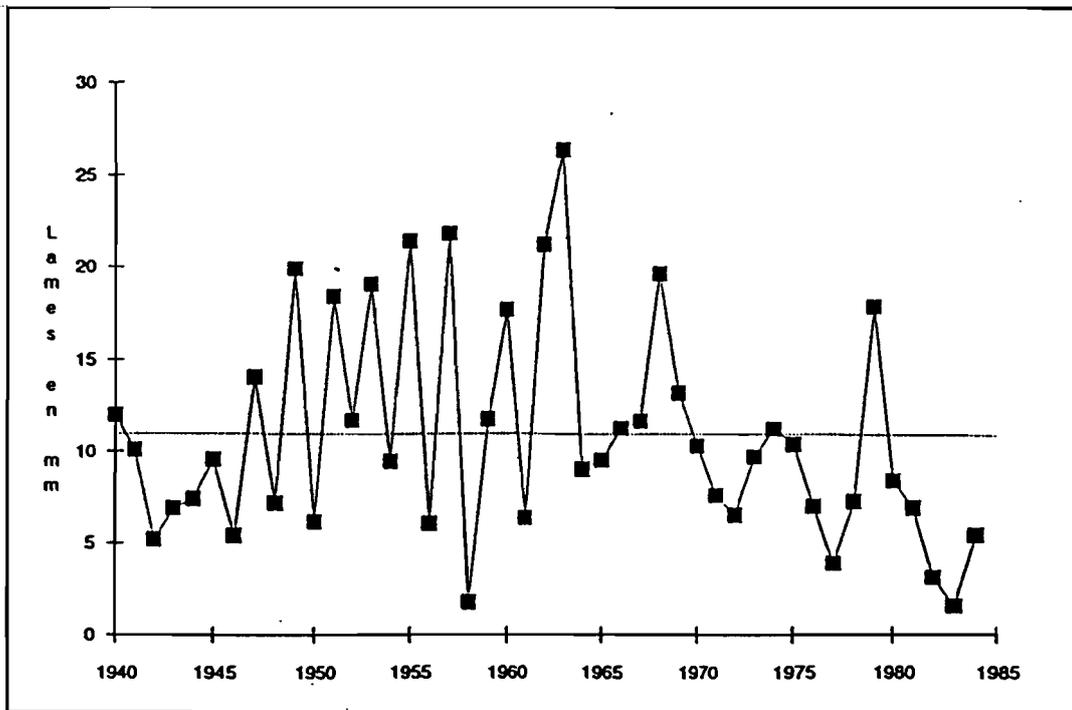


Figure 2.1.5 : Variation de la lame d'eau écoulée annuelle



. La répartition saisonnière des apports :

a. Les reliefs de la région de Djougou

En moyenne, les apports des mois de juillet, d'août, de septembre et d'octobre, représentent respectivement 9,5 %, 27 %, 47 et 13 % des apports annuels.

b. Le socle

Au Nord du 8° parallèle, près de 90 % des apports sont concentrés au cours des mois d'août, de septembre et d'octobre. Du Nord au Sud, on observe un déplacement progressif du maximum de l'hydrogramme du mois de septembre vers le mois d'août. A l'extrême Nord de la zone, les apports du mois de septembre représentent à eux seuls plus de 45 % du total annuel ; ils n'en constituent plus que 40 % au niveau du 8e parallèle. Simultanément les apports du mois d'août passent de 20 à 30 %.

Au Sud du 8° parallèle, les hydrogrammes vont progressivement évoluer d'un régime monomodal avec un maximum vers un régime bimodal. L'irrégularité interannuelle dans la répartition mensuelle des apports devient très forte. Au niveau du 7° parallèle, on peut observer avec une égale probabilité, un régime monomodal au mois d'août (30 % du total) ou un régime bimodal avec un premier maximum en juin ou juillet (18 % du total) et un second en septembre (28 % du total). Les apports du mois d'août peuvent être alors très faibles (5 % du total).

c. Les plateaux gréseux de Kandi et Kalale

Les étiages sont relativement importants et les apports de saison sèche (décembre à mai) représentent en année moyenne près de 8 % du total annuel. Les apports d'août, septembre et d'octobre en constituent 80 % dont 40 % pour le seul mois de septembre.

. Les étiages

Sur les plateaux gréseux, la valeur moyenne des étiages serait de l'ordre de 0,8 l/s/km². Leur irrégularité interannuelle est relativement faible puisque les rapports des 1er et 3e quartiles à la médiane sont de l'ordre de 0,8 et 1,1.

Sur le socle, les étiages sont toujours nuls. Le processus de tarissement correspond d'avantage au déstockage de l'eau emmagasinée dans le réseau hydrographique qu'à une vidange de nappe souterraine. La durée de la période sans écoulement dépend, dans ces conditions, de celle de la saison des pluies, de la taille des bassins versants et de leur aptitude au ruissellement. Elle est comprise entre 3 et 5 mois dans le Nord du pays et entre 2 et 3 mois dans le Sud.

2.1.1.3 Lacs et lagunes (figure 2.1.6)

. Lac Ahémé

A l'étiage, la surface du lac est de 78 km², elle est de 100 km² en crue, pour un marnage de 80 cm.

On peut schématiquement distinguer trois phases dans le régime hydrologique du lac :

- de février à mai, une augmentation lente du niveau du lac, s'accompagnant d'un accroissement important de la salinité,
- de juin à octobre, une remontée du niveau et une baisse de la salinité,
- de novembre à janvier, une baisse du niveau et une salinité stabilisée.

Il existe un gradient de salinité permanent entre le Nord et le Sud du lac. Au Nord elle varie de 0,1 g/l à 0,5 g/l, au Sud de 11 g/l à 26 g/l.

. Le lac Nokoue

Le lac a une superficie moyenne de 170 km². Les volumes stockés à l'étiage et en crue sont respectivement de 147 Mm³ et de 325 Mm³, pour un marnage de l'ordre de 1,5 m.

Le régime du lac est conditionné par celui des apports de l'Ouémé et de la Sô, et par celui des échanges avec la mer par l'intermédiaire du chenal de Cotonou et de celui de Totche qui relie le lac à la lagune de Porto-Novo. Les volumes d'eaux marines entrant dans le lac peuvent être considérables. Ils ont été estimés (TEXIER, 1984) à 85 Mm³ au cours d'un cycle annuel, en cas d'une ouverture permanente du chenal de Cotonou vers la mer.

La salinité du lac est fonction de l'ouverture ou de la fermeture du chenal de Cotonou sur la mer.

Si le chenal est fermé, elle varie à l'étiage entre 3 g/l, à l'Est, et 9 g/l à l'Ouest.

Si le chenal est ouvert, elle varie à l'étiage entre 7 g/l, à l'Est, et 20 g/l, à l'Ouest.

. Le système lagunaire occidental

La lagune côtière est constituée d'un chenal étroit de 500 m au maximum de large qui s'étire parallèlement à la côte sur une distance voisine de 100 km. Les profondeurs y sont toujours faibles : de l'ordre d'1 m en étiage, de 2 m en crue.

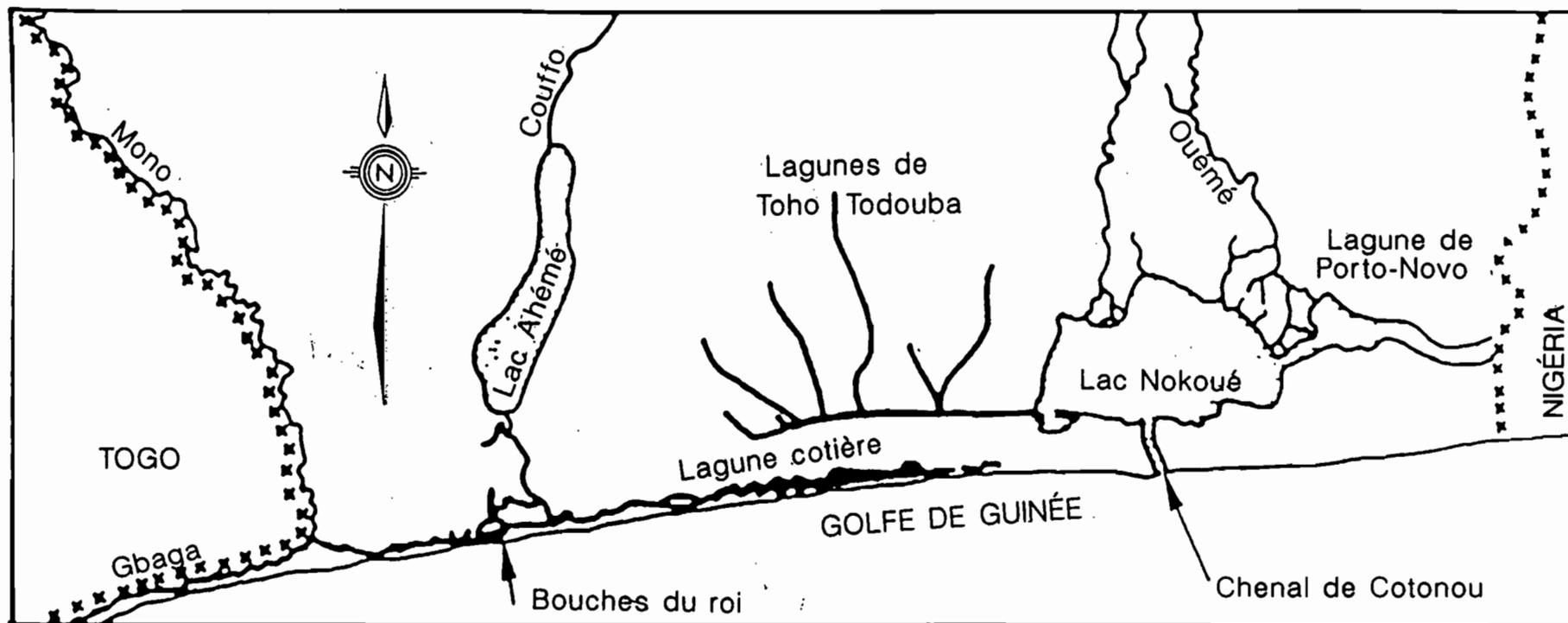


Figure 2.1.6 : Schéma de situation générale des systèmes lagunaires Béninois

La salinité dépend des apports du Mono. Avant la construction du barrage de Nangbeto, elle était comprise entre 1 et 5 g/l au maximum de la crue, entre 20 et 33 g/l au minimum de l'étiage.

. Le système lagunaire central

Ce système est constitué de lagunes et de marais s'étirant en doigts de gant au Nord-Est de Ouidah. Les profondeurs y sont faibles de l'ordre d'1 m en étiage, de 3 m en crue.

Les eaux sont douces. La salinité ne dépasse pas 1 g/l sauf dans la partie Sud du système où elle peut atteindre 2 g/l en profondeur durant l'étiage.

. La lagune de Porto-Novo

La lagune communique en permanence avec le lac Nokoue et sa salinité est très comparable à celle observée à l'Est de ce lac.

2.1.2 Evaluation des ressources en eau souterraine

Les systèmes aquifères du Bénin permettent de subdiviser le pays en 4 zones importantes :

Bassin sédimentaire côtier	12 000 km ²
Bassin sédimentaire de Kandi	10 000 km ²
Alluvions du Niger	200 km ²
Régions du socle	90 400 km ²

Total	112 600 km ²

Jusqu'à maintenant, ces aquifères n'ont pas fait l'objet d'études suffisamment détaillées pour évaluer leurs potentialités exactes.

Les indications sur les potentialités des ressources en eau souterraine données dans le présent rapport proviennent des différentes études réalisées ou en cours :

- . Carte hydrogéologique du Bénin au 1/500 000 et du bassin sédimentaire côtier du Bénin au 1/200 000 (GEOHYDRAULIQUE, 1985).
- . Contribution à l'étude des ressources en eau souterraine du bassin côtier du Bénin (PNUD, 1988).
- . Inventaire des ressources en eaux souterraines au Bénin (TURKPAK, SCET Tunisie, étude en cours).

Comme cela a été décrit au § 1.9.1, la disponibilité en eaux souterraines varie considérablement d'une région à l'autre du pays.

On dispose de ressources importantes dans des aquifères épais, grés-sableux ou calcaires situés dans le bassin sédimentaire côtier, lequel représente 12 000 km² (10 % de la superficie du Bénin).

Cependant, les ressources aquifères du bassin sédimentaire côtier :

- . sont inégalement réparties, certaines zones pouvant en être totalement dépourvues (comme la frange Nord du sédimentaire au contact du socle),
- . peuvent présenter des conditions d'accès difficiles (aquifères profonds),
- . présentent des caractéristiques de qualité peu propices à certaines utilisations prioritaires telles que l'alimentation en eau potable (problème de salinité),
- . sont parfois difficiles à protéger, de par leurs conditions d'existence : aquifères des sables littoraux, zones lacustres ou inondables.

La majorité du pays est constituée de roches cristallines du socle Précambrien (essentiellement gneiss et granites imperméables dans leur masse) où les ressources en eau se limitent aux zones de fractures et d'altération superficielle.

Les débits disponibles dans les ressources en eaux souterraines du socle restent modestes par rapport à ceux que l'on peut rencontrer dans le bassin côtier.

2.1.2.1 Ressources en eau souterraine en zone de socle

L'évaluation des ressources en eau souterraine en zone de socle indiquée ici a été faite lors de l'élaboration de la carte hydrogéologique du Bénin (GEOHYDRAULIQUE, 1985).

a. Estimation des réserves hydrauliques

Suivant la productivité des forages et le taux de réussite, on peut qualifier le degré de fissuration d'un massif rocheux, puis donner une valeur de 1 à 2 pour avoir la porosité de fissure.

L'étude de la productivité des puits et de la piézométrie donne une idée de la gamme des porosités des altérites (2 à 5 %).

Connaissant les épaisseurs saturées de l'altération et du massif fissuré, on aboutit à une évaluation approximative des réserves stockées dans les aquifères.

Le tableau de la page suivante donne l'estimation des réserves pour chacune des unités géologiques et hydrogéologiques identifiées au chapitre 1 (voir § 1.9).

Les ressources en eau souterraine en zone fissurée peuvent être évaluées à 25 milliards de m³ au Bénin.

b. Renouvellement des ressources

Les études réalisées par F. LELONG en 1966 ont permis de préciser l'influence de la pluviométrie sur l'alimentation des nappes :

Tableau 2.1.1 - INFLUENCE DE LA PLUVIOMETRIE SUR L'ALIMENTATION DES NAPPES							
Pluie (mm/an)	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Alimentation en pourcentage de la pluie	7	12	17	21	24	27	30

A partir de la carte des isohyètes (voir figure 1.6.1), il est possible de calculer la portion de pluie qui alimente vraiment les aquifères.

A moins de 800 mm de pluie le facteur évaporation est prépondérant, l'alimentation est quasi nulle. De 800 à 1100 mm, l'alimentation est fréquemment compromise et nulle les années sèches. Entre 1100 et 1300 mm de pluie, l'alimentation est généralement assurée avec un déficit les années sèches. Au-delà de 1300 mm, l'alimentation est assurée.

En confrontant les ressources retenues dans l'aquifère des altérites avec les possibilités de renouvellement de la ressource par les pluies, on peut qualifier la pérennité de la ressource (voir figure 2.1.5).

Sauf pour les séries de l'Atacora, les zones septentrionales et la zone axiale migmatique, la pérennité de la ressource est généralement assurée pour une exploitation des aquifères dans le cadre de l'Hydraulique Villageoise.

2.1.2.2 Ressources en eau souterraine du bassin sédimentaire côtier

L'évaluation du potentiel en eau souterraine du bassin sédimentaire côtier indiquée ci-après a été faite en utilisant les études suivantes :

- Carte hydrogéologique du Bénin (GEOHYDRAULIQUE, 1985).
- Contribution à l'élaboration d'un Plan Directeur d'utilisation des ressources en eau du Bénin (projet PNUD, BEN/85/004).

Tableau 2.1.2 - ESTIMATION DES RESERVES DES DIFFERENTES UNITES HYDROGEOLOGIQUES DU BENIN

Unité	Aquifère des altérites			Aquifère de fissures			7 Réserves totales (mm)	8 Pluie efficace (mm)
	1 Porosité (%)	2 Epaisseur saturée (m)	3 Réserve (mm)	4 Porosité (‰)	5 Epaisseur (m)	6 Réserve (mm)		
11	4	5,7	228	2,5	50	125	353	130
12	4	4	160	2,5	40	100	260	200
13	3	4	120	1	40	40	160	0
14	3	3	90	1,5	40	60	150	60
15	5	4	200	1	40	40	240	140
16	3	5	150	1,5	40	60	210	140
17	3	0,5	15	1	70	70	85	200
18	3	3	90	1,5	60	90	180	50 à 260
19	2	5	100	1	40	40	140	230
20	3	4	120	2	40	80	200	260
21-28	3	7,5	225	2	40	80	305	120 à 300
21N	3	5	155	1	60	60	215	170
22	3	1	30	1,5	40	60	90	0 à 140
23	3	5	150	2	40	80	230	0 à 140
29	3	9	270	1,5	40	60	330	300
30	3	9	270	1,5	40	60	330	300
31	3	6	180	2	40	80	260	260
31N	3	2,7	81	1	40	40	121	150
32	3	6,4	192	2	40	80	272	0 à 200
33-34	2	7	140	1,5	40	60	300	170
35	4	2,9	116	1,5	60	90	206	200
36	2	7 ?	140	1,5	40	60	200	200
37	4	11	440	1,5	60	90	530	260
38	3	1,7	51	1,5	40	60	111	230
40	4	8,5	340	2	40	80	420	260
41	2	5	100	1	40	40	140	200 à 300
42	3	7,5	225	1,5	40	60	285	260
43-45	3	5,5	165	1,5	40	60	225	140 à 300
44	3	3	90	1,5	40	60	150	200
46	5	8	400	1,5	40	60	460	260

1 et 4 : Les porosités sont estimées en fonction de la production des ouvrages

2 : Valeur moyenne de la différence entre l'épaisseur totale de l'altération et le niveau statique

3 : Produit de 1 par 2

5 : Déduite de la venue d'eau la plus profonde

6 : Produit de 4 par 5

7 : Somme de 3 et 6

8 : Portion de pluie alimentant vraiment l'aquifère

a. Caractéristiques des captages en fonction des différents aquifères du bassin sédimentaire - Productivité des aquifères

Le tableau 2.1.3 reprend les numéros des différentes unités hydrogéologiques évoquées au chapitre 1 (voir § 1.9.2.3).

Les plus fortes productivités s'observent pour l'aquifère des sables du Crétacé (plus de 2000 m³/j). Ponctuellement, les calcaires et les sables du Tertiaire (Eo-Paléocène) peuvent fournir des débits exploitables très élevés (jusqu'à 7000 m³/j potentiels).

Le Continental Terminal et le Quaternaire ne livrent généralement pas plus de 2000 m³/j, le plus souvent avec des valeurs locales supérieures à 3000 m³/j.

Tableau 2.1.3 - CARACTERISTIQUES DES CAPTAGES EN FONCTION DES DIFFERENTS AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER DU BENIN

Unité hydrogéologique	Aquifère	Profondeur forage		Profondeur de l'eau/sol	Débit (m ³ /h)	Puits	Remarques
		Mini	Maxi				
1	Socle	45	60	5 à 15	0 à 6	Non	Eau plus profonde près du C.C.
2	Socle	50	100	> 50	0 à 7	Non	C.C. quasi stérile. Eau dans le socle
3	et	50	100	40 à > 70	0 à 7	Non	
4	C.C.	60	100	50 à 80	0 à 7	Non	
5	C.C.	60	100	40 à > 70	0 à 8	Non	Rechercher parfois l'eau dans le socle
6	Crétacé continental	40	70	25 à 40	3 à 11	Possible	Si C.C. stérile, rechercher les sables du Crétacé
	Crétacé marin	50	120	25 à 60			
7	C.C. - Crétacé	50	130	25 à > 50	1 à > 10	Possible	C.C. peu productif ou stérile
8	Crétacé	60	130	> 50	1 à > 10	Non	C.C. stérile
9	Crétacé	50	150	15 à > 50	50	Non	Partie Ouest plus favorable que l'Est
10	Crétacé	90	190	0 à 60	0 à > 20	Peu conseillée	Paléocène souvent stérile
11	Eo-Paléocène	80	120				Peu de renseignements
	Crétacé	90	190				
12	Eo-Paléocène Crétacé	50	150	0 à 50	20 à 50	A l'Ouest	Peu productif Zone Ouest plus favorable
13	Eo-Paléocène Crétacé	60	120	0 à 25	Bons	Au Nord, mais 60 m	
		200	> 400	0 à 25			

Tableau 2.1.3 - CARACTERISTIQUES DES CAPTAGES EN FONCTION DES DIFFERENTS AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER DU BENIN (suite)							
Unité hydrogéologique	Aquifère	Profondeur forage		Profondeur de l'eau/soi	Débit (m ³ /h)	Puits	Remarques
		Mini	Maxi				
14	C.T. Eo-Paléocène Crétacé	120 > 120	190 1 250	0 à > 50	0 à 90	Non Non Non	C.T. stérile
15	C.T. Eo-Paléocène Crétacé	30 > 150 > 180	50 > 325 > 590	> 50	30	Déconseillé, sauf bas-fond	C.T. stérile sauf bas-fond Paléocène souvent argileux
16	C.T. Eo-Paléocène Crétacé	30 200 > 400	75 300 > 600	Profond	3 à 10 < 50	Bas-fond Non	
17	C.T. Paléocène Crétacé	40 > 240 > 300	60 > 350 > 600	30 à 40	0,2 à 5	Déconseillé, sauf bas-fond et bordures	Quasi stérile Forages dans les bas-fonds et bordures
18	C.T. Paléocène Crétacé	50 > 250 > 400	70 > 400 1000	Eau profonde	Déconseillé	Zone mal connue	
19	C.T. Paléocène Crétacé	50 > 450 > 650	80	< 50	1 à 10	Peu conseillé	Puits profonds dans les vallons
20	IV - C.T.	25	150	0 à 25	20 à 40	Oui	Attention au front salé
21	IV - C.T.	25	150	0 à 25	< 100	Oui	Front salé

Tableau 2.1.3 - CARACTERISTIQUES DES CAPTAGES EN FONCTION DES DIFFERENTS AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER DU BENIN (fin)

Unité hydrogéologique	Aquifère	Profondeur forage		Profondeur de l'eau/sol	Débit (m3/h)	Puits	Remarques
		Mini	Maxi				
22	IV - C.T.	40	60	10 à 25	5 à 100	Oui	Paléocène : 500 m Crétacé : 1000 m
23	IV - C.T. Eo-Paléocène Crétacé	40 > 120 > 250	50	0 à 10	5 à 12	Oui	Accès difficile
24	IV	30	60	0 à < 10		Oui	Sources nombreuses. Accès difficile Forages en bordure
25	IV C.T.	30 60	< 60 < 150	0 à < 10 0 à < 10	6 à 20 6 à 20	Oui	Accès difficile
26	IV C.T.	30 60	60 150	Artésien Artésien	6 à 20 6 à 20	Oui	Accès difficile Front salé
27	IV C.T.	10 80	20 150	0 à < 10 0 à < 10	(1 à 15)	Oui	Front salé Mauvaise protection de l'eau

IV : Quaternaire

C.T. : Continental terminal

C.C. : Facès continental du Crétacé

Crétacé : Employé seul, signifie le faciès marin sableux

b. Estimation de la recharge

Dans le cadre du projet PNUD BEN/85/004, un bilan partiel des aquifères du sédimentaire côtier a été tenté.

Ce bilan n'a pu être que partiel car on constate un manque de données :

- concernant les différents exutoires (écoulement vers les fleuves, lacs et océan),
- concernant une évaluation précise sur l'infiltration directe.

Seuls les bilans des aquifères du Continental Terminal et du Crétacé peuvent être abordés.

Tableau 2.1.4 - BILAN DES AQUIFERES DU CT ET DU CRETACE		
	Aquifère du Crétacé	Aquifère du Continental terminal
Recharge		
Infiltration (année moyenne) (mm)	120 à 200	107 à 130
Surface recharge (km ²)	800	6000
Recharge (millions m ³ /an)	96 à 160	642 à 834
Exutoires		
Pompages (millions m ³ /an)	0,885	11
Résurgences naturelles	Inconnu	Inconnu
Source (millions m ³ /an)	18,9 (source Zado)	-

c. Evaluation de la ressource de l'aquifère du Continental Terminal/Quaternaire

Le projet PNUD BEN/85/004 s'est, entre autres, intéressé à faire une évaluation de la ressource en eau du plateau d'Allada, limité à l'Est par la vallée de l'Ouémé, à l'Ouest par la lac Ahémé et son prolongement dans la vallée du Couffo, au Sud par la mer et au Nord par le parallèle 6°50'.

Pour permettre cette étude, ont été réalisés :

- une campagne de géophysique (résistivité et sismique réfraction),
- des pompages d'essai,
- une simulation sur modèle mathématique (logiciel MHYDRO 2D, propriété de la société FRANLAB).

L'aquifère a été considéré comme un système hydraulique monocouche étant donné la différence minimale de niveau piézométrique existant entre les différents horizons.

Les principaux résultats sont exposés ci-après :

c1. Bilan de la nappe en régime permanent

Il est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 2.1.5 - BILAN DE LA NAPPE DU CT/QUATERNAIRE D'ALLADA EN REGIME PERMANENT			
Entrées (l/s)		Sorties (l/s)	
Infiltration eau de pluie :	1956	Forages alimentant Cotonou (SBEE) :	50
		Pertes en mer :	537
		Drainage du lac Ahémé :	455
		Drainage de la Sô :	453
		Lagunes de Toho-Djonou :	364
		Lac Nokoué :	96
	1956 l/s		1955 l/s

c2. Calage du modèle en régime transitoire

Faute de données piézométriques précises et fiables, les résultats de ce calage doivent être utilisés avec prudence : ce sont des indicateurs de tendance mais en aucun cas un outil de prévision.

On retiendra :

- Le bilan de la nappe a été calculé par le modèle à différentes étapes caractéristiques (voir tableau 2.1.6). Il faut noter que l'alimentation n'a pas été modulée par saison mais répartie uniformément sur l'année.

Les résultats de ce calcul montrent :

- des oscillations des différents termes du bilan davantage liées aux variations pluviométriques qu'à l'augmentation des prélèvements pour l'alimentation de Cotonou,
- une tendance à l'entrée de l'eau de mer dans l'aquifère à la fin des saisons sèches (voir figure 2.1.6).

Des simulations du comportement de la nappe ont été faites jusqu'à l'horizon 2010, en partant de l'hypothèse que les prélèvements augmenteront proportionnellement à l'accroissement des besoins de la ville de Cotonou.

Tableau 2.1.6 - BILAN HYDRAULIQUE DE LA NAPPE D'ALLADA CALCULE PAR LE MODELE DANS LE CADRE DU PROJET PNUD BEN/85/004

	l/s pour le mois de décembre					
	1992	1994	1995	2000	2005	2010
Entrées						
Infiltration de la pluie	1956	1304	1956	1956	195	1956
Entrée de la mer	0	5	0	4	27	83
Entrée du lac Nokoué	0	1	0	2	6	10
Total	1956	1311	1956	1962	1989	2049
Sorties						
Forages SBEE	352	352	352	550	784	1108
Pertes en mer	426	279	409	347	286	158
Drainage lac Ahémé	456	387	435	451	449	427
Drainage de la Sô	421	369	410	396	380	364
Lagunes Toho-Djonou	269	180	254	196	84	0
Lac Nokoué	41	21	38	23	15	11
Total	1966	1587	1899	1963	1998	2168
Variations des réserves						
Prélèvements sur les réserves	10	276	6	1	9	20
Stockage dans les réserves	-	-	57	-	-	-

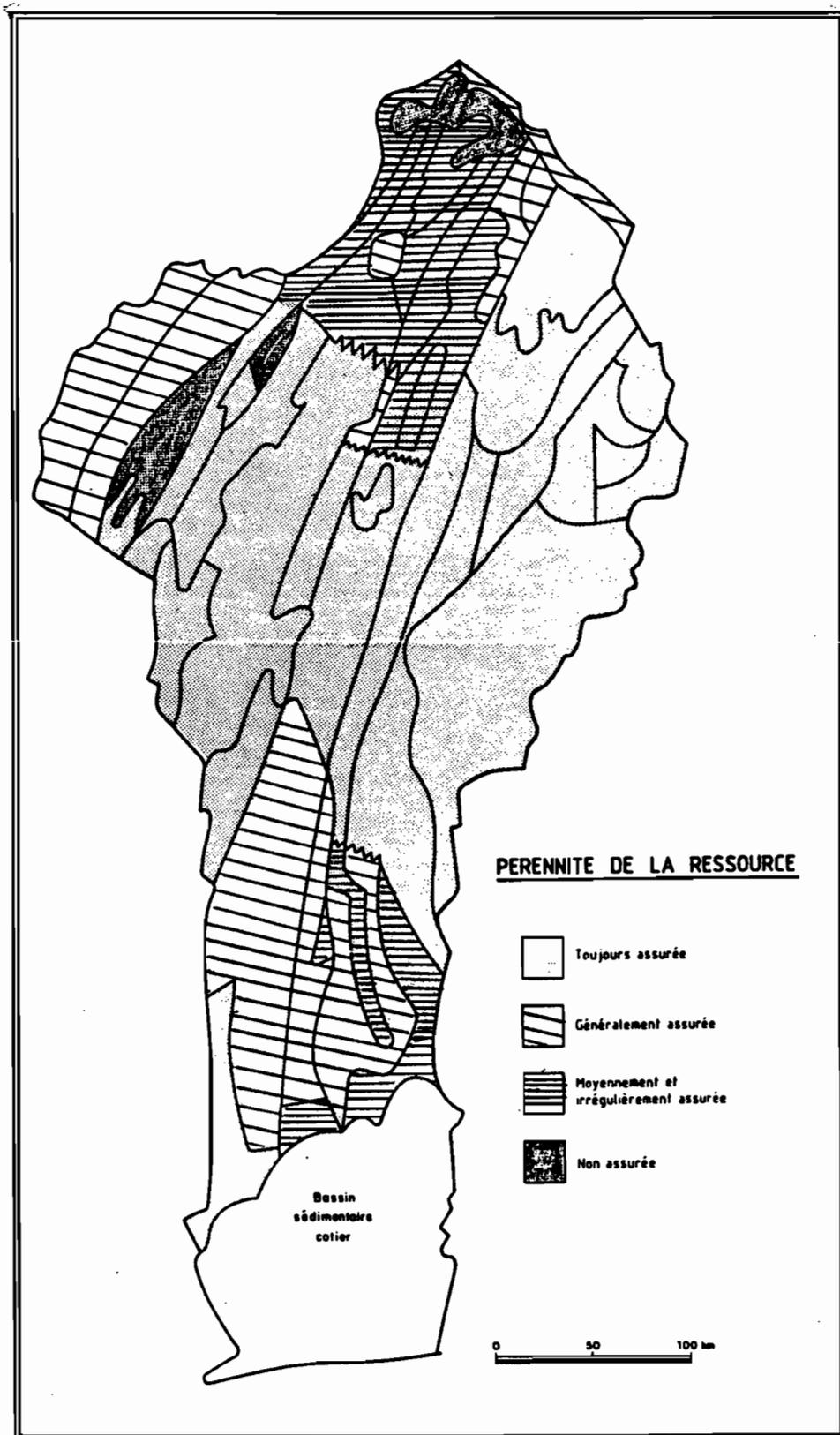
En conclusion :

- . Le risque de contamination de l'aquifère par l'eau de mer existe et doit être sérieusement surveillé.
- . L'augmentation des prélèvements entre Godomey et Ouidah pour alimenter Cotonou entraînera des baisses de niveau des lagunes de Toho-Djonou, actuellement utilisées pour l'irrigation de la palmeraie de Ouidah-Nord et pour la pêche.
- . Les données actuelles sont insuffisantes pour faire des prévisions plus précises. Les données qui font le plus défaut sont celles qui concernent les fluctuations dues aux pompages.

Il importe donc de mettre en place un réseau d'observation piézométrique régulièrement contrôlé et de poursuivre les exercices de simulation en intégrant les données recueillies sur les fluctuations de niveaux ainsi que les données obtenues à partir de pompages d'essai.

Figure 2.1.7

EXTRAIT DE LA CARTE
HYDROGEOLOGIQUE DU BENIN.
(GEOHYDRAULIQUE - 1985)



2.1.2.3 Estimation du volume annuel de la recharge

Nous rapportons ici les chiffres avancés dans le cadre de l'inventaire des ressources en eau souterraines du Bénin, étude en cours financée par la BID.

Tableau 2.1.7 - ESTIMATION DE LA RECHARGE ANNUELLE DES EAUX SOUTERRAINES DU BENIN		
Unité	Superficie (km ²)	Recharge annuelle (10 ⁶ m ³)
Régions de socle	90 400	1120
Grès de Kandi	10 000	125
Bassin sédimentaire côtier	12 000	600
Alluvions du Niger	200	25
	112 600	1870

On constate l'inégale répartition de ressources en eau au Bénin. Ainsi, le bassin sédimentaire côtier avec 10 % de la superficie détient 32 % du potentiel en eau souterraine utilisable.

2.1.2.4 Insuffisance des données pour établir un bilan précis

L'établissement des bilans hydrauliques des différents aquifères nécessite de déterminer les différents facteurs qui contribuent à leur alimentation et à leur vidange avec leurs variations dans le temps et dans l'espace.

L'établissement de ce bilan nécessite préalablement la connaissance des éléments suivants :

- . Variation quantitative, dans le temps et dans l'espace, des diverses sources d'alimentation et de prélèvement.
- . Valeurs des différents paramètres caractérisant les aquifères tels que les coefficients d'emmagasinement, transmissivité, drainance ainsi qu'une parfaite connaissance de la géométrie des différentes formations lithologiques et leurs variations.
- . Localisation, type et formes des limites.

L'ensemble de ces paramètres n'est actuellement pas connu dans le détail. Les études réalisées dans ce domaine par le Bénin permettront de compléter la connaissance actuelle. D'autres investigations seront nécessaires.

2.2 Aménagements existants

2.2.1 Utilisation actuelle des eaux de surface

2.2.1.1 Alimentation en eau des populations urbaines

Quatre centres urbains sont actuellement alimentés en eau à partir de barrages : Savalou, Parakou, Natitingou et Djougou.

Le tableau 2.2.1 donne l'évolution de la production d'eau au cours des 5 dernières années.

Ville	en m3/an				
	1985	1986	1987	1988	1989
Djougou	90 682	79 738	77 514	73 496	67 932
Natitingou	143 443	152 435	?	?	?
Parakou	864 516	850 482	960 416	1 031 546	1 017 845
Savalou	-	11 521	15 208	22 533	25 050
Total	1 098 641	1 094 176	1 053 138	1 127 575	1 110 827

Le barrage de Natitingou est sur la rivière Kofarga ; le barrage de Parakou est installé sur la rivière Okpara ; celui de Savalou est sur la rivière Agbado ; à Djougou c'est une retenue de bas-fond.

2.2.1.2 Irrigation

La production agricole au Bénin est essentiellement tournée vers les cultures vivrières et principalement :

- . l'igname,
- . le manioc,
- . le maïs,
- . le sorgho, mil.

Ces quatre cultures représentent 77 % de la production agricole totale suivie par :

- . les cultures maraîchères,
- . l'arachide,

lesquelles représentent 11 % puis par les cultures industrielles :

- . coton,
- . palmier à huile,

qui ne représentent que 3 % de la production totale.

Parmi toutes ces productions agricoles du Bénin, seuls le riz, le palmier à huile et les cultures maraîchères ont fait l'objet de préention pour les aménagements hydroagricoles dans le Sud du pays.

a. Le riz

Sur les 2800 ha initialement aménagés pour l'irrigation du riz dans la vallée de l'Ouémé, seuls 100 ha environ sont encore exploités pour la culture du riz pluvial.

b. Le palmier à huile

Un aménagement de 830 ha de palmiers à huile (et 70 ha de cocotiers) a été réalisé il y a un peu plus de 10 ans entre les lagunes Toho et Todouba (projet Ouidah Nord). Les prélèvements en eau se font dans la lagune dont l'accumulation a été favorisée par la construction d'une diguette à Pahou.

Les rendements obtenus sont assez faibles en irrigué : 8 à 12 t à l'hectare contre les 20 t attendues.

Ce résultat est seulement 2 fois plus élevé que ceux obtenus en sec.

En plus, le prix d'achat des régimes particulièrement bas au Bénin fait que l'irrigation n'est pas très attractive et n'est pas rentable économiquement dans ces conditions.

L'espoir d'une irrigation à petite échelle à partir des eaux souterraines peu profondes, envisagé pendant un temps, a été abandonné en raison de la trop petite différence de rendement entre la palmeraie naturelle et la palmeraie irriguée.

c. Les cultures maraîchères

Ce sont elles qui, en théorie, supportent le mieux le coût élevé de l'irrigation.

En fait, la production maraîchère importante à proximité de Cotonou ou le long de la voie ferrée Pahou - Porto Novo qui permet d'acheminer la production à Cotonou est surtout le fait de petits agriculteurs arrosant à partir de puisards ou puisant à la main dans des puits peu profonds.

Un projet FAO est en cours et vise à repenser les aménagements hydroagricoles pour une prise en charge de la réalisation et de l'entretien de l'aménagement par les paysans. Parmi les réalisations pilotes de ce projet, citons un aménagement de bas-fond avec irrigation à partir des eaux souterraines en vue de développer les cultures maraîchères.

En conclusion, l'utilisation de l'eau en général et de l'eau de surface en particulier, surtout dans le bassin côtier, marque un temps d'arrêt mis à profit pour repenser la philosophie des aménagements précédents qui se sont soldés par des échecs.

Il apparaît cependant que ce sont les cultures maraîchères irriguées en contre-saison visant le marché urbain (et principalement celui de Cotonou) qui ont le plus de chance de se développer dans les années à venir.

2.2.1.3 Hydroélectricité

Il n'existe pas d'aménagement hydroélectrique construit en territoire béninois. Le barrage de Nangbeto, construit sur le fleuve Mono par le Togo et le Bénin se trouve en territoire togolais.

D'une puissance de 65 MW son exploitation a été officiellement confiée à la CEB (Communauté Electrique du Bénin) dont les deux pays sont membres depuis le 5 mai 1988.

2.2.2 Utilisation actuelle des eaux souterraines

2.2.2.1 Alimentation en eau des populations urbaines

a. Pour la ville de Cotonou

L'alimentation en eau de la ville de Cotonou se fait par des forages captant la nappe du Continental Terminal à Godomey.

L'évolution des prélèvements effectués dans cet aquifère est indiquée dans le tableau suivant :

Tableau 2.2.2 - EVOLUTION DE LA PRODUCTION DES FORAGES SBEE A GODOMEY POUR ALIMENTER COTONOU

Année	Forages exploitées	Production annuelle d'eau traitée (m3)
1970	4	1 739 060
1971	3	1 956 360
1972	4	2 073 070
1973	4	2 306 610
1974	4	2 201 100
1975	4	2 263 700
1976	4	2 732 848
1977	5	2 614 941
1978	5	3 853 212
1979	5	4 747 015
1980	6	5 249 296
1981	6	5 825 141
1982	7	6 194 872
1983	10	7 369 580
1984	9	7 526 040
1985	9	7 322 800
1986	13	7 303 217
1987	13	7 467 036
1988	13	7 928 715
1989	16	7 138 124

b. Pour les autres centres urbains

46 centres urbains répartis sur tout le territoire béninois sont équipés de forages pour leur alimentation en eau. Ces ouvrages représentent une capacité de production de 7 881 500 m3 par an.

Ces capacités de production ont été estimées dans le cadre de l'inventaire des ressources en eau souterraines (projet BID) sur la base des caractéristiques techniques des forages et des pompes installées et en considérant une durée de pompage de 8 à 10 heures par jour.

Selon les chiffres de production fournis par la SBEE (Société Béninoise d'Eau et d'Electricité), 3 411 490 m3 ont été prélevés dans les eaux souterraines pour alimenter les centres urbains, hors Cotonou.

Ces chiffres sont détaillés dans le tableau ci-après et montrent certaines contradictions et divergences qu'il n'a pas été possible de lever dans le cadre de la présente étude. Ceci concerne notamment Parakou, Natitingou, centres urbains bénéficiant d'une alimentation en eau mixte à partir d'eau de surface et à partir d'eau souterraine. La SBEE n'a pas été en mesure de préciser la répartition des prélèvements effectués.

Tableau 2.2.3 - PRODUCTION DES INSTALLATIONS DE LA SBEE A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES (forages)				
Département	Ville/Localité	Nombre de forages	Capacité de production annuelle (m³)	Production en 1989 (m³)
Atacora	Bassila	1	10 950	1 387
	Boukoumbe	2	49 275	8 162
	Djougou	1	29 200	29 000
	Kouande	1	36 500	7 109
	Natitingou	3	186 150	186 000
	Tanguieta	2	27 375	10 645
		10	339 450	242 303
Atlantique	Ahazon	1	109 500	-
	Allada	3	146 000	51 213
	Quedo	1	175 200	-
	Ouidah	1	547 500	228 634
	Togo Sedji	1	109 500	-
	Tori Bossito	1	73 000	15 580
	So Awa	1	73 000	2 957
	UNB	1	219 000	-
		10	1 452 700	298 384
Borgou	Bembereke	4	36 500	19 895
	Kandi	3	73 000	116 901
	Malanville	2	73 000	32 657
	Nikki	3	63 875	14 143
	Parakou	3	978 200	?
		15	1 224 575	183 596
Mono	Aplahoue	2	65 700	54 416
	Cocotome	1	73 000	-
	Come	2	192 720	134 968
	Djakotome	1	109 500	12 141
	Dogbo Tota	1	209 875	41 510
	Lalo	1	109 500	5 496
	Lokossa	3	217 175	222 848
	Klouekanme	1	51 830	14 162
	Possotome	2	438 000	?
	Toviklin	1	73 000	7 970
		15	1 540 300	493 511

Département	Ville/Localité	Nombre de forages	Capacité de production annuelle (m3°)	Production en 1989 (m3)
Ouémé	Adjohoun	1	73 000	12 402
	Akro Misserete	1	156 950	10 173
	Avrankou	1	146 000	3 914
	Ketou	1	98 500	70 866
	Ifangni	2	54 750	52 798
	Pore	1	116 800	74 486
	Porto Novo	6	1 284 800	1 113 964
	Sakete	2	146 000	76 362
	Seme Podji	1	164 250	3 631
	Vakon	1	109 500	-
		17	2 350 000	1 418 596
Zou	Abomey-Bohicon	3	613 200	671 526
	Bante	1	36 500	-
	Cove	1	36 500	25 075
	Dassa Zoume	3	131 400	44 595
	Save	3	87 600	30 408
	Zagnanado	1	36 500	-
	Zogbodome	1	32 850	3 496
		13	974 550	775 100
Total		80	7 881 575	3 411 490

2.2.2.2 Alimentation en eau des populations rurales

En 1990, le bilan général des points d'eau réalisés en milieu rural pour capter les eaux souterraines s'établit comme suit :

Département	Forages	Pompes sur forages	Puits modernes (m3/an)	Prélèvement
Atacora	439	535	199	2 708 300
Atlantique	219	234	125	1 310 400
Borgou	755	946	249	4 390 900
Mono	240	284	30	1 146 100
Ouémé	359	326	50	1 372 400
Zou	878	867	85	3 474 800
Total	2890	3192	738	14 402 900

A ces chiffres, il faut ajouter environ un millier de puits traditionnels capables de donner de l'ordre de 1 m³/h à raison de 10 h d'utilisation journalière, soit 3 650 000 m³/an.

Les prélèvements en eau souterraine pour les besoins de l'Hydraulique Villageoise sont actuellement de 18 052 900 m³ par an.

2.2.2.3 Utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation

Actuellement, il n'existe aucun programme important impliquant ce mode de ressource pour les besoins des cultures irriguées.

2.2.2.4 Utilisation des eaux souterraines pour l'industrie

Quelques industries utilisent les ressources en eau souterraine (brasseries notamment). Aucune donnée n'a pu être obtenue sur les prélèvements effectués dans les nappes.

2.2.2.5 Conclusion sur l'utilisation actuelle des eaux souterraines au Bénin

Recharge annuelle des nappes	1870 x 10 ⁶ m ³
Mobilisation des nappes en 1990 :	
Alimentation de Cotonou	7,1 x 10 ⁶ m ³
Autres centres urbain	3,4 x 10 ⁶ m ³
Hydraulique Villageoise	18,0 x 10 ⁶ m ³

Total des aménagements	28,5 x 10 ⁶ m ³

La mobilisation actuelle des eaux souterraines représente 1,5 % de la recharge annuelle. Il faut nuancer ce chiffre compte tenu de l'inégale répartition de la ressource en eau. Le taux de mobilisation actuelle des eaux souterraines est de l'ordre de 2 % en zone de socle et de 1 % dans le bassin sédimentaire côtier.

2.3 Besoins en eau

2.3.1 Alimentation des populations

2.3.1.1 Centres urbains

Le tableau 2.3.1 montre le niveau de consommation actuelle de la population urbaine : en moyenne, 17,6 l/j et par habitant avec une très grande variabilité allant de 0,3 l/j/habitant à 43 l/j/habitant.

Tableau 2.3.1 - SATISFACTION DES BESOINS EN EAU EN 1989 POUR LE MILIEU URBAIN				
Département	Ville/Localité	Population desservie (1989)	Pertes sur réseaux production/ consommation (%)	Consommation en 1989 (l/j/hab.)
Atacora	Bassila	12 633	8	0,3
	Boukoumbe	17 907	27	0,9
	Djougou	38 743	16	4,0
	Kouandé	31 996	1	0,6
	Natitingou	17 908	31	25,0
	Tanguieta	12 229	15	2,0
		131 416		
Atlantique	Abomey-Calavi	12 499	33	7,3
	Allada	12 383	33	9,0
	Cotonou	335 698	26	43,0
	Ouidah	34 215	16	15,3
	Tori Bossito	11 020	33	2,6
	So Awa	6 602	25	1,5
		412 417		
Borgou	Bembereke	13 802	15	3,4
	Kandi	22 981	28	10,0
	Malanville	22 336	10	3,6
	Nikki	20 882	11	1,7
	Parakou	81 576	47	18,1
		161 577		
Mono	Aplahoue	33 243	6	4,2
	Come/Grand Popo	23 416	31	11,0
	Djakotome	11 289	13	2,6
	Dogbo Tota	22 175	1	5,1
	Lalo	23 249	7	0,6
	Lokossa	29 949	35	13,3
	Klouekanme	13 305	10	2,6
	Toviklin	10 253	12	1,9
		166 879		

Tableau 2.3.1 - SATISFACTION DES BESOINS EN EAU EN 1989 POUR LE MILIEU URBAIN (suite)				
Département	Ville/Localité	Population desservie (1989)	Pertes sur réseaux production/ consommation (%)	Consommation en 1989 (l/j/hab.)
Ouémé	Adjohoun	10 240	26	2,5
	Akro Misserete	16 157	6	1,6
	Avrankou	11 960	6	0,9
	Ketou	11 289	33	11,5
	Ifangni	14 917	10	8,7
	Pobe	22 444	12	8,0
	Porto Novo	178 867	21	13,5
	Sakete	26 072	24	6,1
	Seme Podji	7 391	13	1,2
	Dangbo	8 467	17	5,2
		307 904		
Zou	Abomey-Bohicon	92 813	19	16,1
	Cove	?	7	?
	Dassa Zoume	15 455	17	6,6
	Save	26 622	20	2,7
	Savalou	22 243	12	2,7
	Zogbodomé	9 800	5	0,9
		166 933		
Total		1 347 124	-	17,6

Données fournies par le SBEE

Selon la planification du secteur eau potable établie en 1983, les objectifs concernant l'approvisionnement en eau des populations urbaines ont été définis comme suit pour les grands centres urbains :

Tableau 2.3.2 - OBJECTIFS D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DES POPULATIONS URBAINES		
	1983	Objectif 1990
Bornes-fontaines	15 à 20 l/j/hab.	30 l/j/hab. 40 % de la population desservie
Branchements particuliers	40 à 50 l/j/hab.	50 l/j/hab. 60 % de la population desservie

Cependant, il faut dire que ces objectifs de consommation unitaire sont irréalistes. Il convient donc de traiter ces normes avec une certaine prudence et de les considérer comme des maximums difficiles à atteindre et, en tout cas, certainement pas dépassés.

En tout état de cause, le niveau de consommation actuelle est loin d'atteindre ces normes.

La SBEE, en charge de l'hydraulique urbaine, n'a pas été en mesure de fournir une évaluation des besoins en eau des villes pour les années à venir.

Une estimation de l'évolution des prélèvements dans la nappe de Godomey pour alimenter Cotonou a été faite dans le cadre de l'étude "Inventaire des ressources en eau souterraine, projet BID". Elle est rapportée dans le tableau suivant :

Année	Forages en exploitation	Prélèvements l/s	m3/an
1990	19	352	11 100 000
1995	23	550	17 345 000
2000	37	784	24 725 000
2005	54	1108	35 000 000
2010	54	1108	35 000 000

A partir des estimations de la population urbaine et des projections pour 2005, indiquées au chapitre 1, nous estimons les besoins en eau urbaine comme suit, en considérant une norme d'alimentation moyenne de :

- . 40 l/j/hab. en 1990,
- . 50 l/j/hab. en 1995,
- . 60 l/j/hab. en 2005.

La consommation totale est donnée dans le tableau 2.3.4.

Département	1990 (40 l/j/hab.)	1995 (50 l/j/hab.)	2005 (60 l/j/hab.)
Atacora	1 920 000	3 061 000	4 800 000
Atlantique	13 022 000	22 665 000	53 300 000
Borgou	2 359 000	3 765 000	7 356 000
Mono	2 436 000	3 890 000	7 980 000
Ouémé	4 495 000	9 628 000	20 236 000
Zou	2 437 000	4 077 000	8 762 000
Total	26 669 000	47 086 000	102 434 000

(Estimation faite par le Consultant)

2.3.1.2 Evaluation globale des besoins en eau des populations rurales

Les objectifs concernant l'approvisionnement en eau potable des populations rurales ont été définis dans le cadre de la DIEPA en 1983 (atelier national sur la planification du secteur eau potable) :

- . 20 l d'eau par personne et par jour,
- . 1 point d'eau pour 500 habitants.

L'évaluation globale des besoins en eau des populations rurales est faite au Bénin, à l'aide du logiciel PROSPER, à partir des prévisions de population aux différentes échéances et d'une grille de priorité uniforme sur tout le territoire, faisant intervenir le nombre d'habitants, les équipements collectifs existants et un facteur "urgence".

La méthode d'évaluation peut être résumée comme suit :

a. Répartition des villages selon leur degré d'urgence

Trois degrés d'urgence sont distingués, en résumé :

Urgence 1 : problème d'eau très grave

Village de plus de 500 habitants avec alimentation en eau inexistante ou très insuffisante.

Village disposant d'infrastructures : école, dispensaire, maternité, marché.

Villages de moins de 500 habitants : aucune ressource en eau dans un rayon de plusieurs kilomètres, situation sanitaire déplorable.

Urgence 2 : ressources en eau très insuffisantes

Village disposant d'une alimentation en eau insuffisante, mais sans aucune infrastructure existante.

Possibilité de s'alimenter dans un village très proche.

Village sans ressources en eau mais peu peuplé, moins de 300 habitants.

Urgence 3 : alimentation en eau passable

Village disposant déjà des points d'eau permanents permettant une alimentation encore insuffisante mais pas très éloignée de 10 l/j/hab.

Au Bénin, la répartition des villages selon leur degré d'urgence est donnée par le tableau 2.3.5.

Tableau 2.3.5 - REPARTITION DES VILLAGES SELON LE DEGRE D'URGENCE DES BESOINS EN EAU (PROSPER)

Département	Urgence 1	Urgence 2	Urgence 3	Non défini
Atacora	148	45	19	342
Atlantique	284	72	24	204
Borgou	295	121	12	80
Mono	456	86	11	57
Ouémé	336	63	10	206
Zou	469	82	21	90
Bénin	1988	469	97	979

b. Grille de besoins en points d'eau en fonction de la taille des villages et de l'urgence selon PROSPER

La grille de critères de PROSPER définit le nombre de points d'eau nécessaires pour fournir de 5 à 20 l d'eau par habitant. Par exemple, l'objectif de fournir 5 l d'eau par personne exige un point d'eau, ce qui entraîne automatiquement, pour un village de 250 personnes, la disponibilité journalière de 10 m³ d'eau, donc 40 l par personne.

Cette grille a donc un caractère essentiellement arithmétique.

Tableau 2.3.6 - BESOINS EN POINTS D'EAU DES VILLAGES SELON LA TAILLE ET L'URGENCE (PROSPER)

Population	Urgence	5 l/j	10 l/j	15 l/j	20 l/j	Total
< 250	1				+1	1
	2				+1	1
	3				+1	1
250 à 500	1		+1		+1	2
	2			+1	+1	2
	3				+1	1
500 à 1000	1	+1		+1	+1	3
	2		+1		+1	2
	3				+1	1
1000 à 1500	1	+1	+1	+1	+1	4
	2		+1	+1	+1	3
	3			+1	+1	2
1500 à 2000	1	+1	+2	+1	+1	5
	2		+1	+2	+1	4
	3			+1	+2	3
2000 à 3000	1	+1	+1	+2	+1	6
	2		+2	+1	+2	5
	3			+2	+1	3

Tableau 2.3.6 - BESOINS EN POINTS D'EAU DES VILLAGES SELON LA TAILLE ET L'URGENCE (PROSPER) (suite)						
Population	Urgence	5 l/j	10 l/j	15 l/j	20 l/j	Total
> 3000	1	+2	+2	+2	+2	8
	2		+2	+2	+2	6
	3			+2	+2	4
Dispensaire				+1		
Collège				+1		
Marché régional				+1		

c. Besoins en points d'eau des équipements collectifs selon PROSPER

Les besoins en équipements collectifs sont les suivants :

Tableau 2.3.7 - BESOINS EN POINTS D'EAU DES EQUIPEMENTS COLLECTIFS (PROSPER)							
Equipement	Atacora	Atlantique	Borgou	Mono	Ouémé	Zou	Total
Dispensaire	22	40	38	64	37	77	278
Marché régional	-	31	1	18	27	65	142
Marché local	5	28	10	39	20	46	148
Ecole	111	363	202	341	241	382	1640
Centre de santé	5	47	11	4	32	71	170
Total	143	509	262	466	357	641	2378

d. Evaluation globale des besoins en points d'eau ruraux, selon PROSPER

Sur ces bases, il faut, pour fournir 5, 10, 15 ou 20 l/j et par personne :

Tableau 2.3.8 - EVALUATION DES BESOINS EN POINTS D'EAU RURAUX (PROSPER)					
Département	Nombre de points d'eau nécessaires pour fournir				Totaux
	5 l/j/hab.	10 l/j/hab.	15 l/j/hab.	20 l/j/hab.	
Atacora	90	+ 109	+ 486	+ 426	1111
Atlantique	185	+ 192	+ 530	+ 613	1520
Borgou	178	+ 248	+ 454	+ 485	1365
Mono	314	+ 262	+ 625	+ 587	1788
Ouémé	235	+ 261	+ 637	+ 600	1733
Zou	317	+ 283	+ 711	+ 619	1930
Total Bénin	1319	+1355	+3443	+3330	9447

Pour alimenter en eau potable par points d'eau équipés de moyens d'exhaure à motricité humaine la totalité des villages du Bénin, à l'échéance 1990, PROSPER fait apparaître un besoin de :

9447 points d'eau	pour fournir 20 l/j/hab.
6117 points d'eau	pour fournir 15 l/j/hab.
2674 points d'eau	pour fournir 10 l/j/hab.
1319 points d'eau	pour fournir 5 l/j/hab.

Une révision récente dénombrait, en réalité, 10 850 points d'eau nécessaires pour fournir 20 l d'eau par personne et par jour à la totalité de la population rurale du pays.

Pour les villages importants (plus de 2500 habitants), on a envisagé une alimentation en eau potable à partir de petits réseaux d'adduction d'eau simplifiés alimentés par pompe solaire ou à moteur thermique, plutôt que de multiplier le nombre de points d'eau équipés de pompes à motricité humaine. On a déjà réalisé une quinzaine de petits réseaux à titre expérimental et dont le fonctionnement est suivi avec attention.

Les besoins en petites adductions seraient les suivants :

Atacora	29
Atlantique	5
Borgou	16
Mono	23
Ouémé	39
Zou	32

Soit 144 petites adductions pour l'ensemble du pays.

En réalité, étant donné la diversité des ressources naturelles, de la densité des populations et de leur mode de vie et de leurs ressources, la définition des priorités, le type d'ouvrage et leur mode de gestion ne peuvent être uniformisés sur l'ensemble du pays. Il convient, en particulier, d'attribuer un degré de priorité ou d'urgence nettement plus élevé dans la zone sahélienne où les ressources sont faibles et les besoins forts que dans les régions où l'eau est abondante.

e. Estimation des volumes d'eaux souterraines à prélever pour le programme national d'Hydraulique Villageoise du Bénin

Le calcul suivant est établi sur la base du nombre de points d'eau calculé par PROSPER à l'horizon 1990, avec les conditions d'exploitation suivantes :

- . 1 m³/h en moyenne/point d'eau,
- . 12 heures de pompage par jour.

Tableau 2.3.9 - BESOINS EN PRELEVEMENTS GLOBAUX DE L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE AU BENIN		
Département	En 10⁶ m³/an	Hauteur d'eau équivalente (mm/an)
Atacora	4,87	0,15
Atlantique	6,66	2
Borgou	5,98	0,12
Mono	7,83	2
Ouémé	7,59	1,60
Zou	8,45	0,46
Bénin	41,38	-

2.3.2 Besoins de l'agriculture

2.3.2.1 Irrigation

La politique agricole du Bénin vise deux objectifs principaux :

- le développement des cultures vivrières permettant de couvrir les besoins alimentaires du pays et la commercialisation des surplus à l'extérieur,
- la réhabilitation des productions agricoles servant de matières premières à l'industrie locale et le développement de cultures d'exportation.

La réalisation de ses objectifs passe par :

- une extension des superficies cultivées et le désenclavement des régions fertiles (en 1986, 15 % seulement des terres cultivables étaient exploitées),
- une intensification de l'agriculture, notamment grâce à l'irrigation.

Les périmètres irrigués créés au cours des années soixante-dix ont été dans l'ensemble, des échecs :

- sur 2800 ha aménagés pour la riziculture, seuls 101 ha sont encore exploités,
- les rendements obtenus sur les 880 ha de palmeraies irriguées du périmètre de Ouidah-Nord sont inférieurs de moitié à ceux escomptés,
- les surfaces aménagées pour la production en irrigué de fruits et légumes sont pour la plupart abandonnées.

Les causes de cet échec global sont multiples. Parmi celles-ci nous citerons :

- . des erreurs de conception technique et une mauvaise estimation de la ressource en eau (pour le périmètre de Ouidah, par exemple, la dose théorique d'irrigation de 5 mm/j n'a jamais pu être atteinte et a dû être réduite, certaines années de moitié),
- . les problèmes fonciers,
- . le mauvais entretien des infrastructures,
- . une sensibilisation insuffisante des paysans,
- . la mauvaise gestion des périmètres.

Actuellement, la politique qui serait envisagée par le Bénin en matière d'irrigation comporterait deux pôles principaux :

- . l'aménagement de grands périmètres irrigués le long des grands fleuves (Niger, Mono, Ouémé), en évitant les erreurs du passé,
- . l'aménagement de petits périmètres.

Pour la vallée du Niger, un schéma directeur d'aménagement a été élaboré par la SCET-Tunisie. Il serait projeté l'irrigation de 15 000 ha dont 2000 ha dans une première phase.

A l'achèvement de l'équipement de la basse vallée du Mono (barrages de Nangbeto, déjà construit, d'Adjaralla et de Tetetou, en projet) il y aura une potentialité de 20 000 ha de terres irrigables. Il est d'ores et déjà prévu d'en aménager 2000 ha au Bénin.

Dans le cadre de l'aménagement optimal du fleuve Ouémé dont l'étude de préfaisabilité est en cours, les potentialités en terres irrigables vont être précisées. Elles seraient de l'ordre de 80 000 ha.

Devant l'échec de bon nombre de grands périmètres, la tendance est actuellement de favoriser les petites réalisations plus facilement maîtrisables par les paysans.

Le projet PNUD-FAO BEN/84/012, a inventorié 5000 ha de terres irrigables dans des petits bas-fonds facilement aménageables.

Les besoins en eau pour l'irrigation restent à quantifier et à être confrontés aux ressources disponibles. Ce doit être l'objet principal du Plan National de l'Irrigation en cours d'élaboration.

En ce qui concerne les aménagements le long des grands fleuves, leurs apports sont largement suffisants pour satisfaire les besoins. En revanche, pour les petites réalisations, une évaluation

préalable de la ressource est nécessaire. Pour les régions situées sur le socle, seules les eaux de surface pourront être exploitées. Pour les zones sédimentaires du Sud et du Nord-Est du pays, il pourra également être fait appel aux eaux souterraines.

2.3.2.2 Elevage

a. Les besoins pour l'élevage sédentaire et la petite transhumance

Pendant la saison des pluies, l'abreuvement du bétail ne pose pas de problèmes importants du fait de l'existence d'une multitude de points d'eau disséminés çà et là dans les cuvettes, les dépressions, les mares et marigots, etc. Mais, au fur et à mesure que l'on avance dans la saison sèche, ces points d'eau tarissent pour la plupart, obligeant les animaux à de grands déplacements vers les points d'eau permanents. Ceci provoque une perte de poids corporel des animaux, une forte concentration des troupeaux et une dégradation des pâturages environnants, autour des points d'eau pérennes. Ces concentrations d'animaux peuvent aussi favoriser le développement et la propagation d'infections parasitaires pouvant décimer les troupeaux.

Au Bénin, il n'existe aucune évaluation précise des besoins en hydraulique pastorale à l'échelle du pays.

Dans les trois départements du Sud du pays (Mono, Atlantique et Ouémé), l'activité d'élevage est relativement peu importante, en particulier l'élevage bovin. Le système d'élevage est extensif. Les petits ruminants constituent la part la plus importante du cheptel ; ces animaux sont laissés en liberté autour des habitations. Seuls les bovins sont conduits en troupeaux et se concentrent surtout sur le littoral et dans le Nord des départements du Mono et de l'Ouémé. En saison sèche, quelques troupeaux transhumants peuvent descendre du Zou et se concentrer dans les vallées du Mono et de l'Ouémé.

Dans le Sud du Bénin, il n'apparaît pas utile de prévoir un programme de création de points d'eau à vocation uniquement pastorale pour les raisons suivantes :

- . faible importance de l'élevage bovin,
- . l'essentiel de l'élevage est diffus et intégré aux autres activités villageoises,
- . peu d'espace disponible pour l'élevage en raison d'une forte pression foncière et des problèmes prévisibles avec les agriculteurs.

Dans les trois départements du Nord du Bénin (Atacora, Borgou et Zou, surtout la moitié Nord de ce département), le problème de l'abreuvement du cheptel est à considérer dans son intégralité.

Le manque d'eau en période sèche est tel qu'il est nécessaire d'aborder les besoins par une phase d'urgence définissant un seuil de sauvegarde des animaux.

La seule tentative d'évaluation des besoins en hydraulique pastorale qui existe actuellement au Bénin est celle faite dans le cadre de l'étude du sous-secteur de l'élevage, établissement d'une stratégie et d'un programme pour son développement réalisée par Louis BERGER International, sur un financement de la Banque Mondiale, pour le compte de la Direction de l'Elevage. Cette étude a été réalisée en 1986.

Nous reprenons ici les résultats de cette estimation des besoins en l'actualisant en fonction des derniers chiffres connus pour l'évaluation du cheptel.

Cette évaluation des besoins est faite de la façon suivante :

- . Pour les départements concernés par le programme d'urgence (Atacora, Borgou et Nord du Zou), les besoins globaux ont été estimés pour les effectifs bovins-ovins-caprins.
- . En considérant la présence des cours d'eau pérennes et des aménagements pastoraux existants et en limitant leur rayon d'action à 5 km (distance maximale tolérée pour qu'un animal atteigne un point d'abreuvement), il a été possible de pondérer les besoins globaux en appliquant un coefficient qui est fonction de la surface du territoire dépourvue d'eau. Ces coefficients sont les suivants :

Tableau 2.3.10 - POURCENTAGE DE LA SUPERFICIE SANS POINT D'EAU A USAGE PASTORAL	
Département	% de la superficie
Atacora	54,0
Borgou	86,5
Zou	56,7

Le tableau 2.3.11 donne les besoins en eau de la phase d'urgence pour l'alimentation en saison sèche.

- . Pour satisfaire les besoins en eau du cheptel, l'étude prise comme référence a retenu la réalisation de deux types d'ouvrages :
 - Des forages en petit diamètre équipés de pompes manuelles pouvant fournir 1 m³/h, soit 10 m³/j. Un tel point d'eau est destiné à 500 bovins (ou 300 UBT).

Ce type d'ouvrage équipé d'une pompe manuelle concerne 75 % des points d'eau à créer.

- Des forages en petit diamètre, doublés par des contre-puits en grand diamètre où il est probable d'extraire 3 m³/h, soit 30 m³/j.

Ce type de point d'eau peut abreuver 1500 bovins (900 UBT). Il sera possible d'envisager une exhaure motorisée localement sur ces ouvrages (énergie éolienne, solaire ou fossile).

- . Cette estimation des besoins suppose que tout le cheptel reste sur place pendant la saison sèche, c'est-à-dire que la sédentarisation est faite. Cette hypothèse n'est pas acceptable, tout au moins pendant les premières années de la phase d'urgence car la transhumance ne cessera pas brusquement, d'autant plus qu'elle restera une obligation pour une partie du cheptel en surcharge estivale.

En effet, un calcul rapide à l'échelle du département du Borgou montre que, pour un effectif bovin de 577 000 animaux et une surface utile de 1 200 000 ha, la charge moyenne est de 3,5 ha/UBT, ce qui laisse supposer qu'en période sèche les pâturages sont d'excellente qualité. Il semble, a priori, qu'il existe une surcharge au niveau du département ; elle est atténuée par l'occupation des zones cultivées et des forêts classées. Elle motive, avec la carence en points d'eau, l'exode des animaux.

Tableau 2.3.11 - HYDRAULIQUE PASTORALE AU BENIN								
DEFINITION DES BESOINS EN EAU DE LA PHASE D'URGENCE POUR L'ALIMENTATION DU CHEPTEL EN SAISON SECHE								
(Source : rapport actualisé de Louis BERGER International, communiqué par la Direction de l'Elevage)								
			Besoins en m ³ /j			Besoins en points d'eau		
Département	Bovins	Ovins + caprins	Globaux	%	Urgence	Forage + pompe manuelle	Forage + contre-puits	Total besoins en points d'eau
Atacora	210 000	467 000	5 603	54,0	3 026	140	54	194
Atlantique	16 000	70 800	533	-	-	PM	PM	PM
Borgou	577 000	708 000	13 644	86,5	11 820	570	204	774
Mono	9 000	195 000	765	-	-	PM	PM	PM
Ouémé	28 000	130 000	950	-	-	PM	PM	PM
Zou	55 000	164 000	1 592	56,7	903	46	15	61
Bénin	895 000	1 734 800	23 107	-	15 749	756	273	1029

Il est donc nécessaire de différencier :

- a. Une phase de première urgence, destinée à l'abreuvement du cheptel non transhumant pouvant vivre sur place avec les pâturages de saison sèche, suivant la qualité des pâturages secs (et des techniques de conservation de fourrage, alimentation complémentaires, etc.). Cette phase intéresse 290 000 bovins et 380 000 petits ruminants.

- b. Une phase de deuxième urgence, destinée à tous les effectifs supposés sédentarisés, soit un total de 643 690 bovins et 957 590 petits ruminants abreuvés en fin de deuxième phase d'urgence.

Ces deux phases constituent le programme d'urgence.

- c. Une phase complémentaire destinée à compléter progressivement jusqu'à 30 litres par jour la ration hydrique de tous les bovins.

Reprenons l'exemple du Borgou où la charge moyenne est de 3,5 ha/UBT alors que la normale admise est de 7,4 ha/UBT. Cette surcharge doit supporter un accroissement annuel de 2 à 3 %.

Le problème qui se pose en matière de besoins en eau est de savoir s'il faut créer des points d'eau en fonction des effectifs ou en fonction d'un charge-seuil.

La création d'unités de production basées sur une surface adéquate va réduire l'espace vital des animaux non concernés par ces aménagements.

Dans le cadre du programme d'urgence, faute de données agro-pastorales, l'étude prise comme référence s'est basée sur les hypothèses suivantes pour évaluer les besoins du programme de première urgence :

- Avec une surface utile de 1 200 000 ha et une charge de 7,4 ha/UBT, le Borgou peut nourrir actuellement, sans complément alimentaire, un effectif de 162 162 UBT en saison sèche. Cela nécessite un débit de 5400 m³/j, soit 44,3 % des besoins du programme d'urgence évalué à 12 183 m³/j.
- D'une façon sans doute arbitraire, ce pourcentage a été étendu aux trois départements, soit 1110 m³/j pour l'Atacora et 333 m³/j pour le Zou.

Département	Besoins 1ère urgence (m ³ /j)	Besoins 2e urgence (m ³ /j)	Besoins complémentaires 20 l/j -> 30 l/j/ovine	Besoins totaux (m ³ /j)
Atacora	1110	3 026 - 1 110 = 1 916	1135	4 161
Borgou	5400	11 820 - 5 400 = 6 420	4992	16 812
Zou	333	903 - 333 = 570	312	1 215
Mono-Ouémé	-	-	370	370
Bénin	6843	8906	6809	22 558

b. L'hydraulique pastorale pour la grande transhumance

En mai 1986, l'UNSO énonce que "la question essentielle est comment rationaliser la transhumance pour atténuer ses effets néfastes et non comment se débarrasser des troupeaux transhumants en les sédentarisant. La sédentarisation doit être perçue comme une étape ultime d'une longue évolution progressive dont l'objectif à court terme et moyen terme est l'organisation rationnelle de la transhumance".

La petite transhumance peut disparaître rapidement en aménageant les espaces agro-pastoraux et en créant de nombreux points d'eau sur les lieux de la ressource fourragère.

Mais la persistance de la grande transhumance implique des aménagements hydro-pastoraux le long des couloirs traditionnels.

A l'amont de tout aménagement hydraulique, une collecte des données doit concerner :

- . la productivité des parcours,
- . les effectifs d'animaux,
- . les axes de transhumance,
- . les portes d'entrée des étrangers,
- . les emplacements des centres d'accueil,
- . le recensement des points d'eau existants,
- . les zones de regroupement du bétail,
- . la réglementation de l'espace agro-sylvo-pastoral.

		Département				
		Borgou	Atacora	Zou	Mono-Ouémè	Bénin
Phase 1ère urgence	Débit (m3/j)	5400	1110	333	-	6843
	Forages + pompes	270	56	17	-	343
	Puits/forages	90	18	6	-	114
	Total PE	360	74	23	-	457
Phase 2e urgence	Débit (m3/j)	6420	1916	570	-	8906
	Forages + pompes	300	84	29	-	413
	Puits/forages	114	36	9	-	159
	Total PE	414	120	38	-	572
Phase complémentaire	Débit (m3/j)	4992	1135	312	370	6809
	Forages + pompes	250	57	16	19	342
	Puits/forages	83	19	5	6	113
	Total PE	333	76	21	25	455
Total des besoins en points d'eau		1107	270	82	25	1484

S'il n'est pas recommandé de créer des points d'eau le long des axes de petite transhumance, sous peine de la fixer et de la perpétuer, il faut aménager les couloirs de grande transhumance afin que les migrants soient canalisés et ne perturbent pas, dans leur divagation, l'équilibre agro-sylvo-pastoral.

Citons, comme axes de grande transhumance :

- . Malanville - Parakou - Tchaourou.
- . Ségbana - Kalele - Tchaourou.

Les mares naturelles tarissent très rapidement à partir du mois de décembre et les éleveurs doivent creuser des trous dans le lit des marigots. Autour de ces trous provisoires, les troupeaux sédentaires et le cheptel en transit se livrent à une âpre concurrence.

Le bas-fond de Malanville qui occupe le lit majeur du fleuve Niger est colonisé par les cultures et l'abreuvement des troupeaux est rendu difficile en l'absence de couloirs d'accès du fleuve.

La distance entre Malanville et Parakou est de 300 km. Il n'existe plus de points d'eau aménagés sur cet axe majeur de la transhumance. Les mares de Bodjecali, Férékiri, Kokoi, Angara ne sont plus fonctionnelles.

La Sota est accessible au poste de contrôle sanitaire de Bodjecali (6,5 km de Malanville) et à Férékire (16,5 km de Malanville).

Indépendamment des points d'eau prévus ou à prévoir pour les troupeaux sédentaires, il faut envisager la création de stations d'abreuvement le long de cet axe de transhumance, à raison d'un point d'eau tous les 5 km et non tous les 30 km comme préconisé dans certains rapports, sinon les troupeaux zigzaguent à la recherche d'un abreuvement.

La solution des forages équipés de pompes manuelles n'est pas à retenir car la maintenance est impossible et le débit fourni est insuffisant lors des afflux d'animaux ; on peut envisager un gardiennage avec vente de l'eau à partir d'un point d'eau avec une exhaure mécanisée (pompe solaire) mais, à raison de 20 F/tête de bétail, il faudrait que 60 000 bovins s'abreuvent à un point d'eau pour assurer les frais de la maintenance annuelle (soit 400 bêtes par jour pendant 150 j) ; les grès de Kandi peuvent délivrer de gros débits avec des forages.

Il est préférable d'aménager, chaque fois que cela est possible, des mares en surcreusant ou en creusant des bassins de 1000 m³ sur 2,5 à 3 m de profondeur, latéralement au lit de la rivière.

L'intervention technique est simple : trois journées de bulldozer à 30 000 FCFA de l'heure permettant la création d'un point d'eau pour 720 000 FCFA.

Le nombre de points d'eau à créer est de 60.

Dans les zones dépourvues d'eau de surface, des batteries de deux ou trois forages peuvent être équipées de puits d'exhaure (exhaure au seau, traction animale ?).

2.3.3 Besoins en hydroélectricité

Il n'a pas été possible à la mission du Consultant d'obtenir des renseignements précis sur les besoins en énergie électrique du Bénin ; mais on peut affirmer sans se tromper que le Plan Energétique National en cours d'élaboration accorde une importance capitale à l'énergie d'origine hydraulique en raison d'une part des potentialités existantes et d'autre part du coût de production qui semble meilleur que celui de l'énergie thermique.

Nous citerons ci-après les données fournies par la CEB (Communauté Electrique du Bénin) sur l'ouverture des sites favorables identifiés pour un aménagement hydroélectrique :

Tableau 2.3.14 - CARACTERISTIQUES DE SITES HYDROELECTRIQUES AMENAGEABLES			
Site	Fleuve	Puissance (MW)	Productibilité annuelle (GWh)
Adjralala	Mono	94	270
Kétou	Ouémé	41	270
Olougbe	Ouémé	42	113
Assante	Ouémé	36	160
Batchanga	Pendjari	15	270

Ont été aussi inventoriés de nombreux autres sites concernant l'équipement de petits cours d'eau en microcentrales hydroélectriques. Des prospections et des études de faisabilité sont prévues, surtout dans les reliefs de l'Atakora, pour venir en appoint aux centrales thermiques.

oOo

Chapitre 3

CLIMAT

3.1 Organisation et gestion

L'exploitation du réseau climatologique béninois est une des tâches confiée au Service Météorologique National. Son siège est à Cotonou. Un réseau pluviométrique secondaire existe dans chaque département : il est exploité par les CARDER, Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural.

3.1.1 Service Météorologie National (SMN)

Le Service Météorologique National (SMN) du Bénin est placé sous la tutelle administrative du Ministère chargé des Transports. Il est chargé de la collecte, de la transmission et de la gestion des données météorologiques de base.

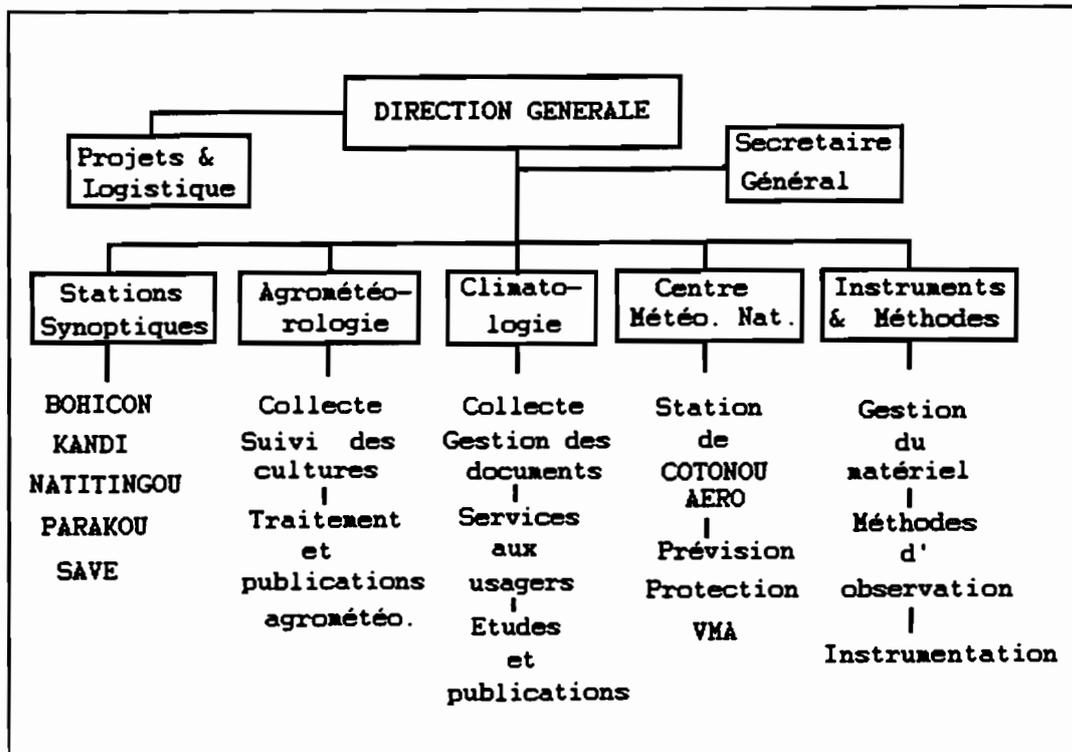
La République du Bénin est l'un des quatorze Etats Africains membres de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA). A ce titre, le Bénin a mis à la disposition de l'ASECNA, entre autres, toutes les installations et tous les moyens nécessaires pour la transmission des informations dans le domaine météorologique.

De plus, par un contrat particulier passé en 1968 et renouvelé en 1988, le Bénin a confié à l'ASECNA la gestion de toutes les activités aéronautiques et météorologiques sur l'étendue du territoire national. Dans ce cadre, l'ASECNA est chargée d'administrer et de gérer le Service Météorologique National du Bénin et reçoit en contrepartie de l'Etat Béninois une rémunération correspondant aux services ainsi rendus. Ce contrat particulier confère donc au Service Météorologique National une double tutelle.

En effet, il dépend pour son fonctionnement (financier et technique), de la Représentation locale de l'ASECNA tout en étant placé sous la tutelle du Ministère chargé des Transports.

L'organigramme du SMN est représenté sur la figure ci-dessous.

SERVICE METEOROLOGIQUE NATIONAL



Le SMN est sous la responsabilité d'un Directeur assisté par quatre chefs de divisions :

- a. la division "Agrométéorologie", chargée des applications de la météorologie au développement de l'Agriculture ;
- b. la division "Climatologie", chargée de la collecte et du traitement des données météorologiques, des études climatologiques et du service aux usagers ;
- c. la division "Instruments et Méthodes d'Observations", chargée de la gestion et de la maintenance du parc de matériel ;
- d. le "Centre Météorologique de Cotonou", chargé de l'élaboration des prévisions météorologiques et de l'assistance météorologique à la navigation aérienne.

Les trois divisions les plus concernées par la présente étude sont les suivantes : Climatologie, Agrométéorologie et Instruments et Méthodes d'Observation. Il est à noter que le Service n'est pas représenté au niveau régional. Néanmoins, les stations synoptiques sont directement gérées par des professionnels affectés sur place.

3.1.2 Autres organisations

3.1.2.1 Projet PNUD/OMM

Le Projet PNUD/OMM BEN/87/010 "Développement Agrométéorologique", actuellement en exécution au Bénin, est domicilié au sein du SMN. Ce projet vise à promouvoir les applications de la météorologie au développement du secteur agricole. Il concourt ainsi à renforcer institutionnellement et techniquement les capacités de la division "Agrométéorologie" du SMN. Mais compte tenu des implications multiples de ce projet, un groupe de travail pluridisciplinaire interministériel (GTP) a été créé et chargé du suivi et de l'évaluation des tâches du projet dans le cadre des différentes campagnes agricoles dans le pays.

A ce titre, le GTP doit examiner régulièrement l'ensemble des informations météorologiques, phénologiques et agricoles reçues et formuler les conseils agrométéorologiques à transmettre aux agriculteurs.

Le GTP comprend des représentants des structures suivantes :

- . Service météorologique national.
- . Direction de l'Agriculture (protection des végétaux).
- . Service de l'hydrologie.
- . Services de formation et de vulgarisation des six Centres d'action régionale pour le développement rural.
- . Service de la Radio Rurale.
- . Office National des Céréales.
- . Direction de l'Administration Territoriale.

3.1.2.2 Conseil Supérieur de la Météorologie

Le Conseil Supérieur de la Météorologie (CSM) est un organisme interministériel consultatif à caractère scientifique. Il est composé de tous les services nationaux concernés par les diverses applications de la météorologie. Il est chargé d'étudier les problèmes relatifs à la détermination des besoins des usagers et des services, à l'évaluation des moyens à mettre en oeuvre tant pour l'exploitation que pour la Recherche, l'orientation des programmes et la coopération internationale

dans le domaine de la météorologie. Il donne son avis sur les problèmes ayant une influence sur l'organisation et le fonctionnement du Service Météorologique.

3.1.2.3 CARDER

Les Centres d'Action Régionale pour le Développement Rural (CARDER) sont des organismes départementaux chargé de la promotion du monde rural. Chaque CARDER gère sur son territoire (le département) un réseau de pluviomètres dont le but est de renseigner directement les services départementaux de l'agriculture sur l'évolution de la pluviométrie afin de mieux définir les calendriers culturaux. Mais à l'analyse, il s'est avéré que ces réseaux fonctionnent mal et sans considération des règles généralement admises en la matière.

Le projet "Développement agrométéorologique" s'est donné pour tâche, entre autres, d'intégrer les réseaux des CARDER au réseau pluviométrique national géré par le SMN en normalisant les instruments et les méthodes d'observation utilisés sur ces réseaux.

3.1.2.4 Service de l'Hydrologie

Si le service de l'Hydrologie (SH) n'intervient pas dans la collecte des données climatologiques, en revanche, il est nécessaire, pour mener à bien les missions qui lui sont confiées, d'une banque de données pluviométriques, gérée par le logiciel PLUVIOM de l'ORSTOM. Cette banque comprend l'ensemble des données journalières de l'origine des stations à 1980.

Par ailleurs, dans le cadre de l'élaboration d'une synthèse sur les ressources en eaux superficielles du Bénin, le SH a été amené à constituer un fichier critiqué des totaux pluviométriques mensuels pour l'ensemble des stations du pays, de leurs dates de création à 1984.

Cette synthèse hydrologique, qui sera publiée en 1991, contient :

- . Une description statistique des régimes pluviométriques basée sur l'application de la "loi des fuites" aux totaux mensuels. Cette méthode permet notamment l'estimation des distributions statistiques en tout point du pays des totaux pentadaires et décadaires de même que celles des hauteurs des averses extrêmes.
- . Une description régionale et sommaire des autres paramètres climatiques : vents, températures, insolation, humidité, ETP Penman.

Enfin, le SH envisagerait de constituer une banque de données pluviographiques. Ces données sont, en effet, indispensables à la résolution de divers problèmes hydrologiques, comme, par exemple, le dimensionnement des ouvrages d'assainissement urbain.

3.1.3 Personnel et formation

L'effectif actuel du personnel du SMN est de 78. La répartition, grade par grade, est présenté dans le tableau 3.1.1.

Le personnel technique (ingénieurs, techniciens supérieurs et assistants) a été formé dans des écoles ou Universités étrangères. La majorité a été formée dans les écoles de l'ASECNA. Aucune formation n'est assurée sur place. Le niveau de qualification des différents grades est donné au tableau 3.1.2.

Quelques possibilités de formation du personnel existent. D'abord, par voie de concours interne au niveau de l'ASECNA donnant lieu à une formation dans les écoles spécialisées de l'ASECNA ou dans celles agréées par elle. Une deuxième possibilité existe à travers les bourses octroyées soit par des projets en cours d'exécution au SMN, soit par l'OMM au titre du programme de Coopération Volontaire. Actuellement, le projet PNUD/OMM BEN 87/010 "Développement Agrométéorologique" prévoit une dizaine de bourses de formation à l'étranger pour le personnel d'encadrement du Service Météorologique ainsi qu'une formation en informatique sur place est assurée par une société française d'informatique.

Tableau 3.1.1 - EFFECTIF DU PERSONNEL DU SERVICE METEOROLOGIQUE (au 01/01/91)	
Grade	Nombre
Directeur	1
Chefs de Divisions	4
Ingénieurs	4
Techniciens Supérieurs	16
Assistants et autres	53
Total	78

Tableau 3.1.2 - NIVEAU DE QUALIFICATION DES DIFFERENTS GRADES	
Grade	Qualification minimum
Ingénieur météorologiste	Niveau baccalauréat + 5 ou 6 ans de formation Universitaire (filiale mathématiques et physiques)
Technicien Supérieur en météorologie	Niveau baccalauréat + 2 ou 3 ans de formation Universitaire (filiale maths et physiques)

3.1.4 Budget

En vertu du contrat particulier par lequel l'Etat Béninois a confié la gestion du SMN à l'ASECNA, le fonctionnement ainsi que l'équipement de ce service est totalement intégré à ceux de la Représentation locale de l'ASECNA à Cotonou. Le SMN dispose donc de lignes de crédits au niveau du budget général de l'ASECNA pour son fonctionnement courant et ses investissements en équipements. Néanmoins, quelques investissements (infrastructures et équipement) sont directement du ressort de l'Etat Béninois qui, souvent, en recherche le financement par le biais de la coopération multilatérale ou bilatérale (subventions, prêts, projets, etc.).

En ce qui concerne le montant exact des crédits accordés annuellement au SMN, il ne nous a pas été possible de le savoir du fait que certaines lignes de crédits sont communes avec d'autres services de l'ASECNA.

3.2 Données climatologiques

3.2.1 Réseau climatologique (voir tableau 3.2.1)

Le réseau climatologique exploité par le SMN comprend deux types de stations selon leur équipement et le personnel qui s'en occupe.

3.2.1.1 Stations synoptiques

Elles sont au nombre de six : Cotonou-Aéro, Bohicon, Save, Parakou, Natitingou et Kandi. Ce sont des stations principales complètes. Tous les paramètres climatologiques y sont observés : couverture nuageuse, vent, températures, humidité, pression atmosphérique, précipitation, visibilité, temps, température du sol, évaporation, durée d'insolation, etc. Les observations sont assurées par des professionnels du Service Météorologique National à la fréquence d'un relevé toutes les trois heures (8 observations par jour). Ces observations, qui sont injectées dans le SMT (Système Mondial de Télécommunications géré par l'OMM), permettent ainsi de tracer des cartes ou états synoptiques sur l'ensemble du globe.

3.2.1.2 Stations climatologiques

Elles sont au nombre de quinze : *Bante, Djougou, Ina, Kerou, Lokossa, Niaouli, Ouando, Ouidah, Pobe, Porga, Savalou, Segbana, Tchaourou, Sekou, Seme-Cocotier*. Les paramètres observés sont les mêmes qu'aux stations synoptiques, exceptée la pression atmosphérique. De plus, sur quelques unes d'entre elles, des observations phénologiques sont effectuées sur le comportement et le développement des cultures. Ces stations sont dénommées *stations agrométéorologiques*. Les

observateurs, recrutés localement et formés spécialement, effectuent en général trois relevés par jour des différents paramètres et portent les résultats d'observation sur des carnets. On trouvera, sur le tableau 3.2.2, les modifications intervenues sur le réseau climatologique et sur le tableau 3.2.3. les différents paramètres observés ou mesurés pour chaque station climatologique.

L'efficacité du réseau synoptique et climatologique ainsi décrit est réputée bonne malgré sa faible densité. Le sérieux et le niveau des observateurs confèrent aux données climatologiques une précision et une fiabilité certaine. Pour la moitié des stations, la durée d'observation dépasse cinquante ans et les lacunes d'observation sont peu nombreuses (voir 3.2.5, Disponibilité des données).

3.2.2 Equipement

L'équipement utilisé sur les stations du réseau climatologique est donné sur le tableau 3.2.4. D'une station à l'autre, l'équipement est généralement uniforme et du même type. Il est conforme aux normes internationales (OMM).

Pour les quelques stations visitées au Sud du pays (Cotonou-Aéro, Ouidah, et Pobe), nous avons remarqué une bonne tenue des équipements. Aucun défaut de fonctionnement n'a été constaté. Par contre, en dehors des consommables, nous avons observé l'absence de pièces de rechange aux deux stations climatologiques, Pobe et Ouidah. Par contre, il est confirmé qu'un stock de pièces de rechange existe à toutes les stations synoptiques.

Tableau 3.2.1 : Liste des stations du réseau synoptique et climatologique

Nom des stations	Indicatifs (ASECNA)		Type de station	Coordonnées Géographiques		Altitude (m)		Date de création	Nombre d'observation par jour
	PLUVIO	SYNOP		LATITUDE (E)	LONGITUDE (E)	Pluvio	BARO		
KANDI	D005	65306	SYNOPTIQUE	11°08' N	02°56' E	290	292.26	1921	8 (obs synop)
PORGA	D006	-	CLIMATOLOGIQUE	11°02' N	00°58' E	160	-	1964	3
SEGBANA	D008	-	CLIMATOLOGIQUE	10°56' N	03°42' E	277	-	1954	3
KEROU	D011	-	CLIMATOLOGIQUE	10°50' N	02°06' E	314	-	1959	3
NATITINGOU	D020	65319	SYNOPTIQUE	10°19' N	01°23' E	460	461.00	1921	8 (obs synop)
INA	D027	-	CLIMATOLOGIQUE	09°58' N	02°44' E	358	-	1944	3
DJOUGOU	D030	-	CLIMATOLOGIQUE	09°42' N	01°40' E	439	-	1921	3
PARAKOU	D034	65330	SYNOPTIQUE	09°21' N	02°36' E	392	392.20	1921	8 (OBS SYNOP)
TCHAOUROU	D038	-	CLIMATOLOGIQUE	08°52' N	02°36' E	325	-	1937	3
BANTE	D045	-	CLIMATOLOGIQUE	08°25' N	01°53' E	264	-	1942	3
SAVE	D049	65335	SYNOPTIQUE	08°02' N	02°28' E	199	199.99	1921	8 (OBS SYNOP)
SAVALOU	D050	-	CLIMATOLOGIQUE	07°56' N	01°59' E	174	-	1921	3
BOHICON	D059	65338	SYNOPTIQUE	07°10' N	02°04' E	166	167.45	1940	8 (OBS SYNOP)
POBE	D062	-	CLIMATOLOGIQUE	06°56' N	02°40' E	129	-	1926	3
NIAOULI	D067	-	CLIMATOLOGIQUE	06°42' N	02°07' E	105	-	1941	3
LOKOSSA	D079	-	CLIMATOLOGIQUE	06°38' N	01°43' E	30	-	1978	3
SEKOU	D082	-	CLIMATOLOGIQUE	06°37' N	02°14' E	74	-	1970	3
OUANDO	D080	-	CLIMATOLOGIQUE	06°33' N	02°37' E	22	-	1980	3
OUIDAH	D073	-	CLIMATOLOGIQUE	06°22' N	02°00' E	10	-	1921	3
SEME-COCOTIER	-	-	CLIMATOLOGIQUE	06°22' N	02°38' E	-	-	1970	
COTONOU-AERO	D075	65344	SYNOPTIQUE	06°21' N	02°23' E	4	8.85	1952	8 (OBS SYNOP)

Fig 3.2.1 : Carte du reseau climatologique

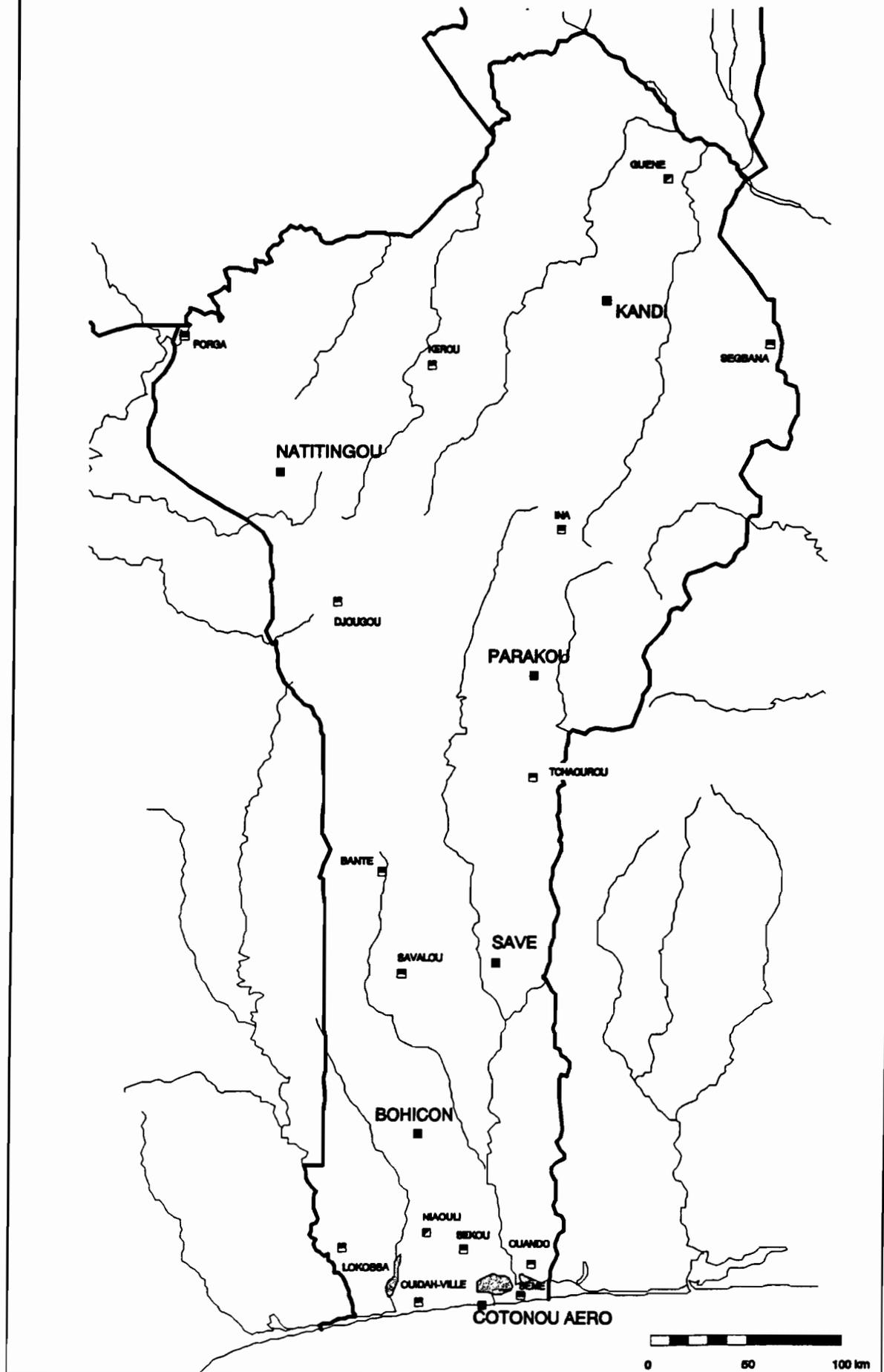


Tableau 3.2.2: Réseau synoptique et climatologique

Modifications connues au niveau du type, du site et du fonctionnement des stations

STATIONS	TYPE ET DATE OUVERTURE	COORDONNEES GEOGRAPHIQUES		MODIFICATION DU TYPE ET DATE	ATITUDE (m)		Changement de site et date	Interruption des observations (3 mois ou plus)
		LATITUDE (N)	LONGITUDE (E)		PLUVIO	BARO		
KANDI	PLUVIOMETRIQUE 1921	11°08'	02°56'	CLIMATOLOGIQUE EN 1937 SYNOPTIQUE EN 1940	290	292.26	NEANT	NEANT
PORGA	PLUVIOMETRIQUE 1964	11°02'	00°58'	CLIMATOLOGIQUE EN 1969	160	-	NEANT	1978
SEGBANA	PLUVIOMETRIQUE 1954	10°56'	03°42'	CLIMATOLOGIQUE EN 1969	277	-	NEANT	1972, 1973, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1985, 1986, 1987
KEROU	PLUVIOMETRIQUE 1959	10°50'	02°06'	CLIMATOLOGIQUE EN 1964	314	-	NEANT	1976 1977 1978
NATITINGOU	PLUVIOMETRIQUE 1921	10°19'	01°23'	CLIMATOLOGIQUE EN 1926 SYNOPTIQUE EN 1943	460	461.00	NEANT	NEANT
INA	PLUVIOMETRIQUE 1944	09°58'	02°44'	CLIMATOLOGIQUE EN 1950	358	-	DEPLACEMENT A 200 M DE L'ANCIEN SITE LE 01/01/1986	NEANT
DJOUYOU	PLUVIOMETRIQUE 1921	09°42'	01°40'	CLIMATOLOGIQUE EN 1953	439	-	NEANT	1971 1983 1984
PARAKOU	PLUVIOMETRIQUE 1921	09°21'	02°36'	SYNOPTIQUE EN 1962	392	392.80	NEANT	NEANT
TCHAOUROU	SYNOPTIQUE 1937	08°52'	02°36'	CLIMATOLOGIQUE EN 1963	325	-	NEANT	1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1987
BANTE	PLUVIOMETRIQUE 1942	08°25'	01°53'	CLIMATOLOGIQUE EN 1969	264	-	NEANT	NEANT
SAVE	PLUVIOMETRIQUE 1921	08°02'	02°28'	CLIMATOLOGIQUE EN 1939 SYNOPTIQUE EN 1940	199	199.99	NEANT	NEANT
SAVALOU	PLUVIOMETRIQUE 1921	07°56'	01°59'	CLIMATOLOGIQUE EN 1969	174	-	NEANT	1941 à 1950 1981, 1982
BOHICON	SYNOPTIQUE 1940	07°10'	02°04'	NEANT	166	167.45	NEANT	NEANT
POBE	PLUVIOMETRIQUE 1921	06°56'	02°40'	CLIMATOLOGIQUE EN 1929	129	-	NEANT	NEANT

Tableau 3.2.2: Réseau synoptique et climatologique (suite)

Modifications connues au niveau du type, du site et du fonctionnement des stations

STATIONS	TYPE ET DATE A L'OUVERTURE	COORDONNEES GEOGRAPHIQUES		MODIFICATION DU TYPE ET DATE	ATITUDE (m)		changement de site et date	interruption des observations (3 mois ou plus)
		LATITUDE (N)	LONGITUDE (E)		PLUVIO	BARO		
NIAOULI	PLUVIOMETRIQUE 1941 (Janv)	06°42'	02°07'	CLIMATOLOGIQUE EN 1941 (Mars)	105	-	Déplacement a 300 m de l'ancien site en dec 1984	NEANT
LOKOSSA	CLIMATOLOGIQUE 1978	06°38'	01°43'	NEANT	30	-	NEANT	1982
SEKOU*	CLIMATOLOGIQUE 1970	06°33'	02°14'	NEANT	74	-	NEANT	NEANT
OUANDO	CLIMATOLOGIQUE 1980	06°33'	02°37'	NEANT	22	-	NEANT	NEANT
OUIDAH	PLUVIOMETRIQUE EN 1921	06°22'	02°05'	CLIMATOLOGIQUE EN 1941	10	-	NEANT	NEANT
SEME- COCOTIER	CLIMATOLOGIQUE 1940	06°22'	02°38'	NEANT	-	-	NEANT	NEANT
COTONOU- AERO	SYNOPTIQUE EN 1926	06°21'	02°23'	NEANT	4	8.85	NEANT	NEANT

Tableau 3.2.3: Réseau synoptique et climatologique

Paramètres observés/mesurés

STATIONS	Nuages Cl	Vent Wi	Températures extrêmes Tn/Tx	Température de l'air Te	Humidité Hu	Pression atmosphérique Pr
KANDI (SYNO)	c 01/05/1937	c 01/05/1937	c 01/05/1937	c 01/05/1937	c 01/05/1937	c 01/08/1940
PORGA	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	-
SEGBANA	c 01/04/1969	c 01/04/1969	c 01/04/1969	c 01/04/1969	c 01/04/1969	-
KEROU	c 01/01/1964	c 01/01/1964	c 01/01/1964	c 01/01/1964	c 01/01/1964	-
NATITINGOU (SYNO)	c 01/01/1926	c 01/01/1926	c 01/01/1926	c 01/01/1926	c 01/01/1926	c 22/05/1943
INA	c 01/04/1950	c 01/04/1950	c 01/04/1950	c 01/04/1950	c 01/04/1950	-
DJOUGOU	c 01/08/1953	c 01/08/1953	c 01/08/1953	c 01/08/1953	c 01/08/1953	-
PARAKOU (SYNO)	c 01/11/1962	c 01/11/1962	c 01/11/1962	c 01/11/1962	c 01/11/1962	c 01/11/1962
TCHAOUROU	c 19/07/1937	c 19/07/1937	c 19/07/1937	c 19/07/1937	c 19/07/1937	c 19/07/1937 d 01/01/1965
BANTE	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	-
SAVE (SYNO)	c 01/01/1938	c 01/01/1938	c 01/01/1938	c 01/01/1938	c 01/01/1938	c 01/01/1940
SAVALOU	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	c 01/01/1969	-
BOHICON (SYNO)	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/05/1940
POBE	c 01/01/1929	c 01/01/1929	c 01/01/1929	c 01/01/1929	c 01/01/1929	c 01/01/1929 d 01/01/1949
NIAOULI	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/03/1941 d 04/07/1945
LOKOSSA	c 01/01/1979	c 01/01/1979	c 01/01/1979	c 01/01/1979	c 01/01/1979	-
SEKOU	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	-
OUANDO	c 01/05/1980	c 01/05/1980	c 01/05/1980	c 01/05/1980	c 01/05/1980	-
OUIDAH	c 01/01/1941	c 01/04/1941	c 01/04/1941	c 01/04/1941	c 01/04/1941	-
SEME-COCOTIER	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/04/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	-
COTONOU-AERO (SYNO)	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952

Légende : c = début ou reprise des observations

d = fin des observations

i = interruption importante

Tableau 3.2.3: Réseau synoptique et climatologique (suite)

Paramètres observés/mesurés

STATIONS	Précipitation Pp	Visibilité Vz	Temps We	Température du sol Tsol	Evaporation Ev	Durée d'insolation Su
KANDI (SYNO)	c 01/04/1921	c 01/05/1937	c 01/05/1937	c 01/05/1937	c 01/05/1937	c 01/04/1952
PORGA	c 01/02/1964	c 01/01/1969	c 01/01/1969	-	c 01/01/1969	c 01/01/1970
SEGBANA	c 01/03/1954	c 01/04/1969	c 01/04/1969	-	c 01/04/1969	-
KEROU	c 01/10/1959	c 01/01/1964	c 01/01/1964	-	c 01/01/1964	c 01/07/1969
NATITINGOU (SYNO)	c 01/04/1921	c 01/01/1926	c 01/01/1926	c 01/01/1926	c 01/01/1926	c 01/05/1963
INA	c 01/04/1944	c 01/04/1950	c 01/04/1950	c 01/04/1950	c 01/04/1950	c 01/01/1970
DJOUGOU	c 01/04/1921	c 01/08/1953	c 01/08/1953	-	c 01/08/1953	c 01/01/1970
PARAKOU (SYNO)	c 01/04/1921	c 01/11/1962	c 01/11/1962	c 01/11/1962	c 01/11/1962	c 01/11/1965
TCHAOUROU	c 19/07/1937	c 19/07/1937	c 19/07/1937	c 01/01/1940 d 01/01/1965	c 19/07/1937	c 01/04/1952 d 01/01/1965
BANTE	c 21/04/1942	c 01/01/1969	c 01/01/1969	-	c 01/01/1969	-
SAVE (SYNO)	c 01/04/1921	c 01/01/1938	c 01/01/1938	c 01/12/1954	c 01/01/1938	c 01/05/1961
SAVALOU	c 01/05/1921 i 01/03/1941- 30/06/1950 c 01/07/1950	c 01/01/1969	c 01/01/1969	-	c 01/01/1969	-
BOHICON (SYNO)	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/05/1940	c 01/11/1966
POBE	c 01/01/1926	c 01/01/1929	c 01/01/1929	c 01/01/1970	c 01/01/1929	c 01/01/1972
NIAOULI	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/03/1941	c 10/02/1962
LOKOSSA	c 01/01/1979	c 01/01/1979	c 01/01/1979	-	c 01/01/1979	c 01/01/1979
SEKOU	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970
OUANDO	c 01/05/1980	c 01/05/1980	c 01/05/1980	-	c 01/05/1980	-
OUIDAH	c 01/04/1921	c 01/04/1941	c 01/04/1941	-	c 01/04/1941	-
SEME-COCOTIER	c 01/01/1970	c 01/01/1940	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970	c 01/01/1970
COTONOU-AERO (SYNO)	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952	c 01/07/1952

Légende : c = début ou reprise des observations

d = fin des observations

i = interruption importante

3.2.3 Entretien et soutien sur le terrain

Deux visites annuelles sur l'ensemble du réseau climatologique sont prévues pour vérifier les conditions de fonctionnement des instruments de mesure et procéder à leur maintenance. Ces visites n'ont pas été effectuées de 1984 à 1990 en raison de l'absence de moyen de transport en bon état et de moyens financiers pour l'équipe de la Division "Instruments et Méthodes d'observation". Mais ce problème de transport a été résolu en 1990 par l'acquisition d'un véhicule tout terrain.

Tableau 3.2.4 - INSTRUMENTS UTILISES SUR LES STATIONS DU RESEAU CLIMATOLOGIQUE		
Paramètre	Instruments	Type de station
Vent	Anémo-girouette	Toutes stations synoptiques Toutes stations climatologiques
Température	Thermomètre mini/maxi Thermomètre Thermomètre (sol et dans le sol) Thermographe	Toutes stations synoptiques et climatologiques Toutes synoptiques et climatologiques Toutes synoptiques et quelques stations climatologiques Toutes synoptiques
Humidité	Thermomètre mouillé Hygrographe	Toutes synoptiques et climatologiques Stations synoptiques
Pression	Baromètre Barographes	Stations synoptiques Stations synoptiques
Précipitation	Pluviomètre Pluviographe	Toutes stations synoptiques climatologiques et pluviométriques Toutes stations synoptiques et quelques stations climatologiques
Insolation	Héliographe	Toutes stations synoptiques Quelques stations climatologiques
Evaporation	Evaporamètre Piche Bac classe A Bac Colorado	Toutes synoptiques et climatologiques Toutes synoptiques et quelques stations climatologiques Quelques climatologiques

Au cours de ces visites, il est prévu également le contrôle du travail des observateurs et leur recyclage éventuel. La situation de l'emplacement de la station, et des différents instruments qui l'équipent, est aussi vérifiée pour détecter toute évolution du proche environnement, qui pourrait être néfaste à l'homogénéité de la série.

3.2.4 Traitement des données

Les stations du réseau synoptique sont exploitées par des agents fonctionnaires du SMN, alors que les relevés dans les stations climatologiques sont faits par des observateurs recrutés localement et formés spécialement pour ce travail.

Aux stations synoptiques, les relevés des différents paramètres se font toutes les heures et sont notés sur des carnets d'observations de format classique. Leur transmission au SMN se fait toutes les trois heures par radio BLU à des fins de prévision du temps. Pour les besoins de l'agrométéorologie, certaines données utilisées en temps réel (les précipitations notamment) sont également transmises par BLU avec la même fréquence. Par ailleurs, les documents climatologiques de base sont envoyés au SMN à la fin de chaque mois par voie postale pour leur traitement et leur archivage.

Les observateurs des stations climatologiques notent sur des carnets ad'hoc les observations effectuées trois fois par jour et les transmettent au SMN par courrier postal à la fin de chaque mois. Les données pluviométriques sont transmises au fur et à mesure (quotidiennement pendant la saison des pluies) par radio de commandement (sous-préfectures).

Une fois les données climatologiques réceptionnées au SMN, elles sont soumises à une critique sommaire, recopiées sur des *tableaux climatologiques mensuels (TCM)* puis archivées.

L'archivage est fait généralement sur support "papier" mais depuis décembre 1989, le SMN participe au projet DARE (Sauvegarde de données) du Programme Mondial des Données Climatologiques. Ce projet consiste à microfilmer les relevés de données climatologiques anciennes et actuelles établis sur support "papier" et courant le risque de se détériorer et de se perdre. La Belgique a ainsi financé l'achat du matériel de microfilmage (microfilmeur et lecteur) pour le SMN en avril 1990. Le personnel du SMN a été formé à l'utilisation du matériel par des experts Belges au cours d'une mission de microfilmage des données du réseau d'observation météorologique du Bénin depuis l'origine des observations jusqu'en 1988. Actuellement, le personnel ainsi formé continue le microfilmage des TCM établis à partir de 1989.

Jusqu'à une date récente, tous les traitements de données sont manuels. L'utilisation de calculatrices de poche ou de bureau a été introduite dans les années 1984-1985.

Dans le cadre du Programme Mondial des données climatologiques, la France a offert au SMN en 1988 un micro-ordinateur Bull Micral 60 (compatible IBM AT286) qui a permis d'implanter le logiciel CLICOM au SMN (traitement informatique des données climatologiques) en 1990. Désormais, les fonctions suivantes sont réalisées sur support informatique :

- . saisie,
- . contrôle de qualité des données,
- . gestion des données météorologiques,
- . constitution et gestion d'archives,

- . élaboration de produits : statistiques, graphiques, publications, etc.,
- . sélection/extraction de données destinées aux usagers etc.

Ceci représente une évolution importante dans le traitement des données météorologiques en général. Cette évolution va se confirmer davantage dans les prochaines années avec l'apport substantiel du Projet PNUD/OMM "Développement agrométéorologique". En effet, ce projet prévoit dans ses activités l'acquisition d'un micro-ordinateur compatible IBM AT386 en réseau avec 3 micro-ordinateurs compatibles IBM AT286 (dont le Micral 60 déjà existant). Ce matériel sera accompagné d'un lot de logiciels (base de données, tableurs, traitement de texte, utilitaires, traitements statistiques, etc.). Une formation adéquate sur le tas sera assurée par une société française d'informatique, avec pour objectif de disposer de deux spécialistes en informatique capables de gérer tout le système qui sera ainsi mis en place.

L'accès aux données pour les utilisateurs extérieurs au SMN est assez facile. Même à l'époque où tous les traitements de données étaient manuels, le SMN a toujours fait l'effort de mettre à la disposition des usagers toutes les données généralement demandées. Le Service aux usagers est très apprécié. L'informatisation en cours va permettre d'accroître la capacité du SMN à fournir toutes les données qu'on pourra lui demander (y compris des données élaborées). Le projet agrométéorologique publie régulièrement un bulletin agrométéorologique décadaire récapitulant les données climatologiques de la décade.

Afin d'effectuer un test de disponibilité et de qualité des données climatiques, nous avons effectué la saisie des taux décadaires d'évaporation mesurés sur bac et calculés (par le SMN) par la formule de PENMAN, à partir des données de température, humidité, vent et insolation relevées aux six stations synoptiques (données fournies par le SMN sous la forme de fichiers informatisés). Ce test a montré :

- . d'une part, la faible quantité de lacunes : 19 sur 4752 décades pour les relevés du bac, ce qui est très peu, et 8 décades pour l'ETP, ce qui est encore beaucoup moins puisque 4 paramètres sont nécessaires et que l'absence d'un seul empêche tout calcul (à moins que l'on abuse des "moyennes" de remplacement) ;
- . d'autre part, une qualité acceptable des données : la comparaison ETP calculée/Evaporation BAC est surtout significative par les co-variations qu'elle doit faire apparaître ; la figure 3.2.2. établie avec les valeurs de 4 stations pour les mois de janvier (sec) et juillet (humide) montre une assez bonne adéquation entre les deux approches, bien que certaines valeurs isolées (Save en janvier 1984) ou certaines séries (Cotonou et Kandi en janvier, Kandi en juillet) soient nettement divergentes.

Ce test reste très limité et insuffisant pour porter un jugement sur la qualité intrinsèque des données : quelques valeurs ponctuelles totalement aberrantes dans les relevés du BAC sont sans doute imputables à la recopie manuelle ou à la saisie sur support informatique.

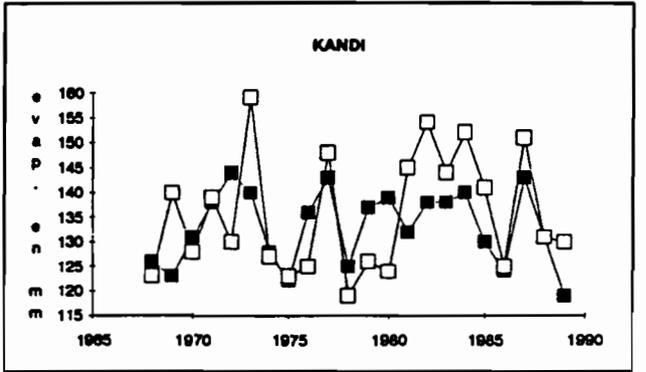
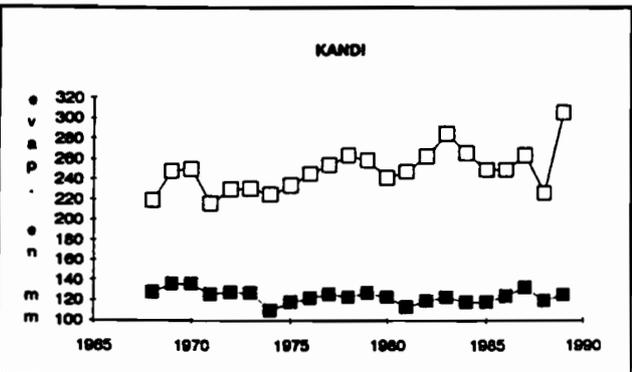
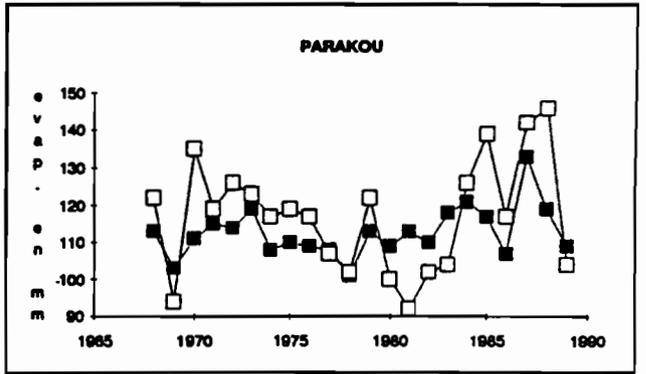
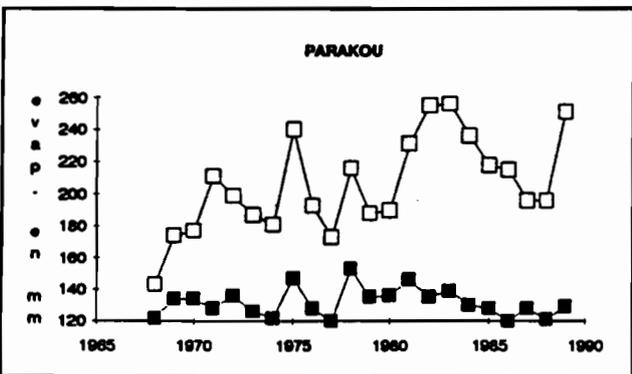
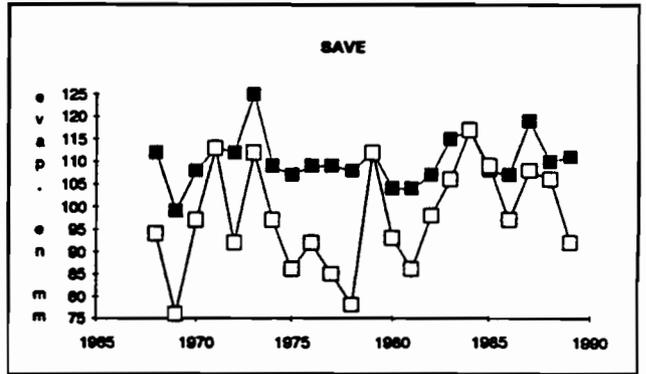
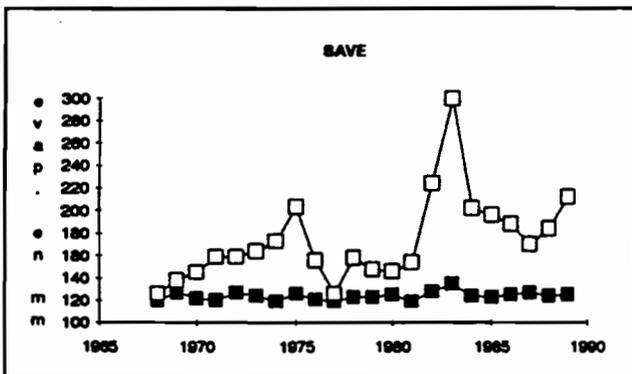
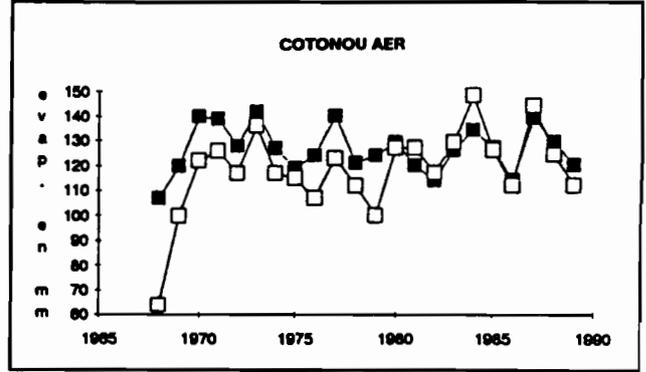
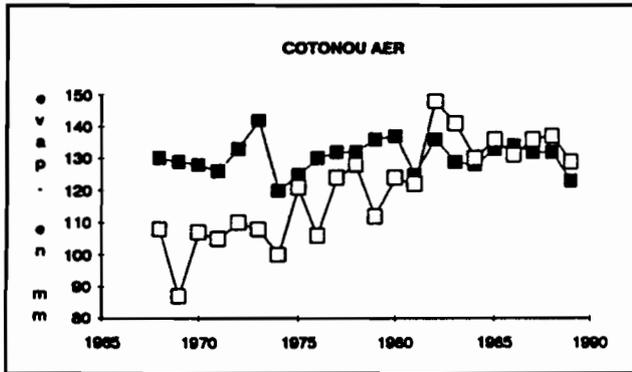
Figure 3.2.2 : COMPARAISON ETP Calculée / Evaporation sur BAC

En noir : ETP PENMAN

En blanc : Evaporation BAC

JANVIER

JUILLET



3.2.5 Disponibilité des données

Au SMN, un inventaire exhaustif des données climatologiques disponibles existe et, est régulièrement mis à jour à l'exception des données pluviographiques. En effet, les pluviogrammes sont stockés au fur et à mesure de leur arrivée au SMN sans aucun traitement ni inventaire.

Généralement les autres données sont stockées sur support "papier" sur des tableaux de synthèse, des fiches de relevés de terrain, des cartes de synthèse, un support "microfilm" et enfin récemment sur support informatique.

Mais il faut signaler que le logiciel de banque de données actuellement utilisé (CLICOM) n'est pas facile d'utilisation. La consultation ou l'extraction des données à partir de CLICOM n'est pas aisée et nécessite souvent la mise au point de programmes de transformation pour obtenir des produits exploitables.

Les conditions de stockage des données en général sont bonnes et les risques de perte ou de détérioration sont presque inexistantes. Il ne nous a pas été possible de savoir si des données ont été perdues pour mauvaises conditions de stockage. Il faut néanmoins signaler ce qui suit : si rien n'est fait rapidement pour inventorier et archiver les pluviogrammes, il y a risque de perte de données. Ce qui est inacceptable.

3.3 Données pluviométriques

3.3.1 Réseau pluviométrique

Le réseau pluviométrique géré par le SMN comprend actuellement 64 stations en activité, parmi lesquelles on décompte les 6 stations synoptiques, les 15 stations climatologiques et 43 postes pluviométriques.

La liste des stations est donnée sur le tableau 3.3.1. Les stations ont été classées suivant l'ordre de la codification utilisée par l'ORSTOM, lors de la création du fichier magnétique établi à la demande du CIEH. Le classement des stations est alphabétique, ce qui facilite l'accès au tableau. On trouvera néanmoins dans la première colonne, le code utilisée par l'ASECNA (code officiel).

Soixante et onze stations ont été ouvertes, Porto-Novo la première en 1896. Mais le réseau s'est réellement mis en place à partir de 1921.

La figure 3.3.1 donne la carte du réseau complet. La densité du réseau pluviométrique est assez inégale : si le réseau est assez dense dans le Sud du pays (1 poste pour 400 km² au Sud de 7° de latitude), il est par contre très lâche au Nord (plus de 3000 km² au Nord du dixième parallèle).

Tableau 3.3.1 : Liste des stations pluviométriques

CODES	NOMS	TYPE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	PERIODE
0000100 D075	COTONOU AER	SYNO	N 6 21	E 2 23	4	1952-
0000300 D046	AKLANKPA	P	N 8 13	E 2 11	193	1968-
0000400 D058	ABOMEY	P	N 7 11	E 1 59	260	1921-
0000500 D901	ABOMEY-CALAVI	P	N 6 27	E 2 21	15	1921-1925
0000600 D902	ADJASSAGOU	P	N 7 0	E 1 56	45	1948-1951
0000700 D068	ADJOHOUN	P	N 6 12	E 2 29	60	1921-
0000800 D903	AGRIMEY	P	N 6 57	E 2 8	38	1942-1947
0000900 D054	AGOUNA	P	N 7 33	E 1 42	240	1968-
0001000 D069	ALLADA	P	N 6 39	E 2 8	92	1921-
0001100 D003	ALFAKOARA	P	N 11 27	E 3 4	282	1969-
0001300 D063	APLAHOUÉ	P	N 6 55	E 1 40	153	1921-
0001600 D070	ATHIEME	P	N 6 34	E 1 40	11	1921-1973
0001900 D004	BANIKOARA	P	N 11 18	E 2 26	310	1954-
0002200 D045	BANTE	CLIM	N 8 25	E 1 53	264	1942-
0002500 D037	BASSILA	P	N 9 1	E 1 40	384	1950-
0002800 D024	BEMBEREKE	P	N 10 12	E 2 40	491	1921-
0003100 D036	BETEROU	P	N 9 12	E 2 16	252	1953-
0003300 D904	BEZASSI	P	N 10 23	E 3 28	355	1954-1956
0003400 D026	BIRNI	P	N 9 59	E 1 31	430	1953-
0003700 D059	BOHICON	SYNO	N 7 10	E 2 4	166	1940-
0004000 D061	BONOU	P	N 6 56	E 2 30	10	1964-
0004300 D071	BOPA	P	N 6 34	E 1 58	50	1921-
0004600 D025	BOUKOUMBE	P	N 10 10	E 1 6	247	1923-
0004800 D078	COTONOU PORT	P	N 6 21	E 2 26		1969-
0004900 D076	COTONOU VILLE	P	N 6 21	E 2 26	5	1910-1916 1922-
0005200 D051	DASSA-ZOUME	P	N 7 45	E 2 10	155	1941-
0005500 D030	DJOUGOU	CLIM	N 9 42	E 1 40	439	1921-
0005800 D065	DOGBO-TOTA	P	N 6 45	E 1 47	70	1953-
0006000 D047	GOUKA	P	N 8 8	E 1 57	242	1968-
0006100 D077	GRAND-POPO	P	N 6 17	E 1 49	5	1921-
0006300 D905	GUENE	P	N 11 43	E 3 13	215	1929-1942
0006400 D027	INA	CLIM	N 9 58	E 2 44	358	1944-
0006700 D022	KALALE	P	N 10 18	E 3 23	410	1957-
0007000 D005	KANDI	SYNO	N 11 8	E 2 56	290	1921-
0007100 D001	KARIMAMA	P	N 12 4	E 3 11	180	1977-
0007300 D011	KEROU	CLIM	N 10 50	E 2 6	314	1959-
0007600 D056	KETOU	P	N 7 21	E 2 36	118	1950-
0007800 D044	KOKORO	P	N 8 24	E 2 37	231	1969-
0007900 D019	KOUANDE	P	N 10 20	E 1 41	442	1931-
0008000 D079	LOKOSSA	CLIM	N 6 38	E 1 43	30	1979-

P = PLUVIOMETRIE - CLIM = CLIMATOLOGIQUE - SYNO = SYNOPTIQUE

Les périodes d'observation varient d'une station à l'autre comme le montrent le tableau et le graphique 3.3.2.

Tableau 3.3.2 - CHRONOLOGIE DU RESEAU PLUVIOMETRIQUE		
Date de création	Effectif	Pourcentage
avant 1920	2	3
1920 - 1929	22	31
1930 - 1939	3	4
1940 - 1949	11	15
1950 - 1959	14	20
1960 - 1969	14	20
1970 - 1979	5	7
Total	71	100

Tableau 3.3.1 : Liste des stations pluviométriques (suite)

CODES		NOMS	TYPE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	PERIODE
0008200	D060	LONKLY	P	N.7.9	E.1.39	110	1955-
0008500	D002	MALANVILLE	P	N.11.52	E.3.24	160	1942-
0008800	D020	NATITINGOU	SYNO	N.10.19	E.1.23	460	1921-
0008900	D906	N'DALI	P	N.9.51	E.2.42	393	1944-1946
0009100	D067	NIAOULI	CLIM	N.6.42	E.2.7	105	1941-
0009400	D028	NIKKI	P	N 9 56	E 3 12	402	1921-
0009700	D033	OKPARA	P	N 9 28	E 2 44	295	1956-
0009800	D080	OUANDO	CLIM	N 6 33	E 2 37	22	1980-
0010000	D042	QUESSE	P	N 8 30	E 2 23	233	1964-
0010300	D073	OUIDAH-VILLE	CLIM	N 6 22	E 2 5	10	1921-
0010600	D034	PARAKOU	SYNO	N 9 21	E 2 36	392	1905-1906,1910 1921-
0010700	D032	PARTAGO	P	N 9 32	E 1 54	397	1969-
0010800	D035	PENESSOULOU	P	N 9 14	E 1 33	369	1969-
0010900	D062	POBE	CLIM	N 6 56	E 2 40	129	1921-
0011000	D043	PIRA	P	N 8 30	E 1 43	315	1968-
0011200	D006	PORGA	CLIM	N 11 2	E 0 58	160	1964-
0011500	D072	PORTO-NOVO	P	N 6 29	E 2 37	20	1896-1911 1917-
0011800	D066	SAKETE	P	N 6 43	E 2 40	69	1921-
0012100	D050	SAVALOU	CLIM	N 7 56	E 1 59	174	1921-1940 1950-
0012400	D049	SAVE	SYNO	N 7 59	E 2 26	199	1921-
0012700	D008	SEGBANA	CLIM	N 10 56	E 3 42	277	1954-1975 1978-
0012800	D082	SEKOU	CLIM	N 6 37 0	E 2 14 0	74	1970-
0012900	....	SEME-COCOTIER	CLIM	N 6 22 0	E 2 38 0		1970-
0013000	D074	SEME	P	N 6 22	E 2 38	4	1943-
0013100	D031	SEMERE	P	N 9 33	E 1 22	386	1969-
0013300	D013	TANGUIETA	P	N 10 37	E 1 16	225	1937-
0013600	D038	TCHAOUROU	CLIM	N 8 52	E 2 36	325	1937-
0013900	D052	TCHETTI	P	N 7 49	E 1 40	353	1964-
0014200	D064	TOFFO	P	N 6 50	E 2 3	60	1952-
0014500	D041	TOUI	P	N 8 41	E 2 36	316	1944-
0014800	D057	ZAGNANADO	P	N 7 15	E 2 20	102	1921-

P = PLUVIOMETRIE - CLIM = CLIMATOLOGIQUE - SYNO = SYNOPTIQUE

Les deux périodes d'extension principale du réseau sont 1921-1923 avec 21 postes (près d'un tiers du réseau actuel) et 1968-1970 avec 12 postes (plus de 18 %). On observe par contre, sur la figure 3.3.2, l'arrêt de la croissance à partir de 1978.

La figure 3.3.3. montre le nombre théorique (lacunes non prises en compte) de mois d'observations observés par décennie et par type de stations. Cette masse d'informations correspond à un total de 30 676 mois, soit environ 933 000 valeurs journalières ou 2556 années d'observations.

Les interruptions dans le fonctionnement des stations sont peu fréquentes : 1,6 % en moyenne, pourcentage faible en valeur absolue. Le tableau 3.3.3. donne le nombre des lacunes mensuelles (mois complet manquant dans plus de 90 % des cas, total mensuel absent par suite de lacunes journalières pour le reste) et le pourcentage rapporté au nombre de mois théoriquement observé, par type de station et par décennie. L'histogramme de la figure 3.3.4 illustre cette situation.

Tableau 3.3.3 - INVENTAIRE DES LACUNES MENSUELLES (Nombre et %)								
Type	1920-30	1930-40	1940-50	1950-60	1960-70	1970-80	1980-87	Total
SYNO	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
CLIM	6 1,5	0 0	3 0,4	6 0,6	5 0,4	50 4,1	94 8,9	164 2,7
Pluvio	18 1,5	1 0,1	9 0,5	2 0,1	0 0	132 2,7	177 4,4	339 1,7
Total	24 1,2	1 0	12 0,4	8 0,2	5 0,1	182 2,6	271 4,8	503 1,6

On observe :

- l'absence totale de défaillances des stations synoptiques : la performance est d'autant plus remarquable que le nombre de mois concerné atteint 4190 ; on dispose donc de 4 séries continues de 70 ans (Kandi, Natitingou, Parakou et Save - période 1921 à 1990) et de deux séries plus courtes Bohicon (1940-1990) et Cotonou-Aéro (1952-1990) ;
- la performance, relativement modeste, des stations climatologiques, avec une moyenne de 2,7 %, supérieure à celle des postes pluviométriques (1,7 %) ; ce fait est imputable à quelques stations (Porga, Tchaourou entre autres), sans compter la série de Segbana qui a été retirée du décompte pour ne pas fausser la statistique ; un inventaire rapide montre l'existence d'au moins 6 séries de 70 années pratiquement sans lacunes : Pobe (Climatologiques), Aplahoue, Bembereke, Grand Popo, Porto-Novo et Zagnanado (postes pluviométriques) ; le tableau 3.3.4. donne l'inventaire des mois manquants pour les postes pluviométriques.

La répartition chronologique est instructive : le nombre de lacunes est nettement plus important pour la période 1970-1987, pour laquelle il dépasse 3,5 %, soit deux fois plus que la moyenne et 20 fois le taux moyen de la période 1920-1970 ; un autre signe inquiétant est le doublement du nombre de

lacunes dans la dernière décennie : ceci est sans doute imputable aux difficultés rencontrées par le SMN pour effectuer les visites périodiques mais le signal d'alerte est clair.

La répartition géographique est - elle aussi - très instructive. Quand on fait l'inventaire des stations et des postes qui présentent plus de 10 défaillances dans la période 1970-1987, on constate :

- . qu'un seul est dans le Sud (Dogbo Tota) ;
- . que les 13 autres sont situés au Nord de 7°56' (Savalou) et 9 d'entre eux, à plus de 10°N.

Ceci confirme parfaitement que le nombre de défaillances d'observation est en relation directe avec l'éloignement du centre de gestion, c'est-à-dire Cotonou.

En résumé :

- . bon fonctionnement "historique" du réseau, le nombre moyen de lacunes est faible : 1,6 % ;
- . augmentation très nette du nombre de lacunes à partir de 1970 et surtout 1980.

En ce qui concerne les stations pluviométriques gérées par les CARDERS, il n'a pas été possible de disposer des données recueillies pour la simple raison qu'elles ne sont pas archivées. De plus, les heures de relevés ne correspondent pas à celles en vigueur sur le réseau géré par le SMN. Les mesures sont faites après chaque pluie. Les pluviomètres des CARDERS ne sont pas installés dans le respect des normes internationalement admises (normes OMM). Pour toutes ces raisons, les données des réseaux des CARDERS ne sont pas utilisables. Pour améliorer le réseau pluviométrique national, le SMN par l'intermédiaire du projet PNUD/OMM "Développement agrométéorologique", est actuellement en train d'intégrer un certain nombre de stations des CARDERS (34 au total) au réseau pluviométrique du SMN. A ces 34 stations, les pluviomètres sont, ou seront, réaménagés suivant les normes OMM et les observateurs conséquemment formés. Quand cette intégration sera terminée, le réseau pluviométrique comprendra une centaine de stations et la densité sera alors remarquablement améliorée.

Figure 3.3.2 : Evolution du nombre de postes pluviométriques

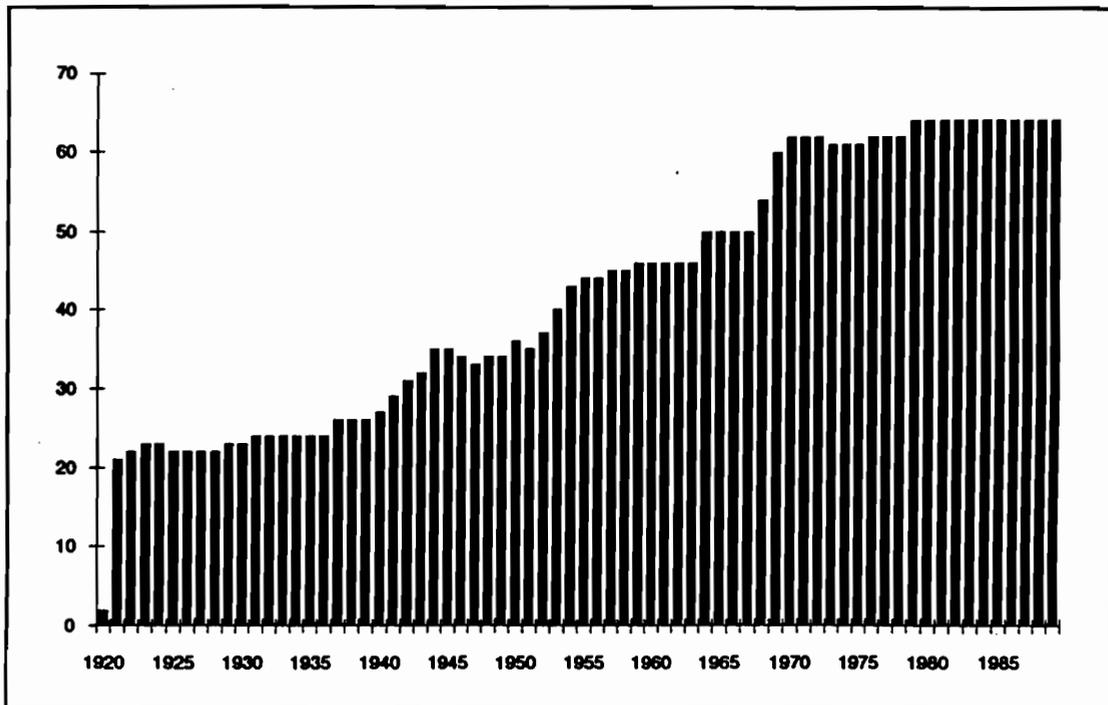


Figure 3.3.3 : Nombre théorique de mois/stations par décennie

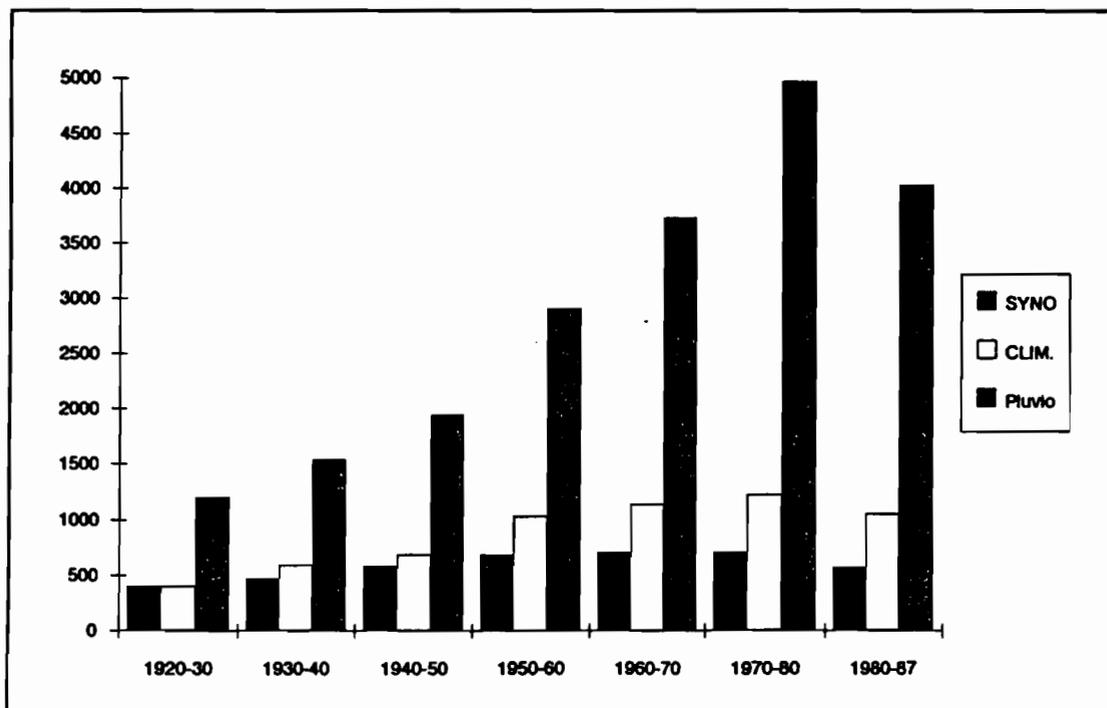


Tableau 3.3.4 : Inventaire des lacunes aux postes pluviométriques

Postes	Date ouverture	Chang. de site	Interruption des observations
KARIMAMA D 001	01-01-1976	néant	Set.77 ; Mai-juin-juillet et déc 78 ; Nov. et Déc.82 ; Janv.-Fév. Mars 84 ; Janv.-mars-avril-juil Oct.- Nov.- Déc.85 ; Janv.-Fév.- Mars 86 ; Nov.-Déc.87
MALANVILLE D 002	01-05-1942	néant	Nov.76
ALFAKOARA D 003	01-01-1969	néant	Juin-Juil. 81 ; Fév.- Mars - Juil 82 ; Fév.-août - Oct.- Nov et Déc 83
BANIKOARA D 004	01-01-1954	néant	Juil. 85
TANGUIETA D 013	01-03-1957	néant	Août - sep.- oct. 78
KOUANDE D 019	01-01-1931	néant	Mai à dec 1971; année 1972 entière; 1'annee 1973 entière; Nov.et déc 1974.
KALALE D 022	01-06-1957	néant	Oct.74 ; Janv.et nov.77 ; Mai 81 ; Sep.87
KOKORO D 023	01-01-1969	néant	Nov. 75
BEMBEREKE D 024	01-04-1921	néant	Avril 25
BOUKOUMBE D 025	01-01-1923	néant	Déc 1979 ; Août à dec 82 ; Juil à dec 83 ; dec 84 ; Sept à nov 85 ; Sept à dec 1987.
BIRNI D 026	01-10-1953	néant	Juin à dec 71 ; Fév à oct 72 ; Janv-fev-mars-juin-juil-aout et sept 87.
NIKKI D 028	01-04-1921	néant	Mars 35 - Sep.- oct.74
SEMERE D 031	01-01-1969	néant	Janv-fev 77 ; Fév à dec 79 ; de 1980 à 83 ; Janv à sept 84 ; Oct-nov-dec 85 ; Janv-dec 86; année 87 entière
PARTAGO D 032	01-01-1969	néant	Oct à dec 74 ; Jan-fev-dec 75 ; Déc.79 ; Fév-avr-nov-déc 80 ; Jan-fev-mars 82
OKPARA D 033	01-09-1956	néant	
PENESSOULOU D 035	01-01-1969	néant	Sep.75; Fév.77;Juin-juil-nov-déc 83 ; Mars 86
BETEROU D 036	01-10-1953	néant	Janv.78;Janv.-sept.79; Fev. 80
BASSILA D 037	01-07-1950	néant	Août 80; Déc 86; Janv-fév-mars-nov. 87.
TOUI D 041	01-04-1944	néant	Mai 44; Mars-nov 74; Nov 76 Janv.- nov. 77;Janv.- fév 78 ; Fév 79 Janv-fév 81; Oct-nov 85 ; Janv-août-sept-nov 1986.
QUESSE D 042	22-04-1964	néant	
PIRA D 043	01-01-1969	néant	Juin 79 ; Déc.87
AKLAMKPA D 046	01-05-1968	néant	Oct 77 ; Nov-dec 82 ; Janv-fev-avril 83 ; nov 84 ; nov 85 ; Janv-sept-oct-nov-dec 1987
GOUKA D 047	01-05-1968	néant	Nov.73; Déc.74; Janv.75; Déc.76
DASSA-ZOUME D 051	01-03-1941	néant	
TCHETTI D 052	20-04-1964	néant	Fév. 79; Janv.- fév.- nov.- déc-84; déc. 86; Janv.-nov.- déc. 87
AGOUNA D 054	01-07-1968	néant	Déc. 80; Janv.- fév.- août 84

Tableau 3.3.4 : Inventaire des lacunes aux postes pluviométriques (suite)

Postes	Date ouverture	Chang.de site	Interruption des observations
KETOU D 056	01-07-1950	néant	
ZAGNANADO D 057	01-04-1921	néant	
ABOMEY D 058	01-07-1921	néant	Juil.75
LONKLY D 060	01-09-1955	néant	
BONOU O 061	09-04-1964	néant	Avril - juil.73; Mars-juil.75
APLAHQUE D 063	01-08-1921	néant	Déc. 23
TOFFO D 064	01-08-1952	néant	Nov. 73; Janv.-fév.-nov.-déc.74 Janv. 75; Déc.77; Janv.87
DOGBO D 065	01-01-1953	néant	Avril à sep. 71; Août 78; Déc. 86; Nov.-déc. 87
SAKETE D 066	01-04-1921	néant	Sep.- oct.21; Fév.22; Fv.32
ADJOHOUN D 068	01-04-1921	néant	Juin 26; Mai 42
BOPA D 071	01-05-1921	néant	Juin 22; Sept.74; Avril 85; Jan.-déc. 86
PORTO-NOVO D 072	01-08-1922	néant	Sept. 25
SEME-PODJI D 074	01-01-1943	néant	
COTONOU VIL. D 076	01-04-1922	néant	Juin - juil.- sept.à déc. 25 Janv.- juin 26
COTONOU PORT D 075	01-01-1969	néant	
GRAND-POPO D 077	01-04-1921	néant	Nov. 21

3.3.2 Equipement

Toutes les stations pluviométriques sont équipées de pluviomètres. C'est le pluviomètre de type Association qui est utilisé. De plus, toutes les stations synoptiques et quelques stations climatologiques sont équipées de pluviographes à tambour (rotation journalière ou hebdomadaire suivant les stations). L'installation de ces instruments a été réalisée suivant les normes de l'OMM.

3.3.3 Entretien et soutien sur le terrain

Deux visites annuelles sont prévues sur l'ensemble du réseau de mesures météorologiques. Ces visites concernent aussi bien les stations synoptiques, climatologiques que pluviométriques. Destinées à assurer le contrôle du fonctionnement des stations, le contrôle du travail des observateurs et leur recyclage, ces deux visites n'ont pu être effectuées depuis 1984 pour les mêmes raisons que celles évoquées au paragraphe 3.2.3. Nous avons déjà vu l'impact de cette insuffisance dans le fonctionnement correct du réseau.

3.3.4 Traitement des données

De toutes les données météorologiques, les données pluviométriques sont celles qui ont reçu le plus d'attention de la part du SMN.

Les stations pluviométriques sont suivies par des observateurs volontaires, modestement rétribués, qui reportent leurs relevés bi-quotidiens (7 h et 17 h) sur un cahier à souche.

Les fiches de relevés pluviométriques arrivent au SMN par courrier postal une fois par mois. Ces données sont soumises à une critique sommaire, recopiées sur des fiches ad'hoc, puis archivées. L'archivage et le traitement se font de la même manière que pour les données climatologiques, telle que nous l'avons décrite au paragraphe 3.2.4. Il faut néanmoins souligner le fait que les données pluviographiques n'ont pas encore reçu le moindre traitement. Le SMN devrait se pencher sur cette situation le plus rapidement possible, au moins pour inventorier, et archiver comme il faut, la masse de pluviogrammes dont il dispose en stock.

Le Service aux usagers est remarquable, malgré l'absence de traitement informatisé. La consultation sur place des originaux de relevés pluviométriques est très aisée. De même, on peut obtenir facilement des photocopies des originaux. L'informatisation en cours permettra au SMN d'être encore plus performant dans la fourniture des données météorologiques en général et pluviométriques en particulier.

Le SMN publie tous les mois un rapport de synthèse sur la situation pluviométrique dans le pays au cours du mois considéré. Signalons enfin que le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), en collaboration avec l'ORSTOM et l'ASECNA, a publié en 1973 un recueil des précipitations

journalières du Bénin de l'origine des stations à 1965 et récemment en 1990, les annales des précipitations journalières du Bénin relatives à la période 1966/1980. La banque de données pluviométriques est actuellement constituée par les fichiers magnétiques utilisés pour cette étude : ils sont dans le format utilisé par l'ORSTOM (format du logiciel PLUVIOM) et une copie est disponible au CIEH et à l'ASECNA. On trouvera l'inventaire précis de ce fichier magnétique dans le tableau 3.3.7, à la fin de ce chapitre.

3.3.5 Qualité des données

La qualité des données pluviométriques varie suivant le type de stations : les stations synoptiques et climatologiques étant suivies par du personnel professionnel ou spécialement formé, les données qui y sont collectées sont en général fiables ; par contre celles relatives aux postes pluviométriques sont suivies par du personnel recruté sur place et souvent formé très rapidement. Il est logique de penser que les relevés de ces stations sont moins fiables.

L'évaluation de la qualité des séries pluviométriques peut être faite au niveau journalier par des tests statistiques simples et/ou sur les totaux mensuels ou annuels par des comparaisons inter-postes basées sur la méthode des doubles cumuls.

3.3.5.1 Pluies journalières

Au cours du traitement des données pluviométriques journalières ayant conduit à la publication des annales pluviométriques CIEH/ORSTOM/ASECNA pour la période 1966/1980 [réf.], l'ORSTOM a procédé à une critique systématique, par poste, basée sur :

- . le décompte annuel des jours de pluie ;
- . le rapport du nombre de "petites pluies" (inférieures à 10 mm) dans l'année, au nombre de jours total ;
- . la recherche de valeurs caractéristiques en nombre trop élevé (capacité de l'éprouvette par exemple) ou de valeurs systématiquement arrondies.

Si l'on s'appuie sur les deux derniers tests, et leurs valeurs limites en dehors desquelles l'année considérée possède une répartition considérée anormale par Y. LHOTE (ORSTOM, auteur de l'étude), on constate que, sur un total de 867 années complètes :

- . 22 années, soit 2,5 %, ont un nombre de "petites pluies" inférieur à 30 % ;

- . 16 années, soit 1,8 %, présentent des valeurs caractéristiques en nombre excessif, indiquant que, pour les six postes concernés, la qualification de l'observateur était douteuse dans la période correspondante.

Les deux chiffres précédents sont faibles et confirment les résultats de l'analyse faite sur les lacunes d'observation : *la qualité des données pluviométriques du Bénin apparaît globalement bonne.*

Il est regrettable que l'impossibilité d'accéder aux données journalières de la période 1980-1989 sur un support informatique n'ait pas permis d'effectuer une critique sur ces mêmes bases avec le logiciel PLUVIOM.

3.3.5.2 Totaux annuels

Pour critiquer les séries de totaux pluviométriques annuels nous avons utilisé la Méthode du Vecteur Régional (MVR) de G. HIEZ (ORSTOM) [réf.], à l'aide d'un progiciel développé par l'ORSTOM.

Cette méthode est basée sur deux principes fondamentaux :

- . les séries de totaux pluviométriques de postes voisins, situés dans une même région climatique, sont *pseudo-proportionnelles entre elles* ; ceci signifie que les variations de la pluviosité entre tous les postes de la région sont concomitantes ;
- . *l'information la plus probable* est celle qui se répète la plus fréquemment ; ceci signifie que la pluviosité d'une année donnée sera celle indiquée par le plus grand nombre de postes.

Le processus de calcul utilisé, basé sur le principe du maximum de vraisemblance, est conçu de manière à ce que toute l'information contenue dans chacune des séries composant la matrice régionale, contribue à l'élaboration d'une série de référence "la plus probable", appelée *vecteur régional*. Chaque poste est ensuite comparé à ce vecteur par l'intermédiaire d'un procédé graphique de double cumul. Pour chaque année, l'écart entre la valeur observée et la valeur calculée à partir de la valeur correspondante du vecteur, permet d'estimer si l'année est en concordance avec la tendance régionale ou si elle est discordante, de connaître l'amplitude de l'écart.

Pour mener à bien cette étude critique des séries pluviométriques annuelles du Bénin, nous avons :

- a. Utilisé le fichier CIEH/ORSTOM/ASECNA, qui a été complété de 1980 à 1989 pour 37 séries (recopie manuelle au SMN, puis saisie) ; le tableau 3.3.5 donne l'inventaire graphique des données utilisées pour l'application de la méthode.
- b. Choisi de limiter la critique aux données de la période 1940-1989, de façon à disposer d'un nombre suffisant de valeurs pour le calcul du vecteur.

c. Défini 5 régions ainsi limitées :

- . Région Littoral : au Sud de la latitude 6°45'
- . Région Sud : latitude entre 6°45' et 7°30'
- . Région Centre Sud : latitude entre 7°30' et 9°
- . Région Centre Nord : latitude entre 9° et 10°40'
- . Région Nord : latitude supérieure à 10°40'

d. Décidé de considérer qu'une valeur isolée déviée de plus de 25 % par rapport au vecteur était anormale et qu'une série de deux valeurs ou plus, déviée de plus de 15 % était une anomalie systématique ; ces seuils sont évidemment arbitraires, mais notre objectif n'est pas ici d'homogénéiser des séries ; il se limite simplement à vérifier leur qualité, suivant le type de station et la décennie.

Les figures 3.3.6., 3.3.7. et 3.3.8 montrent respectivement l'allure du vecteur Centre Sud, le graphique de double cumul de la série de Save (sans aucune anomalie) et celui de la série de Toui, qui présente un bon échantillonnage d'anomalies :

- . des déviations isolées en 1947 et 1983 ;
- . une série systématiquement excédentaire de 1952 à 1960 (excédent moyen de 20 % - coefficient correcteur de 0,807) ;
- . des lacunes d'observation en 1974 et de 1976 à 1979.

Pour les 37 séries de totaux annuels, complétées jusqu'à 1989, le décompte des anomalies est présenté dans le tableau 3.3.6 et sur l'histogramme de la figure 3.3.5.

Tableau 3.3.5 : Inventaire des totaux annuels utilisés pour la critique

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE - MONTPELLIER		MVR - Méthode du Vecteur Régional									
Lot de données: 111 - Pluies Annuelles BENIN											
Station	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
111000100											
111000300											
111000400											
111000700											
111000900											
111001000											
111001100											
111001300											
111001600											
111001900											
111002200											
111002500											
111002800											
111003100											
111003400											
111003700											
111004300											
111004600											
111004800											
111004900			** **								
111005200											
111005500											
111005800											
111006000											
111006100											
111006300											
111006400											
111006700											
111007000											
111007300											
111007600											
111007800											
111007900											
111008200											
111008500											
111008800											
111009100											
111009400											
111009700											
111009800											
111010000											
111010300											
111010600			*								
111010700											
111010800											
111010900											
111011000											
111011200											
111011500		*****	*****								
111011800											
111012100											
111012400											
111012700											
111013000											
111013100											
111013300											
111013600											
111013900											
111014200											
111014500											
111014800											

Figure 3.3.4 : Lacunes par type et par décennie

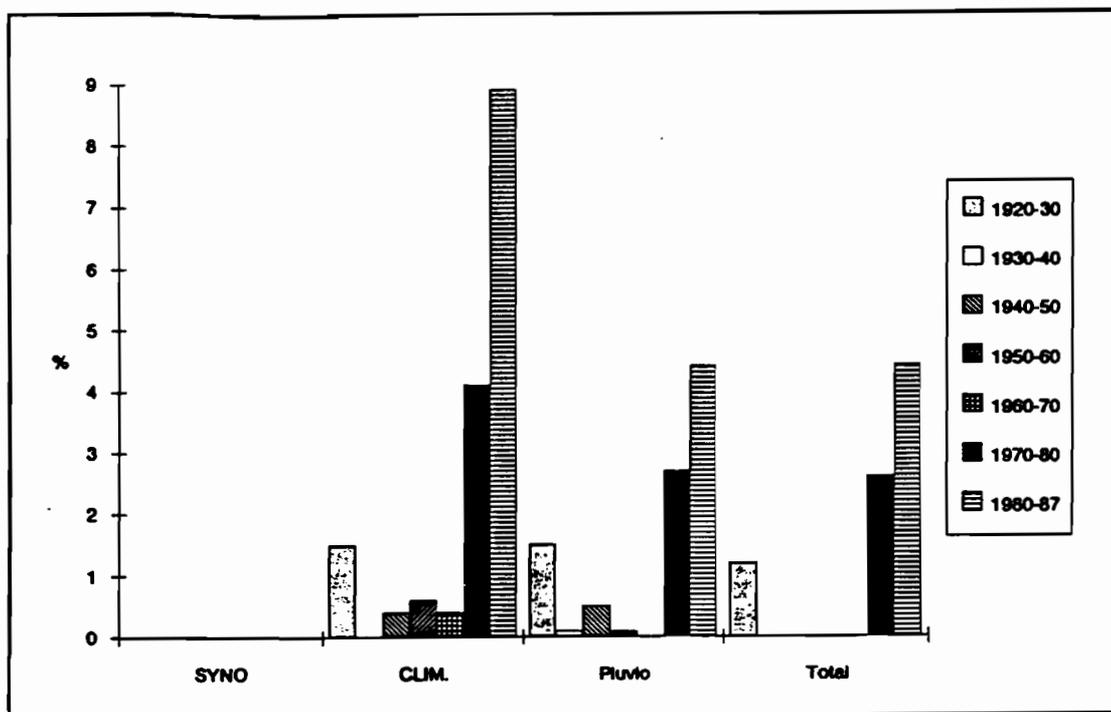


Figure 3.3.5 : Anomalies par type et par décennie

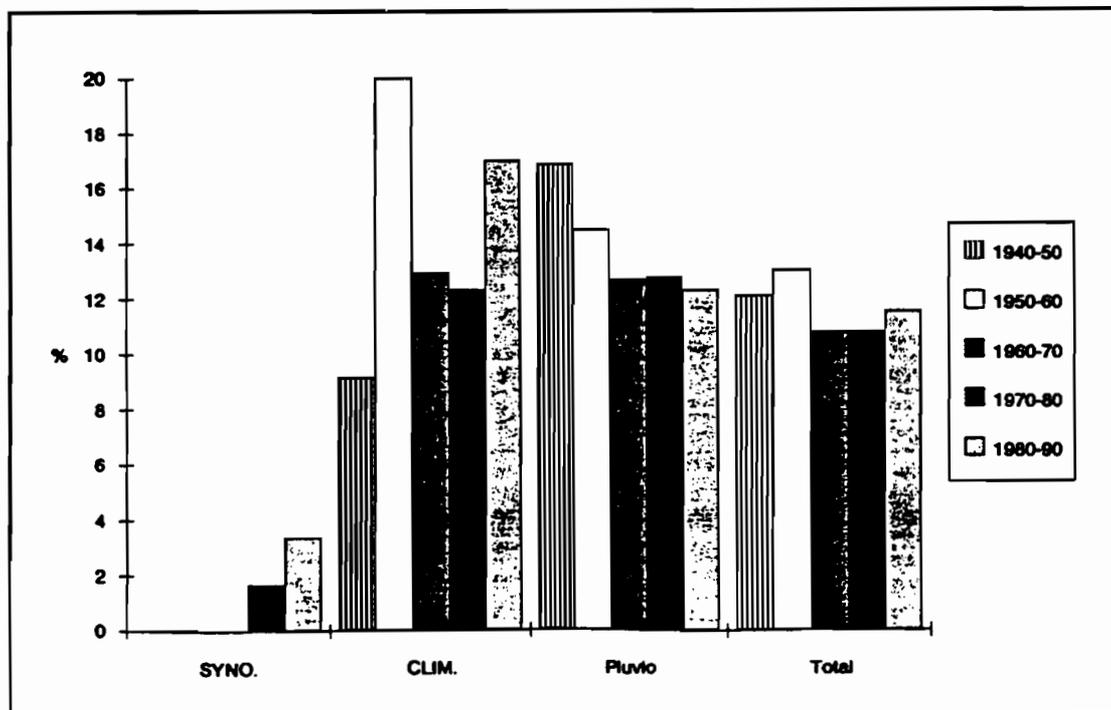


Tableau 3.3.6 - DECOMPTE DES ANOMALIES							
Type de station	N. années observées	1940-50 valeurs	1950-60 exprimées	1960-70 en %	1970-80 du	1980-90 total	Période 1940-1989
SYNO.	279	0	0	0	1,7	3,4	1,1
CLIM.	278	9,1	20,0	12,9	12,3	17,0	14,4
Pluvio	1092	16,9	14,5	12,7	12,8	12,3	13,6
total	1649	12,1	13,0	10,8	10,8	11,5	11,6

Le bilan est très net :

- . globalement, le nombre d'anomalies est faible : peu supérieur à 10 % ; c'est un résultat très correct en comparaison d'autres résultats observés pour des tests identiques dans des pays voisins ;
- . le nombre d'anomalies est pratiquement nul dans les séries des stations synoptiques ; l'excellente qualité de ces données, déjà détectée par l'absence de lacunes d'observation, est confirmée ;
- . il n'y a pratiquement pas de différence entre les stations climatologiques et les postes pluviométriques, qui semblent même présenter moins d'anomalies ;
- . il n'y a pas, contrairement à ce qui a été dit pour les lacunes, baisse de qualité au cours des deux dernières décennies ; l'histogramme correspondant à l'ensemble des données (abscisse "total") est très clair sur ce point.

Une simple réserve néanmoins : les 37 séries complétées de 1980 à 1989 n'ont pas été choisies arbitrairement par le SMN ; il s'agit probablement des séries les plus facilement "accessibles" et, sans doute, les meilleures. Le test n'est donc pas totalement significatif.

En conclusion, nous retiendrons pour la qualité des données pluviométriques, l'existence de nombreuses séries longues et homogènes, en particulier celles des 6 synoptiques. On notera aussi que la qualité des données des stations climatologiques n'est pas, a priori, meilleure que celle des postes pluviométriques. La qualité générale est bonne, la faiblesse actuelle résidant davantage dans un taux de lacunes croissant que dans une baisse de qualité de la mesure.

Figure 3.3.6

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE - MONTPELLIER

MVR - Méthode du Vecteur Régional

VECTEUR REGIONAL - RESULTATS

Edition du 14/04/1991

Région: 11113 BENIN CENTRE-SUD latitude entre 7°30' et 9°

Périodes: 1940/1989

Mois début de l'année hydrologique 01

	Date	Nombre d' observations	Indices annuels	Diff. cumulées	-4.0	-2.0	0.0	2.0	4.0
					I	I	I	I	I
1	1940	3	0.87493	-0.08101			*		
2	1942	3	0.80214	-0.30149			* I		
3	1943	4	0.81179	-0.51001			* I		
4	1944	4	1.08957	-0.42423			* I		
5	1945	5	0.94637	-0.47936			* I		
6	1946	5	0.65326	-0.90515		*	I		
7	1947	5	1.40219	-0.56712		*	I		
8	1948	5	0.79736	-0.79357		*	I		
9	1949	5	1.39783	-0.45865		*	I		
10	1950	5	1.02124	-0.43764		*	I		
11	1951	7	1.11942	-0.32483		*	I		
12	1952	7	1.20399	-0.13920		*	I		
13	1953	7	1.14671	-0.00230		*	I		
14	1954	7	0.85768	-0.15583		*	I		
15	1955	7	1.24307	0.06175		*	I		
16	1956	7	0.77719	-0.19033		*	I		
17	1957	7	1.21990	0.00844		*	I		
18	1958	7	0.74456	-0.28653		*	I		
19	1959	7	1.23053	-0.07909		*	I		
20	1960	7	1.28496	0.17164		*	I*		
21	1961	7	0.97336	0.14463		*	I*		
22	1962	7	1.30744	0.41270		*	I*		
23	1963	7	1.63634	0.90516		*	I*	*	
24	1964	7	0.87001	0.76591		*	I*	*	
25	1965	9	0.90598	0.66717		*	I*	*	
26	1966	9	1.06617	0.73124		*	I*	*	
27	1967	9	0.93014	0.65881		*	I*	*	
28	1968	9	1.25474	0.88573		*	I*	*	
29	1969	14	0.94512	0.82929		*	I*	*	
30	1970	14	0.80940	0.61782		*	I*	*	
31	1971	14	1.07651	0.69154		*	I*	*	
32	1972	14	0.84117	0.51858		*	I*	*	
33	1973	12	1.05038	0.56773		*	I*	*	
34	1974	12	1.02367	0.59112		*	I*	*	
35	1975	13	0.99647	0.58758		*	I*	*	
36	1976	12	0.76699	0.32230		*	I*	*	
37	1977	12	0.76362	0.05261		*	I*	*	
38	1978	13	0.99912	0.05173		*	I*	*	
39	1979	12	1.30304	0.31642		*	I*	*	
40	1980	12	1.00426	0.32067		*	I*	*	
41	1981	5	0.88130	0.19431		*	I*	*	
42	1982	5	0.82486	0.00176		*	I*	*	
43	1983	5	0.51960	-0.65295		*	I		
44	1984	5	0.94489	-0.70964		*	I		
45	1985	5	1.06087	-0.65055		*	I		
46	1986	5	0.82789	-0.83944		*	I		
47	1987	5	0.95684	-0.88356		*	I		
48	1988	5	1.20746	-0.69505		*	I		
49	1989	4	0.99210	-0.70298		*	I		

Valeur moyenne du vecteur: 1.00743

Point d'application | latitude: N 8°19'
virtuel du vecteur | longitude: E 2°10'

Figure 3.3.7

Vecteur de référence n° 1 de la région 11113 BENIN CENTRE-SUD entre 7°30' et 9° - période 1942-1989
 élaboré le 14/04/1991

Station: 1110012400 SAVE
 Mode unique: 1109.4 Amplitude: 0.221
 Test de proportionalité: 0.0770 Indice de qualité: 9.1/10 Test d'appréciation: 8.9/10
 Sur la période observée 1937/1989 (49) valeurs moyenne observée: 1103.6 moyenne calculée: 1117.7
 Sur la période du vecteur 1940/1989 (49) valeurs moyenne estimée: 1117.8
 Sur la période en étude 1940/1989 (49) valeurs moyenne estimée: 1117.7

Date	Valeurs		Ecart	Coeff. correct.	-4.5	-3.0	-1.5	0.0	1.5	3.0	4.5
	observ.	calcul.									
44	1940	1054.7	970.6	0.083	0.920						
45	1941		1109.4								
46	1942	847.1	889.9	-0.049	1.051						
47	1943	998.3	900.6	0.103	0.902						
48	1944	1200.7	1208.8	-0.007	1.007						
49	1945	883.6	1049.9	-0.172	1.188						
50	1946	718.3	724.7	-0.009	1.009						
51	1947	1306.5	1555.6	-0.175	1.191						
52	1948	892.5	884.6	0.009	0.991						
53	1949	1540.4	1550.8	-0.007	1.007						
54	1950	1122.9	1133.0	-0.009	1.009						
55	1951	1176.5	1241.9	-0.054	1.056						
56	1952	1157.8	1335.7	-0.143	1.154						
57	1953	1271.3	1272.2	-0.001	1.001						
58	1954	1002.2	951.5	0.052	0.949						
59	1955	1204.5	1379.1	-0.135	1.145						
60	1956	875.5	862.2	0.015	0.985						
61	1957	1223.5	1353.4	-0.101	1.106						
62	1958	629.2	826.0	-0.272	1.313						
63	1959	1356.6	1365.2	-0.006	1.006						
64	1960	1411.0	1425.5	-0.010	1.010						
65	1961	1076.8	1079.9	-0.003	1.003						
66	1962	1702.3	1450.5	0.160	0.852						
67	1963	1935.9	1815.4	0.064	0.938						
68	1964	823.8	965.2	-0.158	1.172						
69	1965	929.5	1005.1	-0.078	1.081						
70	1966	1139.7	1182.8	-0.037	1.038						
71	1967	1375.6	1031.9	0.287	0.750						
72	1968	1404.5	1392.0	0.009	0.991						
73	1969	874.0	1048.5	-0.182	1.200						
74	1970	1001.9	898.0	0.110	0.896						
75	1971	1169.3	1194.3	-0.021	1.021						
76	1972	971.6	933.2	0.040	0.960						
77	1973	1041.1	1165.3	-0.113	1.119						
78	1974	1158.2	1135.7	0.020	0.981						
79	1975	1107.5	1105.5	0.002	0.998						
80	1976	945.2	850.9	0.105	0.900						
81	1977	697.9	847.2	-0.194	1.214						
82	1978	1101.0	1108.4	-0.007	1.007						
83	1979	1455.1	1445.6	0.007	0.993						
84	1980	1102.6	1114.1	-0.010	1.010						
85	1981	982.0	977.7	0.004	0.996						
86	1982	684.8	915.1	-0.290	1.336						
87	1983	640.2	576.4	0.105	0.900						
88	1984	1205.0	1048.3	0.139	0.870						
89	1985	1174.4	1176.9	-0.002	1.002						
90	1986	919.4	918.5	0.001	0.999						
91	1987	1177.1	1061.5	0.103	0.902						
92	1988	1283.6	1339.6	-0.043	1.044						
93	1989	1121.3	1100.6	0.019	0.982						
Date	observ.	calcul.	Ecart	coeff. correct.							
	Valeurs			Coeff.	-4.5	-3.0	-1.5	0.0	1.5	3.0	4.5

Figure 3.3.8

VECTEUR ANNUEL - CRITIQUE DES STATIONS

Edition du 15/04/1991

Vecteur de référence n° 1 de la région 11113 BENIN CENTRE-SUD entre 7°30' et 9° - période 1942-1989
 élaboré le 14/04/1991

Station: 1110014500 TOUI
 Mode principal: 1005.8 Amplitude: 0.166
 Test de proportionalité: 0.1320 Indice de qualité: 7.7/10 Test d'appréciation: 7.3/10
 Sur la période observée 1945/1989 (40) valeurs moyenne observée: 1088.8 moyenne calculée: 1029.2
 Sur la période du vecteur 1940/1989 (49) valeurs moyenne estimée: 1013.5
 Sur la période en étude 1940/1989 (40) valeurs moyenne estimée: 1013.3

Date	Valeurs		Ecart	Coeff. correct.	Echelle de référence															
	observ.	calcul.			-4.5	-3.0	-1.5	0.0	1.5	3.0	4.5									
49	1945	901.7	951.9	-0.054	1.056				*	I										
50	1946	652.3	657.1	-0.007	1.007				+	I										
51	1947	742.2	1410.4	<u>-0.642</u>	1.900				@	I										
52	1948	796.5	802.0	-0.007	1.007				+	I										
53	1949	1432.8	1406.0	0.019	0.981				+	I										
54	1950	1042.7	1027.2	0.015	0.985				+	I										
55	1951	1212.9	1125.9	0.074	0.928				+	I										
56	1952	1413.4	1211.0	0.155	0.857 D				o	I										
57	1953	1403.6	1153.4	0.196	0.822 D				o	I										
58	1954	1167.9	862.7	0.303	0.739 D				o	I										
59	1955	1546.8	1250.3	0.213	0.808 D				o	I										
60	1956	945.1	781.7	0.190	0.827 D				o	I										
61	1957	1671.4	1227.0	0.309	0.734 D				o	I										
62	1958	949.0	748.9	0.237	0.789 D				o	I										
63	1959	1459.8	1237.7	0.165	0.848 D				I	o										
64	1960	1557.8	1292.5	0.187	0.830 D				I	o										
65	1961	985.5	979.0	0.007	0.993				I	+										
66	1962	1316.0	1315.1	0.001	0.999				I	+										
67	1963	2045.1	1645.9	0.217	0.805				I		+									
68	1964	1060.9	875.1	0.193	0.825				I		+									
69	1965	893.7	911.3	-0.019	1.020				I		+									
70	1966	1147.9	1072.4	0.068	0.934				I		+									
71	1967	980.2	935.6	0.047	0.954				I		+									
72	1968	1254.2	1262.1	-0.006	1.006				I		+									
73	1969	953.4	950.6	0.003	0.997				I		+									
74	1970	1035.2	814.1	0.240	0.786				I		+									
75	1971	805.5	1082.8	-0.296	1.344				I		+									
76	1972	769.6	846.1	-0.095	1.099				I		+									
77	1973	961.4	1056.5	-0.094	1.099				I		+									
78	1974		1029.6						I											
79	1975	1106.6	1002.3	0.099	0.906				I		+									
80	1976		771.5						I											
81	1977		768.1						I											
82	1978		1004.9						I											
83	1979		1310.6						I											
84	1980	918.5	1010.1	-0.095	1.100				I		+									
85	1981	900.3	886.4	0.016	0.985				I		+									
86	1982	752.0	829.7	-0.098	1.103				I		+									
87	1983	771.4	522.6	<u>0.389</u>	0.678				I		@									
88	1984	950.2	950.4	-0.000	1.000				I		+									
89	1985	1078.7	1067.1	0.011	0.989				I		+									
90	1986	717.9	832.7	-0.148	1.160				I		+									
91	1987	912.9	962.4	-0.053	1.054				I		+									
92	1988	1208.5	1214.5	-0.005	1.005				I		+									
93	1989	1130.8	997.9	0.125	0.882				I		+									

3.3.6 Disponibilités des données

Au fur et à mesure que les originaux des observateurs arrivent au siège du SMN, ils sont répertoriés, traités puis archivés. L'inventaire des originaux est donc régulièrement mis à jour. Les pluviogrammes ne connaissent pas le même sort puisqu'aucun effort n'a été fait jusqu'à présent pour inventorier les données pluviographiques.

Il faut également noter qu'à l'occasion de la publication des annales des précipitations journalières de l'origine des stations jusqu'à 1980, l'ORSTOM a constitué un important fichier de microfilms et un fichier magnétique disponible au CIEH, au SMN et au Service Hydrologique du Bénin (inventaire tableau 3.3.7). Ce fichier informatique est géré par le logiciel PLUVIOM de l'ORSTOM pour la gestion des banques de données pluviométriques et pluviographiques.

Les données relatives à la dernière décennie (1981/1990) ne sont pas encore saisies sur support informatique. Mais un effort est actuellement déployé au niveau du SMN pour saisir ces données avec le logiciel CLICOM dont nous avons parlé plus haut.

En résumé, au niveau du SMN, les données pluviométriques sont disponibles et facilement accessibles aux usagers soit sous forme de tableaux de synthèse, soit sous forme d'originaux d'observateurs et pour celles antérieures à 1981 sur support informatique ou sur microfiches depuis peu.

Tableau 3.3.7. : Inventaire des pluies journalières du fichier CIEH/ORSTOM

0000100	COTONOU AERO	39 ans : 1952-1980
0000300	AKLANKPA	13 ans : 1968-1980
0000400	ABOMEY	68 ans : 1921-1980
0000500	ABOMEY - CALAVI	5 ans : 1921-1925
0000600	ADJASSAGOU	4 ans : 1948-1951
0000700	ADJOHOUN (ADJOHON)	68 ans : 1921-1980
0000800	AGRIMEY	6 ans : 1942-1947
0000900	AGOUNA	21 ans : 1968-1980
0001000	ALLADA	67 ans : 1921-1980
0001100	ALFAKOARA	20 ans : 1969-1980
0001300	APLAHOUE	68 ans : 1921-1980
0001600	ATHIEME	53 ans : 1921-1973
0001900	BANIKOARA	35 ans : 1954-1988
0002200	BANTE	40 ans : 1942-1980
0002500	BASSILA	32 ans : 1950-1980
0002800	BEMBEREKE	61 ans : 1921-1980
0003100	BETEROU	29 ans : 1953-1980
0003300	BEZASSI	3 ans : 1954-1956
0003400	BIRNI	28 ans : 1953-1980
0003700	BOHICON	42 ans : 1940-1980
0004000	BONOU	17 ans : 1964-1980
0004300	BOPA	60 ans : 1921-1980
0004600	BOUKOMBE (BOUKOMBE)	59 ans : 1923-1980
0004800	COTONOU PORT	20 ans : 1969-1980
0004900	COTONOU VILLE	66 ans : 1910-1916, 1922-1980
0005200	DASSA-ZOUME	41 ans : 1941-1980
0005500	DJOUGOU	61 ans : 1921-1980
0005800	DOGBO-TOTA	28 ans : 1953-1980
0006000	GOUKA	13 ans : 1968-1980
0006100	GRAND-POPO	60 ans : 1921-1980
0006300	GUENE	14 ans : 1929-1942
0006400	INA	34 ans : 1947-1980
0006700	KALALE	25 ans : 1957-1980
0007000	KANDI	61 ans : 1921-1980
0007100	KARIMAMA	5 ans : 1976-1980
0007300	KEROU	21 ans : 1959-1977, 1979-1980
0007600	KETOU	32 ans : 1950-1980
0007800	KOKORO	12 ans : 1969-1980
0007900	KOUANDE	48 ans : 1931-1971, 1974-1980
0008000	LOKOSSA	2 ans : 1979-1980

TOTAL PARTIEL : 1381 ans - 40 Stations

Tableau 3.3.7 : Inventaire des pluies journalières du fichier CIEH/ORSTOM (suite)

0008200	LONKLY	26 ans : 1955-1980
0008500	MALANVILLE	40 ans : 1942-1980
0008800	NATITINGOU	61 ans : 1921-1980
0008900	N'DALI	3 ans : 1944-1946
0009100	NIAOULI	41 ans : 1941-1980
0009400	NIKKI	60 ans : 1921-1980
0009700	OKPARA	25 ans : 1956-1980
0009800	OUANDO	1 an : 1980
0010000	QUESSE	17 ans : 1964-1980
0010300	QUIDAH-VILLE	69 ans : 1921-1989
0010600	PARAKOU	64 ans : 1905-1906, 1910, 1921-1980,
0010700	PARTAGO	12 ans : 1969-1980
0010800	PENESSOULOU	12 ans : 1969-1980
0010900	POBE	61 ans : 1921-1980
0011000	PIRA	13 ans : 1968-1980
0011200	PORGA	17 ans : 1964-1980
0011500	PORTO-NOVO	76 ans : 1900-1911, 1917-1980
0011800	SAKETE	60 ans : 1921-1980
0012100	SAVALOU	51 ans : 1921-1940, 1950-1980
0012400	SAVE	61 ans : 1921-1980
0012700	SEGBANA	25 ans : 1954-1975, 1978-1980
0013000	SEME	38 ans : 1943-1980
0013100	SEMERE	11 ans : 1969-1979
0013300	TANGUIETA	45 ans : 1937-1980
0013600	TCHAOUROU	44 ans : 1937-1980
0013900	TCHETTI	17 ans : 1964-1980
0014200	TOFFO	29 ans : 1952-1980
0014500	TOUI	37 ans : 1944-1980
0014800	ZAGNANADO	60 ans : 1921-1980

TOTAL PARTIEL : 1076 ans, 29 Stations

TOTAL DU PAYS : 2457 ans, 69 Stations

TOTAL GENERAL : 2457 ans, 69 Stations

Chapitre 4

EAUX SUPERFICIELLES

4.1 Organisation et gestion

L'hydrologie de surface au Bénin a été confiée au Service Hydrologique de la Direction de l'Hydraulique. D'autres organismes nationaux ou régionaux interviennent aussi dans ce domaine de manière plus sectorielle.

4.1.1 Service de l'Hydrologie

4.1.1.1 Historique

C'est au cours des années cinquante, que le réseau hydrométrique Béninois fut installé par l'ORSTOM qui l'exploita jusqu'en 1976. De 1976 jusqu'en 1983, la Direction de l'Hydraulique (DH) de la République Populaire du Bénin (RPB), par manque de crédits et de personnel, ne put assurer sa gestion. En 1983, la situation était donc la suivante : un réseau hydrométrique à l'abandon et aucune donnée récente publiée, puisque les dernières annales hydrologiques dataient de 1965.

Conscient que cet état de fait rendait difficile toute planification de l'exploitation des ressources en eaux, le gouvernement créait alors, au sein de la Direction de l'Hydraulique, le Service de l'Hydrologie.

Selon le décret l'instituant :

"Le Service de l'Hydrologie est chargé de toutes les questions relatives aux eaux de surface. A ce titre, il effectue :

- . *l'inventaire des plans d'eau,*
- . *la mise en place et l'exploitation du réseau hydrométrique national,*
- . *la collecte, le traitement, le stockage et la diffusion des données (annuaire hydrologique national),*
- . *l'analyse statistique des observations,*
- . *la prévision des crues et des étiages.*

Il est chargé des études d'aménagements hydrauliques (retenues, barrages, etc.).

Il autorise la réalisation de tous projets pouvant entraîner une modification du régime hydrologique des cours d'eau."

Pour rendre opérationnel ce service, réhabiliter le réseau, et traiter les données anciennes, le gouvernement Béninois demandait et obtenait l'aide de la République Française. Ce fut l'objet de trois projets FAC successifs (193/CD/84, 283/CD/86, 269/CD/88). Ces projets ont permis de rendre performant le Service Hydrologique, de réhabiliter et automatiser le réseau en généralisant l'utilisation du système ARGOS, de mettre en place une banque informatisée de données hydrologiques.

4.1.1.2 Situation actuelle du Service de l'Hydrologie

Le Service de l'Hydrologie (SH) dépend de la Direction de l'Hydraulique (DH) du Ministère de l'Équipement et des Transports (MET). Il dispose de ses propres locaux dans le quartier Akpakpa à Cotonou où est présent l'ensemble du personnel. Il se compose d'un secrétariat et de deux divisions (figure 4.1.1).

Une division "HYDROMETRIE" qui a deux domaines d'activité complémentaires :

1. La *gestion du réseau hydrométrique*, à savoir :

- . l'installation et la maintenance des stations,
- . l'entretien du matériel de mesure,
- . la réalisation des jaugeages,
- . la réception et l'archivage des données brutes.

2. Le *traitement de l'information*, à savoir :

- . la saisie et le traitement informatique des données de base,
- . le contrôle et la validation des données,
- . l'établissement et la mise à jour des courbes d'étalonnage,
- . le calcul et la diffusion des données élaborées.

Une division "ETUDES" chargée de mener différentes études hydrologiques soit d'intérêt méthodologique soit pour des projets d'aménagement.

Depuis 1986, cette division a réalisé quatre études ; il s'agit :

- . en 1986, pour le programme OCP, de l'étalonnage et du suivi de cinq stations hydrométriques ;

- . en 1988, pour le compte du bureau d'études belge TRACTEBEL, de l'équipement et du suivi pendant une année, du bassin versant de la Yeripao à Pouya afin d'en évaluer les potentialités hydroélectriques ;
- . en 1989 dans le cadre du projet "Promotion de l'Elevage dans le Zou", de l'installation et du suivi de trois stations hydrométriques ;
- . en 1990 et 1991, pour le compte du groupement de bureaux d'études COYNE & BELLIER/EDF International, d'une participation à l'étude hydrologique de l'Ouémé, en vue d'établir un "schéma optimal d'équipement hydroélectrique" de ce fleuve.

4.1.2 Autres organisations

4.1.2.1 Projet OCP

Le programme OCP (Onchocerciasis Control Program) est un projet de l'OMS. Il a pour objectif de contrôler l'onchocercose en Afrique de l'Ouest. Cette maladie débilitante est due à la prolifération dans le corps humain de microfilaries qui peuvent envahir le globe oculaire et ainsi provoquer la cécité. Elle est transmise par une petite mouche (*Simulium damnosum*) qui à l'état larvaire se développe dans les zones à courant relativement rapide des rivières. Ceci explique que cette maladie existe à l'état endémique le long des fleuves africains, d'où le nom qui lui est parfois donné de "cécité des rivières". Une des stratégies de lutte qui est suivie par l'OCP depuis plus de 15 ans consiste à rompre la transmission en s'attaquant au vecteur par des épandages aériens d'insecticides sur les gîtes larvaires qui sont facilement localisables. Pour doser les quantités de produit à épandre, l'OCP a donc besoin de connaître le débit aux moments et aux lieux d'injection. Sur sa zone d'intervention, l'OCP a donc financé l'installation de stations hydrométriques et leur étalonnages, et a mis en place un réseau de balises ARGOS pour pouvoir disposer des données en temps réel.

Au Bénin, en association avec le SH, l'OCP a installé 5 stations limnigraphiques dotés de balises ARGOS. Ces stations ont été intégrées au réseau hydrométrique national. Une brigade hydrologique basée à Kara au Togo assure des tournées régulières de maintenance et de jaugeages. Les données télétransmises sont reçues à Kara et sont archivées.

Le SH et la base OCP de Kara s'efforcent d'harmoniser leurs interventions sur le réseau par des échanges permanents d'informations et par une réunion annuelle de concertation.

4.1.2.2 Projet HYDRONIGER

Pour aider à la gestion du fleuve Niger, le PNUD et l'OMM ont lancé en 1978 le projet HYDRONIGER, sous l'égide de l'Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN). Dans le cadre de ce projet, a été mis au

point un modèle mathématique du fleuve Niger et a été installé un réseau de limnigraphes dotés de balises ARGOS, pour permettre l'utilisation, en temps réel, du modèle. Les données télétransmises sont reçues, d'une part, au Centre International de Prévisions (CIP), basé à Niamey, et d'autre part dans les Centres nationaux de Prévisions (CNP), implantés dans chacun des neuf états de l'ABN. La maintenance des stations est assurée par les services nationaux avec l'appui logistique et technique du projet.

Au Bénin, 2 balises ARGOS ont été installées, l'une sur le Niger, l'autre sur l'Alibori. Le CNP et le SH forment une même structure.

La concertation se fait par des contacts directs au cours des tournées que font les hydrologues du CIP, et lors des réunions du Comité Technique du projet.

4.1.2.3 Université Nationale du Bénin (UNB)

A l'initiative de quelques chercheurs de l'UNB, était créé en 1978, le "Groupe de recherche Lagunes et Mangroves". Ce groupe a étudié de façon pluridisciplinaire les systèmes lagunaires du Sud-Bénin, et a collecté une masse importante de données concernant l'hydrologie, la sédimentologie et la salinité des lagunes et lacs côtiers.

Depuis 1987, par manque de moyens et à la suite du départ de certains de ses membres, les activités de ce groupe se sont considérablement réduites.

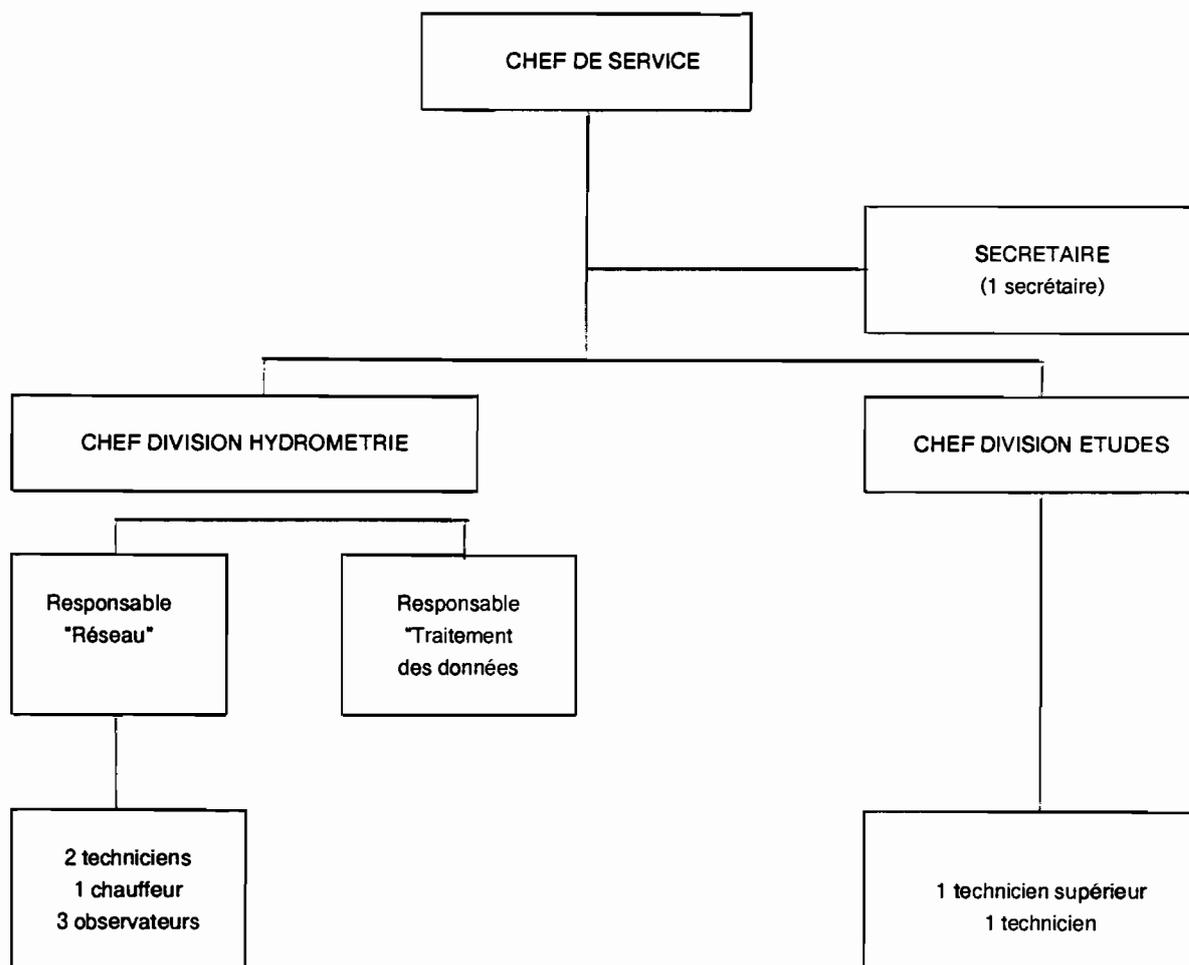
4.1.2.4 Port Autonome de Cotonou (PAC)

Le Service Hydrographique du PAC est chargé des études côtières, de celles concernant le système lagunaire, notamment la régulation mer-lagune.

Il gère le marégraphe de Cotonou dont les données sont publiées sous forme d'annuaires.

4.1.3 Personnel et formation

L'organigramme du Service de l'Hydrologie est le suivant :



Dans le prolongement du projet FAC n°269/CD/88, la Direction de l'Hydraulique (DH) bénéficie du soutien d'un expert français qui joue le rôle de conseiller auprès des chefs des services de l'Hydrologie, et des Etudes d'Hydrogéologie.

4.1.3.1 Formation de base

Le niveau de formation des personnels identifiés sur l'organigramme est le suivant :

- . *Chef de service* : ingénieur hydraulicien (EIER de Ouagadougou) complété par un diplôme post-grade en hydrologie (EPFL de Lausanne).
- . *Chef de la division "HYDROMETRIE"* : ingénieur hydraulicien (Université P. LUMBUMBA de Moscou).

- . *Chef de la division "ETUDES"* : ingénieur d'équipement rural (Université de Nankin).
- . *Responsables du réseau et du traitement des données* : Diplôme Universitaire en hydrologie appliquée au développement (Université de Montpellier/ORSTOM).
- . *Technicien Supérieur* de la division "ETUDES": diplôme de TS en hydrologie du centre AGRHYMET de Niamey.
- . *Techniciens hydrologues* des divisions "ETUDES" et "HYDROMETRIE" : BEPC.
- . *Secrétaire* : DAP.

4.1.3.2 Formation continue

Au cours des trois projets FAC successifs déjà évoqués, l'ensemble du personnel a reçu une formation sur le tas, de la part des ingénieurs de l'ORSTOM affectés à ces projets.

En outre, les ingénieurs et les techniciens supérieurs du service ont pu suivre à Cotonou, 2 stages, de 15 jours chacun, organisés par l'ORSTOM :

- . le premier portait sur l'utilisation du système ARGOS en hydrologie (description du système, des modes de codages, des plates-formes de collectes et des stations de réception, maintenance, etc.) ;
- . le second portait sur l'utilisation du logiciel HYDROM de l'ORSTOM pour la gestion de données hydrologiques.

Plusieurs personnes du service ont également pu suivre des sessions de formation à l'étranger :

- . Le chef de service, un stage sur "la gestion des grands systèmes d'eau", organisé par le CEFIGRE à Dakar, et un stage sur le système ARGOS et son utilisation en hydrologie, organisé par la société CEIS-ESPACE à Toulouse.
- . Le chef de la division "Etudes", un stage sur la gestion des ressources en eau et environnement, organisé par le CEFIGRE à Niamey.
- . Le responsable du réseau, un stage sur "l'utilisation des technologies nouvelles en hydrologie", organisé par l'ORSTOM à Montpellier, et un stage auprès de CEIS-ESPACE, à Toulouse, pour se former à la maintenance des limnigraphes à télétransmission ARGOS développés par cette société, seule ou en association avec ELSYDE.

- . Le responsable du traitement des données, un stage sur "l'utilisation des technologies nouvelles en hydrologie", organisé par l'ORSTOM à Montpellier.
- . Le technicien de la division Etudes, en stage sur "l'utilisation des technologies nouvelles en hydrologie", organisé par l'ORSTOM à Montpellier.

4.1.4 Budget (Hors Personnel)

De 1985 à 1990, le SH s'est équipé et a pu fonctionner presque exclusivement grâce au soutien des projets FAC.

Tableau 4.1.1 - MONTANT FINANCIER DES PROJETS FAC		
N° Projet FAC	Investissements SH (M.CFA)	Fonctionnement (M.CFA)
193/CD/84	19,0	27,5
283/CD/86	41,9	20,0
269/CD/88	43,0	14,3
Total	103,3	61,8

Le budget d'investissement présenté dans le tableau 4.1.1 a permis :

- . de réhabiliter les stations du réseau et d'équiper 15 d'entre elles de limnigraphes dotés de balises ARGOS,
- . de moderniser la station de réception (SRD) ARGOS implantée au SH par le projet HYDRONIGER afin qu'elle puisse recevoir tous les types de messages émis par les balises et stocker les données sur support informatique,
- . d'aménager les locaux du service,
- . d'équiper le SH en véhicules (3) et en matériel hydrométrique, informatique et de bureau.

Le budget de fonctionnement présenté a lui, été utilisé par les deux services, de l'hydrologie et des études hydrogéologiques, sans qu'il soit possible de séparer les sommes dépensées par chacun d'entre eux.

Le soutien financier du FAC arrivera à son terme à la fin du premier semestre 1991. Le budget annuel dont devra alors disposer le SH, pour pouvoir gérer le réseau hydrologique et assurer le fonctionnement du siège, a été évalué par L. LE BARBE à 15,46 M.CFA, dont 6,18 M.CFA d'équipement et 9,28 M.CFA de fonctionnement.

La modestie de ce budget, dont le détail est donné sur le tableau 4.1.2, a été rendue possible par la généralisation sur le réseau du système ARGOS, ce qui a permis de réduire de 11 à 4 le nombre annuel de tournées sur le terrain et ainsi de faire des économies substantielles.

D'après L. LE BARBE, il serait illusoire de penser que le SH puisse par des prestations de services, dégager les ressources nécessaires. C'est pourquoi il préconise que l'état Béninois inscrive à son budget une ligne "exploitation du réseau hydrométrique" de 15,5 M.CFA par an qui seraient attribués au SH. Cette somme correspondrait à la mission de "service public" que constitue la collecte des données hydrologiques sur le réseau hydrométrique national. En revanche, la fourniture des données et les études particulières que seraient amené à faire le SH, seraient facturées aux clients. L. LE BARBE évalue respectivement à 0,7 M.CFA et 5 M.CFA les recettes annuelles correspondant à chacune de ces deux prestations.

Pour l'instant le SH n'a pas de budget propre et ne peut donc faire face aux investissements indispensables. Si cette situation se prolongeait, il est certain que le réseau hydrométrique national se dégraderait très rapidement.

4.2 Données hydrologiques

4.2.1 Réseau hydrométrique

4.2.1.1 Historique

Depuis 1942, année où fut installée la première station hydrométrique au Bénin, l'Ouémé à Save, la collecte de données hydrologiques ne s'est pas fait toujours avec la même intensité. Il en découle un manque d'homogénéité, tant dans le volume que dans la qualité des données récoltées. On peut schématiquement distinguer 4 périodes :

- 1942-1951 : **LA PREHISTOIRE**

C'est au cours de cette période que furent installées les premières stations hydrométriques : en 1942, l'Ouémé à Save et les stations de Cotonou et de Porto-Novo sur les lagunes ; en 1944, le Mono à Athiémé ; en 1948, les stations sur l'Ouémé d'Adjohoun, Affamé, Bonou et Hetin-Sota.

Plusieurs services assuraient l' exploitation de ces stations, notamment la direction des TP du Dahomey, et la régie des chemins de fer Bénin-Niger. Dans la plupart des cas, les relevés étaient hebdomadaires et limités à la période des hautes eaux. La majorité des observations a été perdue et les données disponibles à l'heure actuelle sont très fragmentaires.

Tableau 4.1.2 - BUDGET ANNUEL DU SERVICE DE L'HYDROLOGIE PART DE L'ETAT (en k.CFA)	
1. BUDGET D'EQUIPEMENT	
1.1 <u>Gestion du réseau</u>	
. matériel implanté sur les stations	3540
. matériel de jaugeage	240
. véhicules	1400
Total 1.1	5180
1.2 <u>Siège</u>	
. matériel de bureau et d'informatique	1000
TOTAL 1	6180
2. BUDGET DE FONCTIONNEMENT	
2.1 <u>Gestion du réseau</u>	
. abonnement au système ARGOS	1400
. consommables	600
. essence et lubrifiant	680
. entretien des véhicules	560
. frais de déplacement	1000
. main-d'oeuvre temporaire et lecteurs d'échelle	260
Total 2.1	4500
2.2 <u>Siège</u>	
. eau et électricité	980
. frais postaux	600
. contrat de maintenance informatique	600
. essence	500
. fournitures (administration et informatique)	600
. frais de mission (réunions internationales)	400
. voyages (missions internationales)	300
. frais édition d'annuaires et rapports	600
. documentations	200
Total 2.2	4780
TOTAL 2	9280
SOIT UN BUDGET ANNUEL DE : 15 460 M.CFA	

. **1951-1976 : L'AGE D'OR**

En 1951 débutaient les travaux de la Mission de l'Ouémé. Cette mission organisée par le Service de l'Hydraulique de l'AOF, était chargée des études nécessaires à la mise en valeur de la vallée de l'Ouémé et devait notamment "rassembler tous les éléments de base hydrologiques, topographiques, agrologiques, indispensables à une étude sérieuse du problème".

Etant chargé des études hydrologiques par la Mission de l'Ouémé, l'ORSTOM s'implanta cette année là au Bénin. L'ORSTOM ne limita pas ses travaux d'inventaire des ressources en eaux superficielles à la seule vallée de l'Ouémé mais les étendit à l'ensemble du pays. Et jusqu'en 1976, l'ORSTOM joua, en pratique, le rôle d'un service hydrologique national.

Durant cette période, 48 stations furent installées dont 11 sur le delta de l'Ouémé. Les données collectées sur ce réseau sont constitués essentiellement de relevés journaliers ou bi-journaliers de hauteurs d'eau et d'un nombre significatif de jaugeages. Seuls trois sites ont été équipés de limnigraphes, l'Ouémé à Save, la Mekrou à Barou et la Sota à Gbasse, respectivement en 1965, 1961 et 1962.

C'est également au cours de cette période que furent menées des études sur bassins versants représentatifs dans les régions de Boukoumbé, de Djougou et de Dassa-Zoumé.

Les données étaient centralisées par l'ORSTOM et sont actuellement disponibles au SH du Bénin.

Au cours de ces années, plusieurs synthèses furent publiées. Nous citerons notamment :

- La MONOGRAPHIE DE L'OUEME SUPERIEUR, de J. RODIER et J. SIRCOULON, éditée par l'ORSTOM en 1963.
- La MONOGRAPHIE DU DELTA DE L'OUEME, de J. COLOMBANI, J. SIRCOULON, F. MONIOD et J. RODIER, éditée par l'ORSTOM en 1972.
- "ETUDES HYDROLOGIQUES DE PETITS BASSINS VERSANTS AU DAHOMEY", édité par l'ORSTOM en 1960.

. 1976-1985 : **LE DECLIN**

En 1976, l'ORSTOM se désengagea de la gestion du réseau et la République du Bénin ne put, faute de moyens, assurer la relève. Les observateurs ne furent plus payés qu'épisodiquement et presque plus aucune tournée d'entretien et de jaugeages ne fut faite. Il s'en est suivi de nombreuses lacunes dans les données et une très grande incertitude sur les tarages. Cette situation dura jusqu'en 1985, année où débuta le soutien du FAC au SH créé en 1983.

C'est durant cette période que démarra au Bénin l'intervention du programme OCP. Six nouvelles stations limnigraphiques furent installées en 1981, sur le haut bassin de l'Ouémé. Il s'agit de l'Ouémé à Affon, de l'Alpouro à Gourou, du Yerou-Marou à Barerou, de la Terou à la cote 238, de la Beffa à Vossa (ancienne station abandonnée), de l'Adjiro à Banon. L'OCP était surtout préoccupé par les courbes de tarage à ces stations, qui lui permettaient de doser les insecticides au moment de leur épandage, et n'archivait pas les enregistrements des hauteurs

d'eau. En 1985, ces six stations furent intégrées au réseau national. Ceci explique que pour ces stations l'on dispose actuellement de la totalité des jaugeages, mais qu'en revanche les données de hauteurs d'eau antérieures à 1985 sont très fragmentaires.

1985-1991 : LA RENAISSANCE

Pour remédier à la situation décrite précédemment, la République du Bénin créait le Service Hydrologique en 1983 et demandait un soutien au FAC pour former son personnel, réhabiliter le réseau, traiter les données anciennes et réaliser une synthèse sur les ressources en eaux superficielles du pays. Ce fut l'objet des trois projets FAC déjà présentés au paragraphe 4.1.1, dont le premier débuta en 1985.

En ce qui concerne la réhabilitation du réseau, pour éviter que la situation de 1976 ne se reproduise à l'issue des projets, il est apparu nécessaire de réduire au maximum les coûts de sa gestion. Il a donc été décidé, d'une part, de ne garder que les stations les plus rentables, c'est-à-dire celles dont le coût d'exploitation était le moins élevé et celles qui correspondaient à un besoin exprimé ou prévisible, et d'autre part, de généraliser l'emploi du système ARGOS déjà introduit au Bénin par les projets HYDRONIGER et OCP. Cela a abouti au réseau actuel qui se compose de 33 stations, 26 contrôlant des écoulements et 7 les hauteurs d'eau dans le domaine paraliq méridional ; 22 stations sont dotées de balises ARGOS.

Dans le cadre de ces projets toutes les données antérieures à 1984 ont été critiquées et transférées dans une banque informatisée, gérée par le logiciel HYDROM de l'ORSTOM. Cette banque est actuellement implantée au SH et remise à jour régulièrement.

En mars 1986, l'ORSTOM a publié les annales hydrologiques allant de l'origine des stations à l'année 1984 (4 volumes).

En décembre 1987, était édité par l'ORSTOM, le rapport "Historiques, descriptions et étalonnages des stations hydrométriques de la République Populaire du Bénin", de L. LE BARBE et Y. BOREL.

Dans le courant de l'année 1991, sortira dans la collection "Monographies hydrologiques" de l'ORSTOM un ouvrage intitulé "Les ressources en eaux superficielles du Bénin", de L. LE BARBE, G. ALE et al, faisant la synthèse des données tant pluviométriques qu'hydrométriques collectées avant 1985, et proposant une estimation des régimes hydropluviométriques sur l'ensemble du pays et pas seulement aux seuls sites observés.

CONCLUSION

L'historique que nous venons de faire, facilite la lecture des tableaux 4.2.1 et 4.2.2, où sont listés les sites de stations en service au 31/12/1990 et les sites de celles qui ont été abandonnées lors de la

récente phase de modernisation. Il explique en grande partie, l'inventaire des données disponibles, dressé dans le tableau 4.2.7, station par station et décennie par décennie.

Les cartes 4.2.1 et 4.2.2 donnent la situation géographique du réseau hydrométrique actuel et celui des stations abandonnées.

Dans les listes des stations hydrométriques, on trouvera portés les renseignements suivants :

- . le numéro de la station selon la codification adoptée par l'ORSTOM,
- . les noms de la rivière et de la station,
- . les coordonnées géographiques du site,
- . la superficie du bassin contrôlé (blanc si elle est inconnue),
- . le type de la station selon le code suivant :
 - S = ouvrage (déversoir par exemple),
 - C = canal à ciel ouvert,
 - D = barrage,
 - R = aucun aménagement,
 - L = lagunes, lac ou delta,
- . l'équipement (EQUIP.) selon le code suivant :
 - 1 = échelle limnimétrique seulement,
 - 2 = limnigraphe seulement,
 - 3 = échelle limnimétrique et limnigraphe,
 - 4 = 3 + balise ARGOS,
- . la présence (O) ou l'absence (N) d'observateur,
- . les années d'ouverture et de fermeture de la station,
- . la gamme des débits mesurés (DEBIT) selon le code suivant :
 - 1 = débits d'étiage uniquement,
 - 2 = gamme complète de débits,
- . le statut de l'étalonnage (ETAL) selon le code suivant :
 - 1 = stable,

- 2 = instable,
- 3 = affecté par le remous ou la marée,
- 4 = combine 2 et 3,

- . la période approximative (en années), quand elle peut être estimée, du maximum jaugé.

Le tableau d'inventaire des données disponibles est donné au chapitre 4.2.7. Il donne, pour chaque station et pour chaque décennie, le rapport, exprimé en pourcentage, entre la somme des périodes pour lesquelles on dispose de données, et la durée totale d'observation.

4.2.1.2 Réseau hydrométrique actuel

Le réseau actuel se compose de 33 stations. Deux d'entre elles seulement ne sont pas équipées de limnigraphe. Il s'agit de l'Ouémé à Hetin-Sota, sur le delta, et de la Wéwé à Wéwé. A la première, les variations des hauteurs d'eau sont suffisamment lentes pour être correctement suivies par les relevés quotidiens que fait le lecteur. Par contre, il n'en est pas de même pour la seconde qui contrôle un bassin de 293 km², et où les crues sont brèves.

22 stations sont équipées de balises ARGOS. Cela assure une grande sécurité dans la collecte des données puisque les hauteurs d'eau sont à la fois enregistrées au niveau du limnigraphe, et télétransmises, en moyenne 4 à 6 fois par jour, vers la station de réception (SRD) du SH qui les archive automatiquement dans la banque de données.

Le réseau hydrométrique Béninois a trois fonctions principales :

- . contrôler les régimes hydrologiques des grands fleuves du pays où sont localisés la plupart des aménagements hydrauliques qu'ils soient déjà réalisés ou en projet,
- . permettre une estimation des régimes sur les rivières de moindre importance,
- . assurer le suivi hydrologique des lacs, lagunes et deltas du Sud du pays.

Partant de ces trois objectifs, on peut évaluer l'efficacité du réseau de la façon suivante :

A. LE CONTROLE DES GRANDS FLEUVES

Il s'agit du Niger et des basses vallées de la Pendjari, de l'Ouémé et du Mono :

Tableau 4.2.1

Inventaire des stations hydrométriques en service au 31/12/1990

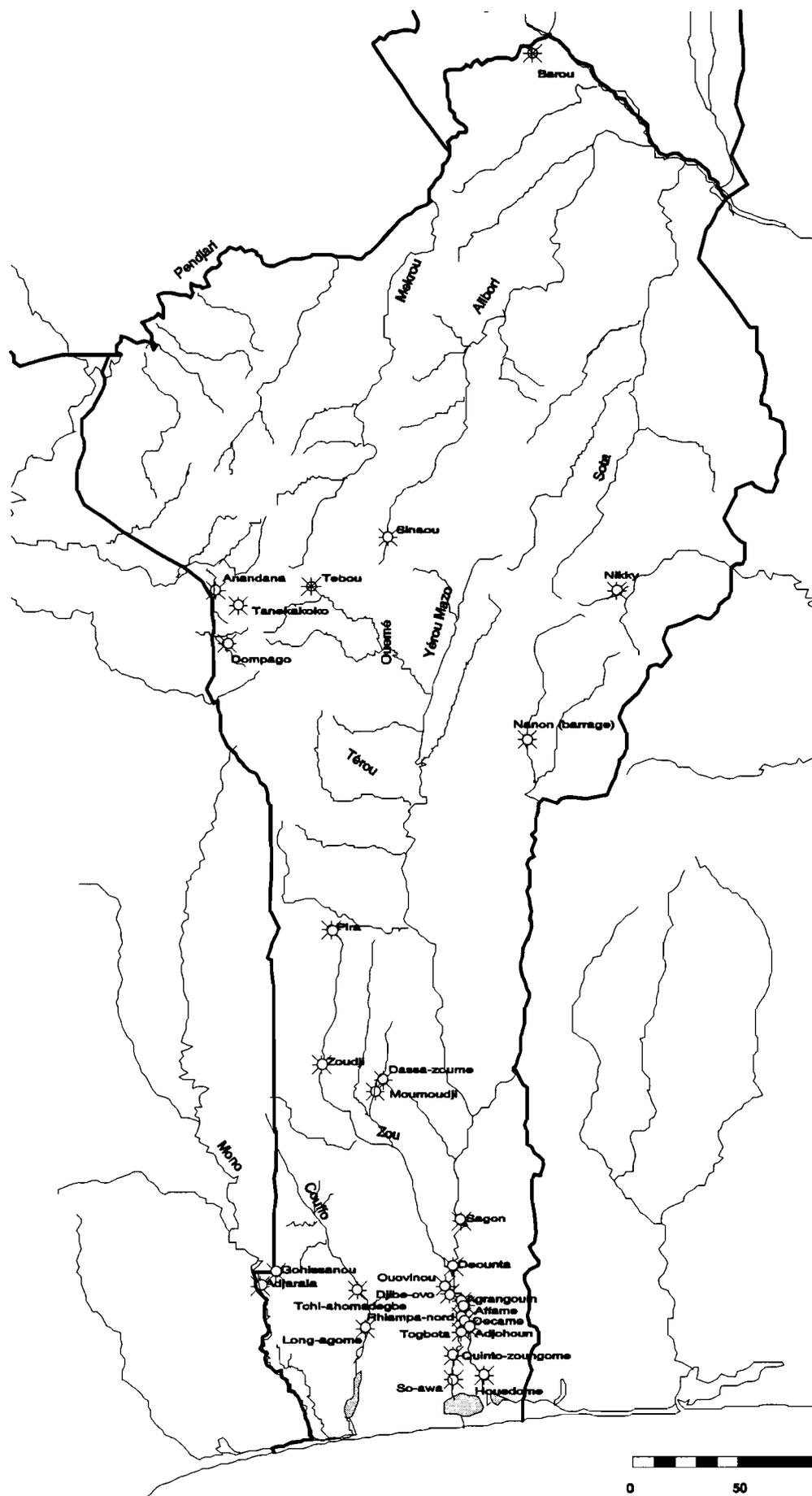
NUMERO	RIVIERE	STATION	Latitude en DD.MM.SS (nord)	Longitude en DD.MM.SS (est)	SURFAC E du B.V. en km ²	T Y P E	E Q U I P .	O B S E R .	DEBUT	FIN	D E B I T	E T A L .	Pér de Ret Max - ans
** BASSIN DU NIGER													
1111500104	NIGER	MALANVILLE	11.52.00	03.23.00	10 ⁶	R	4	O	1952	....	2	4	5
1111501103	ALIBORI	Rte KANDI-BANIKOARA	11.14.00	02.39.00	8170	R	4	N	1952	....	2	1	2
1111501304	MEKROU	KEROU	10.52.00	02.02.00	3487	R	4	N	1988	....	2	1	
1111501306	MEKROU	KOMPONGOU	11.24.00	02.11.00	5700	R	4	N	1960	....	2	1	6
1111501503	SOTA	COUBERI	11.45.00	03.20.00	13410	R	4	N	1953	....	2	4	5
1111501507	SOTA	GBASSE	10.59.00	03.15.00	8298	R	4	N	1952	....	2	1	2
1111504003	IRANE	KOUTAKOUKROU	11.03.00	03.03.00	1250	R	4	N	1953	....	2	1	20
** BASSIN DE LA VOLTA													
1112702003	PENDJARI	PORGA	11.03.00	00.58.00	22280	R	4	O	1952	....	2	1	2
1112704003	KAGOU	TIELE	10.43.00	01.12.00	836	R	3	N	1961	....	2	1	2
** BASSIN DU COUFFO													
1113501003	COUFFO	LANTA	07.06.00	01.53.00	1680	R	4	N	1951	....	2	2	3
1113509103	LAC AHENE	GUEZIN	06.23.00	01.57.00	3948	L	3	N	1951	....		
** BASSIN DE LA MONO													
1114000105	MONO	AGBANAKIN	06.17.00	01.49.00	21900	L	3	N	1965	....		
1114000107	MONO	ATHIEME	06.23.00	01.40.00	21475	R	4	N	1944	....	2	1	4
** BASSIN DE L'OUEME													
1114500104	OUEME	AFFON	09.45.00	02.06.00	1165	R	4	N	1981	....	2	1	
1114500105	OUEME	BETEROU	09.12.00	02.16.00	10326	R	4	N	1952	....	2	1	5
1114500107	OUEME	BONOU	06.54.00	02.27.00	46990	L	4	N	1948	....	2	2	4
1114500113	OUEME	HETIN-SOTA	06.36.00	02.30.00		L	1	O	1948	....	2	4	
1114500118	OUEME	ZANGNANADO	07.13.00	02.28.00	37852	R	4	N	1986	....	2	1	5
1114500119	OUEME	SAVE	08.00.00	02.25.00	23600	R	4	N	1942	....	2	1	3
1114500405	ADJIRO	BANON	08.34.00	01.56.00	1408	R	4	N	1981	....	2	1	
1114501002	ZOU	ATCHERIGBE	07.32.00	02.02.00	6950	R	4	N	1951	....	2	1	3
1114501005	ZOU	DOME	07.07.00	02.20.00	8210	R	4	N	1952	....	2	2	2
1114501103	OKPARA	KABOUA	08.15.00	02.43.00	9600	R	4	N	1951	....	2	1	4
1114501302	BEFFA	VOSSA	08.30.00	02.21.00	1870	R	4	N	1953	....	2	1	
1114501405	ALPOURO	GOUROU	09.45.00	02.24.00	1607	R	4	N	1981	....	2	1	
1114501505	WEVE	WEVE	09.23.00	02.06.00	293	R	1	O	1961	....	2	1	2
1114501603	TEROU	COTE 238	09.05.00	02.05.00	3133	R	4	N	1981	....	2	1	
1114501803	YEROU-MARO	BAREROU	09.21.00	02.22.00	2162	R	4	N	1981	....	2	1	
1114503303	AGBADO	SAVALOU	07.55.00	02.00.00	1280	D	3	N	1952	....	2	1	
1114506504	KLOU	LOGOZOHE	07.53.00	02.07.00	300	S	3	N	1952	....	1	1	6
1114509402	LAGUNE	PORTO-NOVO	06.27.00	02.38.00		L	3	N	1942	....		
1114509403	LAGUNE	COTONOU	06.21.00	02.27.00		L	3	N	1942	....		
** BASSIN DE LA SAZUE													
1115001003	SAZUE	SAZUE	06.19.00	01.51.00		L	3	N	1965	....		

Tableau 4.2.2

Inventaire des stations hydrométriques abandonnées

NUMERO	RIVIERE	STATION	Latitude en DD.MM.SS (nord)	Longitude en DD.MM.SS (est)	SURFACE du B.V. en km ²	T Y P E	E Q U I P	O B S E R	DEBUT	FIN	D E B I T	E T A L	Pér de Ret Max - ans
** BASSIN DU NIGER													
1111501303	MEKROU	BAROU	12.21.00	02.45.00	10500	R	3	O	1961	1979	2	1	4
1111503503	DAROU	SINAOU	10.10.00	02.12.00	60	R	1	O	1954	1952	2	2	
1111508003	SORA	NIKKY	09.56.00	03.09.00	120	R	1	O	1954	1958	1	2	
** BASSIN DE LA VOLTA													
1112706303	BINAHO	DOMPAGO	09.42.00	01.27.00	62	R	1	O	1954	1985	2	2	
1112706802	DONENGA	ANANDANA	09.56.00	01.24.00	138	R	1	O	1953	1959	1		
1112708003	TANEKA	TANEKAKOKO	09.52.00	01.30.00	11	R	1	O	1961	1985	1	2	
** BASSIN DU COUFFO													
1113501005	COUFFO	LONG AGOME	06.43.00	02.03.00	2990	R	1	O	1954	1958	1	1	
1113501009	COUFFO	TCNI-AHOMAGDEGEBE	06.53.00	02.01.00	2422	R	1	O	1952	1958			
** BASSIN DE LA MONO													
1114000103	MONO	ADJARALA	06.54.00	01.36.00	20600	R	1	O	1963	1985			
** BASSIN DE L'OUEME													
1114500101	OUEME	ADJONON	06.43.00	02.28.00	47500	L	1	O	1948	1983	2	2	
1114500103	OUEME	AFFAME	06.49.00	02.27.00		L	1	O	1948	1967	2	4	
1114500109	OUEME	DECAME	06.45.00	02.27.00		L	1	O	1952	1967	2	4	
1114500110	OUEME	DEHOUNTA	06.59.00	02.24.00	46990	L	1	O	1952	1956	2	4	
1114500115	OUEME	HOUEDOME	06.31.00	02.32.00	47780	L	1	O	1951	1980	2	4	
1114500117	OUEME	SAGON	07.11.00	02.26.00	37980	R	1	O	1951	1988	2	2	3
1114500121	OUEME	TEBOU	09.57.00	01.49.00	515	R	1	O	1955	1958	1		
1114501008	ZOU	GOHISSANOU	07.02.00	01.23.00		R	1	O	1952	1958	2	1	
1114501011	ZOU	ZOUDJI	07.52.00	01.49.00	2018	R	1	O	1953	1958	2		
1114501106	OKPARA	NANON	09.17.00	02.44.00	2067	R	1	N	1952	1958	2	1	
1114501107	OKPARA	NANON (barrage)	09.17.00	02.44.00	2067	D	1	O	1959	1969	2	1	
1114501202	OUAVI-SO	AGRANGOUIN	06.50.00	02.26.00		L	1	O	1952	1980	2	4	
1114501204	OUAVI-SO	DJIDBE-OVO	06.52.00	02.23.00		L	1	O	1953	1959	2	4	
1114501206	SO	SO-AWA	06.30.00	02.24.00	1880	L	1	O	1951	1980	2	4	
1114501208	SO	QUINTO-ZOUNGOME	06.36.00	02.24.00	1530	L	1	O	1952	1968	2	4	
1114501212	OUAVI-SO	OUOVINOU	06.54.00	02.22.00		L	1	O	1952	1967	2	4	
1114501214	SO	RHLAMPA-NORD	06.46.00	02.26.00		L	1	O	1952	1967	2	4	
1114501218	SO	TOGBOTA	06.42.00	02.26.00		L	1	O	1951	1966	2	4	
1114504004	OMINI	PIRA	08.28.00	01.47.00	88	R	1	O	1954	1985	2	1	
1114507503	LHOTO	DASSA ZOUME	07.47.00	02.10.00	75	R	3	O	1953	1956	1	1	
1114507505	LHOTO	MOUNOUDI	07.47.56	02.10.11	45	R	3	O	1956	1959	2	1	

Fig 4.2.2 : Carte du réseau hydrométrique abandonné



- **Le Niger**

Il n'existe qu'une seule station au Bénin sur le Niger, celle de Malanville mais le régime hydrologique de ce fleuve peut être correctement suivi tout le long de la partie béninoise de son cours grâce à la présence des deux stations du W, au Niger, et de Yidare-Bode, au Nigeria, situées respectivement à 42 km en amont et 60 km en aval des frontières. Ces trois stations font partie du réseau HYDRONIGER.

- **La Pendjari**

A la sortie de l'Atakora, lorsque la Pendjari épouse le contour de la frontière du Burkina, son bassin versant n'est que de 3600 km². Il est supérieur à 23 000 km² à la frontière togolaise, 236 km en aval. Entre temps, la Pendjari a en effet reçu les apports des affluents béninois de rive gauche (7000 km² environ) et des affluents burkinabés de rive droite (13 000 km² environ). Sur ce tronçon, cette rivière n'est suivie que par deux stations, celle d'Arly au Burkina (10 260 km²) et celle de Porga au Bénin (22 280 km²). La première est difficile d'accès et il y a de très nombreuses lacunes dans son fonctionnement ; les apports intermédiaires sont incomplètement contrôlés.

On pourrait donc conclure à une insuffisance du réseau si on ne raisonnait que sur le plan hydrologique. Cependant, compte tenu du coût élevé que représenterait l'exploitation de toute nouvelle station dans cette région éloignée, et du fait qu'aucun aménagement n'est envisagé dans cette zone de réserve de faune, il ne paraît pas opportun de recommander d'augmenter le nombre de stations sur la Pendjari.

- **L'Ouémé**

L'Ouémé ne devient réellement important qu'à l'aval de la confluence avec la Wéwé. Il draine alors un bassin de 6520 km². A partir de là, le réseau actuel permet un très bon suivi de ce fleuve jusqu'à l'entrée de son delta. Il y a d'abord les stations implantées sur le fleuve lui-même, Beterou (10 326 km²), Save (23 600 km²), Zagnanado (37 850 km²), Bonou (46 990 km²). Il y a ensuite les stations qui contrôlent les apports des principaux affluents. Sur chacun des biefs délimités par ces quatre stations, le pourcentage des surfaces contrôlées est respectivement de 50 %, 70 % et 90 % ; ce qui est très satisfaisant. L'installation d'une station sur l'Odola améliorerait de façon significative le contrôle du bief Beterou-Save. Mais se pose alors un problème de coût puisque cet affluent est situé dans une zone difficilement accessible. C'est d'ailleurs pour cette raison que cette idée, qui avait été envisagée lors de la réhabilitation du réseau, a été abandonnée.

On constate pour les années de forte hydraulité, des pertes importantes d'écoulement sur l'Ouémé entre la confluence avec l'Okpara et l'ancienne station de Sagon. Ce phénomène serait lié au contact entre le socle et les formations sédimentaires, puisqu'on le rencontre dans un contexte géologique comparable sur le Zou entre Atcherigbe et Dome. Le réseau actuel ne

permet pas de l'analyser. Cela pourrait être cependant nécessaire pour pouvoir évaluer le fonctionnement et l'impact des barrages envisagés sur l'Ouémé dans cette zone, celui de Ketou notamment. L'étude de ces pertes devra faire l'objet d'un projet spécifique.

. Le Mono

Les apports que reçoit le Mono au cours de son parcours au Bénin sont négligeables : juste en amont de la frontière togolaise, à la station de Tetetou son bassin versant est de 20 500 km² ; à la station d'Athieme, 70 km en aval à l'entrée du delta, il n'est que de 21 500 km². Les données collectées à ces stations sont suffisantes pour l'étude des aménagements projetés, le barrage d'Adjaralla notamment, et le suivi des modifications des régimes hydrologiques entraînées par ceux déjà réalisés.

B. LE CONTROLE DES RIVIERES DE MOINDRE IMPORTANCE

La couverture et la résolution du réseau, pour les parties béninoises de chaque grand bassin, sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4.2.3 - COUVERTURE ET RESOLUTION DU RESEAU HYDROMETRIQUE							
			Répartition des surfaces contrôlées				
Bassin	Surface totale au Bénin	Superficies contrôlées (en km ²)	N0	N1	N5	N10	N15
NIGER	39850	32070	6	6	5	2	0
PENDJARI	12850	836	1	0	0	0	0
KARA/KERAN	3480	0	0	0	0	0	0
OUEME	46980	46980	16	14	7	4	3
COUFFO	3029	1680	1	1	0	0	0
Total	106089	81566	24	20	12	6	3

Légende : N0, N1, N5, N10, N15 = nombre de stations contrôlant un bassin versant de superficie supérieure à 0, 1000, 5000, 10 000 et 15 000 km².

Ces données nous permettent de juger de l'efficacité du réseau :

- . Pour le bassin du Niger, les 6 stations implantées permettent de contrôler la quasi-totalité de la ressource en eau avec une surface de résolution comprise entre 5000 km² et 10 000 km².

- Pour les bassins de la Pendjari, de la Kara et de la Keran, il n'y a qu'une seule station contrôlant un bassin de 836 km² alors que la superficie totale de la zone est de plus de 16 000 km². En ce qui concerne le bassin de la Pendjari, cela ne paraît pas être un inconvénient majeur puisque la région englobe la réserve de faune, est très peu peuplée et qu'il n'y a donc pas d'aménagements projetés.

En ce qui concerne les hauts bassins de la Keran et de la Kara, il semble qu'il y a là une lacune du réseau, puisque sur les rivières de la région ont été reconnus de bons sites de microcentrales et que le besoin de les aménager se fait déjà sentir vu la densité de la population et la ville de Natitingou. Or, on ne dispose actuellement que d'une seule année (1988) d'observations à un seul de ces sites, celui de Pouya sur la Yeripao. Il paraîtrait donc souhaitable d'installer au moins une station sur les rivières descendant de l'Atakora qui coupent la route Djougou-Natitingou (l'Ina-Issire, la Perma ou le Tiatiko).

- Pour le bassin de l'Ouémé, la totalité de la ressource en eau est contrôlée avec une surface de résolution de l'ordre de 5000 km². En outre, 8 stations contrôlent des bassins inférieurs à 3000 km².

En conclusion de cette brève analyse :

- à l'exception des hauts bassins de la Volta, le réseau actuel permet une estimation correcte des régimes hydrologiques des rivières drainant des bassins supérieurs à 5000 km²,
- pour les plus petits bassins, on est placé devant l'alternative suivante :
 - *augmenter de façon notable la densité du réseau.* Mais le Bénin pourra-t-il alors supporter le coût de son exploitation ?
 - *développer au sein du SH des méthodes* permettant, à partir des données collectées sur le réseau actuel, une estimation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés. Mais est-ce possible ? Les résultats qui vont être publiés dans la synthèse "Les ressources en eaux superficielles du Bénin" semblent montrer que oui. Nous reviendrons dans le chapitre 6 sur ce point.

C. LE CONTROLE DES LACS, LAGUNES ET DELTAS DU SUD-BENIN

- Les lacs et lagunes

Le système formé par les lacs (Aheme et Nokoue) et les lagunes côtières est riche de potentialités ; sur le plan agricole par les possibilités d'irrigation qu'il représente, sur le plan de la production de sel, et surtout sur le plan de la pêche.

Le fonctionnement de ce système est complexe et dépend à la fois des apports continentaux, des relations mer-lagunes qu'elles soient conditionnées par des ouvrages (lagune de Cotonou) ou qu'elles soient naturelles, des relations inter-lagunaires, et du niveau de la nappe phréatique.

C'est un milieu fragile. La baisse du niveau d'inondation dans les lagunes de Toho et de Todouba résultant des pompages effectués pour le périmètre de Ouidah-Nord (880 ha de palmeraies et de cocoteraies), aurait entraîné une chute de la production halieutique. Le barrage de Nangbeto en régulant les apports du Mono entraînerait d'une part, une dégradation des mangroves, zone de frai de certaines espèces de poissons et d'autre part, une réduction de la fréquence et de la durée de l'ouverture sur la mer et en conséquence, une diminution de la salinité des eaux. Ces deux facteurs ne seraient pas sans conséquences sur la pêche.

Pour toutes ces raisons, auxquelles il faut ajouter la très forte densité de la population de la région, une attention toute particulière doit être apportée au suivi quantitatif et qualitatif de ce milieu.

Toutefois, vu la complexité de son fonctionnement, il n'est pas possible que le réseau hydrométrique national puisse collecter toutes les données nécessaires à l'étude des systèmes lagunaires. Son rôle doit se limiter au suivi de la salinité et des hauteurs d'eau en quelques sites bien choisis pour permettre une extrapolation temporelle des résultats qui seraient déduits d'une période limitée, mais intensive, d'observations. Dans cette optique, le dispositif actuel (stations d'Agbanakin, de Sazue, de Guezzin, de Cotonou et de Porto-Novo) serait satisfaisant s'il était complété par un suivi de la salinité en ces sites. On pourrait cependant recommander l'installation de deux stations de contrôle de la salinité sur les parties amont des lacs Nokoue et Aheme.

Les deltas du Mono et de l'Ouémé

Le Mono et l'Ouémé, à l'entrée des formations sédimentaires, s'organisent en delta de façon très comparable : le lit principal du fleuve perd de sa puissance et se trouve bordé par des zones d'inondations drainées par un cours d'eau parallèle au fleuve, la Sazue pour le Mono, la Sô pour l'Ouémé. Cet axe de drainage et le fleuve sont reliés entre eux par des marigots qui jouent le rôle tantôt d'affluents, tantôt de défluent.

Ces régions sont bordées de terres fertiles. Il est nécessaire pour leur mise en valeur de comprendre le fonctionnement de ces deltas notamment pour évaluer l'impact que pourrait avoir les barrages projetés, tant sur les niveaux d'inondation que sur la salinité des eaux.

Le problème est difficile, d'une part parce que les mécanismes sont complexes à analyser, et d'autre part parce que l'estimation des débits transitants dans les différents tributaires est très délicate. Il n'est pas possible par exemple d'étalonner les stations hydrométriques, même de manière approximative.

Dans ces conditions, on ne peut, dans le cadre du réseau hydrométrique national, que suivre les hauteurs d'eau et la salinité à quelques stations de référence. Le réseau actuel dans ces deltas paraît satisfaisant. Il faudrait cependant compléter le suivi limnimétrique qui y est fait par un suivi de la salinité. On pourrait recommander la réactivation de la station de Sô-Awa sur la Sô, abandonnée depuis 1980.

4.2.2 Méthodes de mesure des débits

Pour toutes les stations destinées aux contrôles des écoulements, les jaugeages se font au moulinet au niveau de sections naturelles, à la perche, ou avec un saumon à partir d'un canot pneumatique. Les jaugeages de hautes eaux se font, dans la quasi-totalité des cas, toujours aux mêmes sections qui sont débroussaillées en début d'hivernage.

La méthode utilisée est celle de l'exploration détaillée de la section transversale, par la mesure de 30 à 60 vitesses ponctuelles, réparties entre 5 à 20 verticales de 3 à 8 points suivant la largeur et la profondeur moyenne.

Des profils en travers sont réalisés périodiquement pour permettre l'extrapolation des courbes de tarage.

4.2.3 Equipement

4.2.3.1 Equipement des stations hydrométriques

Un des objectifs majeurs des trois projets FAC, déjà cités plus haut, était de réduire au maximum les coûts d'exploitation du réseau. Un des postes où des économies importantes pouvaient être réalisées, était celui des frais de tournées. Il a donc été décidé, d'une part d'accroître au maximum l'autonomie des capteurs et d'autre part de généraliser le plus possible l'utilisation du système ARGOS déjà introduit au Bénin par les projets HYDRONIGER et OCP pour leurs propres besoins : 22 des 33 stations du réseau ont été équipées de ce système. Les 11 autres sont celles pour lesquelles le système ARGOS était le moins rentable : stations uniquement limnimétriques ou contrôlant de très petits bassins versants.

4.2.3.1.1 Stations à télétransmission ARGOS

La mise en place du système ARGOS s'est faite au cours de projets successifs. Il en découle un manque d'homogénéité dans le matériel utilisé. Il y a actuellement 5 types de stations qui diffèrent à la fois par leur capteur, par leur carte émettrice et par leur système d'alimentation électrique.

On trouvera dans le tableau 4.2.4 la liste et le type des balises installées. Est également précisé dans ce tableau le nom des structures (SH, OCP ou HYDRONIGER) ayant en charge financièrement le remplacement des éventuels éléments défectueux. L'aspect technique de la maintenance est assuré dans tous les cas par le SH.

- . Les PCD HYDRONIGER (2 stations)

Le capteur est un limnigraphe "bulle à bulle" SEBA, muni d'un enregistreur graphique à rouleau. La carte émettrice, dite "carte HYDRONIGER", crée un message de 128 bits contenant :

- des paramètres technologiques : tensions des panneaux solaires et de la batterie, température de la balise,
- le cumul pluviométrique mesuré au pluviomètre installé sur la PCD,
- la hauteur à l'échelle mesurée au moment de l'émission, codée (en DCB) par un codeur mécanique fixé sur la rampe hélicoïdale du limnigraphe,
- un code d'erreur (CRC), permettant à la réception de contrôler la qualité de la transmission et dans certains cas de corriger les erreurs.

L'alimentation de l'ensemble est assurée par 2 panneaux solaires, une batterie et un régulateur.

Le point faible de cet ensemble réside dans sa partie "capteur" qui est complexe et peut connaître des anomalies de fonctionnement lorsque le tuyau reliant la prise de pression à l'appareil, est trop long et installé avec une pente trop faible. C'est pour cette raison que la série de données télétransmises par la PCD de Malanville a comporté un nombre important de lacunes jusqu'à ce que la prise de pression soit rapprochée de l'appareil.

- . Les balises "OMS" de première génération (2 stations)

Le capteur est un limnigraphe OTT-X muni d'un mouvement à grande autonomie et relié à une balise type HYDRONIGER. La hauteur à l'échelle est codée (en GRAY) par un codeur mécanique SIGTAYCOD.

L'alimentation de l'ensemble est assurée par des batteries à grande capacité.

Le point faible de cet ensemble réside dans le codeur qui, de conception ancienne, a une durée de vie limitée et ne se fabrique plus. Ceux qui équipent ces stations datent de six ans, certains sont déjà tombés en panne en 1989. Il faut donc prévoir leur remplacement à très court terme.

. Les PH12 (4 stations)

Ce type de plate-forme de collecte de CEIS-ESPACE, est très comparable aux précédentes. Ils n'en diffèrent que par une intégration plus poussée des divers éléments, par le codeur (binaire) et par le système d'alimentation électrique, constitué par un panneau solaire, une batterie et un régulateur.

. CLHOE A (1 station)

Cette centrale hydrologique, développée par la Société ELSYDE, se compose d'un capteur piézorésistif de pression (SPI I), d'une carte émettrice ARGOS, d'une cartouche EPROM pouvant stocker plus de six mois de relevés de hauteur d'eau, et d'une alimentation par panneau solaire et batterie. Le message est de 256 bits et comporte les données suivantes :

- les hauteurs d'eau et les températures enregistrées aux 8 demi-heures rondes précédant l'émission,
- la conductivité de l'eau,
- le taux de remplissage de la cartouche EPROM,
- la date en mois, jour, heure, minute, seconde,
- un code de parité du message.

. Les PH11 (13 stations)

Ce type de plate-forme développée par CEIS-ESPACE, en association avec ELSYDE, représente ce qui se fait le mieux à l'heure actuelle dans le domaine. Elle se compose d'un capteur piézorésistif de pression (SPI III), d'une carte émettrice ARGOS, d'une cartouche EPROM, et d'une alimentation par panneau solaire et batterie. Le message a une longueur de 256 bits et comporte les données suivantes :

Tableau 4.2.4 - LISTE ET TYPE DES BALISES "ARGOS"				
N° Balises	Rivière	Station	Type	Organisme gestion
9526	Niger	MALANVILLE	HYDRONIGER	HYDRONIGER
9545	Alibori	Rte KANDI-BANI	HYDRONIGER	HYDRONIGER
9586	Okpara	KABOUA	OMS 1ère Gen.	OMS
9587	Sota	GBASSE	OMS 1ère Gen.	OMS
9589	Couffo	LANTA	CHLOE A	SH
9770	Ouémé	BONOU	PH11	SH
9771	Mono	ATHIEME	PH11	SH
9772	Pendjari	PORGA	PH11	SH
9773	Térou	COTE-238	PH11	SH
9774	Ouémé	Pont de SAVE	PH11	SH
9775	Ouémé	ZANGNANADO	PH12	SH
9776	Mékrou	KEROU	PH12	SH
9777	Ouémé	BETEROU	PH12	SH
9778	Zou	DOME	PH12	SH
9779	Irané	KOUTAKROUKROU	PH11	SH
9780	Sota	COUBERI	PH11	SH
9781	Alpouro	GOUROU (BORI)	PH11	SH
9782	Beffa	VOSSA	PH11	SH
9783	Adjiro	BANON	PH11	SH
10177	Ouémé	AFFON	PH11	OMS
10195	Mékrou	KOMPONGOU	PH11	OMS
10196	Zou	ATCHERIGBE	PH11	OMS

- le numéro d'ordre du message,
- des paramètres technologiques : tension du panneau solaire et de la batterie, température de la balise, taux de remplissage de la cartouche,
- la température de l'eau,
- le cumul pluviométrique si un pluviomètre est installé,
- les hauteurs d'eau enregistrées durant les 15 demi-heures rondes précédant l'émission,
- un code d'erreur (CRC) du même type de celui des PCD HYDRONIGER.

4.2.3.1.2 Stations limnigraphiques

- . 4 stations sont équipées de R16 (OTT), de réduction 1/10, et ayant une autonomie d'un mois. Ce sont celles situées sur le système lagunaire à proximité de Cotonou.
- . 5 autres sont équipées de OTT-X, de réduction 1/10, et ayant une autonomie de plus de six mois. Ce sont les plus éloignées de Cotonou.

4.2.3.1.3 Stations limnimétriques

Il reste 2 stations non encore équipées de limnigraphe. Il s'agit de celle de Hetin-Sota dans le delta de l'Ouémé et de celle de Wéwé sur la Wéwé, petit affluent de l'Ouémé supérieur. A chacune d'entre elles, un lecteur relève deux fois par jour la hauteur à l'échelle.

4.2.3.1.4 Etat actuel

Fin 1990, tous les éléments d'échelle de toutes les stations étaient en place et tous les limnigraphes étaient en état de marche. Un seul système de télétransmission était en panne : celui de la station de Kaboua où le codeur (SIGTAYCOD) avait rendu l'âme. Les dispositions avaient cependant été prises pour son remplacement.

4.2.3.2 Station de réception ARGOS (SRDA)

Les données des balises ARGOS sont reçues sur une station de réception SRD86 de CEIS-ESPACE. Elle se compose d'une partie "réception" (une antenne et électronique de réception) et d'un micro-ordinateur pour le traitement des messages.

Les principales performances de ce type de station sont les suivantes :

- . l'utilisateur peut définir dans un fichier "FORMAT" la structure des messages susceptibles d'être reçus,
- . les messages, bruts ou traduits, sont stockés dans des fichiers circulaires ; cela permet la consultation ou la sortie sur imprimante ou disquettes, des messages avec environ 20 jours de recul,
- . la qualité des messages est contrôlée de deux façons : d'abord à partir du code CRC s'il en existe un, ensuite par comparaison des paramètres télétransmis à des valeurs limites définies par l'utilisateur,
- . les données "hauteurs d'eau" sont stockées dans des fichiers circulaires (dits "BD1") de 960 points de capacité (soit dans le pire des cas, 20 jours de collecte) ; ces fichiers sont transférés dans la banque de données via un logiciel de communication intégré à la SRDA et au logiciel HYDROM,
- . divers procédures facilitent la télésurveillance du réseau, par exemple, l'alarme quand un des paramètres est en dehors des valeurs admises.

Cette station a été mise en service en 1987. Elle a connu cette année là une interruption de 2 mois dans son fonctionnement. Son disque avait été endommagé à la suite d'un choc électrique. Elle était en effet, à cette époque, installée dans les locaux de la DH où le courant était de très mauvaise qualité et les coupures fréquentes. Depuis lors, elle n'a eu aucune panne.

4.2.3.3 Matériel hydrométrique

Le SH dispose de 3 équipements complets de jaugeages, de basses et hautes eaux, qui paraissent en bon état. Il ne dispose plus en revanche que d'un seul canot pneumatique.

Le SH a en réserve 4 limnigraphes et 12 pluviographes ; ce qui devrait lui permettre de faire face rapidement à une demande d'intervention.

4.2.3.4 Pièces détachées

Le stock de pièces détachées dont dispose le SH est le suivant :

- . un exemplaire des différentes cartes électroniques existant dans chaque type de balise ARGOS,
- . un SPI III,
- . un lot d'éléments d'échelle,
- . diverses pièces détachées de matériel hydrométrique (roulements et axes de moulinet ; mouvements d'horlogerie OTT etc.).

4.2.3.5 Véhicules

Les véhicules achetés dans le cadre du premier projet FAC (3 pick-up dont 2 "4 x 4") sont maintenant hors d'usage et le SH ne dispose plus que d'une seule voiture ayant plus de 100 000 km au compteur.

4.2.4 Entretien et soutien sur le terrain

La maintenance et l'étalonnage des stations sont assurés au cours de tournées, toutes effectuées à partir de Cotonou.

Les stations équipées de R16 sont visitées au rythme imposé par l'autonomie des appareils, 1 mois. Vu la proximité de Cotonou, ces tournées ne représentent pas des dépenses excessives.

Toutes les autres stations sont visitées de façon régulière 4 fois par an :

- . en janvier pour leur remise en état,
- . en début d'hivernage (mai, juin) pour des jaugeages de basses eaux et le nettoyage des abords et des sections de jaugeages,
- . en milieu d'hivernage (août, septembre) pour des jaugeages de hautes eaux,
- . à l'amorce de la décrue (septembre, octobre) pour des jaugeages de moyennes eaux.

Les dates exactes de ces tournées, surtout de celles d'hivernage, sont arrêtées en fonction des conditions hydrologiques qui prévalent dans le pays et qui sont connues grâce au réseau des 22 balises ARGOS.

A côté de ces tournées régulières, des interventions peuvent avoir lieu si la télésurveillance du réseau permet de détecter un mauvais fonctionnement d'une ou de plusieurs stations.

Le schéma que nous venons de présenter est un peu théorique dans la mesure où des contraintes administratives ou de disponibilité de véhicules peuvent empêcher le départ d'une tournée. Cela s'est produit en 1988 où, par manque de véhicule, les débits des crues exceptionnelles du mois de septembre n'ont pu être mesurés.

4.2.5 Traitement des données

4.2.5.1 Equipement informatique

Si l'on excepte le tracé des courbes de tarage, le traitement des données est entièrement informatisé et se fait à l'aide du logiciel HYDROM de l'ORSTOM. Le matériel informatique suivant est réservé pour la gestion de la banque de données :

- . un micro-ordinateur 386 NORMEREL, de 1 Mo de RAM, de 40 Mo de disque dur et avec écran VGA,
- . un disque dur externe de 20 Mo,
- . un streamer à cartouche de 60 Mo,
- . une imprimante EPSON FX-105,
- . une table traçante HP 7475 A (6 plumes, formats A3 et A4),
- . une table à digitaliser BENSON format A3,
- . un lecteur et un effaceur de cartouche EPROM.

Le SH dispose en outre de deux autres micro-ordinateurs : un GOUPIL G4 et un NORMEREL 386.

En plus d'HYDROM, le SH possède les logiciels suivants :

- . DIXLOIS, logiciel ORSTOM d'ajustements statistiques,
- . PLUVIOM, logiciel ORSTOM de gestion de données pluviométriques,
- . divers tableurs et utilitaires.

4.2.5.2 Procédures

4.2.5.2.1 Saisie des hauteurs limnimétriques

Les hauteurs d'eau à entrer dans la banque proviennent de quatre sources différentes :

- . les fichiers de la station de réception ARGOS (SRDA),
- . les cartouches EPROM des plates-formes hydrologiques,
- . les diagrammes des limnigraphes,
- . les carnets des observateurs.

Dans la banque de données, un code "capteur" permet de repérer l'origine de la donnée ; une même station peut avoir plusieurs capteurs.

Les données télétransmises stockées dans les fichiers de la SRDA sont transférées chaque semaine vers la banque de données. Une visualisation graphique permet alors d'exclure les éventuels points aberrants causés par une mauvaise transmission et qui n'aurait pas été détectée par la SRDA à la réception. Le cas est rare mais peut se produire.

Les cartouches EPROM sont récupérées, et remplacées par une cartouche vierge, au cours de chacune des quatre tournées annuelles. Dès la fin de la tournée, selon une procédure intégrée dans HYDROM, elles sont lues et alimentent la banque de données.

Les limnigrammes sont numérisés à la table à digitaliser à l'aide d'HYDROM.

Les relevés des 3 stations ayant encore un observateur, sont ramassés lors des visites, puis saisis au clavier à l'aide d'HYDROM.

4.2.5.2.2 Jaugeages et tarages

Les jaugeages sont dépouillés à l'aide du logiciel HYDROM dès le retour de tournée.

Les courbes de tarage sont ajustées visuellement et éventuellement extrapolées par une fonction puissance à partir d'un tracé sur un papier bi-logarithmique. Ces courbes sont ensuite numérisées manuellement en une série de points hauteur/débit de telle façon qu'entre deux points successifs la courbe puisse être assimilée à un segment de droite. C'est sous cette forme que les courbes de tarage sont ensuite intégrées à la banque de données HYDROM.

4.2.5.2.3 Vérification et calcul de données élaborées

Le logiciel HYDROM comporte des sorties graphiques. Celles-ci sont largement utilisées pour une critique visuelle des données.

A partir de ces données de base, HYDROM peut calculer diverses données élaborées : débits instantanés, débits moyens journaliers, débits caractéristiques, hauteurs et débits maxima et minima, hauteurs moyennes journalières, etc.

Ce calcul peut se faire en cours d'année en fonction des données disponibles et des besoins. Ils sont, dans tous les cas, vérifiés et repris en fin d'année.

4.2.5.2.4 Mise à disposition des données

Les données sont accessibles aux utilisateurs dès le moment où elles existent dans la banque. En décembre 1990, lors de notre passage à Cotonou, toutes les données de l'année étaient déjà disponibles.

Depuis septembre 1990, le SH publie un bulletin hydrologique, mensuel durant l'hivernage, trimestriel durant l'étiage. Ce bulletin décrit la situation hydrologique du pays et la compare à celles des années antérieures. Ce bulletin a un but informatif mais permet également au SH de se faire connaître ; au cours de nos contacts avec des services utilisateurs potentiels de données hydrologiques, nous avons pu juger de l'impact très positif de cette publication.

Le SH devrait publier mi-1991 les annales hydrologiques pour la période allant de 1985 à 1990. Pour l'avenir, le SH s'interroge sur la nécessité de maintenir ce type de publication ; éditer des annales revient cher et ce moyen de diffusion des données paraît dépassé compte tenu des progrès de l'informatique. Le SH songerait plutôt à publier chaque année une courte synthèse hydrologique accompagnée d'un catalogue des données disponibles au SH.

4.2.6 Qualité des données

La qualité des données hydrologiques peut être appréciée selon deux critères :

- . la qualité des reconstitutions des limnigrammes que permet le système de collecte,
- . la qualité des reconstitutions des hydrogrammes qui dépend de celle des limnigrammes mais aussi de la précision des étalonnages.

4.2.6.1 Précision des limnigrammes

Elle dépend à la fois de la précision de la mesure, de sa fréquence et du risque de panne.

Pour les années antérieures à 1985, où les relevés étaient, dans la quasi-totalité des cas, faits par des observateurs, la qualité de la mesure est uniquement fonction du sérieux de ces observateurs. Dans l'étude déjà citée de L. LE BARBE et Y. BOREL est donné, station par station, un commentaire sur la qualité des relevés. Sauf exception, ils sont très bons jusqu'en 1976. La situation se dégrade ensuite lorsque les lecteurs ne sont plus payés régulièrement et moins souvent visités.

Les lectures étaient faites la plupart du temps deux fois par jour ; ce qui est suffisant pour les grands bassins (supérieurs à 5000 km² environ), mais ne l'est pas pour des petits bassins. Pour cette raison, malgré une longue période d'observations, les données collectées à Tanekakoko, à Dompago et à Pira, ne permettent pas une étude même peu précise, des régimes hydrologiques à ces sites.

La quasi-totalité des stations du réseau actuel sont équipées de limnigraphes. Etant donné la précision, en temps et en hauteur, des appareils utilisés, la qualité des reconstitutions des limnigrammes dépend essentiellement de la fréquence des pannes. Pour essayer de la préciser, nous avons considéré l'échantillon composé des six stations suivantes :

- . le Niger à Malanville,
- . l'Alibori au pont de la route Kandi-Banikoara,
- . la Pendjari à Porga,
- . l'Ouémé à Beterou et à Save,
- . le Zou à Atcherigbe.

A partir des inventaires qui nous ont été remis par le SH, nous avons compté pour chacune de ces stations la durée annuelle des lacunes. On les trouvera récapitulées dans le tableau 4.2.5.

En moyenne, le pourcentage de lacune est de 10 %, chiffre relativement élevé. Il est vrai que les inventaires ne concernent chaque fois qu'un seul "capteur" soit les enregistrements, soit les données télétransmises. La fusion des fichiers de capteurs différents est prévue mais pas encore effective. Elle se traduira par une réduction des lacunes.

Tableau 4.2.5 - INVENTAIRE DES LACUNES A 6 STATIONS DU RESEAU PERIODE 1985-1990 (en % de la durée d'observation)							
ANNEE COMPLETE							
STATION	1985	1986	1987	1988	1989	1990	MOY.
BETEROU	16	8	0	25	16	13	13.0
SAVE	0	20	27	6	0	4	9.5
ATCHERIGBE	12	25	12	18	8	4	13.1
MALANVILLE	12	0	0	0	21	0	5.5
ALIBORI	0	0	8	10	13	25	9.3
PORGA	4	0	25	10	10	20	11.5
Moyenne	7.3	8.8	12.0	11.5	11.3	11.0	10.3
MOIS D'HIVERNAGE							
STATION	1985	1986	1987	1988	1989	1990	MOY.
BETEROU	0	25	0	6	12	6	8.2
SAVE	0	12	12	0	0	0	4.0
ATCHERIGBE	12	6	0	6	6	6	6.0
ALIBORI	0	0	25	6	38	6	12.5
PORGA	0	0	0	0	0	0	0.0
Moyenne	2.4	8.6	7.4	3.6	11.2	3.6	6.1

Les lacunes n'ont pas toutes la même importance : une lacune d'un mois intervenant lorsque la décrue est bien installée entraînera moins d'imprécision sur l'estimation des paramètres hydrologiques qu'une lacune d'une semaine en période de très hautes eaux. C'est pourquoi nous avons aussi estimé le taux de pannes au cours de l'hivernage. Il n'est plus que de 6 %, la fréquence des visites étant plus élevée pendant la saison des pluies que durant l'étiage.

4.2.6.2 Précision des tarages

La précision de la traduction des hauteurs en débits dépend de plusieurs facteurs :

- . la stabilité de la station,
- . la gamme des débits jaugés,

- . la fréquence des jaugeages en regard de la stabilité de la section,
- . la qualité du tracé de la courbe de tarage.

Dans les tableaux d'inventaires des stations (tableaux 4.2.1 et 4.2.2), présentés en tête de ce chapitre, nous avons précisé le type d'étalonnage et sa stabilité.

En règle générale, les stations situées sur le socle sont stables et les rares changements d'étalonnage constatés sont dus à des modifications dans la situation des échelles ou à des travaux, construction d'un pont par exemple.

En revanche, les stations situées en terrain sédimentaire sont instables. En outre les pentes y étant faibles, elles peuvent être affectées par le remous et donc avoir un étalonnage non univoque. Seul le tarage de la station de Malanville sur le Niger prend en compte ce facteur. Les anciennes stations situées dans le delta de l'Ouémé sont également sous l'influence de la marée, ce qui nous fait douter de la précision des tarages proposés dans les études existantes (Monographie de l'Ouémé par exemple).

Dans ces mêmes tableaux, nous avons indiqué la gamme des débits jaugés et, lorsque nous la connaissions, la période de retour du débit maximum jaugé. Dans tous les cas, cette dernière valeur est supérieure à deux ans ; elle est en moyenne de l'ordre de 4 ans. Cela est donc satisfaisant.

Jusqu'en 1976, en moyenne la fréquence des jaugeages à chaque station était voisine de quatre par an. De 1976 à 1984, ce rythme a considérablement chuté et était proche de zéro. Durant cette période, on peut donc douter de la qualité des données de débits aux stations instables. A partir de 1985, la fréquence des jaugeages à chaque station est de l'ordre de trois par an.

Pour la préparation des Annales Hydrologiques de l'origine des stations à 1984, l'ORSTOM et le SH ont entièrement repris le tracé des courbes de tarages après une critique détaillée des jaugeages.

Il nous a paru inutile de procéder à une évaluation qualitative de ce travail.

Nous nous sommes donc efforcés d'évaluer sur le même échantillon de stations que plus haut, la précision des tracés des courbes d'étalonnage en vigueur depuis 1985. Pour chaque station, nous avons comparé le débit jaugé au débit calculé à l'aide de la courbe de tarage, et nous avons mis en relation le débit jaugé, supposé exact, à l'erreur relative commise en utilisant l'étalonnage. Les données utilisées sont données dans le tableau 4.2.6 et les résultats obtenus sont illustrés par les graphiques des figures 4.2.3 et 4.2.4.

Le premier type de graphique permet de visualiser la qualité du tarage dans son ensemble et donc la précision de l'estimation des apports annuels. Pour les 6 stations, les points sont très voisins de la première bissectrice. On peut donc conclure à la bonne qualité globale des tarages.

Le second type de graphiques permet d'évaluer la précision du tracé en fonction du débit. Pour un tracé parfait, les erreurs relatives seront voisines de zéro, elles seront régulièrement réparties sur toute la gamme des débits.

Pour les six stations considérées, les tracés de moyennes et hautes eaux paraissent satisfaisants puisque les erreurs relatives sont comprises dans la majorité des cas entre +10 % et -10 %.

Pour 3 stations, le tracé de basses eaux pourrait être amélioré. Il s'agit :

- . du Zou à Atcherigbe où au-dessous de 100 m³/s, les débits calculés sont surestimés,
- . de l'Alibori au pont de la route de Kandi où au-dessous de 10 m³/s les débits seraient sous estimés,
- . de l'Ouémé à Beterou où un détarage en très basses eaux, lié aux travaux de construction du nouveau pont, fin 1987, n'a pas été pris en compte, d'où une surestimation des débits pouvant atteindre 120 %.

4.2.6.3 Conclusion

L'analyse précédente montre que, pour ce qui est de la qualité des données, il y a lieu de distinguer :

- . trois périodes qui sont celles des années antérieures à 1976, les années 1976 à 1985, celles des années postérieures à 1985,
- . deux ensembles dans l'espace, celui des stations sur le socle, stables et celui de celles implantées sur les formations sédimentaires, instables.

Tableau 4.2.6 : Comparaison entre débits jaugés et calculés

ALIBORI au Pont de la route KANDI-BANIKOARA

Numéro d'ordre	Q jaugé m3/s	Q calculé m3/s	Erreur abs.m3/s	Erreur rel. %
44	0,11	0,17	0,06	52,68
40	0,21	0,38	0,18	85,37
34	0,28	0,34	0,06	20,71
35	0,7	0,61	-0,09	-13,14
30	1	1,02	0,02	2
37	2,78	2,32	-0,46	-16,55
41	3,38	2,62	-0,76	-22,49
42	3,95	3,32	-0,63	-15,95
39	4,85	3,68	-1,17	-24,12
31	24,4	28,7	4,3	17,62
36	25,6	25	-0,6	-2,34
43	33,1	39	5,9	17,82
32	42,8	47,8	5	11,68
33	54,6	57,4	2,8	5,13
38	133	146	13	9,77

ZOU à ATCHEBERIBE

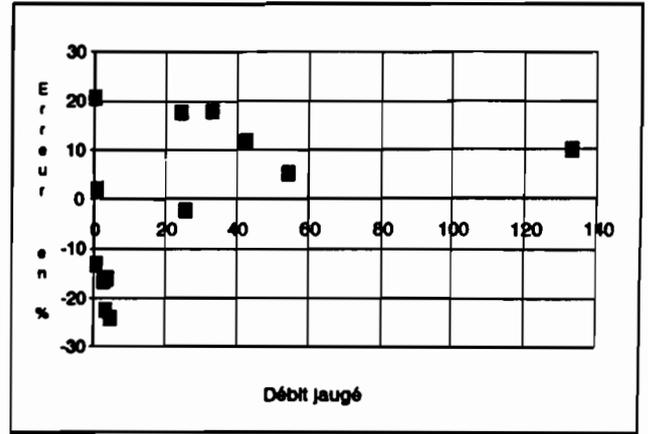
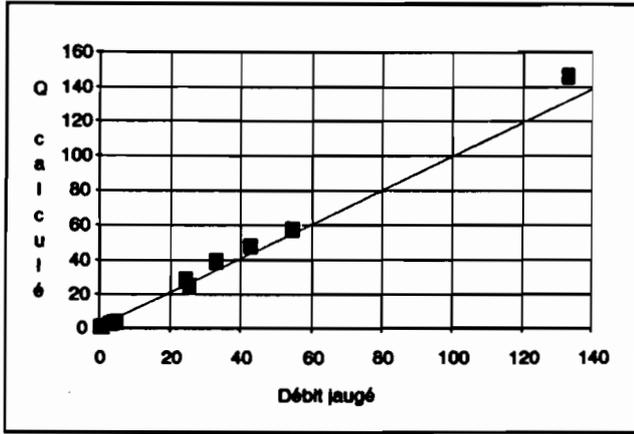
Numéro d'ordre	Q jaugé m3/s	Q calculé m3/s	Erreur abs.m3/s	Erreur rel. %
46	0,05	0,46	0,42	908,7
35	0,23	0,64	0,41	181,86
41	0,73	1,34	0,61	83,31
36	1,69	2,41	0,72	42,6
45	2,6	3,31	0,71	27,31
40	5,51	8,79	3,28	59,53
43	6,56	6,58	0,02	0,3
42	6,95	7,53	0,58	8,35
44	11,7	11,5	-0,2	-1,71
49	18,4	24,8	6,4	34,78
48	25,1	41,3	16,2	64,54
47	98	123	25	25,51
37	132	154	22	16,67
39	192	179	-13	-6,77
38	421	429	8	1,9

PENDJARI à PORGA

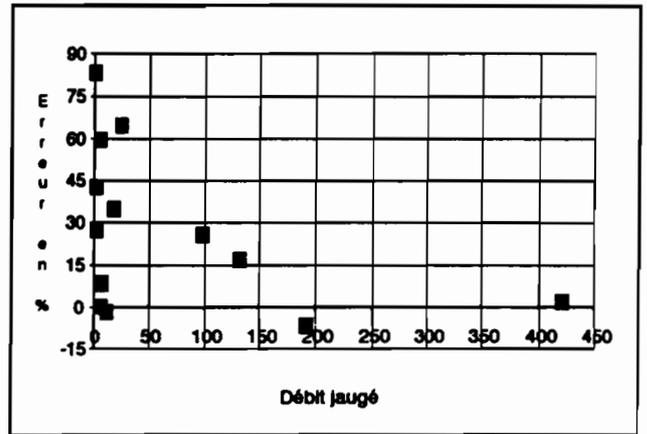
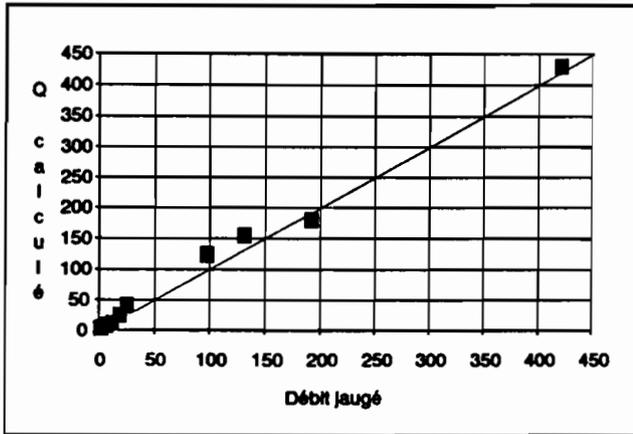
Numéro d'ordre	Q jaugé m3/s	Q calculé m3/s	Erreur abs.m3/s	Erreur rel. %
67	5,02	5,28	0,26	5,18
66	10,8	8,08	-2,72	-25,19
59	21,6	23,1	1,5	6,94
62	23,7	21,5	-2,2	-9,28
65	26,9	23,8	-3,1	-11,52
70	27,9	24,1	-3,8	-13,62
68	35	33,4	-1,6	-4,57
69	72,6	75,8	3,2	4,41
63	81,4	81,6	0,2	0,25
64	92,6	94,7	2,1	2,27
60	147	148	1	0,68
61	150	150	0	0

Figure 4.2.3 : Comparaison des Débits jaugés et calculés

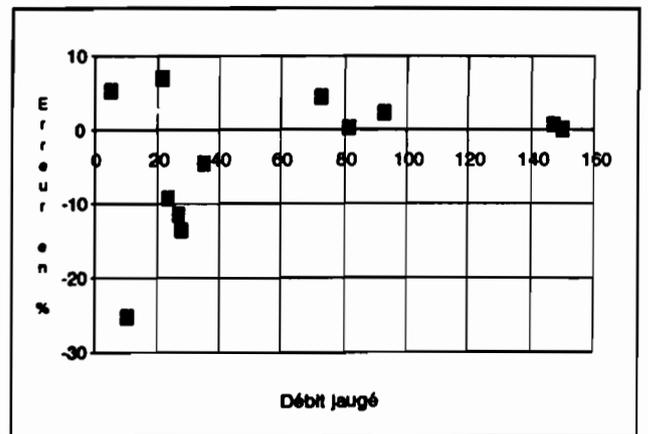
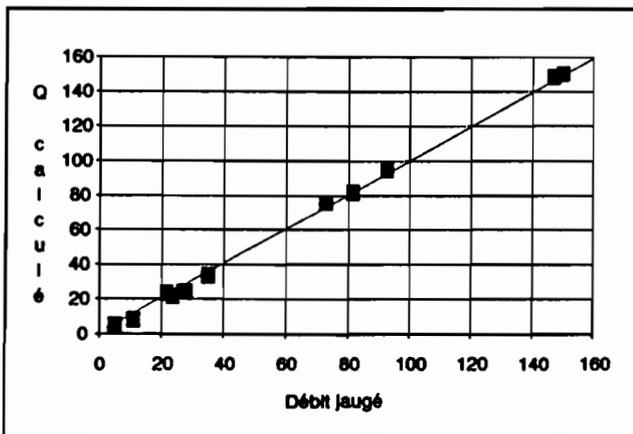
Station : ALIBORI au Pont de la Route KANDI-BANIKOARA



Station : ZOU à ATCHEBERIBE



Station : PENDJARI à PORGA



**Tableau 4.2.6 : Comparaison entre débits jaugés et calculés
(suite)**

Niger à MALANVILLE

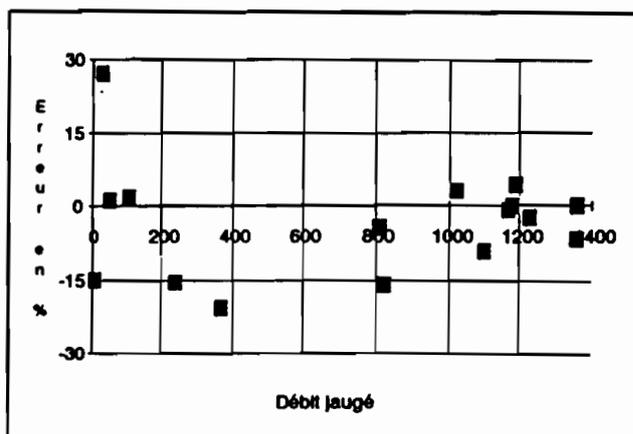
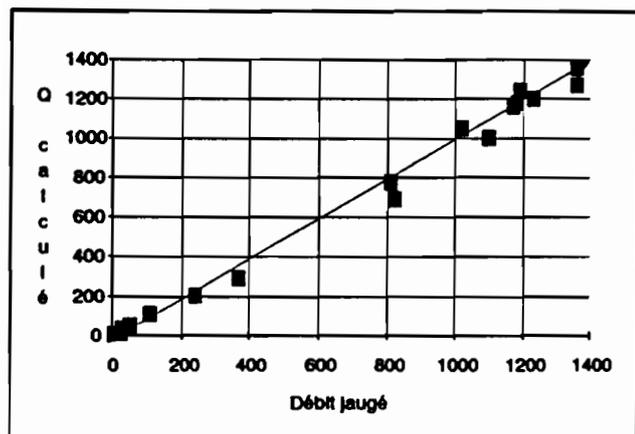
Numéro d'ordre	Q jaugé m3/s	Q calculé m3/s	Erreur abs.m3/s	Erreur rel. %
65	5,68	4,83	-0,85	-14,96
72	14,9	6,98	-7,92	-53,15
71	24,4	11,2	-13,2	-54,1
77	27,3	34,7	7,4	27,11
66	50,3	50,9	0,6	1,19
73	107	109	2	1,87
78	240	203	-37	-15,42
74	369	293	-76	-20,6
67	810	775	-35	-4,32
79	822	691	-131	-15,94
80	1020	1050	30	2,94
75	1100	1000	-100	-9,09
76	1170	1160	-10	-0,85
70	1180	1180	0	0
69	1190	1240	50	4,2
82	1230	1200	-30	-2,44
81	1360	1270	-90	-6,62
68	1360	1360	0	0

OUEME à BETEROU

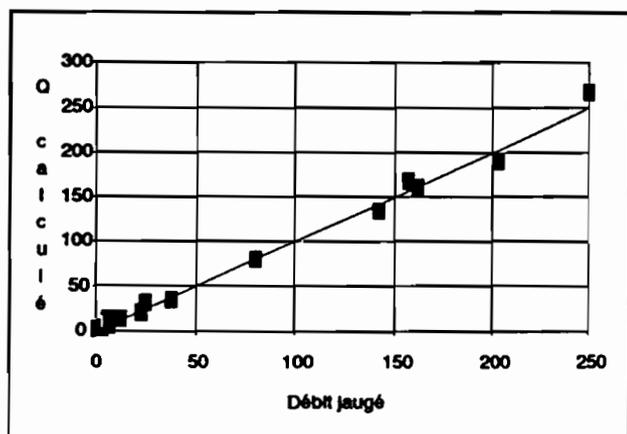
Numéro d'ordre	Q jaugé m3/s	Q calculé m3/s	Erreur abs.m3/s	Erreur rel. %
49	1,1	2,4	1,3	118,18
50	1,12	2,05	0,93	83,04
44	3,42	3,19	-0,23	-6,73
45	6	13,3	7,3	121,67
51	6,4	6,98	0,58	9,06
41	6,77	6,04	-0,73	-10,78
46	6,86	11,1	4,24	61,81
37	12,2	13,3	1,1	9,02
48	22,4	20,3	-2,1	-9,37
38	24,4	31,5	7,1	29,1
43	37,4	34,6	-2,8	-7,49
42	80,6	79,6	-1	-1,24
53	142	134	-8	-5,63
52	157	168	11	7,01
47	162	161	-1	-0,62
40	203	190	-13	-6,4
39	250	266	16	6,4

Figure 4.2.4 : Comparaison des Débits jaugés et calculés

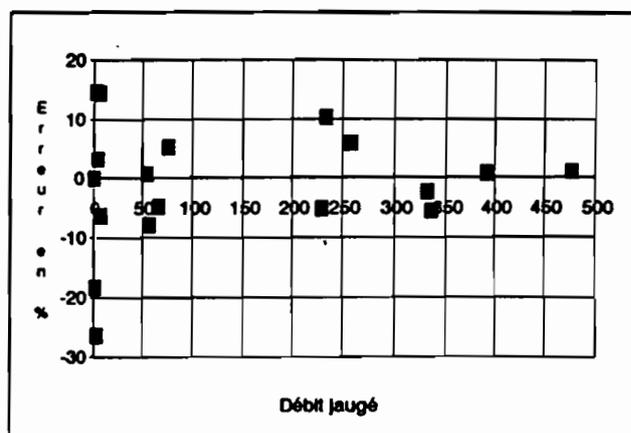
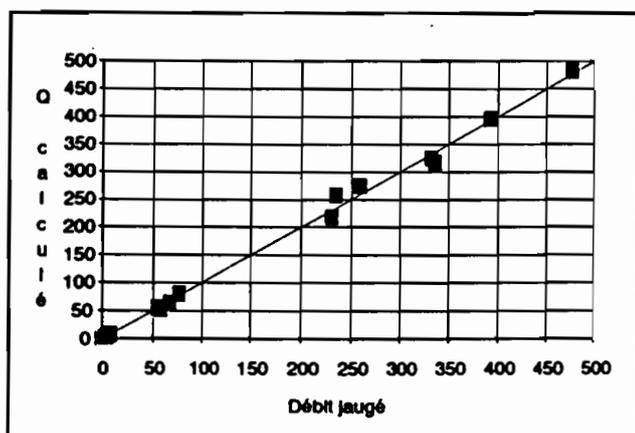
Station : NIGER à MALANVILLE



Station : OUEME à BETEROU



Station : OUEME à SAVE



**Tableau 4.2.6 : COMPARAISON ENTRE DEBITS JAUGES ET CALCULES
(suite)**

OUEME à SAVE

Numéro d'ordre	Q jaugé m3/s	Q calculé m3/s	Erreur abs.m3/s	Erreur rel. %
45	0,01	0,01	0	0
51	1,52	1,24	-0,28	-18,42
54	1,92	2,2	0,28	14,58
47	2,99	2,2	-0,79	-26,42
46	4,02	4,15	0,13	3,23
55	6,2	7,09	0,89	14,35
50	7,57	7,09	-0,48	-6,34
44	55	55,4	0,4	0,73
49	57,5	53	-4,5	-7,83
58	66,7	63,5	-3,2	-4,8
53	76,2	80,2	4	5,25
48	230	218	-12	-5,22
41	234	258	24	10,26
52	259	274	15	5,79
56	332	324	-8	-2,41
57	336	317	-19	-5,65
43	392	395	3	0,77
42	477	482	5	1,05

Les données collectées au cours de la première période sont de bonne qualité tant en hauteurs qu'en débits. La fréquence d'échantillonnage réalisée par les observateurs est insuffisante pour les très petits bassins.

Les données de la deuxième période comportent de nombreuses lacunes. Les débits calculés aux stations sur formations sédimentaires sont incertains.

Les données récentes comportent un taux de lacune de 10 % environ. Ce taux devrait chuter quand le SH aura rendu effective la fusion des données provenant de différentes origines (données télétransmises et données saisies sur site). Les systèmes de collecte installés à la plupart des stations permettent une reconstitution fidèle de la limnimétrie. Les données en débits sont satisfaisantes.

4.2.7 Disponibilité des données

Toutes les données hydrométriques brutes, anciennes encore disponibles ou récentes - bulletins d'observateurs, originaux de jaugeages, dossiers des stations - ou déjà prétraitées et informatisées, sont conservées et disponibles au Service Hydrologique.

Tableau 4.2.7 : Inventaire des lacunes d'observations aux stations du réseau actuel
(en % de la durée d'observation)

Nom station	Rivière	1941/1950	1951/1960	1961/1970	1971/1980	1981/1990
BASSIN :	NIGER					
MALANVILLE	NIGER	-	0,2	10,6	3,3	28,1
Rte KANDI-BANI.	ALIBORI	-	2,2	10,4	6,6	18,1
KEROU	MEKROU	-	-	-	-	2,2
KOMPONGOU	MEKROU	-	2,1	10,0	3,1	12,5
KOUTAKROUKROU	IRANE	-	7,1	5,2	60,4	23,7
GBASSE	SOTA	-	2,1	3,3	12,3	14,9
COUBERI	SOTA	-	2,4	0,0	2,3	11,2
BASSIN :	VOLTA					
PORGA	PENDJARI	-	13,1	20,2	15,8	12,5
TIELE	MAGOU	-	-	16,1	17,9	1,1
BASSIN :	COUFFO					
LANTA	COUFFO	-	2,7	13,5	10,2	13,8
GUEZIN	LAC AHEME	-	15,4	2,5	10,7	6,9
BASSIN :	MONO					
ATHIEME	MONO	54,8	2,9	22,3	19,0	3,5
AGBANAKIN	MONO	-	-	13,2	14,0	1,6
BASSIN :	SAZUE					
SAZUE	SAZUE	-	-	1',9	10,8	18,5
BASSIN :	OUEME					
AFFON	OUEME	-	-	-	-	0,4
BETEROU	OUEME	-	6,1	2,7	4,8	5,6
BONOU	OUEME	70,8	1,7	9,0	1,3	2,1
HETIN-SOTA	OUEME	60,0	4,7	0,4	0,8	2,1
ZANGNANANADO	OUEME	-	-	-	-	9,4
SAVE	OUEME	80,0	1,3	2,0	0,2	6,7
BANON	ADJIRO	-	-	-	-	1,0
ATCHERIGBE	ZOU	-	0,4	5,4	8,9	12,7
DOME	ZOU	-	10,7	1,1	8,5	10,2
KABOUA	OKPARA	-	2,5	2,5	0,4	6,5
VOSSA	BEFFA	-	-	-	-	14,0
GOUROU	ALPOURO	-	-	-	-	15,4
WEWE	WEWE	-	-	5,6	5,2	3,5
COTE 238	TEROU	-	-	-	-	5,6
BAREROU	YEROU-MARO	-	-	-	-	1,7
SAVALOU	AGBADO	-	2,2	27,5	36,9	18,9
LOGOZOHE	KLOU	-	0,9	6,9	21,2	3,8
PORTO-NOVO	LAGUNE	36,4	-	-	-	4,2
COTONOU	LAGNE	32,2	10,4	-	-	9,4

4.2.7.1 Originaux et archives

4.2.7.1.1 Relevés et enregistrements de hauteurs d'eau

En 1985, dans le cadre du premier projet FAC, tous les originaux existants avaient été rassemblés, classés et microfichés.

Depuis, il n'y a pas eu de nouvelle campagne de microfichage. Les relevés et diagrammes sont régulièrement archivés. En revanche, les enregistrements sur cartouches EPROMS ne sont conservés que le temps nécessaire à leur traitement.

Actuellement sont donc disponibles et facilement consultables :

- . les originaux antérieurs à 1984, sous forme de microfiches et sur support papier,
- . les originaux postérieurs à 1985, sur support papier.

Dans le cadre du projet "DARE", le Service Météorologique National a été doté d'un matériel de microfichage. Le SH compte pouvoir s'entendre avec le SMN et utiliser ce matériel pour mettre à jour ses archives microfichées.

4.2.7.1.2 Fiches de jaugeages

Les fiches de terrain et de dépouillement correspondant aux jaugeages antérieurs à 1984 n'ont pas toutes été retrouvées et les archives sont en ce domaine très incomplètes.

Depuis 1985, ces documents sont régulièrement classés et facilement consultables.

4.2.7.2 Banque de données

La banque de données HYDROM gère 7 types de fichiers :

- . les fichiers d'identification des stations,
- . les fichiers des jaugeages,
- . les fichiers des étalonnages,
- . les fichiers des cotes instantanés,
- . les fichiers des débits instantanés,
- . les fichiers des débits journaliers,
- . les fichiers des dossiers de stations.

HYDROM, pour chacun de ces fichiers, permet de dresser l'inventaire des données disponibles et d'en extraire celles souhaitées sur support papier ou informatique. Les fichiers informatiques extraits peuvent être obtenus soit en format ASCII, soit dans un format binaire propre à HYDROM, soit enfin sous forme de fichiers directement utilisables par le logiciel d'ajustements statistiques DIXLOIS, développé par l'ORSTOM et utilisé par la Division des Etudes du SH. Si les données s'y prêtent, il est également possible d'en obtenir une représentation graphique.

Lors de notre passage, nous avons pu constater la très bonne maîtrise du logiciel qu'avait le responsable de la banque. Et il est possible d'obtenir très rapidement les données désirées.

Cependant la saisie des fichiers des dossiers de stations n'était encore pas achevée.

4.2.7.3 Données publiées

Le SH a parmi ses missions celle de regrouper toute l'information hydrologique sur le Bénin. Son activité en ce domaine est pour l'instant très réduite puisque la documentation hydrologique est centralisée dans les locaux de la DH. La seule documentation disponible au SH est celle, personnelle et sommaire, du Chef de Service.

La documentation de la DH n'est pas informatisée et est incomplète.

Ces raisons font qu'il est souvent plus facile d'obtenir l'information publiée à l'extérieur qu'au SH.

4.3 Transport solide

Le transport solide des fleuves et rivières, n'a jamais été suivi de manière systématique dans le cadre du réseau hydrométrique national. C'est toujours le cas actuellement, puisque aucun prélèvement d'eau n'est effectué durant les crues aux stations du réseau.

Les seules données qui existent en ce domaine proviennent d'études extensives dont certaines sont très anciennes. Nous citerons :

- . l'étude des apports fertilisants des crues de l'Ouémé dans le delta, réalisée par l'ORSTOM dans les années 1956 et 1957 (M. LAMOUREUX),
- . l'étude des transports solides de l'Ouémé et du Mono, réalisée entre 1965 et 1967 par l'ORSTOM (J. COLOMBANI),
- . les études des faciès sédimentaires des lacs Nokoué et Ahémé réalisées dans les années 80 par des membres du "Groupe de Recherche Lagunes et Mangroves" de l'UNB (H. TEXIER, B. COLLEUIL, L.M. OYEDE).

Selon la première de ces études, les dépôts liés aux crues de l'Ouémé dans le delta auraient été de 19 t/ha en 1956, année d'hydraulicité très faible, et de 64 t/ha en 1957, année de crue exceptionnellement forte.

Cinquante six jaugeages du transport en suspension ont été effectués par l'ORSTOM entre septembre 1965 et novembre 1966 à différentes stations de l'Ouémé, du Zou et de la Sô. La turbidité moyenne est estimée par celle de l'échantillon moyen obtenu avec 12 prélèvements (réalisés par pompage de 10 à 20 litres d'eau). Sur 56 mesures, aucune atteint 300 mg/l (maximum de 282 mg/l le 02/08/1966 à la station d'Adjohon) et 3 seulement dépassent le seuil de 200 mg/l. La valeur la plus fréquente est voisine de 50 mg/l. Ces valeurs sont très faibles et montrent bien que la charge solide des cours d'eau béninois est négligeable (sauf cas particulier localisé). Les apports solides de l'Ouémé à l'entrée de son delta ne seraient que de l'ordre de 1 à 2 millions de tonnes par an.

Selon la seconde étude, les débits solides du Mono sont eux aussi très faibles.

4.4 Qualité des eaux

Le suivi de la qualité des eaux n'a jamais été fait de façon systématique. C'est encore le cas aujourd'hui.

Les seules données disponibles en ce domaine, concernent la salinité et proviennent d'une part d'observations faites par l'ORSTOM vers la fin des années soixante (J. COLOMBANI) et d'autre part de celles faites au cours des années 80 par l'UNB sur le domaine lagunaire (H. TEXIER et al) et dont nous avons présenté les principaux résultats au chapitre 2, paragraphe 2.1.1.

Les mesures de J. COLOMBANI ont été faites simultanément avec les jaugeages de transport en suspension. Les enseignements de ces campagnes de mesures dans le bassin de l'Ouémé, sont les suivantes :

- . les eaux sont généralement très douces et très peu minéralisées (entre 50 et 100 mg/l) et un pH de 6,8 à 7,2,
- . dans la partie aval du cours de l'Ouémé, un coin salé apparaît au fond du lit mineur ; cette couche, très fortement minéralisée (plus de 15 g/l) est surmontée d'une couche à salinité variable (de l'ordre de 5 g/l en surface).

CHAPITRE 5

EAUX SOUTERRAINES

5.1 Organisation et gestion

Les différents services qui, au Bénin, collectent des données géologiques et hydrogéologiques sont :

- . La Direction des Recherches Géologiques et Minières de l'OBEMINES dépendant du Ministère de l'Industrie, des Mines et de l'Energie.
- . A la Direction de l'Hydraulique (Ministère de l'Equipement et des Transports). En 1991, la réorganisation ministérielle a placé la Direction de l'Hydraulique sous l'autorité du Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Hydraulique (MEMH) :
 - le Service des Etudes d'Hydrogéologie (SEH),
 - le Service de la Programmation et de la Réglementation (SPR).

Voir l'organigramme ci-après (figure 5.1.1).

- . La Société Béninoise d'Eau et d'Electricité (SBEE) dépendant du Ministère des Finances et de l'Economie.

Nous donnons, ci-après, les attributions de ces différents services et, dans la mesure où les renseignements ont été communiqués, les organigrammes et les moyens disponibles (personnel, moyens informatiques, matériel d'analyses, etc.).

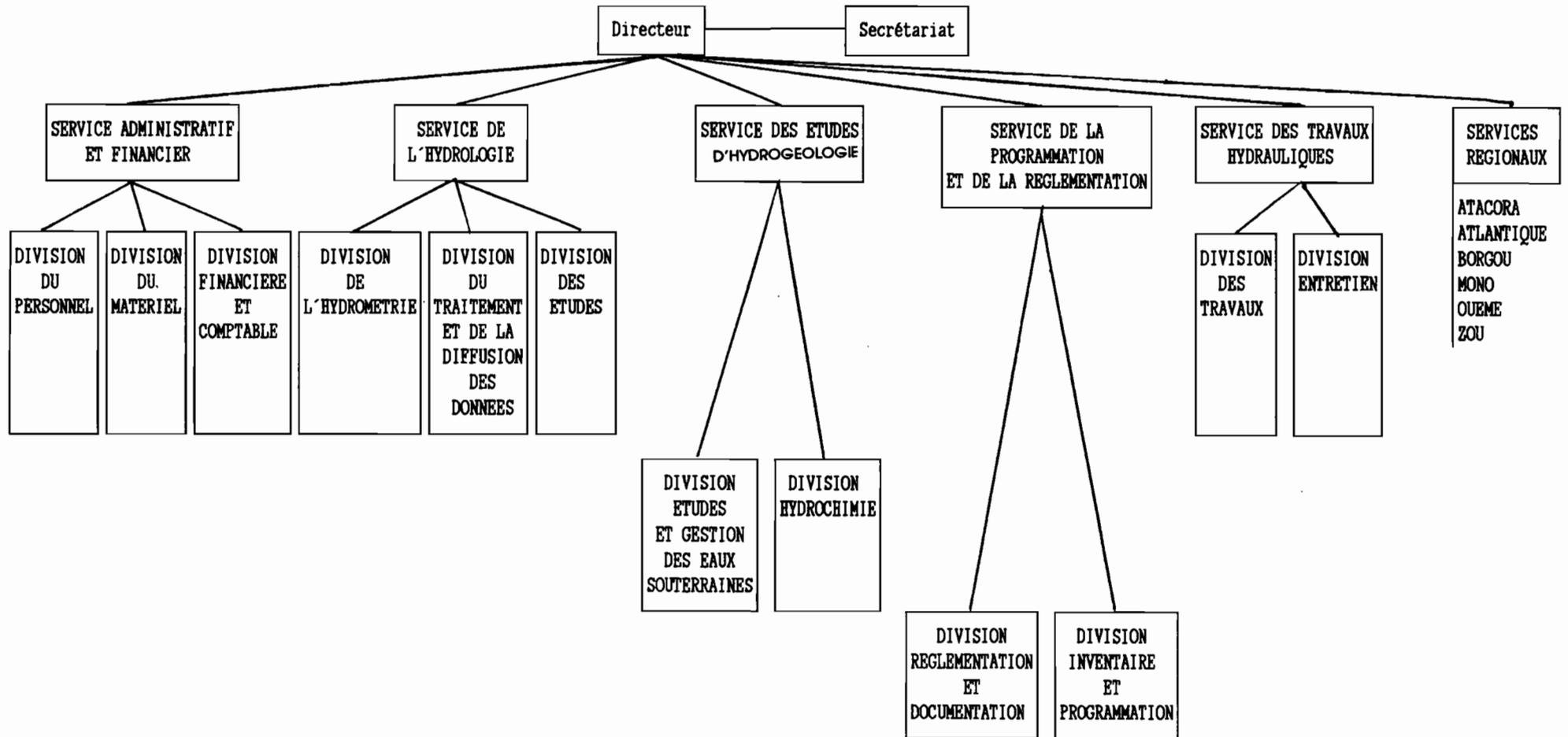
5.1.1 Service géologique

Au Bénin, le service chargé des études géologiques et de la carte géologique est la Direction des Recherches Géologiques et Minières de l'OBEMINES (Office Béninois des Mines).

Les travaux de cette direction sont indispensables et servent de base à toute étude hydrogéologique. Ce service est notamment chargé des points suivants :

- . Collecte et analyse d'échantillons de roche.
- . Levés géologiques de terrain.
- . Géologie structurale.

ORGANIGRAMME DE LA DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE



- . Constitution d'une carothèque.
- . Elaboration de la carte géologique.

La Direction des Recherches Géologiques et Minières dispose d'une équipe de géologues (ingénieurs et techniciens), pétrographes, géomorphologues et de préparateurs qui ont été formés dans le cadre des différents projets de cartographie géologique réalisés au Bénin :

- . BRGM (1978),
- . TECHNO EXPORT (1977 à 1983),
- . BREDA-EFIM (1982 et 1986-1987).

Les moyens en matériel comportent notamment un laboratoire d'analyses des roches :

- . Absorption atomique.
- . Colorimètre.
- . Balances de précision.

Ce service dispose d'un ordinateur IBM-PC.

5.1.2 Service des études d'hydrogéologie (SEH)

Le Service des Etudes d'Hydrogéologie est l'un des services de la Direction de l'Hydraulique dont les attributions sont définies comme suit :

- . Veiller à l'application de la politique de l'Etat dans le domaine de la mise en valeur des ressources en eau.
- . Collecter les données de base en matière de ressources en eau.
- . Participer au niveau de la Commission Nationale de l'Eau à la définition de la politique de l'eau, à la détermination des plans d'aménagement et de collecte des ressources en eau et de leur distribution.
- . Exécuter, en régie ou à l'entreprise, les travaux d'approvisionnement en eau en milieu rural.

5.1.2.1 Organigramme

Le Service des Etudes Hydrogéologiques comporte 2 divisions :

- . Division des études et gestion des eaux souterraines.
- . Division hydrochimie.

5.1.2.2 Personnel et formation

Tableau 5.1.1 - NIVEAU DE QUALIFICATION DU PERSONNEL DU SERVICE DES ETUDES D'HYDROGEOLOGIE	
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	
Service des études d'hydrogéologie	
Chef de service = 1 ingénieur hydrogéologue	
Division des études et gestion des eaux souterraines	Division Hydrochimie
<p>Chef de division = 1 ingénieur hydrogéologue-géophysicien</p> <p>1 ingénieur des Mines (actuellement affecté sur un projet pour le contrôle des travaux de forage)</p> <p>1 technicien supérieur en géophysique (actuellement en formation en Allemagne pour 3 ans)</p> <p>1 technicien supérieur chargé du suivi du réseau piézométrique du projet BID, inventaire des ressources en eau du Bénin (a postulé pour un poste de VNU)</p> <p>1 dessinateur</p> <p>2 techniciens supérieurs de génie civil actuellement affecté au contrôle d'un projet d'Hydraulique Villageoise</p>	<p>Responsable du laboratoire = 1 ingénieur hydrogéologue</p> <p>3 techniciens de laboratoire</p> <p>Technicien 1 : BEPC + 6 mois de stage au BRGM à Dakar</p> <p>Technicien 2 : BEPC + niveau BAC + 9 mois de stage à la SBEE</p> <p>Technicien 3 : BEPC + niveau BAC + 9 mois de stage à la SBEE</p>

5.1.2.3 Moyens matériels affectés et disponibles au Service des Etudes Hydrogéologiques

a. Véhicules

1 voiture Peugeot 405 attribuée au Chef de service en qualité d'homologue au Chef de mission BURGEAP dans le cadre du projet "Alimentation en eau potable des villages de la zone lacustre" (financement CCCE).

b. Matériel géophysique

- . 1 sismographe "Géométrics ES 1225".
- . 1 exploseur "HVB-2".
- . 13 géophones verticaux.
- . 1 câble sismique 165 m.
- . 1 ligne de tir 450 m.
- . 1 enrouleur pour ligne de tir.
- . 1 enrouleur pour câble sismique.
- . 1 appareil de prospection électrique ABEM SAS 300.
- . 1 convertisseur de puissance ABEM SAS 2000.

- . 4 bobines avec fil de mesure (longueur 500 m).
- . 1 bobine de traîné AB = 200 m, AB = 150 m, AB = 650 m avec MN = 10.
- . 3 électrodes en fer.
- . 4 électrodes en cuivre.
- . 13 jalons en fer.
- . 4 chevalets en bois avec manivelle.
- . 2 bobines de liaison à fil jaune.

c. Matériel de pompage

- . 1 camion HINO, 9 t, 4 x 4.
- . 1 groupe électrogène Slanzi 8 kVA.
- . 1 compresseur MDN 5 m³/h.
- . 2 pompes électriques immergées Grundfos SP8-10.
- . 1 pompe électrique immergée Grundfos SP45-12.
- . 1 groupe électrogène HONDA 550 W.
- . 1 groupe électrogène ancien, marque inconnue (origine britannique), 32 kVA.
- . 1 compteur d'eau 100 m³/h.
- . 1 chèvre démontable avec palan à chaîne, 2 t.
- . 1 treuil manuel Verlinde, 1500 kg.
- . 32 tubes acier 80/90, longueur 3 m.
- . 2 sondes électriques.

d. Matériel pour analyses de l'eau

Le Service des Etudes Hydrogéologiques dispose d'un laboratoire complet pour effectuer les mesures suivantes :

- . pH, conductivité.
- . Résidu à 110°C.
- . Titre T_A et T_{AC}.
- . Dureté totale.
- . Alcalinité.
- . Bicarbonates (CO₃H⁻), carbonates (CO₃⁻⁻).
- . Chlorures (Cl⁻).
- . Sulfates (SO₄⁻⁻).
- . Nitrates (NO₃⁻), nitrites (NO₂⁻).
- . Ammonium (NH₄⁺).
- . Calcium (Ca⁺⁺), magnésium (Mg⁺⁺).
- . Sodium (Na⁺), potassium (K⁺).
- . Fer (Fe⁺⁺).
- . Manganèse (Mn⁺⁺).

- . Fluor.
- . Phosphates.
- . Silice.

En bactériologie :

- . Germes totaux.
- . Coliformes totaux.
- . Coliformes fécaux.

e. Matériel informatique (mis en place dans le cadre du programme HYDROBASE par le PNUD pour la contribution à l'élaboration d'un Plan Directeur d'utilisation des ressources en eau du Bénin)

- . 1 ordinateur GOUPIL G40 (compatible IBM.PC/AT) avec :
 - 1 lecteur 1,2 Mo,
 - 1 disque dur de 40 Mo (avec disque C = 21 Mo et disque D = 19 Mo),
 - 1 mémoire vive de 640 Ko étendue à 2 Mo sur la carte mère.
- . 1 imprimante NEC P7.
- . 1 table traçante HP 7475 A.
- . 1 souris Microsoft.
- . 1 tablette à numériser.

A ce matériel s'ajoutent 3 micro-ordinateurs THOMSON TO16 à 2 lecteurs de disquettes et 512 Ko de mémoire vive pour les applications de moyenne envergure et la saisie des données (utilisable pour le traitement des mesures de géophysique).

L'installation de ce matériel fonctionne actuellement en monoposte mais les micro-ordinateurs pourront éventuellement être connectés en réseau ultérieurement.

5.1.2.4 Budget

Le Service des Etudes Hydrogéologiques (SEH) n'a pas de budget spécifique. Le fonctionnement du service est assuré, avec beaucoup de difficultés, dans le cadre du budget global de la Direction de l'Hydraulique.

Les investissements ne sont possibles que par l'intermédiaire de financements extérieurs dans le cadre des projets.

Ainsi, le laboratoire d'analyses des eaux a pu être monté avec l'aide des bailleurs de fonds suivants : FED, PNUD, BOAD.

5.1.3 Service de la programmation et de la réglementation

Le Service de la Programmation et de la Réglementation est aussi un service de la Direction de l'Hydraulique.

Il a été créé en mars 1990 et est responsable de toutes les questions relatives aux ressources en eau concernant :

- . la programmation des activités de mise en valeur,
- . la législation,
- . l'étude en vue de leur approbation des projets d'approvisionnement urbain et rural.

Il intervient dans la collecte des données hydrogéologiques. En effet, comme outils d'aide à la programmation, ce service possède un fichier informatisé de tous les captages d'eaux souterraines du Bénin (fichier PROSPER).

5.1.3.1 Organigramme

Le Service de la Programmation et de la Réglementation comporte 2 divisions :

- . Division "Réglementation et Documentation".
- . Division "Inventaire et Programmation".

5.1.3.2 Personnel et formation

Tableau 5.1.2 - NIVEAU DE QUALIFICATION DU PERSONNEL DU SERVICE DE LA PROGRAMMATION ET DE LA REGLEMENTATION	
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	
Service de la Programmation et de la Réglementation	
Chef de service = 1 ingénieur hydraulicien	
Division "Réglementation et Documentation"	Division "Inventaire et Programmation"
Chef de division = 1 ingénieur hydraulicien 3 techniciens supérieurs des services techniques des travaux publics	Chef de division = 1 ingénieur des Mines et ressources en eau 2 techniciens supérieurs des services techniques des travaux publics 1 opératrice en informatique

5.1.3.3 Moyens matériels affectés et disponibles au Service de la Programmation et de la Réglementation

Le Service de la Programmation et de la Réglementation est équipé depuis 1986 du système informatique de programmation PROSPER (Programmation et Suivi des Points d'Eau Ruraux).

Dans le cadre du projet, financé par le FAC, ayant mis en place ce système au Bénin, les moyens informatiques suivants ont été mis à la disposition de ce service :

- . 1 ordinateur NORMEREL ATC 386, avec :
 - Processeur 80386/20 MHz.
 - RAM 2 Mo/disque dur 40 Mo.
 - Lecteur de disquette 3"1/2, 1.44 Mo INT.
 - Lecteur de disquette 5"1/4, 1.20 Mo INT.
 - Sauvegarde sur cartouche 40 Mo INT.
 - Sortie écran VGA/EGA/CGA/Hercules.
 - Sortie souris/2* Parallèle/4* série.
 - Clavier AZERTY 102 touches.
 - Ecran couleur VGA 14.
- . 1 table traçante HP 7475 à sortie RS-232, format A3, couleurs.
- . 1 souris.

- . 1 imprimante FX-105 de marque EPSON.
- . Logiciels : logiciel sous forme compilée DBXL-DBase III+ dans le répertoire SAV qui contient les fichiers suivants : base de données, programmes, utilitaires.

5.1.3.4 Budget

Le Service de la Programmation et de la Réglementation se trouve dans la même situation que le Service des Etudes Hydrogéologiques (voir § 5.1.2.4).

5.1.4 Société Béninoise d'eau et d'électricité (SBEE)

La SBEE intervient dans le secteur de l'hydraulique urbaine : alimentation en eau de tous les chefs-lieux des départements et des sous-préfectures.

Pour identifier les ressources en eaux souterraines nécessaires à l'approvisionnement des centres urbains, la SBEE est amenée à réaliser des études hydrogéologiques, à faire des forages de reconnaissance et d'exploitation, des essais de pompage et des analyses sur la qualité de l'eau.

La SBEE collecte et détient des données géologiques et hydrogéologiques.

5.1.4.1 Organigramme

La SBEE comporte :

- . la Direction de l'Electricité,
- . la Direction de l'Eau.

C'est le service "Etude-Eau" qui est chargé des études sur les ressources en eau. Il faut également noter un service "Analyse et traitement des eaux" dépendant de la Direction de l'Exploitation qui dispose d'un laboratoire d'analyses complètes.

5.1.4.2 Personnel et formation

Aucune indication pour le personnel.

Un centre de Formation du Personnel pour l'Adduction d'Eau (CFPAE) a été mis en place en 1978 par l'assistance technique allemande. Le personnel de la SBEE (principalement) y est formé aux travaux liés aux forages : de la foration à la maintenance des équipements d'exhaure.

5.1.4.3 Moyens matériels affectés et disponibles à la SBEE

Afin de surveiller la qualité de l'eau distribuée dans chaque centre urbain, la SBEE dispose des moyens suivants :

- . Un laboratoire d'analyse chimique dans chaque centre de la SBEE, permettant de doser les principaux anions et cations.
- . Un laboratoire d'analyse bactériologique très complet, situé à Védoko, près de Cotonou.

Tableau 5.1.3 - ANALYSES BACTERIOLOGIQUES ET TECHNIQUES DE RECHERCHE	
Recherches	Techniques
Nombre de colonies par ml après 24 h à 37°	Dénombrement total des bactéries sur gélose nutritive
Nombre de colonies par ml après 72 h à 37°	Dénombrement total des bactéries sur gélose nutritive
Coliformes totaux par 100 ml après 24 h à 37°	Dénombrement sur membranes cellulose sur gélose MF Endo ou sur milieu DCL
Escherichia coli par 100 ml après 48 h à 44°	Dénombrement sur membranes cellulose sur milieu EMB
Streptocoques fécaux par 100 ml après 24 h à 37°	Dénombrement sur membranes cellulose sur milieu Slanetz
Présomptions coliformes	Recherche présomptive sur bouillon Maconkey
Spores de clostridium sulfitoréducteur par 100 ml après 24 h à 44°	Dénombrement sur gélose TSN
Phage coli par 50 ml	Recherches des bactériophages fécaux
Phage dysentérique/50 ml	Recherches des bactériophages fécaux
Phage typhi/50 ml	Recherches des bactériophages fécaux
Présomption de Salmonella et Shigella	Recherches présomptives sur bouillon GN
Salmonella typhi	Isolement sur milieu Wilson et Blair
Pseudomonas après 48 h à 41°	Isolement sur milieu KING B ou KING H
Staphylocoques après 48 h à 37°	Isolement sur milieu CHAPMAN
Levures et moisissures après 24 h à 37°	Ensemencement sur bouillon SABOURAUD

Ce laboratoire permet également d'effectuer des analyses microscopiques :

- . Macro-invertébrés.
- . Champignons.

- . Algues.
- . Protozoaires.

La méthode utilisée est la centrifugation de 100 ml et observation à frais.

5.1.4.4 Budget

Aucune information n'a pu être obtenue sur le budget de la SBEE aux études des ressources en eau et aux laboratoires d'analyses.

5.1.5 Autres

5.1.5.1 Directions de l'Hygiène de l'Assainissement

Cette Direction du Ministère de la Santé Publique a pour vocation d'élaborer et de mettre en oeuvre les programmes d'assainissement au niveau national.

La DHA a assuré le secrétariat permanent du Comité National d'appui à la DIEPA.

Les tâches suivantes relèvent de la compétence de la DHA :

- . Hygiène de l'habitat.
- . Lutttes contre les vecteurs de maladies.
- . Vérification de la conformité de l'évacuation des déchets solides et liquides.
- . Contrôle de la qualité de l'eau alimentant les populations urbaines et rurales.

Les moyens en personnel de la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement sont actuellement les suivants :

- . 2 ingénieurs sanitaires.
- . 6 techniciens supérieurs d'assainissement.
- . 40 agents d'hygiène.

Les moyens matériels sont pratiquement inexistantes. Les problèmes de budget sont identiques à ceux rencontrés dans les autres services.

5.1.5.2 Projet USAID

Dans le cadre d'un programme d'alimentation en eau du milieu rural dans le département du Zou, l'USAID dispose d'une structure de projet indépendante de l'Administration.

Ce projet a déjà réalisé 290 forages productifs et donc collecté des données hydrogéologiques.

Le projet USAID dispose des moyens informatiques suivants pour le stockage des données relatives aux points exécutés :

- . 2 ordinateurs NORMEREL ATC 386 SX.
- . 1 imprimante EPSON LQ 1050+.
- . Logiciel EXCEL.
- . Logiciel AUTOCAD.

Le projet USAID réalise des points d'eau dans le cadre de l'Hydraulique Villageoise : c'est donc la Direction de l'Hydraulique qui réceptionne les ouvrages de ce projet. Les données collectées dans le cadre de ce projet sont communiquées sous forme de disquette à la Direction de l'Hydraulique.

5.2 Données géologiques

5.2.1 Cartographie géologique

Actuellement, les cartes géologiques réalisées sur le Bénin sont les suivantes :

- . Cartes géologiques de reconnaissance au 1/500 000. Feuilles de Parakou et de Porto Novo-Est (Pougnet, Aicard, Slansky, 1956-1957).
- . Carte géologique au 1/200 000 du Bénin entre les 9e et 10e degrés de latitude Nord. Feuilles de Bassari, Djougou et Parakou, Nikki (BRGM, 1978).
- . Carte géologique au 1/200 000 du Bénin entre le 10e et le 11e parallèles. Feuilles de Natitingou, Bemberche et Dunkassa (Techno expert, 1977 à 1983).
- . Etude de cartographie géologique et de prospection minière de reconnaissance, au 1/200 000, au Nord du 11e parallèle (BREDA-EFIM, 1982).
- . Etude de cartographie géologique et de prospection minière de reconnaissance, au 1/200 000, au Sud du 9e parallèle (BREDA-EFIM, 1987).

5.2.2 Carothèque - Conservation des échantillons de roche

L'OBEMINES est responsable du stockage et de la conservation des échantillons de roche recueillis lors des forages de reconnaissance et des campagnes de levés géologiques de terrain.

Toutes les analyses faites sur ces roches sont actuellement stockées de façon manuscrite sur des registres.

5.3 Données hydrogéologiques

5.3.1 Cartographie des aquifères

Les documents cartographiques, relatifs aux eaux souterraines, existants sont les suivants :

- . Carte de planification des ressources en eau du Bénin (BRGM, 1979).
- . Carte hydrogéologique du Bénin, au 1/500 000 (GEOHYDRAULIQUE, 1985).
- . Carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin au 1/200 000 (GEOHYDRAULIQUE, 1985).
- . Carte des potentialités des ressources en eau souterraine (CIEH/BRGM/GEOHYDRAULIQUE, FED, 1986)

Concernant les 2 cartes hydrogéologiques établies en 1985, sur financement FED, ces documents ont été conçus comme un outil d'orientation pour la recherche et l'exploitation des eaux souterraines.

Les documents suivants ont été élaborés :

- . Une carte au 1/500 000 de l'ensemble du Bénin qui représente la géologie, la lithologie et la potentialité des différents aquifères. Le Bénin est découpé en 46 unités hydrogéologiques ayant un figuré spécifique. Pour chaque unité, la carte précise l'âge géologique, le faciès et sa lithologie, la profondeur des ouvrages qui doivent être implantés, la profondeur du niveau statique, le débit moyen des forages et le taux de succès prévisible. Cette carte est agrémentée de 11 cartouches donnant la répartition spatiale des paramètres suivants : taux d'échec, profondeur des ouvrages, débit des ouvrages, profondeur de l'exhaure, isohyètes, taux de recharge des aquifères, coût des forages, coût de l'énergie nécessaire à l'exploitation des eaux souterraines, pérennité de la ressource, réserve hydraulique des altérites.

- . Une carte au 1/200 000 du bassin sédimentaire côtier qui constitue la zone la plus riche en eau souterraine. Cette carte détaille la géologie, la répartition des forages existants et représente les potentialités d'exploitation des ressources en eau souterraine. 27 unités hydrogéologiques sont identifiées avec une description de leurs caractéristiques hydrogéologiques. Pour permettre de bien comprendre la superposition des différents aquifères, la carte au 1/200 000 est assortie d'une coupe géologique et de 6 cartouches faisant ressortir les unités hydrogéologiques, les unités géographiques, la profondeur de l'eau et une cartographie spécifique des 3 aquifères suivants :
 - Aquifère du Quaternaire, du Continental terminal et du Crétacé continental.
 - Aquifère des calcaires éo-paléocènes.
 - Aquifère des sables du Crétacé.

Chaque carte comporte une notice explicative.

Ces documents ont été réalisés pour le compte de la Direction de l'Hydraulique, rattachée alors au Ministère de l'Équipement et des Transports. Ils ont été édités en 500 exemplaires.

5.3.2 Données de base hydrogéologiques

Nous donnons ci-après le descriptif des données de base collectées et stockées par :

- . le Service de la Programmation et de la Réglementation (Direction de l'Hydraulique),
- . le Service des études d'hydrogéologie (Direction de l'Hydraulique),
- . la SBEE,
- . le projet USAID.

5.3.2.1 Méthode de collecte des données utilisée par la Direction de l'Hydraulique

Dans le cadre de chaque projet dont la Direction de l'Hydraulique est Maître d'Oeuvre, les villages concernés et les points d'eau exécutés font obligatoirement l'objet d'un dossier permettant de rassembler toutes les informations à l'aide des fiches suivantes :

- . Fiche village :
 - nom du village, département, quartier,
 - coordonnées,
 - nombre d'habitants.

- . Fiche d'implantation du point d'eau :
 - localisation sur carte topographique et sur photographie aérienne,
 - situation géomorphologique,
 - autres points d'eau existants,
 - aquifère à capter,
 - profondeur du forage et niveau piézométrique estimés,
 - plan schématique du village et du site du point d'eau.

- . Fiche technique du forage :
 - profondeur forée, équipée,
 - plan d'équipement,
 - diamètre de foration,
 - coupe technique,
 - vitesse de foration,
 - coupe géologique,
 - développement (durée, débit, piézométrie).

- . Fiche essai de pompage :
 - date essai,
 - caractéristiques de l'essai,
 - courbe caractéristique débit en fonction du rabattement,
 - courbe rabattement spécifique en fonction du temps en coordonnée semi-logarithmique permettant de calculer la transmissivité,
 - courbe semi-logarithmique du rabattement en fonction du temps permettant d'extrapoler les données du pompage d'essai pour déterminer le rabattement maximal, donnée indispensable pour fixer la cote d'installation de la pompe.

- . Fiche analyse de l'eau comportant les données physiques, chimiques et bactériologiques telles que citées au § 5.1.2.3.

- . Fiche géophysique éventuelle indiquant les résultats des mesures de traîné électrique et de sondage électrique.

- . Fiche diagraphe éventuelle : elle contient le log du carottage électrique (gamma Ray, polarisation spontanée et résistivité).

. Fiche sur l'installation d'exhaure :

- type de pompe,
- date et cote d'installation,
- pannes constatées.

Ces dossiers "points d'eau" sont remplis et complétés soit par les ingénieurs de la Direction de l'Hydraulique dans le cas de point d'eau fait en régie par l'Administration, soit par des bureaux d'études assurant la maîtrise d'oeuvre déléguée dans le cas de travaux faits à l'entreprise.

Ce mode de collecte de données a été mis au point et systématiquement utilisé depuis 1985.

Tous les dossiers "points d'eau" sous forme manuscrite sont collectés par le Service des Travaux Hydrauliques (STH), responsable à la Direction de l'Hydraulique de l'exécution des projets. Les dossiers sont conservés à la documentation qui dépend du Service de la Programmation et de la Réglementation.

5.3.2.2 Données disponibles au Service de la Programmation et de la Réglementation

Les données disponibles au Service de la Programmation et de la Réglementation sont :

- . le fichier informatisé (logiciel PROSPER),
- . la documentation comprenant les archives et la bibliothèque.

a. Description du logiciel PROSPER

Le logiciel PROSPER est développé dans un environnement compatible dBASE III PLUS. Certains modules sont réalisés à l'aide de dBOUTILS III PLUS. L'ensemble de l'application est compilé par QUICKSILVER.

Les fichiers de base sont au nombre de 2 :

- . le fichier besoins,
- . le fichier ouvrages.

Le fichier besoins associe une fiche à chaque village administratif. Les données qui y sont inscrites sont recueillies à partir de documents de recensement national ou/et des enquêtes villageoises sur le terrain. Elles sont récapitulées sous une fiche de base manuelle. Celle-ci contient les informations qui sont saisies au clavier par les opérateurs.

Une autre partie des informations (besoins en eau, besoins satisfaits ou non satisfaits, etc.) est calculée automatiquement et actualisée.

La partie des données saisies au clavier est consultable à l'écran ou sur imprimante par les options de gestion, mise à jour et listing tandis que la partie calculée est éditée par l'option besoins.

Un traitement de cumuls est appliqué sur les fiches besoins pour dégager des informations synthétiques (géographiques et Hydraulique Villageoise) par subdivisions administratives.

Le fichier ouvrages est le répertoire de tous les points d'eau modernes réalisés dans le pays. Il comporte les forages (secs, abandonnés ou exploités), les puits modernes, les sources et les barrages.

Une fiche ouvrage décrit la localisation de l'ouvrage, son appartenance administrative, le type d'exploitation et d'équipement et quelques caractéristiques techniques. Ces données sont collectées par le projet réalisateur de l'ouvrage et transmises à la cellule chargée du système PROSPER.

Chaque fiche ouvrage est identifiée par 2 rubriques :

- . Le code village, affectation administrative de l'ouvrage.
- . Le numéro de l'ouvrage qui est le numéro affecté par le projet. Chaque projet dispose, pour l'identification de ses ouvrages, de numéros attribués par la Direction de l'Hydraulique.

Les données saisies à partir de la fiche de base manuelle sont consultées ou éditées à partir des options mise à jour ou listing du module de gestion. Des traitements de cumuls et de moyennes sont effectués sur le fichier ouvrages.

La gestion des deux fichiers besoins et ouvrages comporte les opérations suivantes :

- . Ajout (création de nouvelles fiches).
- . Mise à jour (modification ou consultation d'une fiche).
- . Elimination (suppression physique d'une fiche).
- . Sélection (sollicitation pour une sélection sur n'importe quelle rubrique d'informations collectées sur les fiches de base manuelle).
- . Contrôle-actualisation permet d'effectuer 2 types d'opération.

a. Contrôle de la qualité de l'information saisie au clavier dans les fiches ouvrages

Ce contrôle est applicable sur 4 catégories d'information :

- . Rubriques concernant l'équipement d'exhaure pour vérifier l'existence de l'information pour les forages exploités : nombre de pompes, type et date d'installation.
- . Coordonnées des ouvrages par rapport aux coordonnées des villages : tout écartement de plus de 2 km implique une édition de l'ouvrage sur imprimante provoquant ainsi une vérification.
- . Différentes profondeurs saisies sur un ouvrage pour déceler les erreurs de frappe : niveau statique plus grand que la profondeur du forage.
- . Les diamètres des forages et des puits doivent être mentionnés et compris entre des limites maximales et minimales.

c. Actualisation du fichier Besoins

L'actualisation du fichier besoins est une opération permettant de décompter les EPE (équivalents points d'eau villageois) réalisés dans chaque village à partir du fichier ouvrages.

Cette opération d'actualisation doit être lancée avant toute utilisation de PROSPER pour la préparation d'un programme de création de nouveaux points d'eau. Sinon, les réalisations en EPE ne sont pas prises en compte dans le calcul des besoins non satisfaits. Ainsi, l'introduction d'un ouvrage nouveau dans le fichier ouvrages ne modifie pas automatiquement la fiche besoins correspondante.

Autres possibilités de PROSPER :

- . Suivi des projets hydrauliques : état mensuel d'avancement des travaux sur les projets en cours.
- . Planning prévisionnel des travaux de réalisation des ouvrages pour chaque projet.
- . Edition des fiches d'ouvrages.
- . L'option carte sort, sur table traçante et sur un fond de format A3, l'implantation de tous les ouvrages. Le fond peut être une carte topographique découpée en format A3.
- . Calcul de la population extrapolée : cette option permet de calculer la population à un horizon choisi avec l'aide du taux d'accroissement par sous-préfecture ou par département.
- . Le calcul des besoins en eau peut se faire à partir de la population actuelle ou de la population extrapolée à un horizon choisi.

d. Import-export de données

Liaison entre PROSPER et ACTIF/BADGE (logiciel développé par le BRGM pour la réalisation de compte rendu d'exécution de forages) :

PROSPER et BADGE font partie intégrante de PROGRES (Programmation et Gestion des Ressources en eau).

ACTIF est un des modules possibles de saisie des ouvrages dans PROGRES. Ces 3 logiciels sont interconnectés, la base ouvrage étant commune à PROSPER et BADGE.

Liaison PROSPER, fichier dBASE :

La liaison peut être de type import ou export.

A partir de PROSPER, il est possible de sortir les données sous forme d'un fichier type dBASE. Celui-ci peut être stocké sur disquette et est ainsi transportable.

L'importation de données sous forme de fichier dBASE est possible sur PROSPER. Toutefois, ce transfert doit obéir aux règles suivantes :

- . Même structure des 2 fichiers.
- . Même libellé des champs des 2 fichiers.
- . Même contenu et uniformité de la codification.

Liaison PROSPER, fichier ASCII

La liaison est de type export à partir de PROSPER.

e. Liste des fichiers utilisés dans PROSPER

- . Pour la fiche besoins :
 - code village,
 - village, commune, sous-préfecture, département,
 - nom local,
 - longitude, latitude du village,
 - type de village,

- demande exprimée,
- unité de programme (zone côtière, zone lacustre, plateaux, etc.),
- urgence des besoins en eau,
- existence d'un dispensaire, école, marché, collège, ER, centre d'élevage, artisan-réparateur
- population recensée, année du recensement,
- population estimée, année de l'estimation.

. Pour la fiche ouvrages :

- code village et n° ouvrage,
- village, commune, sous-préfecture, département,
- priorité programmée,
- nom local,
- longitude, latitude du point d'eau,
- projet,
- date d'exécution,
- description ouvrage,
- usage de l'eau,
- nombre de pompes, marque et date d'installation,
- état équipement d'exhaure,
- géologie,
- profondeur du toit du socle ou de l'aquifère,
- niveau statique/sol,
- type d'essai de pompage,
- débit exploitable (m³/j),
- profondeur totale de l'ouvrage,
- diamètre intérieur de captage,
- classe de conductivité,
- potabilité.

f. Données actuellement saisies dans PROSPER

Le fichier besoins comporte les indications concernant 3721 villages recensés.

Le fichier ouvrage contient les données relatives à 4280 ouvrages existants (secs ou productifs).

g. La documentation de la Direction de l'Hydraulique

La documentation comporte :

- . la bibliothèque qui contient de multiples rapports avec d'abondantes données techniques sur les ressources en eau,
- . les archives administratives de la Direction de l'Hydraulique.

Actuellement, il n'y a pas de base données documentaires informatisée. Les documents sont recensés grâce à un fichier manuscrit.

La réorganisation et le bon fonctionnement du fichier manuel ont été revus dans le cadre du projet PNUD-BEN/85/004.

Les moyens en personnel comportent un documentaliste de l'Administration.

5.3.2.3 Données disponibles au Service des Etudes d'Hydrogéologie

Dans le cadre du projet BEN-85-004 initié par le PNUD, relatif à l'assistance à la Direction de l'Hydraulique pour la préparation d'un Plan Directeur des Ressources en Eau, le travail informatique a été effectué à l'aide des logiciels existants à la Direction de l'Hydraulique et d'un logiciel de gestion des données hydrogéologiques HYDROBASE.

a. Description du logiciel HYDROBASE

Le logiciel de gestion de cette base de données fait partie du système MAGISTERE (Modules d'Assistance à la Gestion Informatique et au Suivi Technique d'Exploitation des Ressources en Eau).

Ce système, en plus d'HYDROBASE, contient des modules de gestion administrative :

- . HYPERBASE (gestion du personnel),
- . BADOCC (gestion documentaire),
- . GESTOCK (gestion des stocks).

Le système MAGISTERE complète les deux autres logiciels largement utilisés à la Direction de l'Hydraulique :

- . PROSPER (gestion des points d'eau),
- . HYDROM (base de données hydrologiques).

L'outil de base de développement des applications d'HYDROBASE est le système de gestion de base de données dBASE III plus.

HYDROBASE peut fonctionner sur tout système compatible IBM ayant au moins 320 Ko de mémoire vive et un disque dur.

Le système d'exploitation utilisé est le MS-DOS.

Les applications scientifiques ou graphiques sont programmées en TURBO-PASCAL.

Pour modifier ou compléter les modules graphiques, un compilateur TURBO-PASCAL v.3.0 est nécessaire.

Un tableur et un traitement de texte complètent le système informatique : LOTUS 1.2.3 et FRAMEWORK II.

b. Liste des fichiers de la base de données hydrogéologique d'HYDROBASE

1. Fichier situation géographique

- . numéro de l'ouvrage,
- . nom du village : officiel, sur la carte,
- . commune, sous-préfecture, département,
- . longitude, latitude, altitude,
- . cartes = 1/50 000, 1/200 000.

2. Fichier implantation (caractéristiques du site choisi)

- . puits existants : profondeur, niveau de l'eau, pérennité,
- . forage existant : marque et état de la pompe,
- . distance village-marigot,
- . pérennité du marigot
- . fracturation,
- . géophysique,
- . implantation : 1er choix, 2e choix,
- . difficulté d'accès,
- . photos utilisées,
- . présence : école, hôpital, marché, maternité, dispensaire,
- . nombre d'habitants.

3. Fichier forages (caractéristique d'un forage)

- . profondeur forée,
- . niveau statique,
- . arrivées d'eau et débit correspondant,
- . longueur tubée : longueur tubes pleins, longueur crépinée,
- . diamètre des tubes,
- . type de tube,
- . profondeur sommet crépine,
- . largeur des fentes,
- . foration : date de début et de fin,
- . type de sondeuse et mode de foration,
- . diamètres de foration et longueurs correspondantes,
- . outil de foration,
- . cimentation, packer,
- . volume de gravier,
- . soufflage : durée et débit,
- . rabattement air-lift,
- . débit à la foration,
- . épaisseur d'altération,
- . pour chaque couche de terrain : limite supérieure et inférieure et description de la couche.

4. Fichier puits

- . diamètre intérieur,
- . télescopage éventuel,
- . hauteur mouillée,
- . niveau statique,
- . type de crépinage,
- . type de puisage,
- . date d'installation,
- . couvercle éventuel.

5. Fichier aquifère (caractéristique d'un aquifère)

- . nom de l'aquifère,
- . niveau statique initial, final,
- . rabattement,
- . type de pompage d'essai et nombre de paliers,
- . durée de remontée,
- . transmissivité, coefficient d'emmagasinement,
- . altitude niveau piézométrique,
- . durée par palier et débit/palier, rabattement correspondant,

- . niveau statique de l'aquifère,
- . type de pompe utilisée,
- . profondeur de la pompe immergée.

6. *Fichier analyses* (composition de l'eau)

- . date de prélèvement et date d'analyse,
- . t°, pH, conductivité,
- . couleur et goût de l'eau,
- . résidu sec à 110°,
- . cations : Na+, K+, Ca++, Mg++,
- . anions : Cl-, SO₄⁻⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻⁻, NO₃⁻,
- . balance ionique,
- . fer,
- . coliformes totaux et fécaux.

7. *Fichier pompes* (moyen d'exhaure)

- . nombre et type de pompe, origine,
- . date d'installation,
- . profondeur d'installation,
- . structure d'entretien,
- . lieu de résidence du service.

8. *Fichier pannes* (défection des pompes)

- . date, type et durée de la panne.

9. *Fichier projet* (fichier de gestion des projets)

- . titre et code de référence du projet,
- . prévu, en cours ou terminé,
- . localisation géographique,
- . attributions,
- . date de démarrage, durée prévue, durée effective,
- . ouvrages prévus, réalisés,
- . nombre de forages positifs,
- . % de réussite,
- . forages réalisés/mois,
- . longueur totale forée.

10. *Fichier DICO* (lexique)

- . noms des objets,
- . désignation.

c. Les sorties cartographiques d'HYDROBASE

1. Cote piézométrique : cette rubrique permet de reporter, au 1/200 000, les cotes piézométriques des différents forages par aquifère.

Ce report peut être fait sur des cartes topographiques au 1/200 000 découpées en A3 (369 mm x 275 mm).

2. Positionnement au 1/200 000 ou au 1/50 000. Les points d'eau sont reportés avec leurs numéros d'identification.
3. Toit et mur : il est possible d'avoir des cartes du mur et du toit des différentes formations géologiques.

d. Programmes et fichiers annexes d'HYDROBASE

- . Programme de traitement des données géophysiques :

Le programme sondage réalisé en TURBO PASCAL pour interpréter les résultats des sondages électriques.

- . Programme sismique réfraction :

- un programme écrit en basic calcule les vitesses et les profondeurs,

- un programme écrit sous LOTUS 1.2.3 fonctionne uniquement dans le cas des terrains bicouches.

- . Programme pompage : écrit en TURBO PASCAL, il permet de calculer la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement après interprétation des essais de débits par la méthode de Theis.

- . Programme d'analyses chimiques et de balance ionique : il tourne sous PRODOS (Apple IIC). Permet de tracer le diagramme de Piper à partir des résultats des analyses chimiques.

- . Il existe, dans HYDROBASE, un fichier particulier qui contient les observations piézométriques :

- date de mesure,
- profondeur du niveau piézométrique,
- conductivité,
- température.

e. Données actuellement stockées dans HYDROBASE

HYDROBASE contient actuellement les caractéristiques des points d'eau et les résultats des prospections et travaux sur le terrain (géologie, géophysique, piézométrie, qualité de l'eau) pour environ 3000 forages répartis sur toute l'étendue du Bénin.

Les données saisies dans HYDROBASE proviennent des dossiers "villages" et rapports de fin de projets d'Hydraulique Villageoise.

Ont également été pris en compte les données d'une cinquantaine de forages exécutés par la SBEE.

Il reste à rassembler puis à saisir les données concernant :

- . les puits modernes (environ 700 ouvrages),
- . environ 800 forages pour compléter les 2000 déjà saisis,
- . mettre à jour les données d'analyses chimiques dont très peu de résultats sont informatisés.

Enfin, il sera nécessaire d'effectuer des contrôles de qualité afin de valider l'ensemble des données.

f. Données sur les analyses d'eau

Depuis 1986, la division Hydrochimie existe au sein du Service des Etudes d'Hydrogéologie de la Direction de l'Hydraulique. Depuis cette date, tous les projets d'Hydraulique Villageoise réalisés au Bénin sont tenus de faire un prélèvement d'eau sur chaque ouvrage lors de l'essai de pompage. Ces prélèvements sont remis à la division Hydrochimie pour détermination des principaux paramètres physico-chimiques.

Ainsi que cela a déjà été signalé, peu de données physico-chimiques sont stockées dans HYDROBASE, mais les résultats d'analyses sont conservés sur des registres manuscrits.

Tableau 5.3.1 - DONNEES DISPONIBLES A LA DIVISION HYDROCHIMIE	
Type d'échantillons	Nombre d'analyses réalisées de 1986 à 1990
Eau de forage	1027
Eau de puits	38
Captages privés	6
Puisard	1
Total	1072

5.3.2.4 Données disponibles dans le cadre du projet USAID

A l'aide du logiciel EXCEL, le projet USAID a constitué une base de données hydrogéologiques.

a. Liste des fichiers utilisés

Pour chaque forage, les données suivantes sont stockées :

- . numéro du forage,
- . coordonnées x, y, z,
- . profondeur du forage,
- . débit de soufflage,
- . épaisseur de l'altération,
- . coupe géologique,
- . profondeur des venues d'eau,
- . longueur des tubes pleins utilisés,
- . longueur des crépines utilisées,
- . analyse de l'eau : pH, résistivité, dureté, fer,
- . pompe : origine, profondeur et date d'installation.

b. Données actuellement stockées

Le projet USAID a ainsi stocké les données :

- . des forages exécutés dans ce cadre (soit 290 ouvrages),
- . des forages réalisés par l'UNICEF entre 1980 et 1990.

En tout, la base de données contient les résultats de près de 800 points d'eau. Il faut ajouter que des analyses bactériologiques (recherche des coliformes fécaux) ont été faites sur les 290 forages productifs du projet.

5.3.2.5 Données disponibles à la SBEE

Dans le cadre de l'approvisionnement en eau potable des centres urbains du Bénin, la SBEE est amenée à réaliser ou à faire réaliser des études sur les ressources en eau souterraines. Ces études se traduisent par de nombreux rapports qui sont conservés par le Service Etude-Eau.

Sont également disponibles les données techniques, géologiques et hydrogéologiques sur les travaux de forage réalisés par le CFPAGE pour la SBEE.

Aucune informatisation des données ainsi collectées n'existe à la SBEE.

5.3.3 Données piézométriques

Actuellement au Bénin, des réseaux piézométriques ont été mis en place ou sont en cours d'installation dans le cadre de 2 projets :

- . Contribution à l'élaboration d'un Plan Directeur d'utilisation des ressources en eau du Bénin. Projet PNUD-BEN/85/004. Ce projet est terminé.
- . Inventaire des ressources en eau souterraine du Bénin. Financement Banque Islamique de Développement. Ce projet est en cours.

5.3.3.1 Données piézométriques du projet PNUD

a. Constitution du réseau piézométrique

L'un des objectifs du projet BE/85/004 était l'évaluation des potentialités du bassin sédimentaire côtier en eau souterraine.

Un réseau piézométrique a été mis en place pour permettre de surveiller les deux principaux aquifères du bassin sédimentaire côtier du Bénin (voir figure 5.3.1) :

- . Le plateau d'Allada-Godomey (Continental Terminal + Quaternaire) servant à alimenter la ville de Cotonou.
- . L'aquifère des sables maestrichtiens.

Le réseau de surveillance comporte 37 piézomètres constitués par :

- . 11 forages exécutés en 1987 dans le cadre du projet BOAD, non équipés de pompe,
- . 25 forages exécutés par le projet BEN 85/004,
- . 1 piézomètre réalisé, mais non utilisé, par la SBEE.

Le plateau d'Allada comporte ainsi 30 piézomètres et les sables maestrichtiens 7 piézomètres (voir tableaux 5.3.2 et 5.3.3).

Les 25 forages exécutés par le projet BEN 85/004 ont été réalisés par les moyens disponibles à la Direction de l'Hydraulique (atelier de forage japonais).

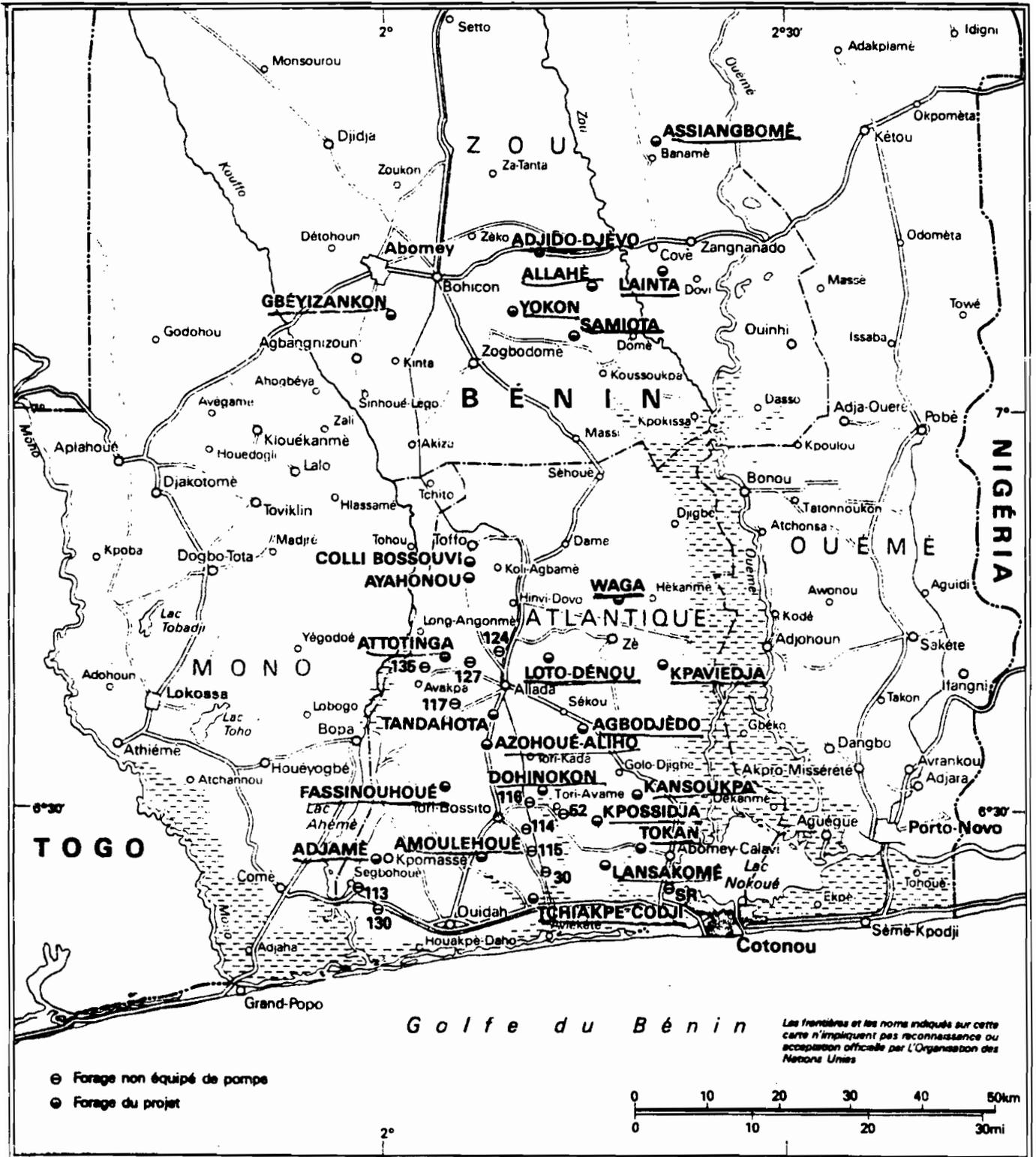
b. Surveillance du réseau piézométrique

Les tournées de mesures piézométriques sont assurées par le Service des Etudes d'Hydrogéologie (Direction de l'Hydraulique).

Figure 5.3.1

BASSIN SEDIMENTAIRE
COTIER DU BENIN

Réseau piézométrique
du projet PNUD - BEN 85/004



MAP NO 3577.2 (F) UNITED NATIONS
JANUARY 1990

Tableau 5.3.2 - BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER
LOCALISATION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE DU PROJET PNUD-BEN 85/004

Identification	Village	Commune	X	Y	Z (m)	N.P.* (m)	Cote piézométrique (m)	Remarques
AT B0 113	Segbohoulé	Segbohoulé	1 57 50	6 24 14	29	28	1	3/87
AT B0 114	Tori-Houvié	Tori Bossito	2 10 45	6 29 10	35	25	10	3/87
AT B0 115	Akadjamé	Tori - gare	2 11 10	6 28 10	29	22	7	3/87
AT B0 116	Tori - gare	Tori - gare	2 10 40	6 30 45	42	34	8	3/87 marqué par erreur AT 57 sur le socle
AT B0 117	Lissegazoum	Lissegazoum	2 05 37	6 37 46	95	51	43	
AT B0 117	Donon Topkota	Allada	2 08 50	6 41 25	105	49	56	
AT B0 127	Agondokpoe	Agbanon	2 06 30	6 41 30	102	61	41	
AT B0 130	Houssa	Agonkanmey	1 58 32	6 23 48	28	26	2	
AT B0 135	Tegbo	Agbanon	2 04 21	6 40 50	165	53	112	
AT B0 030	Adovié	Pahou	2 12 05	6 24 27	12	12	0	
AT B0 052	Avamè	Tori-Avamé	2 12 30	6 30 19	15	13	2	
P7/SBEE	Lokokodji	Abomey-Calavi	2 20 36	6 24 06	2			A souffler
F1	Tokan							
F2	Lansacomé	Abomey-Calavi	2 16 06	6 26 13	21	15	6	
F3	Kpossidja	Abomey-Calavi	2 15 55	6 29 21	28	25	3	
F4	Kansoukpa	Abomey-Calavi	2 19 34	6 30 20	39	26	13	
F5	Fassinouhoué	Tori Bossito	2 05 24	6 30 45	52	39	13	
F6	Dohinonko	Tori Bossito	2 11 12	6 31 39	45	36	9	
F7	Amouléhoué	Ouidah	2 07 19	6 26 29	41	21	20	
F8	Tchakpécodji	Ouidah	2 10 18	6 23 46	11	7	4	
F9	Adjamé-Alagbédé	Kpomassè	1 59 32	6 25 52	29	28	1	
F10	Azohè-Aliho	Tori Bossito	2 07 45	6 34 50	59	49	10	
F11	Tandahota	Tori Bossito	2 07 53	6 36 55	85	54	31	
F12	Attotinga	Allada	2 04 57	6 41 55	85	50	35	
F14	Loto Dénou	Allada	2 12 10	6 41 36	82	38	44	

Tableau 5.3.2 - BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER
LOCALISATION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE DU PROJET PNUD-BEN 85/004 (suite)

Identification	Village	Commune	X	Y	Z (m)	N.P.* (m)	Cote piézométrique (m)	Remarques
F15	Waga	Zè	2 16 52	6 44 33	91	57	3	
F16	Agbodjedo	Zè	2 15 10	6 36 35	75	52	23	
F17	Kpaviedja	Zirvié	2 20 49	6 41 00	60	46	14	
F18	Colli Bossouvi	Toffo	2 09 39	6 48 01	145	37	108	
F19	Ayahonou	Toffo	2 06 47	6 46 31	142	68	74	
F22	Gbeyizankon	Abomey	2 00 13	7 08 13	182	66	116	
D24	Adjido-Djevo	Za Kpota	2 12 03	7 12 07	98	42	56	
F25	Allahè	Za Kpota	2 15 52	7 10 31	39	11	28	
F26	Yokon	Zogbodomè	2 09 01	7 07 10	62	17	45	
F27	Samionta	Zogbodomè	2 15 07	7 05 43	42	16	26	
F28	Lanta	Covè	2 20 33	7 10 55	65	15	50	
F29	Assiangbomey	Zangnanado	2 20 24	7 20 17	137	18	119	

* Niveau piézométrique

Tableau 5.3.3 - BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER							
DESCRIPTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE DU PROJET PNUD-BEN 85/004							
N°	Nom	Date construction	Profondeur équipée (m)	Equipement tubage PVC			Formation géologique
				Diamètre (mm)	Tubes pleins (m)	Crépines (m)	
P1	Tokan	23/05/1988	41,70	45/50	35,70	6,00	Continental Terminal
P2	Lansacome	26/05/1988	54,00	45/50	48,00	6,00	Quaternaire
P3	Kpossidja	30/05/1988	41,70	45/50	35,58	6,12	Continental Terminal
P4	Kansoukpa	02/06/1988	48,00	45/50	42,00	6,00	Continental Terminal
P5	Fassinouhoue	08/06/1988	48,00	45/50	42,00	6,00	Continental Terminal
P6	Dohinonko	10/06/1988	66,00	45/50	60,00	6,00	Continental Terminal
P7	Amoulehoue	16/06/1988	66,00	45/50	60,30	5,70	Quaternaire
P8	Tchakpecodji	21/06/1988	72,00	45/50	66,00	6,00	Quaternaire
P9	Adjame-Alagbade	27/06/1988	72,00	45/50	66,00	6,00	Quaternaire + CT
P10	Azohoue Aliho	07/07/1988	60,00	45/50	54,00	6,00	Continental Terminal
P11	Tandahota	19/07/1988	72,00	45/50	66,00	6,00	Continental Terminal
P12	Attotinga	25/07/1988	78,00	45/50	72,00	6,00	Continental Terminal
P13	Loto Donou	08/08/1988	78,00	45/50	72,00	6,00	Continental Terminal
P14	Waga	26/08/1988	78,00	45/50	72,00	6,00	Continental Terminal
P15	Agbodjedo	31/08/1988	66,00	45/50	60,00	6,00	Continental Terminal
P16	Kpaviedja	03/09/1988	60,00	45/50	54,00	6,00	Quaternaire + CT
P17	Ayahonou	13/09/1988	84,00	45/50	78,00	6,00	Continental Terminal
P18	Gbeyizankon	17/10/1988	76,18	45/50	65,18	11,00	Continental Terminal
P19	Adjido Djevo	04/11/1988	59,00	45/50	53,00	6,00	Crétacé
P20	Za-Hla/Allahe	09/11/1988	48,00	45/50	42,00	6,00	Crétacé
P21	Yokon	16/11/1988	77,00	45/50	71,00	6,00	Crétacé
P22	Samiota	24/11/1988	78,00	45/50	72,00	6,00	Crétacé
P23	Lainta	01/12/1988	34,5	45/50	28,65	5,85	Crétacé
P24	Assain Gbomey	09/12/1988	30,00	45/50	24,00	6,00	Crétacé

Quatre visites par an sont effectuées avec les moyens suivants :

- . Un technicien supérieur.
- . Un chauffeur.
- . Un véhicule tout terrain provenant du parc de matériel de la Direction de l'Hydraulique, affecté pour la durée de la tournée.
- . Deux sondes électriques.

Une tournée de mesures piézométriques dans le bassin sédimentaire côtier effectuée au départ de Cotonou représente 4 jours de terrain et 1600 km.

c. Disponibilité des données

Une année complète de mesures est disponible sur le réseau de surveillance du bassin sédimentaire côtier (voir figure 5.3.2).

Lorsqu'à proximité du piézomètre se trouve un point d'eau équipé d'une pompe, le technicien fait une mesure de conductivité de l'eau.

L'ensemble des données disponibles est stocké par village sur des fiches manuscrites.

5.3.3.2 Données piézométriques du projet BID

a. Inventaire des points d'eau existants avec mesures piézométriques

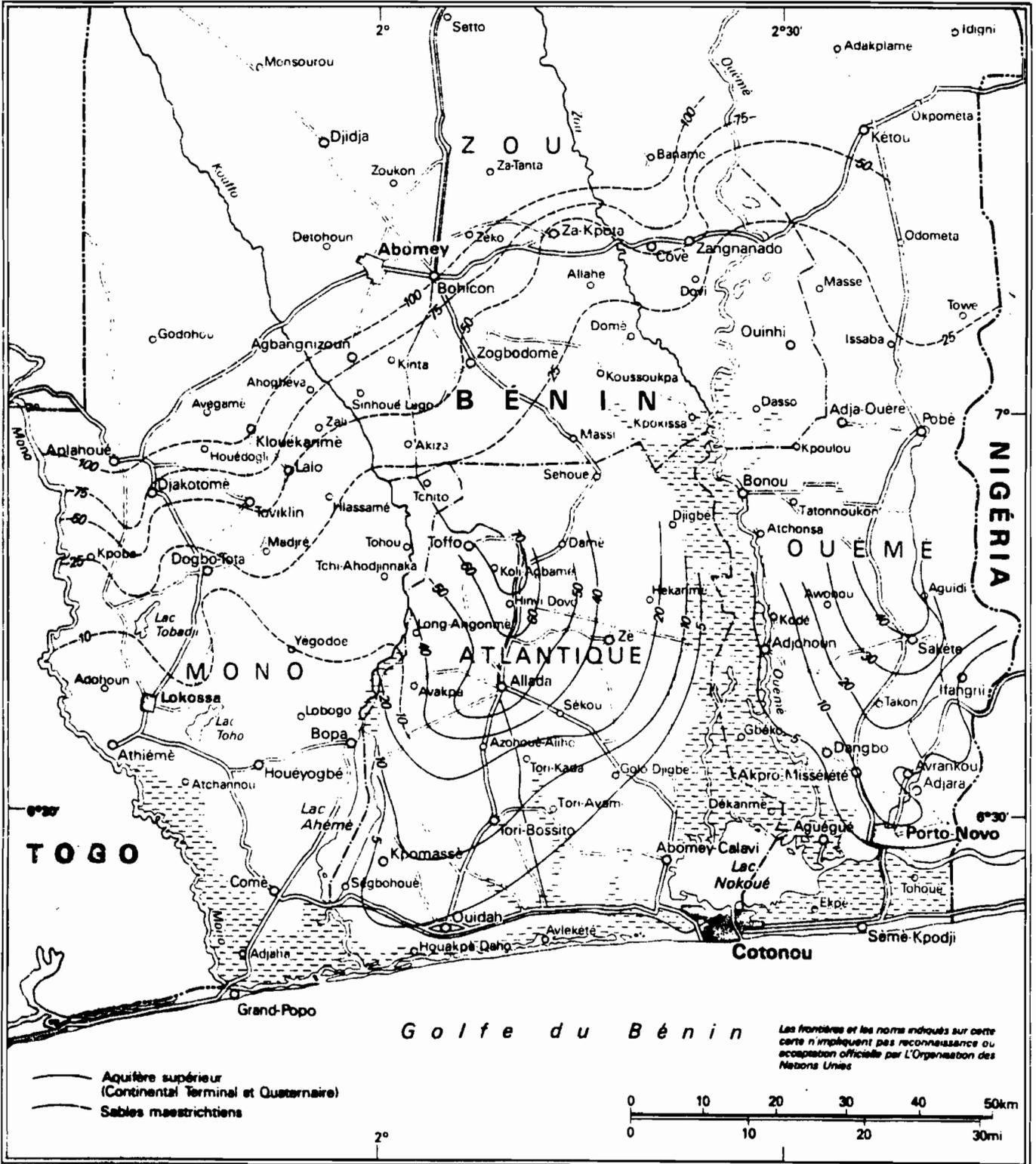
Au cours de la première phase de ce projet, une reconnaissance de terrain a été faite sur l'ensemble du Bénin. Elle a permis d'inventorier 377 points d'eau : les niveaux piézométriques y ont été systématiquement mesurés.

Cette campagne de mesures s'est déroulée entre le 25 janvier et le 27 février 1988.

Figure 5.3.2

BASSIN SEDIMENTAIRE
COTIER DU BENIN

Carte piézométrique



MAP NO. 3577.1 (F) UNITED NATIONS
JANUARY 1990

Les points de mesures sont répartis dans le tableau 5.3.4.

Tableau 5.3.4 - POINTS D'EAU DU RESEAU PIEZOMETRIQUE INVENTORIES ET VISITES			
Département	Puits	Forages	Total
Atacora	19	-	19
Atlantique	52	20	72
Borgou	107	-	107
Mono	36	7	43
Ouémé	42	4	46
Zou	52	38	90
	308	69	377

b. Mise en place d'un réseau piézométrique

Dans la 2e phase de l'étude, le projet BID, inventaire des ressources en eau souterraine du Bénin, en cours d'exécution, concentre ses investigations :

- . sur le bassin sédimentaire côtier, dans la zone du cordon littoral le long de l'Atlantique afin de déterminer l'évolution du biseau salé en fonction du temps sous différentes contraintes hydroclimatiques,
- . sur les grès de Kandi,
- . sur les alluvions du Niger.

Les ouvrages décrits ci-après ont été faits à l'entreprise (SOGEA).

b1. Réseau de surveillance du cordon littoral (tableau 5.3.5)

Le réseau de surveillance du cordon littoral comporte 15 sites disposés en 5 lignes (3 sites par ligne). Chaque site comporte 2 à 4 piézomètres. L'objectif est de déterminer les mouvements de l'interface eau douce - eau salée et l'interaction des différents facteurs hydroclimatiques. La zone étudiée ainsi couvre environ 1000 km².

Trois de ces sites sont équipés, en plus, d'un forage d'exploitation pour effectuer des pompages d'essai, l'objectif étant de déterminer les paramètres hydrodynamiques de ces formations.

b2. Réseau de surveillance des grès de Kandi (tableau 5.3.6)

Le réseau de surveillance des grès de Kandi comporte 10 piézomètres dont 6 sont répartis sur 3 sites ; chaque site comporte 2 piézomètres et est équipé en plus d'un forage d'exploitation pour effectuer des pompages d'exploitation.

b3. Réseau de surveillance des alluvions du Niger (tableau 5.3.7)

Le réseau de surveillance des alluvions du Niger comporte actuellement 4 piézomètres installés perpendiculairement à la berge du fleuve à des distances appropriées, ayant pour objectif de déterminer l'effet du niveau d'eau et du débit du fleuve Niger sur les fluctuations de la nappe alluviale.

b4. Réseau de surveillance de l'AEP de Natitingou (tableau 5.3.8)

Dans l'objectif d'étudier les ressources en eaux souterraines pour l'alimentation de Natitingou, 4 piézomètres ont été installés à proximité de forages d'exploitation existants.

c. Surveillance du réseau piézométrique

Les tournées de mesures piézométriques dans le cadre du projet BID sont assurées par le projet lui-même (Bureau d'Etudes + personnel de la Direction de l'Hydraulique).

Quatre campagnes de mesures par an sont prévues sur le réseau décrit ci-dessus :

- . Le cordon littoral.
- . Les grès de Kandi.
- . Les alluvions du Niger.
- . L'alimentation en eau de Natitingou.

En plus de ces points d'observations, des mesures sont faites sur 230 points ou forages qui ont été choisis par le projet.

Les circuits de mesure sont effectués par 2 équipes :

- . 1 équipe pour les départements du Borgou et de l'Atacora,
- . 1 équipe pour les départements du Mono, Atlantique, Ouémé et Zou.

A deux équipes, une campagne de mesures dure 3 semaines.

d. Disponibilité des données

Le projet BID a déjà effectué :

- . 1 campagne de mesures en 1988,
- . 1 campagne de mesures en 1990.

Cependant, aucune mesure n'a encore été effectuée sur les piézomètres du cordon littoral, ces ouvrages étant en cours de réalisation.

Les mesures collectées sont saisies sur disquettes à l'aide de LOTUS 1.2.3 par le Bureau d'Etudes responsable de ce projet.

5.3.3.3 Données piézométriques de la SBEE

La Société Béninoise d'Eau et d'Electricité ne fait aucun suivi piézométrique des aquifères exploités pour l'approvisionnement en eau des centres urbains, même pour le cas particulier de l'alimentation de Cotonou.

Tableau 5.3.5 - DESCRIPTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE DU CORDON LITTORAL (Projet BID)

N°	Nom	Date construction	Coordonnées		Profondeur équipée (m)	Niveau crépiné (m)	Formation géologique	Diamètre PVC (mm)
			x	y				
FR ₁ -1	Seme Podji	1990	2°36'57"	6°22'13"	59	De 53 à 59	Quaternaire	50/63
FR ₁ -2	Seme Podji	1990	2°36'57"	6°22'13"	22	De 16 à 22	Quaternaire	50/63
FR ₂ -1	Djregbe	1990	2°38'17"	6°25'23"	44	De 38 à 44	Quaternaire	50/63
FR ₂ -2	Djregbe	1990	2°38'17"	6°25'23"	16	De 10 à 16	Quaternaire	50/63
FR ₃	Djeffa	1990	2°34'8"	6°23'23"	18	De 12 à 18	Continental Terminal ?	50/63
FR ₄ -1	PK 14 Route de Lomé	1990	2°19'48"	6°24'35"	50	De 44 à 50	Continental Terminal ?	50/63
FR ₄ -2	PK 14 Route de Lomé	1990	2°19'48"	6°24'35"	36	De 30 à 36	Continental Terminal ?	50/63
FR ₄ -3	PK 14 Route de Lomé	1990	2°19'48"	6°24'35"	27	De 21 à 27	Continental Terminal ?	50/63
FR ₅ -1	Dekoungbe	1990	2°19'37"	6°22'48"	60	De 54 à 60	Quaternaire	50/63
FR ₅ -2	Dekoungbe	1990	2°19'37"	6°22'48"	46	De 40 à 46	Quaternaire	50/63
FR ₅ -3	Dekoungbe	1990	2°19'37"	6°22'48"	12	De 6 à 12	Quaternaire	50/63
FR ₅ -4	Dekoungbe	Non exécuté	2°19'37"	6°22'48"	-	-	-	-
FE ₁	Dekoungbe	Non exécuté	2°19'37"	6°22'48"	-	-	-	-
FR ₆ -1	Cococodji	Non exécuté	2°16'50"	6°22'35"	83	De 77 à 83	Quaternaire	50/63
FR ₆ -2	Cococodji	Non exécuté	2°16'50"	6°22'35"	9	De 5 à 9	Quaternaire	50/63
FR ₇ -1	Cococodji	Non exécuté	2°12'32"	6°12'13"	50	De 44 à 50	Quaternaire	50/63
FR ₇ -2	Cococodji	Non exécuté	2°12'32"	6°12'13"	13	De 7 à 13	Quaternaire	50/63
FR ₈ -1	Pahou	Non exécuté	2°12'32"	6°22'8"	84	De 78 à 84	Quaternaire ?	50/63
FR ₈ -2	Pahou	Non exécuté	2°12'32"	6°22'8"	52	De 46 à 52	Quaternaire ?	50/63
FR ₈ -3	Pahou	Non exécuté	2°12'32"	6°22'8"	9	De 7 à 9	Quaternaire ?	50/63
FR ₉ -1	Pahou	Non exécuté	2°12'13"	6°22'8"	89	De 83 à 89	Continental Terminal	50/63
FR ₉ -2	Pahou	Non exécuté	2°12'13"	6°22'8"	65	De 59 à 65	Continental Terminal	50/63
FR ₉ -3	Pahou	Non exécuté	2°12'13"	6°22'8"	41	De 35 à 41	Continental Terminal	50/63
FR ₉ -4	Pahou	Non exécuté	2°12'13"	6°22'8"	65,96	De 60 à 65,96	Continental Terminal	50/63
FE ₂	Pahou	En cours	2°12'13"	6°22'8"	-	-	-	-
FR ₁₀ -1	Zoungbodji	1990	2°5'10"	6°20'40"	79	De 73 à 79	Quaternaire	50/63
FR ₁₀ -2	Zoungbodji	1990	2°5'10"	6°20'40"	61	De 55 à 61	Quaternaire	50/63
FR ₁₀ -3	Zoungbodji	1990	2°5'10"	6°20'40"	25	De 22 à 25	Quaternaire	50/63

Tableau 5.3.5 - DESCRIPTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE DU CORDON LITTORAL (Projet BID) (suite)

N°	Nom	Date construction	Coordonnées		Profondeur équipée (m)	Niveau crépiné (m)	Formation géologique	Diamètre PVC (mm)
			x	y				
FR ₁₁₋₁	Abloukoutou	1990	2°0'55"	6°21'33"	91	De 85 à 91	Continental Terminal	50/63
FR ₁₁₋₂	Abloukoutou	1990	2°0'55"	6°21'33"	58	De 52 à 58	Continental Terminal	50/63
FR ₁₁₋₃	Abloukoutou	1990	2°0'55"	6°21'33"	21	De 15 à 21	Continental Terminal	50/63
FR ₁₂₋₁	Nazoume-Gare	1990	1°58'35"	6°22'52"	89	De 83 à 89	Continental Terminal	50/63
FR ₁₂₋₂	Nazoume-Gare	1990	1°58'35"	6°22'52"	32	De 29 à 32	Continental Terminal	50/63
FR ₁₂₋₃	Nazoume-Gare	1990	1°58'35"	6°22'52"	67	De 61 à 67	Continental Terminal	50/63
FR ₁₂₋₄	Nazoume-Gare	En cours	1°58'35"	6°22'52"	-	-	-	-
FE ₃	Nazoume-Gare	En cours	1°58'35"	6°22'52"	-	-	-	-
FR ₁₃₋₁	Nazoume	1990	1°57'40"	6°22'05"	90	De 84 à 90	Quaternaire	50/63
FR ₁₃₋₂	Nazoume	1990	1°57'40"	6°22'05"	66	De 60 à 66	Quaternaire	50/63
FR ₁₃₋₃	Nazoume	1990	1°57'40"	6°22'05"	11	De 8 à 11	Quaternaire	50/63
FR ₁₄₋₁	Gative	1990	1°52'15"	6°21'28"	64	De 58 à 64	Continental Terminal	50/63
FR ₁₄₋₂	Gative	1990	1°52'15"	6°21'28"	45	De 42 à 45	Continental Terminal	50/63
FR ₁₅₋₁	Lintan	1990	1°51'32"	6°21'28"	73	De 67 à 73	Continental Terminal	50/63
FR ₁₅₋₂	Lintan	1990	1°51'32"	6°21'28"	54	De 51 à 54	Continental Terminal	50/63
FR ₁₅₋₃	Lintan	1990	1°51'32"	6°21'28"	14	De 11 à 14	Continental Terminal	50/63

FR₁₋₁ (Forages de reconnaissance sur site n° 1 avec piézomètres 1 et 2

FR₁₋₂ (

FE₂: Forage d'exploitation n° 2

Tableau 5.3.6 - DESCRIPTION DU RESEAU DE SURVEILLANCE DANS LES GRES DE KANDI (Projet BID)

N°	Nom	Date construction	Coordonnées		Profondeur équipée (m)	Diamètre équipement (mm)	Niveau crépiné (m)	Formation géologique
			x	y				
	<u>Piézomètres</u>							
P1FB2	Gogue Kpara	03/09/1990	3°27'29"	11°25'31"	80,80	50/63	De 74,90 à 80,84	Altération + grès
P2FB2	Gogue Kpara	05/09/1990	3°27'29"	11°25'31"	80,84	50/63	De 74,90 à 80,84	Grès
P1FB3	Kalale	06/10/1990	3°23'13"	10°17'40"	29,84	50/63	De 23,87 à 29,84	Altération
P2FB3	Kalale	07/10/1990	3°23'13"	10°17'49"	29,84	50/63	De 23,87 à 29,84	Altération
P1FB4	Zougou	13/10/1990	2°58'58"	10°16'41"	29,84	50/63	De 23,87 à 29,84	Altération + grès
P2FB2	Zougou	14/10/1990	2°58'58"	10°16'41"	29,84	50/63	De 23,87 à 29,84	Altération + grès
PB5	Koutakroukou	29/09/1990	3°03'50"	11°03'00"	20,00	50/63	De 13,91 à 19,84	Altération
PB6	Pont Sota	23/09/1990	3°15'10"	10°58'54"	16,00	50/63	De 9,89 à 15,84	Altération
PB7-1	Gbessaka	26/09/1990	3°23'50"	10°57'00"	20,00	50/63	De 14 à 18,96	Altération
PB7-2	Gbessaka	27/09/1990	?	?	68,00	50/63	De 50 à 67,85	Altération
	<u>Forages d'exploitation</u>							
FB2	Gogue Kara	30/08/1990	3°27'29"	11°25'31"	93,00	200/225	De 72,67 à 93,00	Grès
FB3	Kalale	05/10/1990	3°23'13"	10°17'40"	44,00	200/225	De 23,67 à 44,00	Altération
FB4	Zougou	12/10/1990	2°58'58"	10°16'41"	45,00	200/225	De 21,65 à 45,00	Altération + grès

Tableau 5.3.7 - DESCRIPTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE DANS LES ALLUVIONS DU NIGER

N°	Nom	Date construction	Coordonnées		Profondeur équipée (m)	Diamètre équipement (mm)	Niveau crépiné (m)	Formation géologique
			x	y				
PB2	Pont Moukassa	16/09/1990	3°23'38"	11°57'15"	16,17	50/63	De 10,10 à 16,02	Alluvions
PB3	Madékali	13/09/1990	3°33'00"	11°51'00"	85,20	50/63	De 79,07 à 85,04	Alluvions
PB4	Kassa	11/09/1990	3°30'33"	11°33'15"	130,00	50/63	De 123,94 à 129,88	Alluvions
PB8	Guene Laga	25/09/1990	3°27'30"	11°14'34"	28,00	50/63	De 21,89 à 27,85	Alluvions

Tableau 5.3.8 - DESCRIPTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE DANS L'ATACORA (Projet BID)

N°	Nom	Date construction	Coordonnées		Profondeur équipée (m)	Diamètre équipement (mm)	Niveau crépiné (m)	Formation géologique
			x	y				
P.ATA1	Kouarfa	20/10/1990	1°30'40"	10°28'31"	54,00	50/63	De 42,10 à 54,00	Quartzites
P.ATA2	Peperkou	21/10/1190	1°26'57"	10°24'22"	47,00	50/63	De 35,12 à 47,00	Altération
P.ATA3	Ouroubouga	23/10/1990	1°22'29"	10°15'35"	32,00	50/63	De 20,29 à 32,00	Quartzites
P.ATA4	Ouroubouga	23/10/1990	1°22'29"	10°15'35"	32,00	50/63	De 20,29 à 32,00	Quartzites

Chapitre 6

EXPERTISE ET EVALUATION

6.1 Besoins en données

Les données relatives à la climatologie, l'hydrologie, la géologie et l'hydrogéologie sont indispensables dans de nombreux domaines : irrigation, énergie hydroélectrique, ressource en eau, évaluation des crues, drainage urbain, etc.

Nous donnons ci-après les besoins en données manifestés par le Bénin lors de la mission du Consultant ; la liste indiquée n'est pas forcément exhaustive mais elle permet de mettre en valeur l'importance des données de base : nécessité de leur existence, de leur validité, de leur stockage, des traitements et des possibilités de leur diffusion.

6.1.1 Besoins en données pour l'évaluation des ressources en eaux souterraines

6.1.1.1 Dans le bassin sédimentaire côtier

On ne peut faire que des bilans très partiels des aquifères du bassin sédimentaire côtier. En effet, on se heurte à l'absence de données pour la plupart des exutoires (écoulement vers les fleuves, lacs et l'océan) et au manque de données précises sur l'infiltration directe.

Pour les données d'infiltration, les seules données disponibles pour le Crétacé se trouvent dans les études de Bouzid (1970) et, pour le Continental Terminal, à partir d'infiltromètres mesurés en 1983 par GIGG.

Une évaluation plus précise de ces paramètres est nécessaire pour obtenir le bilan précis de ces aquifères.

Pour l'évaluation du débit des exutoires de ces nappes, il est nécessaire de disposer de mesures piézométriques et de mesures des débits des fleuves.

6.1.1.2 Nécessité d'un suivi piézométrique

Il s'agit, avant tout, de disposer d'un réseau piézométrique préventif nécessaire à la gestion des ressources en eau souterraine.

Les objectifs sont :

. En zone de socle :

- Suivre l'évolution du niveau de la zone fracturée à l'échelle interannuelle afin de déceler les éventuelles baisses de cette nappe, phénomène constaté depuis plusieurs années dans les pays sahéliens.
- Evaluer la recharge des aquifères discontinus. La corrélation entre les fluctuations piézométriques avec différents paramètres climatiques conduira à évaluer la recharge (en utilisant un modèle hydroclimatologique global tel que l'un des modèles de simulation du bilan hydrique du CIEH).

. En zone sédimentaire :

- Surveillance de la configuration de la surface piézométrique de chaque aquifère principal (essentiellement Continental Terminal et sable du Maestrichtien).
- Mettre en évidence les zones de recharge, secteurs sensibles où l'environnement est à protéger.
- Appréhender la valeur du seuil pluviométrique d'alimentation de chaque aquifère, ce qui est une donnée essentielle pour estimer les risques au niveau de certains aquifères très sollicités : cas de la nappe du Continental Terminal du plateau de Godomey-Allada exploitée par la SBEE.
- Enfin, fournir un élément supplémentaire permettant de mieux évaluer l'importance des réserves.

6.1.2 Besoins en données sur la qualité de l'eau

Il est nécessaire de connaître la qualité de l'eau. Cette nécessité peut être illustrée par les exemples suivants :

- . 80 % de la population de Cotonou utilise l'eau des puits de préférence à l'eau de la SBEE. Or, l'aquifère capté par ces puits est peu profond et très perméable. La pollution fécale est très abondante à cause de la multiplicité des installations sanitaires installées en ville.
- . Le milieu lagunaire autour de Cotonou et de Porto-Novo sert de lieu de rejet pour de nombreux polluants provenant de :

- quelques unités industrielles existantes,
- lessivage des matières fécales sur la voirie,
- les abattoirs,
- déversements clandestins.

On ignore quelle est l'importance de cette pollution et quel est le comportement du milieu lagunaire.

- . Des milliers de puits et de points d'eau traditionnels existent au Bénin : ces points d'eau sont encore, et resteront encore longtemps, le moyen essentiel d'approvisionnement en eau des populations : quel est le niveau de qualité (ou de pollution) de ces ressources en eau ? Peut-on, par des moyens techniques, en améliorer les possibilités (en quantité et en qualité) ?
- . Des centaines de forages sont réalisés au Bénin grâce à d'importants investissements : est-ce que les moyens importants ainsi mobilisés permettent d'apporter une eau potable à la population ?
- . Quelles sont les ressources en eau exposées à des risques de pollution et les mesures à prendre pour les protéger ?

6.1.3 Connaissance du milieu lagunaire nécessaire

- . Comment aménager le débouché lagunaire sur l'océan pour que la lagune serve pour l'assainissement de la ville de Cotonou ?
- . Le contact entre les lagunes de Cotonou et de Porto-Novo, l'une alimentée par la Sô, l'autre par l'Ouémé : quels sont les échanges ? On ignore tout de leur mécanisme.
- . Le problème de l'invasion des lagunes par les jacinthes d'eau représente une véritable calamité : le ramassage mécanique est très coûteux et inefficace. Les jacinthes d'eau disparaissent lorsque la salinité de l'eau augmente.
- . Le système lagunaire à partir duquel est alimenté le périmètre de Ouidah-Nord est très mal connu et la gestion de la ressource qui influe beaucoup sur les rendements est basée sur des modèles hydrologiques très sommaires. Il n'est guère possible d'améliorer actuellement, en l'absence de connaissances approfondies, les processus hydrologiques mis en jeu.

6.1.4 Besoins en données de la Direction des Voies Urbaines (DVU)

Au niveau de Cotonou, les difficultés de la DVU sont :

- . le Plan Directeur d'assainissement fait en 1983 a prévu la construction de canaux de 50 m de large à ciel ouvert, ce qui est impossible à réaliser. Il faut donc reprendre les données des bassins versants situés à la périphérie de la ville,
- . l'évacuation des eaux pluviales constitue le problème majeur en saison des pluies. Du fait de la faible altitude de la ville et de la remontée de la nappe en période des pluies, les canaux ne peuvent plus jouer leur rôle d'évacuateur : de nombreux quartiers sont inondés chaque année.

Au niveau de Porto-Novo, les problèmes d'assainissement sont également importants.

6.1.5 Besoins en données de la Direction des routes et ouvrages d'art (DROA)

La DROA a besoin de données relatives aux aspects suivants :

- . Les zones à risques : données hydrologiques des ruisseaux à régime intermittent qui risquent de dégrader, voire détruire, les ouvrages (essentiellement dans le Nord du Bénin).
- . Les caractéristiques du réseau hydrographique : lit mineur/lit majeur.
- . Connaître le comportement des différentes formations lithologiques suivant qu'elles sont sèches ou contiennent de l'eau (exemple de la dépression de la Lama).
- . La fréquence d'intervention pour l'entretien des routes en terre est déterminée en fonction des événements météorologiques : les statistiques sur la pluviométrie sont nécessaires.
- . La connaissance des lieux de prélèvement des matériaux pour la construction des routes.
- . L'érodabilité des différentes formations au vent et au ruissellement.
- . L'inventaire des zones à risque.

6.1.6 Besoins en données de la Direction de l'urbanisme et de l'habitat (DUH)

Les préoccupations de la DUH concernent :

- . le développement urbain actuellement constaté au Bénin ; cela nécessite de trouver de nouvelles ressources en eau, ce qui est problématique surtout dans certaines villes du Nord,

- . les difficultés liées au manque d'assainissement actuel de la ville de Cotonou,
- . la protection de la nappe d'Allada-Godomey alimentant Cotonou : pas de périmètre de protection, constructions anarchiques autour des captages (avec fosses septiques),
- . l'occupation anarchique du sol à Cotonou depuis 1976 : zones d'habitations s'insérant au milieu des industries, ce qui pose des problèmes de pollution et de traitement des eaux usées.

6.1.7 Besoins en données de la Direction de l'agriculture

Le point de vue de la Direction de l'Agriculture est de dire : la pluie dirige l'agriculteur, sauf si celui-ci sait maîtriser l'eau, d'où l'importance des données :

- . Connaissance de la pluviométrie : quantité, répartition dans le temps, dans l'espace, étude de la dispersion des données.
- . Température minimale et maximale.
- . Durée de l'ensoleillement, indispensable pour certaines plantes.
- . Evaporation et évapotranspiration.
- . Température du sol.

Les difficultés actuelles de la Direction de l'Agriculture sont liées à :

- . la pollution des eaux de surface : engrais et pesticides déversés dans les zones de culture du coton,
- . l'érosion des berges des grands cours d'eau à cause de la déforestation (suppression des galeries forestières),
- . la disparition de la faune aquatique dans certains plans d'eau (comblement du lac Ahémé),
- . les aménagements hydroagricoles sont un échec car l'exploitation n'y est pas rationnelle (ex. : vallée de l'Ouémé).

6.1.8 Besoins en données de la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement

Chargée d'appliquer le code de l'Hygiène, la DHA doit faire des enquêtes sanitaires basées sur les principes suivants :

- . Faire une enquête épidémiologique.
- . Faire des prescriptions en fonction des constatations.
- . Enquête d'impact pour évaluer le résultat.

Dans le domaine de l'assainissement, lorsque des actions sont menées : quelle amélioration apporte-t-on au système.

Pour le contrôle de la qualité de l'eau, dont la DHA est responsable, des prélèvements d'eau sont nécessaires à l'échelle de tout le Bénin avec une certaine périodicité des analyses.

6.1.9 Besoins en données de la Direction de la Recherche agronomique

Pour la Direction de la Recherche Agronomique, il faut remplacer les cultures extensives et aléatoires pratiquées actuellement : ne plus faire de grandes surfaces irriguées mais rester à l'échelle de ce que peut faire le paysan, le villageois. L'objectif est de réduire les surfaces cultivées tout en étant capables de récolter autant, ou voire plus.

Pour cela, il faut :

- . améliorer les techniques culturales,
- . améliorer les semences,
- . avoir une maîtrise parfaite de l'eau.

Les aléas climatiques ont des conséquences dramatiques en l'absence d'une maîtrise des ressources naturelles.

On constate, au Bénin, la disparition progressive de la "petite saison des pluies".

Dans ce domaine capital pour l'économie du pays, l'eau est actuellement le plus limitant et le moins maîtrisable au Bénin.

6.1.10 Besoins en données de la Direction du génie rural

Si les données semblent suffisantes concernant les grands bassins versants, au regard des besoins actuels, la difficulté concerne les petits bassins versants qui sont de plus en plus utilisés pour dimensionner des petits barrages à usages pastoraux ou pour la petite irrigation. Certes, il existe une méthode d'approche mise au point par le CIEH et l'ORSTOM pour évaluer l'importance des crues.

Mais, il y a un besoin en données formulé pour répondre à certains besoins, notamment :

- . promouvoir la sédentarisation des éleveurs pour éviter les conflits avec les autochtones,

- . étudier les pâturages dans le Nord du Bénin et développer la plantation d'espèces à but fourrager autour des points d'eau.

Enfin, il faut signaler l'existence de 60 000 ha de bas-fonds recensés au Bénin pouvant être mis en valeur.

6.1.11 Besoins en données des eaux et forêts

Pour développer la faune, il est nécessaire de créer des points d'eau. Pour cela, les Eaux et Forêts aménagent des petits bassins versants et ont donc besoin de données hydrologiques.

Les Eaux et Forêts ont actuellement un projet de gestion des ressources naturelles intéressant 4 sites (2 dans le Mono, 1 dans le Zou, 1 dans le Borgou). Pour réaliser de tels projets, il faut une banque de données de toutes les ressources naturelles dont l'eau est l'un des éléments.

6.1.12 Besoins en données de la Direction des pêches

La Direction des Pêches a pour objectif l'écologie des rivières et des plans d'eau, ce qui nécessite des données hydrologiques :

- . Concernant le milieu, la mangrove ayant été détruite, des paléturiers ont été replantés mais sans succès par manque d'informations précises sur les niveaux de hautes-eaux.
- . Concernant les problèmes spécifiques liés au plan d'eau.

Ainsi, on constate le comblement du lac Ahémé pour les raisons suivantes :

- le lac est alimenté par le Kouffo ayant un important débit solide,
- l'endiguement de la route Cotonou-Lomé, au niveau de Guejin, a fermé l'exutoire naturel du lac vers la mer.

Une étude est nécessaire pour trouver une solution (ouverture d'un chenal ou dragage partiel) pour permettre aux populations de pêcheurs de continuer à vivre sur ce site.

6.1.13 Besoins en données dans le domaine de l'hydroélectricité

L'une des préoccupations du Ministère du Plan est de diminuer progressivement l'utilisation de l'énergie thermique. L'objectif est donc de valoriser au mieux les potentialités en hydroélectricité du Bénin. Pour cela, un plan énergétique naturel est en cours d'élaboration : sa mise en oeuvre nécessitera une parfaite connaissance des potentialités.

6.2 Pluviométrie

Les besoins en données pluviométriques et pluviographiques ont été clairement exprimés :

- par la Direction de l'Agriculture, la pluie étant le facteur climatique primordial pour l'agriculteur, tant par sa valeur cumulée sur une période donnée que par sa répartition dans le temps et dans l'espace,
- par les Directions des Voies Urbaines, des Routes et Ouvrages d'art, et enfin de l'Habitat et de l'Urbanisme, intéressées en premier lieu les très fortes averses, dont la connaissance des hauteurs et des durées sont nécessaires pour tous les calculs des ouvrages d'art en zone urbanisée ou non.

6.2.1 Evaluation générale

Pour répondre correctement à ces besoins, le réseau pluviométrique actuel, avec ses 64 pluviomètres et ses 20 pluviographes, est loin d'être suffisant.

La densité du réseau, rapportée à l'ensemble du territoire est de 5,5 pluviomètres pour 10 000 km². Cette valeur est inférieure à la norme internationale, préconisée par l'OMM qui varie de 6 à 40, suivant l'aridité du climat. Même si l'on considère que le climat béninois n'est pas humide (ETP nettement supérieure à la moyenne pluviométrique annuelle sur tout le territoire), il n'est pas non plus aride. On peut donc admettre que la **densité moyenne du réseau** devrait être de 15 à 20 pluviomètres pour 10 000 km², et qu'elle est donc de **3 à 4 fois inférieure à la norme**.

Si l'on considère la densité, région par région, on remarque d'importantes variations. Le tableau 6.2.1 donne les différentes valeurs pour six régions (Littoral, Sud, Centre, Nord-Ouest, Nord-Est et Grand Nord) et différents paramètres : pluviomètres, pluviographes, bacs d'évaporation, ateliers de réparation et personnel du SMN.

La densité du réseau pluviométrique diminue régulièrement vers le Nord. Comme cette évolution accompagne l'augmentation de l'aridité, on peut considérer que le déficit reste à peu près constant (3 à 4 fois sous la norme OMM).

La récente intégration, en 1990-1991, de 34 postes pluviométriques des réseaux CARDER au réseau national du SMN, apporte une nette amélioration (voir seconde ligne du tableau) dans le Sud du pays mais ne change pas grand chose dans le centre et dans les régions du Nord.

En ce qui concerne le réseau de pluviographes, sa densité est largement suffisante dans la partie méridionale du pays tandis qu'elle est légèrement au-dessous du niveau requis ailleurs.

Le personnel chargé de la gestion du réseau pluviométrique est celui du SMN, où il n'existe aucune division spécialement chargée de la pluviométrie. Nous situons au paragraphe 6.3 (CLIMAT) le potentiel du personnel du SMN, en regard des normes OMM.

6.2.2 Situation actuelle

L'efficacité du réseau actuel - 64 pluviomètres et bientôt 98 avec l'intégration des postes CARDER - est loin d'être bonne, en raison :

- . de l'insuffisance du budget, dont dispose le SMN,
- . du manque de moyens de transport et de moyens financiers (pour le paiement des frais de déplacement), qui empêche la réalisation des tournées d'inspection, absolument indispensables pour le contrôle et/ou la formation des observateurs,
- . du niveau d'informatisation du SMN qui est très insuffisant, bien que les actions en cours dans le cadre du projet BEN/87/010 permettront rapidement d'améliorer cette situation,
- . de l'absence complète de traitement des diagrammes pluviographiques, malgré la relative abondance du personnel dédié au traitement des données (voir tableau 6.2).

Ces contraintes doivent être levées avant d'envisager toute augmentation de la densité du réseau pluviométrique classique, augmentation pourtant nécessaire pour répondre à la demande de la Direction de l'Agriculture. Mais il est inutile d'accroître le nombre de stations, si les moyens financiers, matériels et humains ne sont pas mis en place pour en assurer la gestion rigoureuse. Il se pourrait même qu'un accroissement inconsidéré du réseau entraîne un effet contraire, avec une baisse importante de la qualité (voir le fonctionnement des réseaux CARDER actuels et l'augmentation du nombre de lacunes d'observations au cours de la dernière décennie).

Tableau 6.2.1 : Densité des réseaux pluviométrique et climatologique

Type	Densité minimum recommandée (Normes OMM)		Densité actuelle						
	Humide	Aride	Ensemble du territoire	Côte Atlantique	Sud	Centre	Nord-ouest	Nord-est	Grand Nord
Pluviomètres (nbre/10 ⁴ km ²) avant 91	40	6	5.5	42.3	11.4	6.4	4.5	3.1	2.3
après intégration des 34 postes des réseaux CARDER			8.5	70.5	19.5	6.4	8.5	4.8	3.2
Pluviographes (nbre/10 ⁴ km ²)	2	1	1.8	14.1	4.0	1.6	1.8	0.7	0.9
Bacs d'évaporation (nbre/10 km ²)	2	3	1.5	14.1	2.7	1.1	1.8	0.7	0.9
Ateliers de réparation et d'entretien du matériel météorologique (nbre pour 200 stations pluviométriques)	1	2	3.1	-	-	-	-	-	-
Inspecteurs des stations météo (nbre pour 100 stations pluviométriques)	5	10	3.2	-	-	-	-	-	-
Personnel d'encadrement pour la météorologie (nbre pour 100 stations pluviométriques)	3	3	4.8	-	-	-	-	-	-

N.B. : 1- Les densités ont été calculées pour le nombre de pluviomètres en fonctionnement en 1990 (64) et après intégration des postes des réseaux CARDER (64 + 34 = 98)

2- Zone humide suivant OMM = zone où la pluviométrie annuelle dépasse l'ETP (n'existe pas au BENIN)

6.2.3 Besoins à venir

Les besoins exprimés par les différentes Directions Techniques, et rappelés au début de ce paragraphe, doivent être satisfaits par :

- . un renforcement du réseau de pluviomètres dans le Centre et dans le Nord, avec toutefois la prise en compte des réserves exprimées ci-dessus (l'augmentation du nombre de postes doit obligatoirement s'accompagner de la mise en place de moyens réels pour une gestion efficace),
- . un substantiel renforcement des moyens informatiques du SMN (matériels et personnels qualifiés),
- . la création d'une banque de données pluviographiques et l'automatisation du réseau de pluviographes : à l'exemple de ce qui a été fait pour l'hydrologie, l'emploi de pluviographes à mémoire de masse est la seule manière de surmonter l'obstacle que constitue le dépouillement des diagrammes.

6.3 Climat

Ce sont les Directions de l'Agriculture et du Génie Rural qui ont manifesté un véritable besoin de données climatiques. En particulier des températures, de l'humidité relative, du vent et du rayonnement qui sont les principaux facteurs de l'évaporation. Le besoin de données est général sur l'ensemble du territoire.

6.3.1 Evaluation générale

L'évaluation de la situation actuelle du réseau climatologique s'appuie essentiellement sur la densité du réseau de mesure de l'évaporation, par rapport aux normes OMM. Sur le tableau 6.2.1, on constate que, dans le Sud du pays, la densité du réseau de bacs d'évaporation est au-dessus de la norme tandis que, dans le Centre et le Nord, elle est insuffisante (déficit de 50 % pour l'ensemble du territoire).

L'inspection des stations météorologiques incombe à la Division "Instruments et Méthodes d'Observation" qui dispose de deux spécialistes en instrumentation. Deux tournées annuelles sont prévues à cet effet. Mais de 1984 à 1990, ces tournées n'ont pu être réalisées. Au début de 1991, grâce au soutien logistique (moyens de transport) et financier (*per diem*) du projet PNUD/OMM/BEN/87/010, une tournée d'inspection a pu être faite.

L'entretien et la maintenance du matériel météorologique sont faits dans le seul atelier de réparation au siège du SMN à Cotonou. Compte tenu du faible nombre de stations météorologiques, ce seul atelier est largement suffisant, si toutefois des stocks de pièces de rechange sont mis en place au niveau régional pour permettre des dépannages aussi rapides que possible.

Quant au personnel d'encadrement, chargé de la planification et de la supervision des activités météorologiques, il est suffisant en regard des normes OMM.

Le Manuel d'Evaluation des Ressources en Eau (OMM/UNESCO, 1988), contient également des critères d'appréciation du déploiement du personnel. Le tableau 6.2.2 rappelle ces critères et donne la situation actuelle au Bénin.

Tableau 6.2.2 - BESOINS EN PERSONNEL POUR LA COLLECTE DES DONNEES METEOROLOGIQUES (nombre de fonctionnaires pour 100 stations)					
	Ingén.	Techn supér..	Contrôl.	Assist.	Observ.
Niveaux recommandés (OMM/UNESCO, 1988)					
- Personnel de terrain	0,5	2	2	-	100
- Traitement des données	1	2	2	-	0
- Supervision	0,25	0	0	-	0
Total	1,75	4	4	-	100
Niveaux actuels au SMN					
- Personnel de terrain	0	2,1	3,1	30,2	100
- Traitement des données	2,1	4,2	3,1	7,3	0
- Supervision	2,1	0	0	0	0
Total	4,2	6,3	6,2	37,5	100

On peut constater que la ventilation du personnel du SMN par rapport aux différentes tâches liées à la collecte des données est satisfaisante. La relative "pléthore" de personnel au niveau du traitement des données s'explique par le faible niveau d'informatisation du SMN.

Enfin, s'agissant du budget dont dispose le SMN pour les activités de collecte de données, il ne nous a pas été possible d'en fixer le montant. Néanmoins, on peut avancer sans se tromper qu'il permet d'assurer le fonctionnement minimal, la priorité étant donnée aux stations synoptiques qui, nous l'avons vu (chapitre 3) semblent opérer dans des conditions très satisfaisantes.

6.3.2 Situation actuelle

La situation actuelle du réseau climatologique, qui comprend 6 stations synoptiques et 15 climatologiques, est :

- . bonne, d'une manière générale, pour ce qui concerne les stations synoptiques,
- . difficile à apprécier pour les stations climatologiques ; le test de qualité effectué sur les totaux pluviométriques annuels a montré que ce réseau était nettement moins performant que le réseau synoptique ; les données climatologiques n'ont pu être vérifiées.

Il est certain que le fonctionnement n'a pas été normal de 1984 à 1990 par suite de l'absence de tournées de maintenance. Si les problèmes matériels et financiers liés à la mise en oeuvre de ces tournées n'étaient assez rapidement résolus, l'inspection des stations météorologiques restera compromise. De plus, deux inspecteurs basés à Cotonou pour toute l'étendue du territoire s'avèrent insuffisants. Il aurait été plus indiqué de confier l'inspection des stations à des spécialistes qui seraient basés au niveau régional : un spécialiste par département, par exemple.

6.3.3 Besoins à venir

La satisfaction des besoins exprimés par la Direction de l'Agriculture passe nécessairement par un renforcement du réseau, avec au moins une station synoptique dans le grand Nord (Malanville par exemple) et 3 ou 4 stations climatologiques dans le Centre et dans le Nord (est de Parakou, entre Ina et Kandi, au Nord de Kerou - voir carte 3.2.1, chapitre 3).

Mais comme nous l'avons rappelé pour la pluviométrie, il est inutile d'accroître la densité d'un réseau quand les moyens de gestion sont limités. Il faut aussi, et surtout, prévoir des budgets suffisants, des moyens matériels (véhicules), recruter et former des observateurs et des agents de maintenance. Il faut aussi pouvoir traiter l'information de manière rapide et efficace, en utilisant des stations automatiques et des moyens de traitement informatique performants.

6.4 Hydrologie

D'une façon globale, nous reprendrons à notre compte l'avis de H. DOSSEUR, expert hydrologue de l'EDF : "Nous estimons actuellement que le SH constitue l'une des structures hydrologiques les plus performantes de l'Afrique de l'Ouest" (H. DOSSEUR, juillet 1990)

Les critiques que nous allons être amenés à formuler dans l'évaluation qui va suivre sont des détails qui ne remettent pas en cause cette appréciation générale.

6.4.1 Réseau hydrométrique

6.4.1.1 Architecture du réseau

La comparaison avec les normes UNESCO/OMM est résumée dans le tableau suivant :

	Densité recommandée				Densité réelle	
	Aride		Humide		Bénin	
	S	NS	S	NS	S	NS
Stations de niveau sans enregistreur (nb/10 000 km ²)	1.2	2.4	12	24	0.4	1
Stations de niveau avec enregistreur (nb/10 000 km ²)	0.6	1	1	1	4.8	1.9
Stations de débit fluvial (nb/10 000 km ²)	1	2	10	20	2.2	2.0
Stations de débit solide (nb/10 000 km ²)	0.7	0.4	5	3	0	0
Station de qualité des eaux de surf. (nb/10 000 km ²)	0.7	0.4	5	3	0	0

S = GEOLOGIE SEDIMENTAIRE ; NS = GEOLOGIE NON SEDIMENTAIRE

Selon ces normes, un pays est dit "aride", dès que l'évaporation potentielle moyenne annuelle est supérieure aux précipitations moyennes annuelles. Sur l'ensemble du Bénin, l'évaporation potentielle annuelle est toujours supérieure aux précipitations. Le déficit varie entre 300 mm au Sud et 700 mm au Nord. Le Bénin, malgré ses nombreuses rivières, serait donc un pays aride et devrait être soumis, selon l'UNESCO, aux mêmes normes que celles utilisées dans les pays sahéliers où les ressources en eau de surface sont très faibles. On ne voit pas, dans ces conditions, comment l'utilisation de ces normes pourrait aider à un diagnostic pertinent sur l'architecture du réseau hydrométrique Béninois.

L'analyse que nous avons faite au chapitre 4, nous paraît beaucoup plus riche. Nous allons ici rappeler ses principaux résultats :

. *Le suivi des grands fleuves*

Le réseau actuel permet un suivi satisfaisant des grands fleuves du Bénin où sont réalisés ou projetés des aménagements importants : barrages de Nangbeto et d'Adjarala sur le Mono, barrage de Ketou sur l'Ouémé, périmètres irrigués le long du Niger.

La basse Pendjari n'est suivie que par une station. Il ne paraît cependant pas souhaitable d'en installer d'autres. Les coûts d'exploitation seraient trop élevés et il n'y a pas d'aménagement prévu à terme dans cette région peu peuplée et qui est une réserve de faune.

Le suivi des rivières et marigots

Sauf pour les parties Béninoises du bassin de la Volta (Pendjari, Keran, Kara), le réseau actuel permet le contrôle de la quasi-totalité des ressources en eaux en provenance des bassins d'environ 5000 km² de superficie.

Il paraîtrait souhaitable d'installer une station sur un des affluents de la Kara à la sortie de l'Atakora. Ces rivières présentent de bonnes potentialités hydroélectriques qui pourraient être mises à profit pour l'alimentation en électricité des centres urbains de la région. En revanche, l'implantation de stations sur les affluents béninois de la Pendjari ne semble pas s'imposer pour les mêmes raisons que celles évoquées plus haut.

Pour les plus petits bassins, on est placé devant l'alternative suivante :

- augmenter la densité du réseau,
- mettre au point des méthodes d'estimation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés.

Pour atteindre une résolution de 3000 km², c'est environ 15 stations supplémentaires qu'il faudrait créer dans des endroits pas toujours facilement accessibles. En admettant que la mise en place de ces stations puisse être financée par une aide extérieure, la gestion serait cependant une charge très lourde pour le SH, en personnel d'abord, puisqu'il faudrait recruter une nouvelle brigade hydrologique, en moyens financiers ensuite, puisque l'on peut estimer à 4,5 M.CFA le coût d'exploitation supplémentaire. Etant donné les difficultés budgétaires actuelles du SH (voir plus loin), cette solution paraît complètement irréaliste.

Devant cette contrainte financière incontournable, il faut rechercher les moyens d'utiliser les données collectées sur le réseau pour estimer les paramètres hydrologiques aux sites non jaugés. LE BARBE et ALE (1991) ont mis au point une méthode qui permet d'obtenir avec une précision acceptable, la reconstitution des chroniques des écoulements annuels à l'exutoire des bassins non jaugés de 100 à 10 000 km², et d'en déduire la distribution des débits maximaux. Il serait tout à fait envisageable d'y ajouter une reconstitution des apports mensuels. Pour évaluer l'efficacité de cette méthode et en préciser les limites, il serait bon de compléter le réseau par quelques stations à l'exutoire de petits bassins versants. Ces stations ne seraient suivies que quelques années.

Pour permettre au SH de jouer pleinement son rôle, il serait souhaitable de traduire cette méthode en un outil informatique qui soit opérationnel.

- . *Le suivi des lacs et lagunes*

Ces milieux sont trop complexes pour être étudiés à partir de données collectées dans le cadre du réseau hydrométrique national. Son rôle doit se limiter au suivi du niveau et de la salinité en quelques sites de référence. Selon cette optique, il faudrait installer deux stations supplémentaires, l'une au Nord du lac Nokoué, l'autre au Nord du lac Ahémé. Toutes les stations implantées dans le système lagunaire devraient être équipées d'un, ou mieux, de deux capteurs de conductivité.

- . *Le suivi des débits solides et de la qualité des eaux*

Rien n'est actuellement fait dans ces domaines.

6.4.1.2 Equipement des stations

- . *Les stations "ARGOS"*

L'utilisation du système ARGOS pour les plus importantes stations du réseau explique en grande partie les bonnes performances du SH en matière de collecte de données : moins de 10 % de lacunes et actualisation en temps quasi réel de la banque. L'option prise est donc bonne et doit être poursuivie.

On peut cependant regretter l'hétérogénéité du matériel utilisé ce qui complique sa maintenance. Il serait donc souhaitable que le SH puisse généraliser l'emploi des plates-formes de collecte de données (PCD) de type PH11. Le remplacement des 2 PCD dites "OMS 1^o génération" devient urgent.

- . *Les autres stations*

L'utilisation du système ARGOS est surtout rentable parce qu'il permet d'espacer les visites aux stations et de n'intervenir qu'en cas de besoin. Les stations non dotées d'émetteur sont visitées lors des tournées programmées à partir des données reçues à Cotonou. Elles doivent donc disposer d'une autonomie suffisante. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle les limnigraphes OTT.X qui les équipent ont été dotés d'un mouvement d'horlogerie "longue durée". Cette solution présente néanmoins un inconvénient : sur une même feuille se superposent les enregistrements de plusieurs mois successifs, ce qui complique beaucoup le dépouillement. L'emploi d'enregistreurs à cartouches EPROMS serait très préférable.

6.4.1.3 Mode d'exploitation du réseau

Le mode d'exploitation du réseau adopté par le SH, et rendu possible grâce au système ARGOS, est économique : les frais de tournées sont divisés par deux, une seule brigade peut assurer les visites, le chapitre "observateurs" est réduit au minimum. Il implique cependant que le SH puisse décider très rapidement d'une tournée, ce qui nécessite une certaine autonomie administrative (le Chef du Service doit être habilité à signer les ordres de mission correspondants) et des véhicules. Cela ne semble pas être le cas actuellement et c'est ainsi que les crues exceptionnelles de 1988 n'ont pu être jaugées.

6.4.2 Traitement et disponibilité des données

Le personnel chargé du traitement des données est compétent et le logiciel utilisé performant. Toutes les données collectées depuis la création des stations sont disponibles et facilement accessibles.

On peut cependant regretter l'absence au sein du SH d'un fonds documentaire regroupant toute la documentation hydrologique concernant le Bénin.

6.4.3 Matériel hydrométrique et véhicules

Le SH possède trois équipements complets de jaugeage, ce qui est conforme aux normes UNESCO/OMM pour un réseau de cette taille.

En revanche, le SH ne dispose plus que d'un seul canot pneumatique et d'un seul véhicule à bout de potentiel. Si des solutions n'étaient pas rapidement trouvées pour remplacer ces matériels, il faudrait craindre l'arrêt des tournées de jaugeages.

6.4.4 Personnel

Effectifs

La comparaison des effectifs du SH affectés à la gestion du réseau et au traitement des données, à ceux préconisés par l'UNESCO/OMM, est résumée dans le tableau suivant :

Tableau 6.4.2 - EFFECTIFS DU RESEAU HYDROLOGIQUE								
	Ingénieurs		Techniciens seniors		Techniciens juniors		Observateurs	
	R	A	R	A	R	A	R	A
OPERATIONS DE TERRAIN	.33	0.5	1.7	1.0	1.7	2.0	33	3
TRAITEMENT DES DONNEES	.66	0.5	1.0	1.0	1.0			
SUPERVISION	.17	0.2						
TOTAL	1.2	1.2	2.7	2.0	2.7	2.0	33	3

R = RECOMMANDATIONS UNESCO/OMM (POUR 33 stations)

A = SITUATION ACTUELLE

Les normes UNESCO/OMM sont à appliquer avec prudence au SH du Bénin. En effet, elles ont été conçues pour des réseaux gérés de façon classique et non pas pour ceux dotés d'un système de télésurveillance comme l'est celui du Bénin. C'est ainsi qu'il ne faut pas être surpris du très petit nombre d'observateurs. Cela ne fait que traduire l'automatisation poussée du réseau.

Au niveau ingénieur, la situation est satisfaisante.

Pour les équipes de terrain, l'effectif en techniciens supérieurs serait insuffisant, si on appliquait les normes. Dans la réalité, grâce au mode de gestion que permet la télésurveillance, ce n'est pas le cas. Néanmoins, si la taille du réseau devait augmenter, ou si des mesures de débits solides ou de qualité des eaux devaient être faites, il serait nécessaire de recruter un technicien supérieur supplémentaire.

Au niveau du traitement des données, il manque un technicien supérieur. S'il n'y a pas de retard actuellement dans le traitement des données, ce n'est que parce que le responsable de cette activité accepte une surcharge importante de travail.

Formation

L'ensemble du personnel du SH est compétent et bien formé.

6.4.5 Aspects budgétaires et institutionnels

Ces 6 dernières années le SH n'a pu fonctionner que grâce au soutien financier du FAC. Cette aide venant à son terme, le SH devra disposer d'un budget annuel, hors personnel, de 15,5 M.CFA, dont 6,2 M.CFA d'équipement, pour pouvoir continuer à gérer correctement le réseau et traiter les données.

Cette somme est modeste. Cependant, le SH n'a pour l'instant aucune assurance de l'obtenir. On peut donc être pessimiste pour l'avenir.

Le maintien du réseau et du système de traitement des données, nécessite une programmation pluriannuelle des investissements. Il paraît donc indispensable que le SH possède une ligne budgétaire qui lui soit propre et qu'il soit maître de son budget.

Pour les mêmes raisons, il est nécessaire que le SH puisse réinvestir la partie des recettes qu'il serait amené à percevoir, correspondant au fonctionnement et à l'amortissement des matériels.

Il paraît donc souhaitable que le SH dispose d'un statut particulier au sein de la DH. Ses activités seraient définies et contrôlées par la DH, mais il disposerait de l'autonomie financière.

6.4.6 Conclusion : Adéquation aux besoins actuels et futurs

Pour les grands fleuves et les rivières drainant un bassin de plus de 5000 km², les données collectées dans le passé, facilement disponibles au SH, et le réseau hydrométrique actuel permettent de répondre aux besoins des aménageurs.

Pour les rivières de moindre importance, il n'est pas envisageable pour des raisons financières de contrôler toute la ressource. La demande en données pour ce type de rivières existe pourtant. Il serait cependant tout à fait possible de traduire la méthode développée par LE BARBE et ALE (1991) en un outil informatique opérationnel qui permettrait une estimation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés.

Les lacunes en données hydrologiques se situent essentiellement à trois niveaux : les systèmes lacustres et lagunaires du Sud du pays, les pertes d'écoulement constatées sur l'Ouémé et le Zou au contact entre le socle et le sédimentaire, la qualité et le transport solide des rivières.

Les lacs et les lagunes forment un milieu riche de potentialités dans une zone très peuplée. Mais c'est un milieu fragile dont l'équilibre peut être menacé par les aménagements projetés, ou déjà réalisés, sur les principaux tributaires continentaux (Mono et Ouémé) ou sur leur ouverture maritime, et par la pollution induite par les villes riveraines. Il paraît indispensable qu'à court terme, dans le prolongement du travail fait par l'UNB, une étude pluridisciplinaire soit entreprise pour comprendre et quantifier le

fonctionnement de ces systèmes et ainsi pouvoir évaluer l'impact des aménagements et proposer des solutions pour leurs protections.

Une telle entreprise dépasse les missions du SH. Son rôle devra se limiter au suivi du niveau et la qualité des eaux à quelques stations de référence.

On ne connaît pas actuellement la localisation exacte ni le devenir des pertes constatées lors des fortes crues le long de l'Ouémé et du Zou au contact entre le socle et le bassin sédimentaire côtier. Il est tout à fait possible qu'elles participent à l'alimentation des nappes ou qu'elles resurgissent au niveau du Delta. Si des barrages étaient construits sur ces fleuves (Kétou sur l'Ouémé, par exemple), les crues risqueraient de se trouver fortement laminées et les pertes fortement réduites. Cela pourrait donc se traduire soit par une baisse de la recharge des nappes, soit par une modification de l'hydrologie du Delta. Dans les deux cas, l'enjeu nous paraît suffisamment important pour préconiser une étude de ce phénomène, à laquelle le SH serait associé.

En ce qui concerne les débits solides, les données très fragmentaires que nous possédons, ne nous permettent pas de proposer tel où tel site de mesure. Une étude extensive préalable paraît donc nécessaire. Trois zones peuvent être identifiées :

- . le bas Mono ce qui permettrait de préciser les apports au barrage d'Adjarala,
- . le Couffo, vu les problèmes d'envasement du lac Ahémé, plusieurs fois évoqués lors de nos entretiens,
- . l'Ouémé au niveau du site de barrage de Kétou.

En ce qui concerne la qualité des eaux, si on excepte le problème de la salinité des lacs et lagunes dont on a déjà parlé plus haut, une attention toute particulière devrait être apportée à la pollution du lac Nokoue et des lagunes de Cotonou et Porto-Novo, dans lesquels se jettent sans contrôle les eaux usées de ces deux villes. On devrait également se pencher sur la qualité des eaux des rivières drainant des bassins en zone cotonnière ; la pollution par les engrais et pesticides y serait non négligeable.

Pour conclure, nous dirons que le SH possède de nombreux atouts, la compétence de son personnel et la qualité de son réseau par exemple, qui devraient lui permettre de remplir ses missions. Mais ces atouts seraient perdus si, rapidement, une solution n'était trouvée pour lui donner les moyens financiers indispensables.

6.5 Hydrogéologie

6.5.1 Evaluation générale

6.5.1.1 Situation actuelle de l'organisation et de la gestion

a. Le service géologique

Depuis 1986, fin du projet de cartographie financé par le FED, aucun projet ne s'exécute à la Direction des Recherches Géologiques et Minières de l'OBEMINES. Les difficultés financières du Bénin font que le financement en provenance du budget de l'Etat est très insuffisant. L'OBEMINES connaît donc des difficultés considérables de fonctionnement et de poursuite de son programme d'études.

Le Laboratoire d'analyses des roches connaît de graves problèmes de maintenance :

- . l'absorption atomique est en panne,
- . la plaque informatique du colorimètre est hors service (coût de la réparation : 400 000 F.CFA, somme que l'OBEMINES n'est pas en mesure de mobiliser actuellement),
- . la balance de précision est hors service,
- . il y a des problèmes d'humidité dans le laboratoire.

Les véhicules de ce service sont ceux hérités du projet de cartographie FED et sont dans un état déplorable pour la plupart.

Actuellement, on peut dire que le fonctionnement de l'OBEMINES est pratiquement paralysé, empêchant ainsi la poursuite du programme de ce service.

b. Le Service des Etudes d'Hydrogéologie

Ce service a été créé en mars 1990. Auparavant, il était regroupé avec le Service de la Programmation et de la Réglementation.

b1. Qualité du personnel et formation

D'une manière générale, aucun membre du service n'est formé en matière d'informatique. Seul le Chef de la division et gestion des eaux souterraines a reçu un début de formation dans le cadre du projet PNUD.

Concernant la géophysique, les agents devant faire ce travail ont reçu une formation suffisante dans les spécialités suivantes :

- . sismique,
- . traîné et sondage électrique.

Notons que le Chef de division des Etudes et Gestion des eaux souterraines doit effectuer un stage de géophysique de 3 mois au Canada en 1991 (financement : reliquat financier du projet PNUD).

Concernant la division hydrochimie, le Chef de division n'a aucune formation en hydrochimie. Les techniciens ont un bon niveau de formation mais essentiellement pratique.

b2. Evaluation des moyens matériels

Pour la géophysique, le SEH dispose de moyens suffisants et en bon état.

Pour la division hydrochimie, les conditions d'installation du laboratoire d'analyses sont déplorable :

- . Manque d'isolation contre la poussière. Seule la pièce réservée aux analyses bactériologiques est climatisée. Ce manque d'hygiène ne permet pas au laboratoire de fournir des résultats d'analyses fiables.
- . Pour les prélèvements d'eau, le laboratoire utilise des bouteilles plastiques d'eau minérale récupérées. On ne sait pas ce que ces bouteilles ont pu contenir.
- . Le laboratoire est souvent bloqué dans son fonctionnement à cause de pénuries fréquentes dans les produits nécessaires. Ainsi, les analyses bactériologiques ne peuvent être effectuées depuis un an.
- . Les conditions de sécurité ne sont pas respectées à l'intérieur du laboratoire : pas d'extincteur, pas de douche d'urgence, pas de trousse à pharmacie, pas de couverture anti-feu.

Pour les moyens informatiques : depuis la création du Service des Etudes d'Hydrogéologie, le matériel informatique lié au programme HYDROBASE (voir § 5.1.2.3.e) n'a pas encore officiellement été affecté au SEH.

Lors de la mission d'évaluation, ce matériel n'a pas pu être examiné, celui-ci étant actuellement chez un réparateur local. Il n'a pas été possible d'avoir un diagnostic précis sur l'état de ce matériel, mis à part le disque dur du GOUPIL G40 qui est à changer.

Enfin, nous rappellerons qu'aucun personnel du SEH n'a une formation en informatique suffisante pour utiliser ce matériel. Actuellement, l'ensemble du matériel HYDROBASE n'est pas fonctionnel.

b3. Problème de budget

Lors de la mission, le budget du SEH pour 1991 n'était pas encore préparé.

Le budget de fonctionnement du SEH avait été évalué à 6 millions de FCFA pour un an, en mars 1990.

Notons que le SEH est l'un des rares services de la Direction de l'Hydraulique ayant des recettes provenant :

- . de la géophysique : un sondage électrique est facturé 82 750 FCFA, un traîné en AB inférieur à 250 m est facturé 40 000 FCFA. Le SEH intervient dans la plupart des projets comme sous-traitant du Bureau d'Etudes pour réaliser les mesures géophysiques nécessaires aux implantations,
- . du laboratoire d'analyses : le montant facturé par le SEH est 12 000 FCFA pour une analyse chimique, 8000 FCFA (prix non encore fixé) pour une analyse bactériologique. Dans le cadre de l'Hydraulique Villageoise, chaque entreprise de forage est tenue de faire un prélèvement d'eau sur chaque captage réalisé et de faire faire une analyse par le SEH selon le barème établi.

Il n'a pas été possible de connaître le chiffre d'affaires du SEH réalisé grâce à la géophysique et aux analyses d'eau.

L'estimation suivante peut être faite : un millier d'analyses chimiques ont été réalisées en 4 ans : au tarif indiqué, cela représente environ une recette de 3 millions de FCFA/an, soit 50 % du budget de fonctionnement nécessaire au SEH.

La difficulté pour ce service est que ces recettes sont gérées, comme toutes les autres, globalement au niveau de la Direction de l'Hydraulique et non au niveau du service.

La Direction de l'Hydraulique ayant des problèmes de trésorerie peut avoir d'autres impératifs et urgences à satisfaire, privant ainsi le SEH des moyens minimums qu'il lui faut pour fonctionner.

c. Le Service de la Programmation et de la Réglementation

c1. Qualité du personnel et formation

La formation en informatique du personnel du SPR est la suivante :

Tableau 6.5.1 - NIVEAU EN INFORMATIQUE DU PERSONNEL DU SPR						
Logiciels	Chef de service	Chef de division inventaire et programmation	Chef de division réglementation et documentation	Technicien supérieur 1	Technicien supérieur 2	Opératrice en informatique
MS-DOS	X	X	X	X	X	X
MS-Basic	0	0	0	X	X	0
dBase III plus	X	X	X	X	X	X
Lotus 1.2.3	0	XX	0	0	0	XX
Multiplan	0	0	0	0	0	XX
Frame work	0	XX	0	0	0	0
Wordstar	0	XX	0	0	0	XX
Word Perfect 5	0	0	0	0	0	XX
WSU	0	0	0	X	X	0
PROSPER	0	XX	0	X	X	XX

Actuellement, 6 agents du SPR (soit la totalité du service) suivent une formation en informatique, essentiellement sur MS-DOS et dBase III plus.

c2. Evaluation des moyens matériels

Les moyens informatiques dont dispose le SPR sont insuffisants pour assurer les tâches qui lui sont dévolues, notamment pour assurer une programmation rationnelle des travaux d'Hydraulique Villageoise prévus pour la décennie 1991-2000 et en assurer le suivi du point de vue de la maintenance.

Pour permettre une utilisation correcte du logiciel PROSPER, il faudrait que le SPR dispose d'un 2e micro-ordinateur et d'une imprimante supplémentaire.

Le programme PROSPER est très lent ; en plus de cela, le micro-ordinateur disponible (NORMEREL 386) est puissant mais sous-équipé :

- . disque peu rapide,
- . mémoire insuffisante,
- . pas de coprocesseur,
- . pratiquement aucun programme utilitaire.

Pour remédier à cela, l'ordinateur NORMEREL 386 nécessite un coprocesseur 387 SX et l'extension de mémoire à 4 Mo (au lieu de 2 Mo actuellement).

L'imprimante disponible au SPR constitue un frein à l'emploi du SPR car excessivement lente. Une sortie complète de PROSPER prend une heure.

L'imprimante disponible actuellement au SPR (EPSON FX 105) ne permet pas de sortir des tableaux de grande dimension, ce qui serait indispensable.

Grâce à l'existence d'un reliquat financier sur le projet PNUD BEN 85/004, une demande a été faite pour compléter le matériel informatique lié au programme PROSPER. Ceci a été accepté par la DTCD pour un montant de 53 000 US\$ comprenant les postes suivants :

Personnel international (Consultant)	18 000 US\$
Maintenance du matériel informatique (sur 2 ans)	2 000 US\$
Formation	17 000 US\$
Matériel informatique	14 000 US\$
Fournitures de bureau et divers	2 000 US\$

Le matériel informatique supplémentaire pourrait être le suivant :

- . 1 micro-ordinateur 386/SX,
- . 1 coprocesseur 387 SX,
- . mémoire 386 SX,
- . mémoire 386/20,
- . coprocesseur 386/20,
- . 1 imprimante LQ 850.

c3. Evaluation du programme PROSPER

Le programme PROSPER a permis de mettre à la disposition de l'Administration un outil de programmation des points d'eau à partir de base de données rationnelles :

- . les besoins,
- . les points d'eau existants.

Ces 2 bases de données ont été l'occasion, lors de leur constitution, de collecter, analyser, corriger et saisir une quantité importante de données de base.

Ce programme permet d'obtenir des documents synthétiques utiles et clairs (tableaux, cartes). L'une des critiques faites à propos de ce programme est que, pour l'évaluation des besoins en eau, seule la demande formulée est prise en compte en ignorant les besoins réels et les capacités des populations.

Malgré les dernières modifications de ce programme, PROSPER reste lent et laborieux. Il n'est pas possible de travailler en même temps sur le fichier besoin et sur le fichier point d'eau. L'introduction des données d'un nouveau point d'eau exécuté dans un village ne régularise pas automatiquement le niveau des besoins restant à satisfaire.

Selon le personnel du SPR, PROSPER est peu commode à l'emploi.

Concernant la formation du personnel, celle-ci s'est limitée à l'usage strict de PROSPER, c'est-à-dire à en connaître le mode d'emploi. Aucun autre utilitaire, avec la formation correspondante, n'a été mis en place au SPR. Le programme PROSPER installé au Bénin est en version compilée. Le personnel du SPR ne peut effectuer aucune modification à l'intérieur du programme sans avoir recours à un spécialiste expatrié.

Dans ces conditions, la Direction de l'Hydraulique considère que PROSPER ne lui est pas très utile pour la programmation. La détermination des projets se fait, généralement, sans recourir à PROSPER sur des critères différents de ceux retenus par ce programme, les orientations étant différentes selon les régions et les objectifs des bailleurs de fonds.

d. La Société Béninoise d'Eau et d'Electricité

La SBEE est, rappelons le, responsable de l'AEP en milieu urbain : depuis sa création, elle a procédé aux extensions et réhabilitations des réseaux d'eau existants (Cotonou, Porto-Novo, entre autres) et à la mise en place des adductions dans de nombreux chefs-lieux.

Elle a réalisé de nombreuses études relatives à l'évaluation des ressources en eau du Bénin et à l'assainissement de Cotonou.

Cependant, il faut constater que la SBEE applique au mieux la politique du cloisonnement administratif, ceci dans le cadre d'une rivalité ancienne avec la Direction de l'Hydraulique :

- . Avant de faire une étude de ressource en eau, la SBEE ne se rapproche pas des services ayant déjà des informations.
- . Les résultats des études de la SBEE sont difficilement accessibles aux autres administrations.

La conséquence de cette "querelle" est qu'il n'est pas rare de voir un forage de la SBEE à moins de 10 m d'un ouvrage fait par la Direction de l'Hydraulique.

Toutefois, on notera un changement progressif des mentalités, lié à des changements de responsables, qui tend à favoriser l'échange d'informations dans l'intérêt général du Bénin.

On notera aussi que la mission du Consultant, dans le cadre de la présente étude, a rencontré des difficultés auprès de la SBEE et n'a pas obtenu toutes les précisions nécessaires aux informations demandées.

e. La Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement

La DHA est en charge de faire appliquer le code de l'hygiène créé en septembre 1989.

Il est prévu, à cet effet, la mise en place d'une police sanitaire chargée de faire des visites intra-domiciles et des installations industrielles afin de :

- . faire des prescriptions,
- . délivrer l'autorisation préalable à tout déversement dans les plans d'eau.

La DHA doit aussi contrôler la qualité de l'eau fournie par la SBEE.

La DHA n'a actuellement aucun équipement pour faire le minimum de contrôle sur le terrain.

En tant qu'organe de contrôle, la DHA ne dispose pas de laboratoire. Pour faire des analyses, la DHA est obligée de s'adresser au laboratoire national du Ministère de la Santé pour lequel les analyses d'eau ne sont qu'une activité infime, l'essentiel de leurs moyens étant surtout orienté vers la bactériologie. De plus, les capacités de ce laboratoire sont très limitées.

La Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement n'est jamais associée aux projets d'alimentation en eau comme cela devrait être.

Un seul cas de participation active de la DHA : dans le cadre du projet USAID.

Le principal frein au développement des activités de la DHA est l'absence de décret d'application pour le code national de l'hygiène.

6.5.1.2 Evaluation des données hydrogéologiques

a. Evaluation des données géologiques

Concernant la carothèque, celle-ci est en cours de transformation avec stockage des échantillons dans des caisses plastiques (et non plus en bois) dans le cadre d'un financement FED.

Actuellement, toutes les données d'analyses de roches sont sur registre manuscrit.

Une informatisation de toutes ces données est prévue :

- . géochimie,
- . carothèque,
- . pétrographie,
- . lames minces.

Ce sont les difficultés financières qui retardent ce programme de saisies des informations.

Concernant la cartographie géologique, le Bénin dispose actuellement d'une cartographie géologique de l'ensemble du pays à l'échelle 1/200 000 comportant 11 cartes. Des difficultés de raccordement sont constatées entre certains documents. La cartographie réalisée grâce aux aides soviétique et française doit être actualisée et repensée en fonction des théories les plus récentes développées sur la géologie du Bénin.

Actuellement, une carte géologique de synthèse (au 1/500 000) fait totalement défaut au Bénin. Ceci est préjudiciable à l'établissement d'une carte hydrogéologique précise.

b. Evaluation des données hydrogéologiques

Concernant la cartographie, le document actuellement utilisé est la carte hydrogéologique établie par GEOHYDRAULIQUE en 1985.

Ce document a été élaboré à partir des données existantes, soit environ 1300 forages. Le pays a été découpé en unités hydrogéologiques : dans certaines d'entre elles, il n'y avait pas (ou très peu) de données, notamment dans le bassin sédimentaire côtier. Maintenant, il est nécessaire d'actualiser cette carte pour les raisons suivantes :

- . Près de 4000 captages (forages et puits modernes) sont recensés avec toutes les données de base.
- . Plusieurs projets d'alimentation en eau ont été amenés à conduire des réflexions sur les potentialités du Bénin en matière de ressources en eau.

Cette masse importante de données doit être synthétisée par une nouvelle carte hydrogéologique.

Concernant la collecte des données, utilisée par la Direction de l'Hydraulique, l'utilisation des fiches points d'eau et des dossiers villages décrits au chapitre 5 (§ 5.3.2.1) est généralisée depuis 1986 pour tous les points d'eau exécutés en hydraulique rurale.

Cependant, on constate une importante hétérogénéité des informations pour les raisons suivantes :

- . Avant 1986, faute de fiches types, chaque intervenant faisait un dossier selon son habitude. De ce fait, tous les renseignements n'ont pas toujours été notés.
- . La valeur des données varie en fonction de celui qui remplit les fiches suivant qu'il s'agit d'un Bureau d'Etudes ou d'un autre, ou d'un cadre technique de l'Administration ou d'un foreur.

Une analyse critique et un examen approfondi de tous ces dossiers sont indispensables avant de les stocker sur des supports informatiques. Ceci n'a été que très partiellement fait au Bénin. De nombreuses erreurs ont été relevées entre les fiches points d'eau et certaines vérifications faites sur le terrain.

Concernant les données stockées dans PROSPER, la phase préliminaire de vérification et de contrôle des données manuscrites a été très insuffisante. Les fiches point d'eau manuscrites ont été saisies avec un minimum de vérification. Des informations erronées ont ainsi été stockées.

Concernant le contrôle de la qualité de l'information saisie au clavier, rappelons que celui-ci est applicable sur 4 catégories d'informations (voir § 5.3.2.2) :

- . Equipement d'exhaure des forages.
- . Coordonnées des ouvrages.
- . Différentes profondeurs saisies sur un ouvrage.
- . Diamètres des forages et des puits.

Concernant les données stockées dans HYDROBASE, la constitution de cette base de données hydrogéologiques a été faite en reportant des fiches points d'eau et des rapports de fin de projet. Le transfert du fichier points d'eau existant déjà sur PROSPER n'a pas été possible. A cause de cela, la confrontation des 2 fichiers n'a pu se faire qu'à partir des sorties sur imprimantes. Les données saisies dans HYDROBASE n'ont été soumises à aucune vérification : de nombreuses erreurs sont ainsi stockées.

La conception de ce programme ainsi que la saisie des données a été faite par un Consultant compétent en informatique auquel l'assistance d'un hydrogéologue aurait été souhaitable.

La Direction de l'Hydraulique n'a pas affecté à ce travail le personnel qui était prévu, ce qui a 2 conséquences :

- . Le travail fait n'a pas été suivi, ni orienté en fonction des besoins de la DH.
- . Aucun cadre de la Direction de l'Hydraulique n'est en mesure de faire fonctionner HYDROBASE correctement, aucune formation complète n'ayant été faite.

Les données de base n'ayant pas été contrôlées avant saisie par un hydrogéologue, les informations stockées sont hétérogènes et comportent beaucoup d'erreurs, notamment pour le niveau statique, le débit et la dénomination des faciès lithologiques.

Enfin, HYDROBASE, dans son état actuel, ne comporte aucun test permettant de valider les données.

HYDROBASE n'est actuellement pas utilisable. Il faudra reprendre toutes les données de base et les vérifier en les confrontant avec les fiches manuscrites. Si un doute subsiste, des vérifications terrains devront être envisagées.

Concernant les données sur la qualité des eaux, la validité des analyses chimiques faites par la Direction de l'Hydraulique est difficilement quantifiable à cause de la détermination par différence de certains ions. Il n'est donc pas possible d'évaluer l'erreur de la balance anions-cations.

Concernant les données stockées par le projet USAID, celles-ci doivent être intégrées dans la base de données hydrogéologiques de la Direction de l'Hydraulique après vérification et élimination des informations non fiables. En effet, ce projet a repris tous les anciens forages faits par l'UNICEF. Ces forages ont souvent été réalisés en l'absence de tout contrôle, sans hydrogéologue.

La coupe géologique n'a pas toujours été relevée ; les coordonnées sont quelquefois erronées.

Concernant les données disponibles à la SBEE, celles-ci sont actuellement difficilement accessibles. Le Service des Etudes d'Hydrogéologie de la Direction de l'Hydraulique, en charge de collecter toutes les informations sur les ressources en eau souterraines, doit pouvoir intégrer les données de la SBEE dans sa base de données hydrogéologiques.

c. Evaluation des données piézométriques

Il n'y a pas, au Bénin, de réseau piézométrique généralisé sur l'ensemble du pays.

Les piézomètres existants entrent dans le cadre de 2 études particulières qu'il faut rappeler :

- . Contribution à l'élaboration d'un Plan Directeur d'utilisation des ressources en eau du Bénin. Projet PNUD BEN 85/004.
- . Inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin. Projet BID, en cours.

c1. Réseau piézométrique du projet PNUD BEN 85/004 dans le bassin sédimentaire côtier

- . Si les données géographiques concernant chaque point de mesure ont été soigneusement contrôlées, l'altitude n'est pas connue avec suffisamment de précision.
- . Un nivellement de chacun des 37 points de mesure doit être exécuté avec une précision de 1 cm.
- . Les points de mesure utilisés comportent 11 forages réalisés dans le cadre d'un programme d'Hydraulique Villageoise. Ces forages sont tubés en PVC 125/140, ne comportent pas de pompes et sont simplement fermés par une plaque aveugle boulonnée sur la margelle.

Pour servir de point de mesure piézométrique, ces forages doivent être équipés d'un tube métallique de petit diamètre (2") avec capot vissant, le tout soudé sur une plaque d'acier au format des embases des pompes à main initialement prévues sur ces ouvrages.

- . Etat du réseau piézométrique mis en place par le projet PNUD BEN 85/004 : 7 piézomètres sont actuellement bouchés (voir tableau ci-après).

Ces piézomètres sont tous doublés de forages ayant servi de stations de pompage d'essai longue durée pour déterminer les paramètres hydrodynamiques des aquifères.

Pour les piézomètres bouchés, il convient de faire les mesures sur les forages qui leur sont associés.

Tableau 6.5.2 - ETAT DU RESEAU PIEZOMETRIQUE PNUD DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER	
N° piézomètre	Etat de l'ouvrage
P1	B
P2	Bouché
P3	B
P4	B
P5	Bouché
P6	B
P7	B
P8	B
P9	B
P10	Bouché
P11	Bouché
P12	B
P13	B
P14	B
P15	Bouché
P16	B
P17	Bouché
P18	B
P19	Bouché
P20	B
P21	B
P22	B
P23	B
P24	B

B = bon état

c2. Surveillance du réseau piézométrique du bassin sédimentaire côtier

- Le Service des Etudes d'Hydrogéologie n'ayant pas de véhicule affecté, celui-ci est tributaire des disponibilités du parc de véhicules géré par la Direction de l'Hydraulique de façon globale pour l'ensemble des services.

Il n'y a pas toujours un véhicule disponible pour effectuer le circuit de mesures piézométriques à la date prévue.

Le véhicule affecté est souvent en mauvais état ; les pannes perturbent alors les tournées.

- Il n'y a pas toujours un chauffeur disponible. Le technicien supérieur du SEH est alors obligé de faire la tournée seul en conduisant lui-même son véhicule. Ce cas a été déjà relevé 2 fois.

- . L'une des deux sondes électriques est en panne.
- . Ces campagnes de mesures s'effectuent dans des conditions matérielles peu motivantes pour le personnel chargé de ce travail :
 - pas de matériel de camping,
 - pas de per diem.
- . 2 des piézomètres sont inaccessibles en saison des pluies.

c3. Réseau piézométrique du projet "inventaire des ressources en eau souterraine du Bénin" (projet BID)

- . Le réseau de surveillance qui est mis (ou en train de se mettre) en place par le projet entre dans le cadre d'un contrat passé avec un groupement de Bureau d'Etudes. Actuellement, c'est le Bureau d'Etudes qui détient la totalité des informations relatives à ces points de mesures.

C'est pourquoi le Service des Etudes d'Hydrogéologie n'a pas les informations suivantes :

- coordonnées des points de mesure,
- carte du réseau,
- disquettes contenant les données des premières campagnes de mesures.
- . Le réseau de surveillance mis en place par ce projet entre dans le cadre d'un étude bien précise limitée dans le temps (durée de l'étude : 3 ans).

Si des tournées de mesures peuvent être faites sur un nombre aussi important de points d'observations, c'est parce que les moyens nécessaires sont fournis par le Bureau d'Etudes dans le cadre de son contrat (véhicules, frais de fonctionnement, matériel de mesure).

Lorsque cette étude sera achevée, le Service des Etudes d'Hydrogéologie n'aura pas les moyens d'assurer les visites sur un aussi grand nombre de points d'observation. Il conviendra de déterminer quel est le réseau piézométrique minimal qu'il sera nécessaire de surveiller.

c4. Données piézométriques de la SBEE

La Société Béninoise d'Eau et d'Electricité prélève actuellement de l'ordre de 11 millions de m³ par an dans les eaux souterraines pour l'alimentation des centres urbains. Aucun contrôle piézométrique n'est effectué, même dans le cas très sensible de l'alimentation de Cotonou à partir du plateau d'Allada-Godoméy. A Godoméy, des piézomètres ont été construits il y a quelques années (renseignements précis non obtenus). Ceux-ci sont maintenant bouchés et sont abandonnés. Un seul piézomètre est encore fonctionnel mais non utilisé par la SBEE. Celui-ci a été intégré dans le réseau de surveillance du projet PNUD mais il faut le nettoyer par soufflage (P7, Lokokodji).

Chapitre 7

RECOMMANDATIONS

7.1 Description générale du niveau de changement nécessaire

7.1.1 Législation du régime des eaux

Au Bénin, toutes les ressources en eau sont du domaine de l'Etat, ce qui facilite considérablement leur réglementation. L'Etat peut octroyer ou non des permis, autorisations ou concessions administratives en précisant les quantités d'eau à prélever, les fins auxquelles cette eau est destinée, le montant des redevances et les modalités techniques d'utilisation.

Les textes importants sur la législation du régime des eaux sont :

- . Règlement général de la distribution d'eau urbaine, établi par la SBEE en décembre 1986.
- . Politique nationale de maintenance des équipements hydrauliques villageois en République du Bénin (décret n° 87 331 du 16 octobre 1987).
- . Le code de l'Eau en République du Bénin (loi n° 87 016 du 21 septembre 1987).
- . Le code de l'Hygiène Publique (loi n° 87 015 du 21 septembre 1987).

Actuellement, seul le document établi par la SBEE est correctement appliqué.

La politique nationale de maintenance, pourtant définie par un décret, n'a pas atteint le niveau d'application qu'elle devrait avoir.

De nombreuses pompes restent en panne pendant plusieurs mois. Le suivi des points d'eau mis en place dans le cadre du Conseil de l'Entente doit être appliqué à tout le pays, mais cet aspect sort du cadre de l'étude.

Quant au code de l'Eau et au code de l'Hygiène qui permettraient à la Direction de l'Hydraulique et à la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de s'affirmer, ceux-ci n'ont jamais été complétés par un décret d'application, ce qui rend ces lois inutilisables.

Il convient, en premier lieu, de préparer et publier ces deux décrets.

7.1.2 Cadre institutionnel

Si l'alimentation en eau en milieu urbain est pratiquement du seul ressort de la SBEE, celle des populations rurales en revanche dépend d'intervenants multiples :

- . la Direction de l'Hydraulique,
- . la Direction du Génie Rural,
- . la Direction des Eaux et Forêts,
- . le Ministère de la Santé Publique,
- . les autorités locales,
- . les interventions de plusieurs ONG.

Les aménagements hydrauliques et l'assainissement relèvent également de plusieurs organismes.

En ce qui concerne la gestion des eaux, plusieurs organismes exercent leurs activités dans ce domaine, sans coordination. En l'absence d'un service central responsable de la gestion des eaux, les autorisations de prises d'eau sont octroyées à des fins diverses, par différents services, sans aucune concertation.

Le 5 septembre 1980, un comité interministériel a été créé pour réaliser les objectifs de la DIEPA. Il ne s'est pas réuni depuis décembre 1985. De plus, ce comité ne s'occupe pas de la politique de l'eau en tant que ressource naturelle, ni de tous les types d'utilisation des ressources en eau.

Dans la pratique, ce comité national d'appui à la DIEPA est remplacé par un comité technique à l'initiative du PNUD et de la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement qui se réunit trimestriellement.

7.1.3 Coordination - Comité National de l'Eau

L'un des objectifs du projet PNUD BEN 85/004 était la mise en place du Comité National de l'Eau. Ce comité interministériel a été créé par la loi du 21 septembre 1987 et est présidé par le Ministère du Plan et de la Statistique.

Jusqu'à présent, les activités du CNE ont été :

- . Examen des propositions concernant la composition et l'attribution du CNE (projet de décret).
- . Attribution d'un bureau qui doit être institué pour s'occuper de la réglementation et de l'administration du régime juridique de l'eau.
- . Examen d'un avant-projet visant à mettre en place un support institutionnel pour l'administration et la réglementation du régime des eaux.

- . Mise au point de fiches sur les activités des organismes concernés par la DIEPA afin de pouvoir en établir le bilan général.

7.1.4 Recommandations pour la coordination du domaine hydraulique

Il revient au Comité National de l'Eau le rôle de définir les mesures à prendre pour institutionnaliser la coordination entre tous les intervenants dans le domaine de l'Hydraulique.

L'un des éléments essentiels de cette coordination est d'assurer la transmission de tous les renseignements et données sur l'eau et l'hydraulique à la Direction de l'Hydraulique.

C'est la Direction de l'Hydraulique qui doit détenir la banque de données sur l'eau au Bénin.

Cette coordination doit être complétée par l'institution d'un secrétariat technique, au sein de la Direction de l'Hydraulique, chargé de fournir les services voulus au Comité National de l'Eau.

Dans l'immédiat, en attendant une prise de position sur ces propositions formulées déjà dans le cadre du projet BEN 85/004, il est indispensable que la Direction de l'Hydraulique soit en contact avec tous les organismes (publics ou privés) intervenant dans le domaine de l'eau et de l'hydraulique, afin de recueillir toutes les informations pour compléter la banque de données informatisées. La Direction de l'Hydraulique doit détenir la banque nationale de toutes les données sur l'eau.

La documentation de la Direction de l'Hydraulique doit recevoir, répertorier et classer un exemplaire de tous les rapports techniques sur les projets exécutés au Bénin : études de faisabilité, rapports d'avancement, rapports de fin de projet.

Une banque de données régulièrement mise à jour et une documentation complète sur toutes les études de ressources en eau faites au Bénin doivent devenir très rapidement des éléments indispensables pour la conception et l'orientation des projets futurs.

Ainsi, la recherche de toutes les données concernant les potentialités en eau d'une région bien déterminée constitue actuellement au Bénin une opération longue et complexe, exigeant la consultation de nombreuses archives détenues par plusieurs services qui ne sont pas toujours décidés à mettre ces documents à la disposition du visiteur.

La Direction de l'Hydraulique, chargée de centraliser toutes les données, doit aussi assurer la diffusion des informations auprès de tous les intervenants dans le domaine de l'eau qui sont demandeurs.

Ce rôle important de coordination, de centralisation des données et de leur diffusion que doit avoir la Direction de l'Hydraulique n'est pas encore institutionnalisé : il est nécessaire que des protocoles d'accord soient conclus, entre la Direction de l'Hydraulique et les différents intervenants, dans le domaine de l'eau pour permettre la transmission et la diffusion d'informations.

Par exemple, un protocole d'accord devrait être établi entre la Direction de l'Hydraulique et la SBEE, en vue d'un échange systématique d'informations sur les études de ressources en eau et les prélèvements effectués.

7.1.5 Statut du service hydrologique

L'exploitation du réseau hydrométrique national nécessite que le Service Hydrologique chargé de le gérer dispose d'une certaine autonomie. Il doit pouvoir disposer des ressources suffisantes et être maître de son budget. Il serait donc souhaitable que le Service Hydrologique soit doté d'un statut comparable à ceux de certains services d'autres directions, le CENAP de la DUH ou le SERHAU de la DUH, par exemple. Les activités du Service Hydrologique, selon cette hypothèse, seraient définies et contrôlées par la Direction de l'Hydraulique. Mais il disposerait de l'autonomie financière. Il tirerait ses ressources d'une subvention de l'Etat pour l'activité de Service Public que constitue la gestion du réseau et de recettes pour les études et les prestations de service qui pourraient lui être confiées.

7.1.6 Nécessité d'une politique de l'eau

Le Comité National de l'Eau doit maintenant orienter ses activités vers les tâches suivantes :

- . Création d'un bureau central chargé des affaires relatives à la réglementation et à l'administration des droits d'eau.
- . Réforme du cadre institutionnel du secteur de l'eau avec possibilité de grouper les activités concernant l'eau et l'hydraulique sous l'autorité et/ou la tutelle (pour les sociétés) d'un seul ministère, comme c'est le cas dans un nombre croissant de pays ou, tout au moins, d'une seule direction.
- . Etablissement d'un Schéma Directeur pour l'aménagement du régime des eaux, qui devra comporter selon les objectifs du projet PNUD 85/004, les éléments suivants :
 - étude de la documentation synthétique existante,
 - rationalisation de la base de données et des logiciels de traitement et de présentation de l'information qui existent à la Direction de l'Hydraulique ; il serait possible d'utiliser la base SIGMA du projet PNUD MLI/90/002 qui remplit déjà toutes ces fonctions,
 - analyse et actualisation de toutes les données brutes de la base de données,
 - optimisation du réseau piézométrique avant d'installer de nouveaux points d'observation,

- déterminer alors les ressources disponibles,
- évaluer les besoins réels des populations et des divers utilisateurs de l'eau par des enquêtes socio-économiques sur les plans hydraulique agricole, hydraulique pastorale, protection des bassins versants, hydroélectricité, hydraulique industrielle, approvisionnement en eau potable et assainissement (AEPA).

Un intérêt particulier sera porté à l'approvisionnement en eau potable et assainissement qui est un secteur très important au Bénin puisqu'il touche aussi bien le milieu rural que le milieu urbain. Devront être analysés les aspects techniques, juridiques, socio-économiques et financiers.

Le projet PNUD/85/004 "étude des stratégies de développement et préparation d'un plan d'action en vue d'une rénovation de la politique du secteur de l'eau et de l'assainissement" doit aider le gouvernement du Bénin à élaborer une politique nationale de l'eau et de l'assainissement qui soit sous-tendue par une stratégie d'ensemble et par des stratégies sous-sectorielles bien intégrées, fondées chacune sur les réalités objectives du pays.

La phase élaboration du plan directeur, prévu par le PNUD et l'administration béninoise doit se dérouler à partir de janvier 1993, pour une durée de trois ans.

Ce projet a proposé que ces questions soient examinées dans le cadre d'une "conférence sectorielle de l'eau" à laquelle participeraient les organismes béninois s'occupant de l'eau et de l'hydraulique ainsi que les bailleurs de fonds.

7.2 Pluviométrie et climat

7.2.1 Structure organisationnelle

Les deux objectifs prioritaires de la collecte de données climatologiques sont : la prévision météorologique dans le cadre du Système Météorologique Mondial (SMM) et la Sécurité pour la Navigation Aérienne. Ceci explique que la plus grande partie des moyens vont aux stations synoptiques, au détriment des réseaux climatologique et pluviométrique.

Sans remettre en cause la structure actuelle, et l'accord du Gouvernement béninois avec l'ASECNA, il apparaît possible de remédier aux insuffisances par un renforcement des moyens actuels : augmentation du nombre des stations, automatisation de la mesure, informatisation du traitement de l'information et formation plus spécifique du personnel.

Une amélioration qu'il serait souhaitable d'apporter à la structure du SMN, concerne la *constitution de bases régionales*. En effet, la centralisation des activités à Cotonou au siège du SMN, notamment celles relatives à l'inspection et à la maintenance des stations météorologiques, a des inconvénients

évidents. Les stations synoptiques actuelles peuvent être les points de départ de telles bases régionales. Il suffirait de les renforcer en personnel qualifié et en moyens adéquats.

7.2.2 Réseaux

7.2.2.1 Taille et densité du réseau

Le chapitre précédent a mis en évidence la nécessité de *renforcer les réseaux pluviométriques et climatologiques* dans le Centre et dans le Nord du pays. L'intégration, actuellement en cours, des stations des CARDERS, au réseau géré par le SMN, ne suffira pas à combler la faiblesse du réseau. Il faut donc envisager la création de nouvelles stations pluviométriques et climatologiques au Centre et au Nord du Bénin.

7.2.2.2 Equipement

Le renforcement des réseaux doit s'accompagner de la *modernisation des équipements*. Il existe aujourd'hui des stations automatiques, équipées de centrales d'acquisition des données sur mémoire de masse. Ces technologies nouvelles, désormais très fiables, permettent d'améliorer la qualité des données tout en limitant les coûts de gestion et de traitement de l'information.

7.2.2.3 Personnel

Sur le plan du personnel, la mise en oeuvre du plan de formation prévu dans le cadre du projet PNUD/OMM, BEN/87/010 "Développement agrométéorologique" est fortement recommandée. Ceci permettra d'améliorer le niveau de qualification du personnel et de pourvoir à certains postes jusque là inexistantes ou insuffisants, en particulier dans les secteurs de l'informatique et de l'instrumentation.

Une meilleure ventilation du personnel technique de terrain est également recommandée dans le sens de la création de bases au niveau régional.

Un effort conséquent de *formation du personnel* est nécessaire.

Document de projet : un document intitulé "Renforcement et modernisation des réseaux climatologique et pluviométrique" a été préparé et est donné en annexe.

7.2.3 Données

7.2.3.1 Informatisation

Les données climatologiques et pluviométriques sont actuellement facilement accessibles à tout utilisateur mais sous la forme de documents "papier" en général. Même si un effort conséquent d'informatisation des données est fait actuellement, il reste très insuffisant quant aux moyens existants (un seul micro-ordinateur dédié à cette tâche) et à la qualification du personnel.

Document de projet : un document intitulé "Renforcement des moyens informatiques du Service Météorologique National" a été établi.

7.2.3.2 Pluviographie

Outre la saisie des fiches climatologiques et des bulletins des observateurs des postes pluviométriques, il faut aussi pouvoir traiter l'information lorsqu'elle n'est pas directement utilisable comme c'est le cas des diagrammes d'enregistrement. En particulier des bandes pluviographiques totalement inexploitées actuellement.

Lors de l'évaluation qui vient d'être faite, il a été constaté une très forte demande de données sur les averses exceptionnelles. Le Service de l'Hydrologie de la Direction de l'Hydraulique s'est proposé de prendre en charge la constitution d'une banque de données pluviographiques, ces données intéressant surtout les hydrologues.

Document de projet : un document intitulé "création d'une banque de données pluviographiques" a été préparé et il est donné en annexe.

7.3 Eaux superficielles

7.3.1 Structure organisationnelle

7.3.1.1 Statut du SH

Pour mémoire - voir paragraphe 7.1.5.

7.3.1.2 Organisation interne

A côté des deux divisions actuelles, il serait bon que soit créé au sein du SH un fonds documentaire comportant toute l'information hydrologique publiée concernant le Bénin.

La mise en place de ce fonds documentaire pourrait se faire parallèlement à l'informatisation du centre de documentation de la DH, recommandée au paragraphe 7.4.1.2. Le SH aurait une copie de la base bibliographique et disposerait dans ses locaux, d'une copie des documents ayant rapport à son activité. La base de données serait implantée sur un micro-ordinateur. La secrétaire du service devrait être formée à sa consultation. Ce serait elle qui se verrait confier la charge de gérer la bibliothèque.

7.3.2 Réseau

7.3.2.1 Taille et densité

Vu les frais récurrents qu'entraînerait une augmentation notable de la densité du réseau, nous ne conseillerons la création que de trois stations supplémentaires :

- . une pour contrôler un des affluents (l'Ina Issire, par exemple) de la Keran descendant de l'Atakora, afin d'évaluer le potentiel hydroélectrique de ces rivières,
- . une au Nord du lac Ahémé qui, avec celle du pont de Guezzin, permettra un suivi des niveaux et de la qualité des eaux du lac,
- . une au Nord-Ouest du lac Nokoué qui avec les stations de Cotonou, de Hetin-Sota et de Porto-Novo permettra un suivi des niveaux et de la qualité des eaux du lac.

7.3.2.2 Equipements

a. Equipements aux stations

- . Stations de contrôle des débits fluviaux

Pour faciliter la maintenance, il serait bon d'uniformiser l'équipement de ces stations en les dotant toutes de limnigraphes CHLOE D de chez ELSYDE. Les stations équipées du système ARGOS devront toutes être de type PH11.

- . Stations du domaine paralique

Ces stations devront pouvoir suivre, à la fois, les variations du niveau et de la conductivité. L'existence constatée en certains endroits d'une stratification des eaux rendrait souhaitable l'installation à chacune d'entre elles de deux capteurs de conductivité.

b. Autres équipements

Le SH devrait pouvoir être doté du matériel suivant :

- . un véhicule tout terrain,
- . un canot pneumatique,
- . une photocopieuse.

7.3.2.3 Personnel

Un technicien supérieur devra être recruté par le SH pour le traitement des données. Il devra être formé aux technologies utilisées sur le réseau et au logiciel HYDROM.

Si les études exploratoires concernant la qualité des eaux et dont nous parlerons plus bas, étaient entreprises, il faudrait recruter un ingénieur spécialiste et un technicien supérieur qu'il faudrait former. En effet, il n'y a actuellement au SH aucune compétence dans ce domaine.

L'ensemble des cadres du service devront se perfectionner en informatique et être formé notamment à certains grands logiciels du commerce : WORD, dBASE, LOTUS, STATGRAPHICS, SURFER par exemple.

7.3.3 Données

On ne dispose que de données très fragmentaires sur les débits solides. Avant de pouvoir définir un réseau de surveillance, il convient de mener, au cours de 2 campagnes hydrologiques, une étude exploratoire sur quelques rivières qui pourraient être :

- . le bas Mono, ce qui permettrait de préciser les apports au barrage d'Adjarala,
- . le Couffo, vu les problèmes d'envasement du lac Ahémé, plusieurs fois évoqués lors de nos entretiens,
- . l'Ouémé au niveau du site de barrage de Ketou et de la station de Beterou,

- . la Sota au niveau de la station de Couberi pour avoir une estimation des transports solides des rivières drainant les plateaux gréseux du Nord.

Document de projet : un document intitulé "Extension du domaine d'intervention du Service de l'Hydrologie", qui reprend ces différentes recommandations sur le réseau et sur les mesures de transports solides, est donné en annexe.

7.3.4 Autres recommandations

7.3.4.1 Mise au point d'un logiciel d'estimation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés

Nous avons vu dans les chapitres précédents qu'il n'était pas envisageable pour des raisons financières d'augmenter la densité du réseau. Les observations directes des régimes hydrologiques ne concerneront donc que des bassins dont la superficie dépasse la résolution du réseau, c'est-à-dire environ 5000 km².

Or, il existe une demande pour des données hydrologiques concernant des bassins plus petits. Il serait donc souhaitable de traduire en un outil informatique opérationnel, la méthode mise au point par L. LE BARBE et G. ALE et présentée à plusieurs reprises dans ce rapport.

Ce logiciel fournirait deux types de produits :

- . La définition du régime hydrologique aux sites non jaugés par la reconstitution des chroniques des modules annuels et des répartitions mensuels des apports, ainsi que par l'estimation de la distribution statistique des débits maximaux annuels.
- . Des paramètres pluviométriques déduits des fichiers nécessaires aux calculs des lames écoulées : cartes des isohyètes mensuelles ou annuelles, année par année, ou moyenne, sur n'importe quel bassin ou zone du pays ; estimations en tout point du territoire des distributions statistiques des totaux pentadaires, décadaires, mensuels et annuels, des hauteurs pluviométriques extrêmes mensuelles, des nombres mensuels d'averses, etc.

Document de projet : un document intitulé "Création d'un logiciel pour l'évaluation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés du Bénin" présente la faisabilité de ce projet. Il est donné en annexe.

7.3.4.2 Etude préliminaire des pertes d'écoulement de l'Ouémé et du Zou

On ne connaît pas actuellement la localisation exacte, ni le devenir des pertes constatées lors des fortes crues le long de l'Ouémé et du Zou au contact entre le socle et le bassin sédimentaire côtier.

Si des barrages étaient construits sur ces fleuves (Ketou sur l'Ouémé par exemple), les crues risqueraient de se trouver fortement laminées et les pertes fortement diminuées. Cela aurait pour conséquence soit une insuffisance dans la recharge des nappes, soit une modification de l'hydrologie du Delta.

Dans les deux cas, l'enjeu nous paraît suffisamment important pour préconiser une étude de ce phénomène.

7.3.4.3 Faisabilité d'une étude des systèmes lagunaires béninois

Les lacs et les lagunes forment un milieu riche de potentialités dans une zone très peuplée. Mais c'est un milieu fragile dont l'équilibre peut être menacé par les aménagements projetés, ou déjà réalisés, sur les principaux tributaires continentaux (Mono et Ouémé) ou sur leur ouverture maritime, et par la pollution induite par les villes riveraines. Il paraît indispensable qu'à court terme, dans le prolongement du travail fait par l'UNB, une étude pluridisciplinaire soit entreprise pour comprendre et quantifier le fonctionnement de ces systèmes et ainsi pouvoir évaluer l'impact des aménagements et proposer des solutions pour leurs protections.

La définition d'une telle étude dépasse la mission du consultant. Nous préconisons donc qu'une mission d'expertise pluridisciplinaire examine sa faisabilité.

Document de projet : un document intitulé "Etude préliminaire du fonctionnement des systèmes lagunaires" précise dans quelles conditions une mission d'experts pourra apporter une réponse aux deux questions précédentes : pertes de l'Ouémé et du Zou, fonctionnement des systèmes lagunaires.

7.4 Eaux souterraines

7.4.1 Structure organisationnelle

7.4.1.1 Service des études d'hydrogéologie (SEH)

a. Renforcement de la Division Hydrochimie

Il devient essentiel pour le Bénin d'avoir des données sur la qualité de l'eau. La mobilisation des ressources en eau va s'accroître dans les années à venir, ce qui nécessite, dès maintenant, de surveiller la vulnérabilité des ressources en eau et la potabilité de l'eau fournie pour l'alimentation des populations.

Dans ce but, il est nécessaire de valoriser au mieux le laboratoire d'analyses de la Direction de l'Hydraulique.

Pour cela, il faut mettre en oeuvre les moyens suivants :

a1. Mise à disposition d'un ingénieur hydrochimiste expatrié pendant 15 mois

Son rôle sera :

- . apporter un complément de formation pratique au personnel du laboratoire,
- . organiser le travail du laboratoire de façon rationnelle,
- . former le Chef de la division hydrochimie à la gestion d'un laboratoire d'analyses d'eau.

a2. Faire les transformations qui s'imposent pour que les analyses soient faites dans de bonnes conditions d'hygiène (pour avoir des analyses fiables) et de sécurité (pour le personnel qui y travaille) :

- . isoler le laboratoire contre l'invasion de la poussière extérieure : climatisation de la salle d'analyses chimiques, remplacement d'une partie des fenêtres à persiennes (type NACO) par des vitres,
- . achat de flacons à prélèvement spécialement prévus à cet effet,
- . constitution d'un stock de roulement en produits pour les différentes analyses à faire,
- . mise en place de conditions de sécurité minimum dans le laboratoire : un extincteur, une boîte à pharmacie de première urgence, couvertures anti-feu, installation d'une douche de sécurité.

a3. Compléter le matériel existant par les acquisitions suivantes :

- . un photomètre de flamme pour le dosage du sodium, potassium,
- . un pHmètre de laboratoire,
- . un pHmètre de terrain,
- . un conductimètre de laboratoire,
- . un conductimètre de terrain,
- . un déminéralisateur régénérable,
- . un réfrigérateur-congélateur.

a4. Stage de formation de 6 mois pour le Chef de la division hydrochimie dans une école de chimie à l'étranger.

b. Division Etudes et Gestion des Eaux souterraines

Le Service des Etudes d'Hydrogéologie est en mesure de fournir des services dans le cadre d'études sur les ressources en eau souterraine ou d'exécution de projet :

- . la prospection géophysique,
- . la réalisation de pompage d'essai.

le SEH disposant du personnel qualifié nécessaire et d'un matériel approprié en bon état.

A cela s'ajoutent les moyens d'analyses des eaux de la division hydrochimie, actuellement très mal valorisés et sous-employés.

Des arrangements devraient pouvoir être négociés dans le cadre des projets exécutés par la Direction de l'Hydraulique bien sûr, mais aussi dans le cadre des projets des autres intervenants dans le domaine de l'eau.

Le Service des Etudes d'Hydrogéologie, comme le Service Hydrologique, doit être organisé pour servir de prestataire de service pour les différents utilisateurs de la ressource eau.

7.4.1.2 Service des Etudes et de la Programmation (SPR)

a. Nécessité d'informatiser la documentation

Faisant suite à la réorganisation de la documentation faite dans le cadre du projet BEN 85/004, il y a lieu de la rendre encore plus opérationnelle avec les actions suivantes :

a1. Mise à disposition d'un documentaliste ayant une expérience professionnelle suffisante de l'informatique pendant 6 mois.

- a2. Acquisition d'un micro-ordinateur 386 SX NORMEREL avec 1 imprimante LQ 1050 à grand chariot, 1 coprocesseur 387 SX, 1 extension de mémoire à 4 Mo, un logiciel de gestion de base de données documentaires, 1 onduleur, 1 photocopieur.
- a3. Quelques aménagements doivent être apportés à la documentation : installation de 2 climatiseurs pour garantir une meilleure protection des documents. Aménagement d'un endroit réservé à la consultation des documents sur place.
- a4. Formation pratique d'un documentaliste à la gestion d'une documentation informatisée, complétée par des cours d'initiation à l'informatique pendant 3 mois à Cotonou.

b. Formation du personnel du SPR à l'informatique

Actuellement, 6 cadres et techniciens du SPR suivent des cours d'initiation concernant l'utilisation d'un certain nombre de logiciels (voir § 6.5.1.1.c). Il conviendra, à l'issue de cette formation, de faire une évaluation des niveaux de compétence acquis et de voir si cela répond à l'ensemble des besoins du service.

Concernant le programme PROSPER, l'accord a été donné par le PNUD pour acquérir le complément de matériel informatique décrit au chapitre 6, dans le cadre du reliquat financier du projet BEN 85/004. Il n'y a pas d'autres recommandations à formuler dans la présente étude.

7.4.1.3 Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement

Pour pouvoir remplir son rôle qui est la surveillance de la qualité des eaux, la DHA doit disposer d'un équipement minimal lui permettant de prélever des échantillons et d'en contrôler la qualité.

a. Pour le prélèvement des échantillons

- . Flacons de prélèvement stérilisables.
- . Un lot de comparateurs plus le réactif (Orthotolidine).
- . Un lot de thermomètres hypersensibles.
- . Un lot de glacières pour le transport des échantillons.
- . Des becs à gaz.

b. Pour un laboratoire d'analyses des eaux

- . Autoclave vertical électrique auto-régulé de 180 l.
- . Poupinel ou four électrique.
- . Microscope binoculaire modèle BH2.

- . Minéralisateur DIGESDAHL, HACH (Prolabo) fourni complet avec fiole, verrerie et accessoires et réactifs pour dosage azote total.
- . Appareil manométrique à 6 postes pour la mesure de la DBO complet avec flacons et réactifs.
- . Appareillage-accessoires et réactifs pour mesure volumétrique de la DCO.
- . Laboratoire portatif DREL/2500 (Prolabo) avec conductimètre et pHmètre digital incorporés plus accessoires et réactifs.
- . Fluorimètre et colorimètre combiné avec microprocesseur (type Fluoread modèle 200 OSI).
- . Etuve bactériologique réglable 25-70°C.
- . Deux stérilisateur à ultraviolet pour la stérilisation des entonnoirs et base et accessoires (lampes UV et fusibles).
- . Balance de précision Mettler modèle PE 600.

7.4.2 Recommandations concernant les données géologiques

La connaissance géologique du Bénin est un élément indispensable pour permettre le développement du pays dans de nombreux domaines parmi lesquels figure l'utilisation des ressources en eau souterraine.

Les documents cartographiques actuellement disponibles ont été établis :

- . avec des moyens différents,
- . par des écoles différentes,

se traduisant par des difficultés de raccordement entre les différents documents.

Il est nécessaire d'harmoniser les données géologiques disponibles et de doter le Bénin d'une carte géologique de synthèse à l'échelle 1/500 000 accompagnée d'une notice explicative.

7.4.2.1 Conception de la carte de synthèse géologique

Les prestations suivantes sont nécessaires :

- . Acquisition et compilation de toute la documentation existante.

- . Préparation d'une base topographique à l'échelle 1/500 000 pour recevoir toutes les données géologiques.
- . Etude photogéologique sur photographies aériennes conventionnelles et sur images satellites de tout le territoire du Bénin.
- . Mission géologique sur le terrain pour étudier en détail toutes les différentes formations géologiques décrites par les études précédemment exécutées. Cette phase doit permettre une harmonisation des informations contenues dans les différents documents cartographiques existants. Des échantillons seront prélevés pour être étudiés.
- . Etude au laboratoire pour l'analyse chimique des roches, la détermination isotopique de l'âge absolu.
- . Elaboration des maquettes de la carte géologique et des notices. Le document final sera conforme aux standards internationaux et régionaux.
- . Préparatifs pour impression.
- . Impression typographique des cartes et impression des notices explicatives.

La carte géologique comprendra les informations lithologiques, structurales, pétrographiques et minières. Les notices explicatives, sous forme de volumes reliés, seront accompagnées de photographies, schémas et coupes géologiques, de qualité et en quantité suffisante et représentatives pour aider à la compréhension de la complexité des phénomènes géologiques du pays.

Elles comporteront des éléments exhaustifs et les références bibliographiques complètes sur la géologie, la structure, la morphologie, la géophysique, la pétrographie, les caractéristiques hydrogéologiques principales et les indices de minéralisation.

Les notices présenteront une reconstitution de l'évolution géologique du Bénin dans le contexte plus général de la géologie de l'Afrique de l'Ouest.

7.4.2.2 Moyens à mettre en oeuvre

La maîtrise d'oeuvre doit être confiée à l'OBEMINES, le Maître d'Oeuvre étant le Ministère de l'Industrie et de l'Energie.

Pour l'exécution de ce projet, l'OBEMINES aura besoin de l'appui d'un Bureau d'Etudes expérimenté.

Tableau 7.4.1 - PERSONNEL NECESSAIRE A LA CONCEPTION DE LA CARTE DE SYNTHESE GEOLOGIQUE (en hommes/mois)				
	Personnel	au Bénin	au Siège	Total
Bureau d'Etudes	1 responsable du projet	8	6	14
	2 géologues	2 x 6	2 x 2	16
	1 pétrographe	3	3	6
	1 photogéologue	1	2	3
	1 géomorphologue	1	1	2
	1 dessinateur	-	4	4
OBEMINES	2 ingénieurs	2 x 8	-	16
	4 prospecteurs	4 x 6	-	24
	3 chauffeurs	3 x 6	-	18
	1 mécanicien	1 x 6	-	6
	Personnel d'appui	6 x 8	-	48

Les besoins du Bénin nécessitent une édition de la carte géologique de synthèse en 1000 exemplaires. Compte tenu de l'échelle choisie, 2 feuilles seront nécessaires.

7.4.2.3 Formation

Dans le cadre de l'établissement de la carte géologique de synthèse du Bénin, les besoins en formation de personnel national sont les suivants :

- . Formation à la télédétection appliquée à la géologie : 1 ingénieur pendant un mois de stage à l'étranger.
- . Formation aux techniques modernes de la cartographie géologique : 2 ingénieurs pendant un mois de stage à l'étranger,

soit 3 mois de formation à prévoir.

7.4.3 Recommandations concernant les données hydrogéologiques

7.4.3.1 Base de données hydrogéologiques

Il est indispensable que le Service des Etudes d'Hydrogéologie dispose d'une base de données hydrogéologiques. Pour cela, il faut :

- . affecter officiellement au SEH l'ensemble des moyens existants dans le cadre d'HYDROBASE : matériels informatiques, logiciels et programme HYDROBASE, disquettes contenant les données déjà saisies,
- . une étude préalable sur la conception d'une base de données hydrogéologiques en fonction des besoins du Bénin :
 - objectifs,
 - quel doit être son contenu,
 - architecture du programme,
- . la mise au point d'un logiciel adapté au stockage, à l'affichage et au traitement des données,
- . la récupération, après vérification, des données déjà stockées dans le cadre d'HYDROBASE.

a. Conception d'une nouvelle base de données hydrogéologiques

Pour les raisons évoquées au chapitre "Evaluation", il est préférable d'envisager la conception d'une base de données adaptée.

La banque de données (matériel, logiciel, structure des fichiers et des programmes) doit être conçue pour s'intégrer dans un environnement standard pouvant s'adapter à l'évolution prévisible du matériel informatique et des logiciels commerciaux et permettre une utilisation conviviale.

a1. Standards à utiliser

Il faut orienter le choix du matériel vers du compatible IBM et du logiciel vers dBase III plus qui est le standard le plus adapté dans le domaine des systèmes de gestion de base de données.

Ce logiciel permet de communiquer sans problème de transfert.

a2. Programmation

Le programme doit être conçu pour permettre aux utilisateurs de créer leurs propres fichiers de données et programmes spécifiques tout en restant compatible avec la banque centrale.

b. Gestion de la banque de données

La banque de données est destinée à gérer la totalité des renseignements concernant les ressources en eau du Bénin : pour cela, il faut respecter une rigueur dans son utilisation. Le schéma de gestion pourrait être le suivant :

b1. Modalités d'entrée, de vérification, de saisie et de sauvegarde des données

La collecte, la saisie et la vérification des données constituent le processus le plus important dans la constitution d'une banque de données. Il doit être réalisé en chaîne :

- . Les techniciens de terrain remplissent les fiches de saisie codifiées.
- . L'Ingénieur responsable vérifie ces fiches et les remet à l'opérateur de saisie.
- . L'opérateur de saisie entre les différentes fiches dans des fichiers transitoires de l'ordinateur.
- . L'opérateur édite ensuite un listing des données ainsi mémorisées et le remet au responsable de la banque de données.
- . Le responsable vérifie le listing, le corrige et le rend à l'opérateur.
- . L'opérateur effectue les corrections éventuelles des données dans le fichier correspondant de l'ordinateur.
- . L'opérateur transfère les fichiers transitoires dans le fichier opérationnel correspondant chaque fois que nécessaire et le plus souvent possible.
- . L'opérateur effectue régulièrement une copie (Backup) des fichiers opérationnels sur disquettes et sur bande magnétique.

b2. Traitement

Le traitement des données doit être accessible par le biais des mesures qui permettent :

- . la consultation à l'écran,
- . la modification des données,
- . l'édition de données.

b3. Structure et utilisation de la banque de données

Il appartiendra à la Direction de l'Hydraulique de faire une étude pour définir la structure de la banque de données avec tous les fichiers qui la constitueront.

Ce que nous pouvons suggérer comme structure :

- . un noyau central de fichiers dBase articulés autour du "Village" qui est l'unité administrative de base,

- . une série de fichiers satellites en LOTUS 1.2.3.

L'ensemble des fichiers doit pouvoir être traité sous forme statistique avec calcul des moyennes, maxima, minima, distributions, écarts types, les données obtenues donnant des fichiers statistiques utilisables sous forme de graphiques et de cartes thématiques par des logiciels tels que "Atlas Graphics".

Le programme doit se présenter comme une succession de menus dans lesquels l'utilisateur effectue son choix selon ses besoins et d'écrans masqués servant à éditer les données suivant le format désiré.

c. Moyens à mettre en oeuvre

c1. Acquisition d'un matériel informatique

L'état du matériel disponible dans le cadre d'HYDROBASE étant difficilement appréciable et un seul ordinateur étant insuffisant, on préconisera l'acquisition d'un matériel homogène avec ce qui existe déjà (ou prévu) dans le cadre du programme PROSPER et de l'informatisation de la documentation.

Il faut :

- . 1 micro-ordinateur 386/20 NORMEREL,
- . 1 imprimante LQ 1050 à grand chariot,
- . 1 coprocesseur 387/20,
- . 1 extension mémoire à 4 Mo,
- . 1 onduleur,
- . 1 photocopieuse,
- . divers logiciels.

c2. Appui d'un Bureau d'Etudes

Pour la conception et la mise en oeuvre d'une banque de données hydrogéologiques, la Direction de l'Hydraulique aura besoin de l'appui d'un Bureau d'Etudes expérimenté qui mobilisera les moyens suivants :

- . 1 ingénieur informaticien pendant 6 mois,
- . 1 ingénieur hydrogéologue pendant 10 mois.

c3. Formation

Pour la mise en place d'une banque de données hydrogéologiques, les besoins en formation de personnel national sont les suivants :

- . Formation à l'utilisation des logiciels dBASE III plus, LOTUS 1.2.3 pour :
 - le Chef de service du SEH,
 - les 2 chefs de division,
 - un ingénieur de la division Etudes et Gestion des ressources en eau souterraine,
 - un opérateur de saisie.

- . Formation pratique du même personnel pendant la présence du Bureau d'Etudes.

d. Récupération des données saisies sur HYDROBASE

Le programme HYDROBASE est sous dBase. Il ne doit donc pas y avoir de difficultés à récupérer les informations ainsi stockées.

Cependant, un important travail de vérification de ces données reste à faire.

Les types de vérification à faire sont :

d1. Vérification par identification des données anormales

Des petits programmes simples doivent être écrits en dBASE pour permettre de déceler certaines données anormales. Sachant que la plupart des données sont soumises à certaines contraintes, comme par exemple :

- . la profondeur de l'eau (niveau statique) doit toujours être inférieure à la profondeur du forage,
- . la cote piézométrique doit être positive, sauf très rares exceptions. Une cote piézométrique négative doit entraîner une vérification attentive de l'altitude du point d'eau ou de la profondeur de l'eau,
- . les coordonnées des forages du Département de l'Atlantique doivent toutes être comprises entre 1°57' et 2°22' de longitude et entre 6°17' et 6°58' de latitude.

d2. Vérification du positionnement et de l'altitude

Les coordonnées des points d'eau représentent une donnée essentielle. Celles-ci sont informatisées à partir des indications données par les fiches de terrain fournies par chaque projet, sans aucune vérification.

Au préalable à leur enregistrement, il est nécessaire d'effectuer une vérification pour déceler les données suspectes.

Ce contrôle peut se faire de la façon suivante :

- . utilisation de cartes topographiques (le 1/50 000 ou le 1/200 000) disposées de façon pratique, sous forme d'un atlas de format A3,
- . faire des sorties sur calque à l'aide de la table traçante avec la position des points d'eau,
- . la superposition des calques sur les cartes topographiques correspondantes permet de déceler les points suspects,
- . pour tout point dont le positionnement semble douteux, le retour aux fiches d'origine permet de vérifier les coordonnées et l'altitude.

7.4.3.2 Nécessité d'une campagne de prélèvement pour la qualité des eaux

Très peu d'informations sont actuellement disponibles concernant la qualité des eaux souterraines : un millier d'analyses chimiques seulement ont été faites alors que les points de prélèvements dans les eaux souterraines représentent :

- . 2898 forages d'Hydraulique Villageoise,
- . 746 puits modernes cimentés,
- . au moins 1000 puits traditionnels,
- . 100 forages d'adduction,

soit 4744 captages.

Il est actuellement impossible, compte tenu du faible nombre d'analyses disponibles et du doute sur la fiabilité de certains résultats, d'avoir un aperçu général, à l'échelle du Bénin, de la cartographie sur l'aspect qualitatif de l'eau.

A cause de cela, il est actuellement impossible de dire :

- . Combien faut-il de points de contrôle de la qualité de l'eau ?
- . Quels sont les éléments caractéristiques de la qualité à suivre ?
- . Quelles sont les zones à risque ou présentant un problème de qualité d'eau qu'il convient de surveiller ?

Pour permettre de mettre au point un programme de surveillance de la qualité des eaux utilisées pour l'AEP au Bénin, il faut, en premier lieu, faire une campagne de prélèvements couvrant toutes les unités hydrogéologiques définies incluant les différents types de captages utilisés (forages, puits modernes, puits traditionnels, sources) en tenant compte de tous les cas spécifiques recensés (pollution locale, secteur à géochimie particulière, secteurs à risques, etc.).

Il n'y a, actuellement au Bénin, aucune information sur l'aspect qualitatif pour 3700 captages d'eau souterraine.

A ce volet, il faut ajouter les ressources en eau de surface utilisées pour l'alimentation en eau potable.

a. Conception d'une campagne de mesures sur la qualité des eaux du Bénin

Compte tenu de la situation actuelle sur l'état des connaissances sur la qualité des eaux, il importe de faire 2 campagnes de prélèvement pour analyses complètes des eaux : physique, chimique et bactériologique, soit :

- . une campagne en période de hautes eaux,
- . une campagne en étiage (fin de saison sèche).

Nous déterminerons le nombre de point de prélèvements de la façon suivante :

- . Des prélèvements doivent être faits aussi bien sur des points d'eau déjà connus sur le plan qualitatif que sur des points d'eau pour lesquels aucune analyse n'a été faite.
- . Les prélèvements à faire doivent être répartis en fonction de la situation du point par rapport aux formations et aquifères captés : on peut considérer qu'il y a 12 unités principales au Bénin.
- . Dans chaque unité, les prélèvements doivent être faits en fonction de la position morphologique du point d'eau :
 - plateau : 80 prélèvements,
 - pente : 80 prélèvements,
 - bas-fond : 80 prélèvements.

Le nombre de points de prélèvements est, dans ces conditions, de 2880.

A cet échantillonnage, il faut ajouter des prélèvements des eaux de surface là où celles-ci sont utilisées pour l'alimentation en eau potable (100 analyses).

Sur 2 campagnes, il faut 5960 analyses complètes.

b. Moyens à mettre en oeuvre

Il est nécessaire de mettre en oeuvre deux équipes pour assurer les tournées de terrain. Chaque équipe comprendra :

- . 1 technicien,
- . 1 chauffeur,
- . 1 véhicule tout terrain,
- . matériel de camping,
- . matériel de prélèvement d'eau pour analyse chimique et pour matériel bactériologique,
- . matériel de conservation des échantillons,
- . 1 sonde électrique,
- . 1 pHmètre et 1 conductimètre de terrain,
- . 1 thermomètre.

Il faudra 2 mois par équipe pour faire chacune des campagnes de prélèvements, soit 8 équipes/mois nécessaires.

Cette étude sur la qualité des eaux sera réalisée conjointement par la division hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique et par la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement.

Sur chaque point de prélèvement, 2 échantillons d'eau sont nécessaires :

- . 1 échantillon pour l'analyse physico-chimique qui sera faite par la Direction de l'Hydraulique (dans le cadre du renforcement du laboratoire prévu au § 7.4.1.1.a),
- . 1 échantillon pour l'analyse bactériologique qui sera faite par la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement (dans le cadre de la mise en place d'un laboratoire à la DHA prévu au § 7.4.1.3).

7.4.3.3 Nécessité d'un réseau piézométrique minimum

Dans le cadre de l'UNESCO et de l'OMM, des normes ont été établies pour définir la densité d'un réseau de surveillance des eaux souterraines : nombre de piézomètres à mesures manuelles, nombre de piézomètres avec enregistrement des niveaux. Il est inutile de vouloir appliquer de telles normes à un pays comme le Bénin. Il est plus rationnel de déterminer ce qu'il faut surveiller, suivre et mesurer.

a. Conception d'un réseau piézométrique applicable au Bénin

Il s'agit, avant tout, de mettre en place un réseau piézométrique préventif nécessaire à la gestion des ressources en eau souterraine.

Les objectifs sont :

. En zone de socle :

- Suivre l'évolution du niveau de la zone fracturée à l'échelle interannuelle afin de déceler les éventuelles baisses de cette nappe, phénomène constaté depuis plusieurs années dans les pays sahéliens.
- Evaluer la recharge des aquifères discontinus. La corrélation entre les fluctuations piézométriques avec différents paramètres climatiques conduira à évaluer la recharge (en utilisant un modèle hydroclimatologique global tel que l'un des modèles de simulation du bilan hydrique du CIEH).
- Lorsque des débits importants sont prélevés dans un aquifère de fractures (cas de l'alimentation en eau d'un centre urbain), il faut surveiller la nappe et l'évolution du niveau piézométrique. Dans le cas de l'hydraulique urbaine, les prélèvements ne sont plus négligeables par rapport à la recharge en zone de socle.

. En zone sédimentaire :

- Surveillance de la configuration de la surface piézométrique de chaque aquifère principal (essentiellement Continental Terminal et sable du Maestrichtien).
- Mettre en évidence les zones de recharge, secteurs sensibles où l'environnement est à protéger.
- Appréhender la valeur du seuil pluviométrique d'alimentation de chaque aquifère, ce qui est une donnée essentielle pour estimer les risques au niveau de certains aquifères très sollicités : cas de la nappe du Continental Terminal du plateau de Godomey-Allada exploitée par la SBEE.
- Enfin, fournir un élément supplémentaire permettant de mieux évaluer l'importance des réserves.

Les données fournies par un réseau piézométrique doivent être significatives (en qualité) et suffisantes (en quantité). Pour cette raison, le réseau doit tenir compte :

- . des conditions géologiques : roches cristallines fracturées, altérations, schistes, formations sédimentaires,
- . des conditions géomorphologiques : proximité d'un axe d'alimentation (rivières permanentes, barrages, etc.), zone de plateau, zone de vallée,
- . des conditions climatiques : il faut compartimenter le Bénin en zones climatiques :

- pluviométrie inférieure à 1000 mm,
- pluviométrie entre 1000 et 1200 mm,
- pluviométrie supérieure à 1200 mm.

b. Rappels sur le réseau piézométrique actuel

b1. Dans le bassin sédimentaire côtier

Un réseau de surveillance existe ou est en cours d'installation:

. Dans le cadre du projet PNUD :

- 30 piézomètres dans l'aquifère du Continental Terminal + Quaternaire,
- 7 piézomètres dans l'aquifère du Crétacé.

Ce réseau est actuellement régulièrement suivi par la Direction de l'Hydraulique.

. Dans le cadre du projet BID :

- 12 sites équipés de 2 à 3 piézomètres (un par aquifère identifié) existent sur le cordon littoral,
- 3 de ces sites vont être complétés par un forage d'exploitation pour réaliser des essais de pompage.

L'objectif est d'étudier les mouvements de l'interface eau douce-eau salée, ceci avec l'aide d'un modèle mathématique.

Concernant l'aquifère du Crétacé : tels qu'ils peuvent être maintenant évalués, les besoins en eau présents et futurs de la zone où le Crétacé est exploitable sont si faibles qu'il est inutile d'envisager la mise en place d'un réseau de surveillance plus dense.

Concernant l'aquifère du Continental Terminal et du Quaternaire, la zone sensible est le plateau d'Allada-Godomey.

La SBEE avait mis en place un réseau de piézomètres, tous aujourd'hui hors d'usage.

Il est indispensable d'exiger de la SBEE qu'elle établisse un diagnostic précis de l'état de ces piézomètres.

Dans l'objectif que ce réseau de surveillance n'est pas réhabilitable, il sera nécessaire de compléter le réseau mis en place par le projet PNUD par l'exécution de 20 piézomètres dans la zone où se trouvent les captages alimentant Cotonou.

En attendant, les mesures doivent être poursuivies sur le réseau du projet PNUD.

Nous recommanderons d'examiner les données piézométriques disponibles : pour les 5 piézomètres qui présentent les plus grandes fluctuations de niveau d'eau, l'équipement doit être complété par un limnigraphe.

b2. Dans le bassin sédimentaire de Kandi et les alluvions du Niger

Un réseau de 14 piézomètres et 3 forages d'exploitation est en cours de mise en place dans le cadre du projet BID. Il va faire l'objet d'une étude. Il n'y a donc pas lieu, dans l'immédiat, de programmer des ouvrages supplémentaires.

b3. Dans la zone du socle

Il n'y a que 4 piézomètres existant dans la région de Natitingou.

Actuellement, le projet BID a recensé un certain nombre de puits où il effectue des mesures de niveau d'eau.

Ces ouvrages ne peuvent pas être considérés comme piézomètres car ils sont exploités.

Compte tenu des objectifs qu'il faut se fixer en zone de socle et décrits ci-dessus, la mise en place d'un réseau piézométrique est indispensable :

- . 8 piézomètres dans l'Atacora,
- . 6 piézomètres dans le Borgou,
- . 4 piézomètres dans le Zou.

Pour implanter ces piézomètres, une étude déterminera quelles sont les unités hydrogéologiques qu'il convient de surveiller. Pour cela, on s'appuiera sur les résultats des mesures piézométriques faites par le projet BID sur les 200 points d'eau répartis dans tout le pays.

c. Moyens à mettre en oeuvre

Les travaux seront réalisés par le Service des travaux hydrauliques de la Direction de l'Hydraulique ou par une entreprise de forage en cas d'indisponibilité du matériel de l'Administration.

Le mode de réalisation sera :

- . Pour les piézomètres à faire en zone de socle :
 - foration des altérations en ϕ 9"7/8 ou 10",

- mise en place d'un tubage provisoire 8",
 - forage dans le socle au marteau fond de trou 6"1/2,
 - mise en place d'une colonne en PVC 50/63 comportant des éléments crépinés au droit des venues d'eau et un bouchon de pied,
 - l'espace annulaire sera comblé de bas en haut par du gravier roulé, fin, quartzitique jusqu'à 5 m au-dessus de la dernière crépine, 2 m de sable fin, du tout-venant et enfin cimenté sur les 2 derniers mètres,
 - construction d'une superstructure comportant un tube métallique avec capot vissant et socle de ciment,
 - 5 de ces piézomètres seront équipés d'un limnigraphe,
 - nivellement de l'ouvrage.
- Pour les piézomètres à faire en zone sédimentaire :
- foration du Continental Terminal en ϕ 8"1/2 au rotary à la boue,
 - mise en place d'une colonne en PVC 50/63 comportant des éléments crépinés au droit de l'aquifère, des centreurs et un bouchon de pied,
 - l'espace annulaire sera comblé de bas en haut par du gravier roulé, fin, quartzitique jusqu'à 5 m au-dessus de la dernière crépine, 2 m de sable fin, du tout-venant et enfin cimenté sur les 2 derniers mètres,
 - construction d'une superstructure comportant un tube métallique avec capot vissant et socle de ciment,
 - 5 de ces piézomètres seront équipés d'un limnigraphe,
 - nivellement de l'ouvrage.

d. Surveillance du réseau à mettre en place

La Direction de l'Hydraulique met actuellement en place un suivi périodique des points d'eau villageois, visant à contrôler l'état des pompes et le niveau de maintenance assuré par les artisans réparateurs privés.

Le réseau de piézomètre minimum proposé ici doit être implanté pour que sa surveillance puisse se faire dans le cadre des circuits de visite des pompes.

Il est hors de question de prévoir des tournées de mesures spécifiquement pour ce réseau de surveillance, compte tenu des faibles moyens financiers que peut mobiliser la Direction de l'Hydraulique.

7.4.3.4 Nécessité de disposer d'une carte hydrogéologique actualisable

Compte tenu de l'importance des données collectées et des études relatives aux ressources en eau souterraine réalisées depuis 1986, date de publication de la carte hydrogéologique financée par le FED, il est nécessaire de faire une actualisation de cette carte.

L'élaboration de ce nouveau document doit intervenir lorsque certaines des recommandations précédentes auront été satisfaites :

- . Réalisation d'une synthèse géologique à l'échelon national ceci afin de disposer d'un fond géologique fiable.
- . Mise en place d'une banque de données hydrogéologiques avec toutes les informations disponibles à l'échelle du pays, ceci pour faire tous les traitements statistiques indispensables à l'élaboration d'une carte.
- . Réalisation de la campagne de prélèvements des eaux souterraines pour analyses afin d'intégrer le paramètre qualité.
- . Enfin, publication des résultats de l'étude "inventaire des ressources en eau souterraine du Bénin" (projet BID).

a. Conception proposée : la cartographie digitalisée

Les procédés actuels de DAO permettent de disposer de cartes digitalisées sur des micro-ordinateurs ou stations de travail appropriés.

L'intérêt de tels systèmes est de disposer, notamment dans le domaine de l'inventaire des connaissances sur les ressources en eau, de documents cartographiques actualisables.

La cartographie classique en couleur, par procédé offset par exemple, permet de différencier certains types d'informations à travers les couleurs : à un fond de plan hydrographique, par exemple, correspond à l'impression la couleur bleue.

La cartographie digitalisée permet de traiter sur ordinateur un grand nombre de niveaux (ou "couches") d'informations, chaque niveau pouvant correspondre :

- . aux fonds des cartes classiques :
 - hydrographie,
 - planimétrie (routes et nom des villes),
 - etc.,

- . puis aux fonds des informations acquises :
 - isohyètes,
 - contours géologiques,
 - schématisation des nappes et potentialités,
 - informations sur les stations de mesures (localisations, durée de fonctionnement), etc.

On peut choisir toute combinaison de niveaux pour une carte particulière.

Les informations ainsi cartographiées feront apparaître les zones de lacunes.

Ultérieurement, les nouvelles connaissances acquises pourront permettre d'actualiser les cartes.

L'expérience montre que, pour être lisibles et interprétables, les cartes ne doivent pas être surchargées d'informations. Ceci rejoint le souci de disposer de fichiers transportables sur des équipements informatiques qui ne soient pas trop lourds en maintenance : micro-ordinateurs ou station de travail.

La taille des fichiers et les temps de traitement peuvent donc être un facteur limitant.

Pour rester dans l'esprit du projet (actualisation ultérieure des cartes), il faut donc trouver un compromis acceptable entre une bonne définition de la cartographie de base et une taille de fichier raisonnable permettant de traiter les données sans faire appel à tout un service informatique.

Nous conseillons de respecter les échelles des deux feuilles qui composent la première version de la carte hydrogéologique du Bénin :

- . Digitalisation de la carte au 1/500 000 pour l'ensemble du pays, ce qui correspond à l'échelle de la carte géologique de synthèse dont l'exécution est recommandée.

- . Digitalisation de la carte au 1/200 000 pour le bassin sédimentaire côtier, ce qui donne un format de carte pouvant contenir toutes les informations.

b. Méthode d'établissement de cartes par système digital

Après digitalisation du fond topographique et de la minute de la carte hydrogéologique, les données sont disponibles sous forme de fichiers graphiques informatiques permettant l'édition directe de cartes en couleur. La production de ces documents au moyen d'un système digital remplace l'établissement des cartes par la méthode traditionnelle.

Les fichiers graphiques, rassemblant l'ensemble des informations contenues dans les cartes traditionnelles, seront enregistrés sur des disquettes ou des bandes magnétiques (désignées ci-après comme "supports physiques") lisibles par des stations de travail ou des micro-ordinateurs.

Concernant les caractéristiques des supports physiques, leur format doit être compatible avec les matériels courants : disquettes 5"1/4 ou 3"1/2, bandes magnétiques ou tout autre support physiquement compatible avec les stations de travail et micro-ordinateur qui auront à traiter ces données ultérieurement.

Il est nécessaire de prévoir de tester l'intégrité des supports physiques : relecture et comparaison des fichiers.

Les fichiers graphiques doivent permettre d'éditer des cartes allant jusqu'au format A0 sur les traceurs disponible sur le marché, compatibles avec AUTOCAD (marque déposée).

Concernant l'édition des cartes, pour avoir un document de très bonne qualité, les tracés doivent être réalisés avec un traceur à plumes choisi parmi les plus performants, soit avec un traceur électrostatique couleur dont la résolution est de 400 points par pouce.

Logiciels de digitalisation

Les logiciels utilisés devront permettre d'incorporer la notion de coordonnées relatives et coordonnées absolues (changement d'origine des repères orthonormés).

On emploiera un format majeur de données cartographiques. Etant donné qu'il n'existe pas de format standard dans ce domaine, les données cartographiques digitales devront être fournies au format DXF les rendant utilisables par le progiciel AUTOCAD qui tend à devenir un standard de DAO, ce qui permettra leur traitement par des stations de travail bas de gamme ou des micro-ordinateurs haut de gamme.

Ce format est, d'autre part, également accepté en entrée d'après la Société ESRI (France), par le logiciel ARC/INFO de large diffusion aux Etats-Unis et utilisé en France, par l'IGN.

Exigences concernant l'emploi du matériel informatique

Standards obligatoires : sur micro-ordinateurs, machines compatibles MS DOS 4.01, OS/2 sur stations de travail. Plus généralement, l'ensemble du matériel utilisé ultérieurement devra être compatible avec AUTOCAD.

Niveaux de performances : courant sur les micro-ordinateurs haut de gamme et les stations de travail (RAM minimum 8 Mo, processeurs cadencés à au moins 25 MHz).

c. Moyens à mettre en oeuvre

. Assistance d'un Bureau d'Etudes spécialisé :

- Mise à disposition d'un ingénieur hydrogéologue pour la conception de la minute de la carte hydrogéologique.
- Digitalisation (fichiers graphiques).
- Formation du personnel de la Direction de l'Hydraulique à l'utilisation du matériel.
- Installation du système au Service des Etudes d'Hydrogéologie.

. Acquisition et installation du matériel suivant :

- 1 station de travail ou 1 micro-ordinateur 486,
- 1 logiciel de DAO,
- 1 traceur couleur,
- consommables.

. Formation : pour 2 ingénieurs hydrogéologues du Service des Etudes d'hydrogéologie :

- 1 stage de 1 semaine au siège du Bureau d'Etudes,
- formation pratique au Bénin pendant la présence de l'hydrogéologue du Bureau d'Etudes.

7.4.3.5 Mise en place d'un modèle mathématique de la nappe du Continental Terminal

a. Justification

Les estimations actuellement disponibles sur les ressources en eau souterraine du bassin sédimentaire côtier et plus précisément du Continental Terminal sont bien supérieures aux besoins actuels pour l'alimentation humaine.

Cette apparente abondance de ressources est toutefois soumise à des contraintes dès que les prélèvements sont concentrés à proximité de la côte ou de la lagune Nokoué ou du lac Ahémé dont les eaux présentent une salinité non négligeable.

Malgré l'imprécision des données et le manque de suivi dans le temps, le modèle mathématique qui a fonctionné dans le cadre du projet PNUD a montré le risque d'une contamination de la nappe d'Allada-Godomey par de l'eau salée à partir de l'an 2000, compte tenu de l'évolution prévisible des prélèvements dans la nappe du CT pour alimenter Cotonou.

Si, dans le futur :

- . le développement de Cotonou (et aussi de Porto-Novo) suit la tendance prévue,
- . les besoins de l'agriculture irriguée augmentent à un point tel que la culture maraîchère contribue de façon non négligeable à la consommation d'eau souterraine,

il sera alors nécessaire d'arbitrer le conflit possible entre :

- . AEP des grands centres,
- . irrigation des périmètres maraîchers.

Devant cette situation, il est nécessaire de disposer dès maintenant des moyens de surveillance du comportement de la nappe du Continental Terminal.

Il faut donc poursuivre sans défaillance la collecte des données et mettre en place un modèle mathématique de simulation du comportement de la nappe.

Pour permettre la construction d'un tel modèle, en tant qu'outil de surveillance et d'aide à la décision, une étape préliminaire s'impose : les données disponibles sont encore trop imprécises pour pouvoir faire l'objet d'un traitement sur modèle. Il convient d'abord de faire une synthèse hydrogéologique en mettant l'accent sur la qualité des données et sur leur vérification.

A plus ou moins long terme, un exercice semblable de modélisation devra être réalisé pour le système du plateau de Sakete (dans le département de l'Ouémé) qui sera, dans les années à venir, fortement sollicité pour l'alimentation en eau de Porto-Novo.

b. Principe de la modélisation

Plusieurs types de modèle doivent être mis en oeuvre :

- . Des modèles utilisables sur micro-ordinateur et mis à disposition de la Direction de l'Hydraulique.

Dans ces modèles, l'hypothèse d'une interface franche eau douce/eau salée est généralement admise (hypothèse de Gyben-Herzberg).

Des modèles "gigognes" permettront une modélisation adaptée au système aquifère général d'une part et des représentations locales.

- . Des modèles plus complexes permettant de représenter la forme exacte et l'étendue du secteur touchés par les eaux salées et saumâtres.

Le modèle utilisé permettra de déterminer les échanges d'eau entre les divers niveaux aquifères et les risques de pénétration saline à long terme, par remontée des eaux des nappes profondes. Ce modèle sera utilisé pour mieux connaître le fonctionnement global du système aquifère et pour améliorer le réglage du modèle du type défini ci-dessus.

Le modèle qui sera mis en place sera un code de calcul bidimensionnel dans un plan vertical, permettant la simulation :

- des écoulements souterrains transitoires en milieu saturé et/ou non saturé,
- du transport (convection-diffusion) d'un champ de concentration par l'écoulement,
- de l'influence sur l'écoulement des variations de densité de l'eau induites par le champ de concentration (eau salée) ; les équations de l'écoulement et du transport sont donc couplées,
- d'ouvrages tels que puits, drains et tranchées.

Le domaine de calcul peut être à symétrie radiale ou à symétrie plane. Le modèle utilisera un schéma aux différences finies à pas fractionnaires sur un maillage rectangulaire.

c. Mise en oeuvre

La modélisation comportera les étapes suivantes :

- . Synthèse des données et construction des modèles représentant l'aquifère côtier.

- . Réglage des modèles sur une période hydrologique de référence de 1 an et installation sur place du logiciel fonctionnant sur PC.
- . Calcul de plusieurs scénarios d'exploitation ou d'aménagement.

7.4.3.6 Diffusion des données

La centralisation de toutes les données relatives aux eaux souterraines à la Direction de l'Hydraulique est une première étape nécessaire.

Une fois en place et opérationnelle, la banque de données hydrogéologiques doit être valorisée, c'est-à-dire en mesure d'apporter les éléments de base indispensables à tous les intervenants dans ce secteur permettant une exploitation rationnelle des ressources en eau souterraine.

Pour cela, il faut favoriser la diffusion des données. Le Service des Etudes d'Hydrogéologie doit faire connaître :

- . l'existence de la banque de données hydrogéologiques et les informations qu'elle contient,
- . l'existence d'une documentation complète avec des moyens informatiques permettant d'effectuer des recherches sur tous les aspects liés à la ressource en eau.

Le service hydrologique édite déjà un bulletin mensuel donnant :

- . une carte de situation des stations,
- . des informations sur l'hydraulicité de l'année,
- . une analyse régionale mensuelle pour les principaux bassins versants,
- . les débits moyens journaliers aux principales stations,
- . des hydrogrammes.

Dans le cadre de la mise en place du programme PROSPER, la Direction de l'Hydraulique avait mis au point et édité un bulletin trimestriel "PROSPER-INFOS" donnant des chiffres sur :

- . la population rurale du Bénin,
- . les besoins en eau,
- . les réalisations,
- . le nombre de points d'eau à faire,
- . le fonctionnement et l'utilité du programme PROSPER.

Ce bulletin d'information ne paraît plus depuis 1988.

La Direction de l'Hydraulique doit nécessairement mettre au point un bulletin d'information diffusé dans tous les services techniques des Ministères et dans certaines sociétés (telle que la SBEE). Une périodicité semestrielle paraît suffisante.

Le contenu de ce bulletin serait :

- . Informer tous les intervenants dans le domaine des ressources en eau sur l'organisation et le fonctionnement de la Direction de l'Hydraulique.
- . Faire savoir ce que les différents services de la DH peuvent fournir comme prestations :
 - mesures de géophysique,
 - PROSPER : outil d'aide à la programmation des points d'eau,
 - la banque de données hydrogéologiques,
 - le réseau de surveillance mis en place : piézomètres, stations hydrologiques,
 - le laboratoire d'analyses d'eau (prix des analyses, que peut-on analyser ?),
 - la documentation (ouvrages disponibles, mode de classement, modalité de consultation des documents),
 - informations synthétiques sur les ressources en eau sous forme de tableaux et de cartes.

L'ensemble des recommandations faites ici, les termes de référence de l'étude (généraux et spécifiques) ont permis d'identifier un certain nombre de projets permettant de combler une grande partie des lacunes observées en matière de données de base et de moyens permettant une évaluation précise des ressources en eau.

7.5 Projets identifiés

Les recommandations décrites ci-dessus ont permis d'élaborer les documents de projets présentés à l'Annexe B.

La liste de ces projets fait l'objet du tableau 7.5.1.

Tableau 7.5.1 - RECAPITULATIF DES PROJETS IDENTIFIES			
N°	Agence gouvernementale	Titre proposé	Coût US\$
BEN-01	Ministère chargé des Transports	Renforcement et modernisation des réseaux climatologique et pluviométrique	870 000
BEN-02	Ministère chargé des Transports	Renforcement des moyens informatiques du Service Météorologique National	105 000
BEN-03	Ministère de l'Equipement et des Transports	Création d'une banque de données pluviographiques	92 000
BEN-04	Ministère de l'Equipement et des Transports	Extension du domaine d'intervention du Service de l'Hydrologie	583 000
BEN-05	Ministère de l'Equipement et des Transports	Création d'un logiciel pour l'évaluation du régime hydrologique en un site non jaugé du Bénin	428 000
BEN-06	Ministère de l'Equipement et des Transports	Etude préliminaire du fonctionnement des systèmes lagunaires	228 000
BEN-07	Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Entreprises Publiques	Exécution de la carte géologique de synthèse de la République du Bénin à l'échelle 1/500 000	1 352 000
BEN-08	Ministère de l'Equipement et des Transports	Mise en place d'une base de données hydrogéologiques	438 000
BEN-09	Ministère de l'Equipement et des Transports	Renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique	432 000
BEN-10	Ministère de l'Equipement et des Transports	Campagne de mesures sur la qualité des eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable	228 000
BEN-11	Ministère de l'Equipement et des Transports	Création d'un réseau piézométrique minimum	769 000
BEN-12	Ministère de l'Equipement et des Transports	Actualisation de la carte hydrogéologique du Bénin	220 000
BEN-13	Ministère de l'Equipement et des Transports	Mise en place d'un modèle mathématique de la nappe du Continental Terminal alimentant Cotonou	340 000
BEN-14	Ministère de l'Equipement et des Transports	Informatisation de la Documentation de la Direction de l'Hydraulique	187 000
Total			6 272 000

Nous indiquons ci-après le chronogramme montrant l'enchaînement des projets qu'il faudrait respecter ainsi que l'ordre de priorité ceci dans l'optique où les sources de financement mobilisables ne permettraient pas de réaliser toutes les opérations proposées.

EVALUATION HYDROLOGIQUE DE L'AFRIQUE SUB-SAHARIENNE
 CHRONOGRAMME DES PROJETS PROPOSÉS POUR LE BENIN

Projets identifiés	An 1												An 2												An 3											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Renforcement des moyens informatiques du Service Météorologique National	-----																																			
Création d'une base de données pluviographiques	-----																																			
Renforcement et modernisation des réseaux climatologiques et pluviométriques	-----																																			
Extension du domaine d'activité du Service Hydrologique	-----																																			
Création d'un logiciel d'estimation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés	-----																																			
Etude préliminaire du système lagunaire	-----																																			
Exécution de la carte géologique de synthèse du Bénin au 1/500 000	-----												-----																							
Mise en place d'une base de données hydrogéologiques	-----																																			
Renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique	-----												-----																							
Campagne de mesures sur la qualité des eaux utilisées pour l'ASP	-----												-----																							
Création d'un réseau piézométrique minimum	-----												-----																							
Actualisation de la carte hydrogéologique du Bénin	-----												-----																							
Mise en place d'un modèle mathématique de la nappe du Continental Terminal alimentant Cotonou	-----												-----																							
Informatisation de la documentation de la Direction de l'Hydraulique	-----																																			

----- Priorité 1
 ----- Priorité 2

DOCUMENTS DE REFERENCES

Nous donnons ci-après la liste des principaux documents et références bibliographiques qui ont permis de fournir de nombreux renseignements et d'où sont extraites certaines des conclusions et recommandations de la présente étude :

J. COLOMBANI - ORSTOM	Cahiers d'Hydrologie IV.2 Premiers résultats des mesures de qualité des eaux au Togo et au Dahomey Contribution à la méthodologie de mesures systématiques de débits solides en suspension	1967
CIEH - ASECNA - ORSTOM	République du Dahomey. Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965	1973
H. TEXIER, BN. COLLEUL and al	Etude de l'environnement lagunaire du domaine margino Littoral Sud Béninois	1979
ASECNA	Convention - Statuts - Cahier des charges	1982
CEB	Etude d'inventaire des ressources hydroélectriques potentielles du Togo et du Bénin et Plan Directeur de Développement de la Production et du Transport Rapport définitif	1984
GEOHYDRAULIQUE	Cartes hydrogéologiques du Bénin . 1/500 000, ensemble du Bénin . 1/200 000, bassin sédimentaire côtier avec notices explicatives	1985
L. BERGER International	Etude du sous-secteur de l'élevage. Etablissement d'une stratégie et d'un programme pour son développement. Volet hydraulique pastorale	1986
MET/ASECNA	Contrat particulier entre la République du Bénin et l'ASECNA	1988
P. PALLAS	Contribution à l'étude des ressources en eau souterraine du bassin côtier du Bénin. Confrontation ressources-besoins	1988
SOGREAH	Situation et perspective de l'approvisionnement en eau en milieu rural en République du Bénin	1988
TURKPAK/SCET-TUNISIE	Inventaire des ressources en eaux souterraines au Bénin. Rapport d'établissement	1988
CANDELLA L.L.	Contribution à l'élaboration d'un plan directeur d'utilisation des ressources en eau du Bénin. Rapport du Consultant	1988
HASCOET	Préparation du plan directeur des ressources en eau du bassin sédimentaire au Sud du Bénin. Rapport du Consultant	1988
PNUD	Document de projet BEN/87/010	1989
HYDRO-EXPERT	Bilan diagnostique des actions d'Hydraulique Villageoise au Bénin	1989

BUSHAYIJA G.M.	HYDROBASE : conception et réalisation d'une base de données hydrogéologiques	1989
CIEH, ASECNA, ORSTOM	République Populaire du Bénin Précipitations journalières de 1966 à 1980	1990
EMSELLEM Y.	Bilan des programmes d'Hydraulique Villageoise au Bénin pour la décennie 1981-1990 - Perspectives pour la décennie 1991-2000	1990
TURKPAK/SCET-TUNISIE	Inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin - Rapport trimestriel	1990
PNUD/DTCD	Assistance à la Direction de l'Hydraulique pour la préparation d'un Plan Directeur des ressources en eau Conclusions et recommandations du projet	1990
L. LE BARBE et G. ALE - ORSTOM	Les Ressources en Eaux Superficielles du Bénin	1991
H. DOSSEUR - EDF	Etude du schéma optimal d'équipement hydroélectrique du fleuve Ouémé Compte rendu de la mission hydrologique	

oOo

LISTE DES ANNEXES

- Annexe A :** TERMES DE REFERENCE SPECIFIQUES - BENIN
- Annexe B :** FICHES DE PROJET
- Annexe C :** BIBLIOGRAPHIE
- Annexe D :** DISPONIBILITES DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES ET DOCUMENTS
CARTOGRAPHIQUES
- Annexe E :** LISTE DES PERSONNALITES RENCONTREES LORS DE LA MISSION AU BENIN
- Annexe F :** LISTE DES STAGES DE FORMATION SUIVIS PAR LES AGENTS DU SERVICE
HYDROLOGIQUE

Annexe A
TERMES DE REFERENCE SPECIFIQUES BENIN

1. HYDROMETEOROLOGIE

Le Consultant devra faire les analyses et recommandations nécessaires concernant :

- . l'adéquation du réseau actuel de stations aux besoins en données pour les futurs aménagements et l'extension du réseau de mesure, si nécessaire,
- . le fonctionnement du système actuel de collecte des données et sa modernisation, si nécessaire,
- . les moyens disponibles pour l'entretien du réseau, y compris les moyens de transport et l'équipement des ateliers de maintenance des instruments,
- . l'équipement en instruments des différentes catégories de stations,
- . le système de traitement des données et sa modernisation par l'utilisation de matériels informatiques et de logiciels adaptés,
- . la préparation et la diffusion régulières de publications périodiques des données climatiques,
- . l'archivage des données,
- . les besoins en personnel qualifié et le programme de formation nécessaire.

2. EAUX DE SURFACE

Le Consultant devra faire les analyses et recommandations nécessaires concernant :

- .l'adéquation du réseau de mesure et de transmission aux besoins en données, en tenant compte des réalisations déjà entreprises dans ce domaine,
- . la nécessité de la réouverture de certaines stations abandonnées et de la création de nouvelles stations, notamment sur les retenues de barrage,
- . la publication régulière des annuaires hydrologiques et d'autres études de synthèse des données hydrologiques,
- . les besoins en données à échanger entre pays voisins partageant les mêmes bassins fluviaux,

- . la nécessité d'établir un inventaire des retenues de barrages existantes ou projetées, susceptibles d'influencer les écoulements,
- . l'opportunité de créer un réseau de mesure des débits solides adapté aux conditions locales d'érosion,
- . l'opportunité de mettre en place un réseau de suivi de la qualité des eaux de surface,
- . le recrutement et la formation du personnel supplémentaire qualifié.

3. EAUX SOUTERRAINES

Le Consultant devra faire les analyses et recommandations nécessaires concernant :

- . la nécessité de créer un réseau piézométrique pour le suivi des ressources en eau souterraine et la définition des moyens humains et matériels à mettre en oeuvre (5.3.3.3, 6.1.1.1, 6.1.1.2, 6.5.1.2c, 7.4.3.3, *Annexe B/BEN-11*),
- . l'inventaire des ressources hydrauliques (IRH), compte tenu des réalisations déjà entreprises dans ce domaine (2.1.2, 5.3, 6.5.1.1d, 6.5.1.2b, 7.4.3.1, *Annexe B/BEN-08*),
- . la poursuite des activités relatives à l'élaboration d'un Plan Directeur d'utilisation des eaux souterraines et sa mise en application effective, en tenant compte des acquis dans ce domaine (7.1.1, 7.1.4, 7.1.6),
- . les besoins en personnel qualifié et le programme de formation nécessaire (6.5.1.1b, c, 7.4.1.1a, 7.4.1.2, 7.4.3.1c, 7.4.3.4c),
- . les moyens nécessaires à l'exécution des interventions sur le terrain (6.5.1.1a, 6.5.1.2c, 7.4.3.2),
- . l'actualisation périodique des documents cartographiques sur les ressources en eau à une échelle adaptée (7.4.3.4),
- . la publication et la diffusion périodique des données collectées et archivées (7.1.4, 7.4.3.6).

4. IMPACT DES AMENAGEMENTS

Tous les aménagements existants et futurs (alimentation en eau potable, en eau industrielle, aménagements hydroagricoles, hydroélectriques), susceptibles d'avoir un impact significatif sur l'évolution des ressources en eau, seront pris en compte pour l'établissement des recommandations relatives au renforcement et à la modernisation des systèmes de mesure, de collecte et de traitement des données hydrométéorologiques, hydrologiques et hydrogéologiques (7.4.3.5a, *Annexe B/BEN-13*).

Annexe B
FICHES DE PROJET

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/01

TITRE PROPOSE : Renforcement et modernisation
des réseaux climatologique
et pluviométrique

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère chargé des Transports
Service Météorologique National

DUREE ESTIMEE : 2 ans

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 870 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Les observations climatologiques et pluviométriques sont nécessaires pour toutes les études de projets de développement, quel que soit le secteur concerné : agriculture, aménagements hydroélectriques ou autres, routes et ouvrages d'art, urbanisme et habitat, santé, tourisme.

Actuellement, seul le réseau de 6 stations synoptiques fournit des données de bonne qualité, qui sont immédiatement exploitées en temps quasi réel par le Système Mondial de Télécommunication (SMT) et par l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne.

Il est essentiel que les réseaux climatologiques et pluviométriques soient renforcés de manière qualitative et quantitative.

1.2 Objectif du projet

L'évaluation des réseaux climatologique et pluviométrique a montré que leur densité est nettement insuffisante dans le Centre et dans le Nord du pays. L'existence de réseaux pluviométriques particuliers, comme ceux mis en place par les CARDER pour les besoins de l'agriculture, montre bien l'importance des données de pluie pour le suivi des campagnes agricoles.

Par ailleurs, il a été observé que les données pluviographiques, essentielles pour de nombreuses études, sont quasi inexistantes bien que 22 pluviographes soient en état de fonctionnement : les diagrammes ne sont pas dépouillés.

La seule information sur les intensités actuellement disponible est l'étude du CIEH 1984) sur les courbes HDF à 6 villes du Bénin. Or, cette étude est basée sur un échantillon de données très réduit : les quelques dix événements les plus forts observés chaque année de la période d'analyse (12 ans en moyenne).

La mise en service de nouveaux équipements nécessite la formation du personnel chargé de leur installation et de leur maintenance (techniciens supérieurs) et du personnel chargé de leur exploitation (chefs de stations et observateurs).

L'objectif de ce projet est de mieux structurer les réseaux et d'améliorer la qualité de l'information climatologique et pluviométrique.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

Les solutions pour améliorer la qualité de l'information climatologique nécessaire pour les études résident dans :

- . l'implantation de nouvelles stations (1 synoptique dans le grand Nord, 3 à 4 climatologiques dans le centre et le Nord) ;
- . l'intégration complète des stations pluviométriques des CARDER (plus de 100 stations qui fonctionnent actuellement hors normes) ; une inspection des sites sera nécessaire et la normalisation des méthodes utilisées obligatoire ;
- . l'automatisation des équipements utilisés, en particulier des pluviographes : l'utilisation d'appareils à mémoire de masse est la seule manière d'éliminer la phase de dépouillement des diagrammes ;
- . la formation des personnels concernés.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

En premier lieu, le Service Météorologique National qui verra son efficacité améliorée par l'automatisation des équipements.

En second lieu, tous les organismes qui, à l'exemple des CARDER, sont amenés à mettre en place des réseaux secondaires pour leur propres besoins.

3.2 Bénéficiaires désignés

Les principaux bénéficiaires désignés sont les utilisateurs de données climatologiques : Directions et Services des Ministères Techniques, Organismes et Bureaux d'Etudes chargés de la définition des projets à la demande des précédents.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé par le Service Météorologique National, plus particulièrement par ses Divisions "Stations synoptiques", "Climatologie" et "Instruments et Méthodes", avec l'appui d'un consultant permanent expatrié, intégré dans les structures du SMN pour une durée de 12 mois.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Le problème de la décentralisation de la gestion des réseaux (mise en place d'équipes de maintenance régionales dans les stations synoptiques) devra être étudié.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

Le nombre d'ingénieurs en météorologie disponibles au SMN est suffisant pour assurer la contrepartie nationale de ce projet.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le personnel national, participant au projet, sera formé à des technologies nouvelles spécifiques de la climatologie. Il n'existe pas au niveau national d'autres secteurs demandeurs de tels spécialistes, si ce n'est dans des structures administratives utilisatrices des données.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposé à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne.

Il doit être considéré comme prioritaire car la demande de données est très forte. Il est indépendant des autres projets, concernant le secteur de la climatologie.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

6.1.1 Renforcement du réseau climatologique

- . Choix des sites des stations à implanter dans le Centre et dans le Nord.
- . Acquisition des matériels (prise en compte des possibilités d'utiliser des stations automatiques).
- . Installation des stations et formation des observateurs.

6.1.2 Réseaux pluviométriques CARDER

- . Inventaire complet des stations existantes.
- . Visite des stations : localisation exacte, état du matériel, compétence de l'observateur.
- . Choix des stations à intégrer (éviter les sites trop rapprochés).
- . Normalisation des méthodes pour les stations intégrées.

6.1.3 Réseau pluviographique

- . Choix du type de matériel.
- . Installation et formation des observateurs.

6.1.4 Formation

- . Formation à la maintenance des nouveaux matériels de 2 techniciens supérieurs.
- . Elaboration de manuels et fiches techniques spécifiques aux équipements utilisés.

6.2 Budget schématique

Ventilation	Coût US\$
Personnel * National - un ingénieur et 2 techniciens * International - expert en climatologie/instrumentation - allocation de subsistance - voyage Europe/COTONOU AR	 p.m 240 000 7 500 2 600
Equipement - matériel climatologique - 15 pluviographes à mémoire de masse type OEDIPE - 2 véhicules 4 x 4	 300 000 180 000 40 000
Fonctionnement - véhicules - matériel consommable - divers	 35 000 30 000 20 000
Formation - 2 techniciens supérieurs pendant 2 mois à l'étranger - billets d'avion	 10 000 5 000
Total	870 100

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le consultant permanent, responsable de la mise en place du projet et de son suivi pendant la première phase (12 mois) devra avoir une très bonne expérience de la climatologie et des équipements les plus récents disponibles sur le marché.

Annexe B

FORMATION

La formation concernera deux techniciens supérieurs et se fera en deux temps :

- . par leur intégration au projet durant les six premiers mois, ils assisteront le consultant international dans les tournées de visites des stations,
- . par un séjour de 2 mois en Europe pour une formation théorique et des stages pratiques chez les constructeurs des matériels qui seront retenus.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter consistera en :

- . matériel climatologique moderne : le choix devra se porter sur des stations automatiques, avec enregistrements sur mémoires de masse,
- . pluviographes à mémoires de masse de type OEDIPE déjà largement utilisés en Afrique (en particulier dans le cadre du programme HAPEX-Sahel),
- . 2 véhicules "tout terrain" indispensables pour les tournées.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/02

TITRE PROPOSE : Renforcement des moyens
informatiques du Service
Météorologique National

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère chargé des Transports
Service Météorologique National

DUREE ESTIMEE : 1 an

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 105 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Les observations climatologiques et pluviométriques sont nécessaires pour toutes les études de projets de développement, quel que soit le secteur concerné : agriculture, hydroélectricité, routes et ouvrages d'art, urbanisme et habitat, santé, tourisme.

Pour être efficacement exploitées, les données doivent être facilement accessibles et rapidement utilisables par des logiciels de traitement.

Ce n'est pas le cas aujourd'hui au Bénin où les données sont facilement accessibles mais rarement sur support magnétique - en dehors de celles recueillies dans les stations synoptiques.

1.2 Objectif du projet

L'équipement informatique du SMN est très insuffisant.

Dans le cadre du projet PNUD/OMM/BEN/87/010 "Développement Agrométéorologique", il est prévu de constituer une banque de données climatologiques informatisées. Le matériel prévu est un micro-ordinateur 386, en réseau avec 3 micros 286. Il n'est pas prévu de périphériques, du type table à numériser (indispensable pour la saisie des diagrammes) ni de table traçante ou imprimante laser, nécessaires pour l'édition d'annuaires par exemple.

Mais la formation prévue dans le cadre de ce projet est insuffisante.

L'objectif de ce projet est donc double : compléter les équipements informatiques et assurer une formation complémentaire du personnel du SMN.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

Les deux points importants de ce projet sont :

- l'acquisition de matériel informatique complémentaire (table traçante, table à numériser, imprimante laser) et des logiciels d'application et de cartographie (Statistiques, Tracé d'isolignes, etc.) ;

- . la formation de plusieurs informaticiens et techniciens supérieurs à l'utilisation de la banque de données et à son exploitation pour l'assistance aux utilisateurs (fourniture de données élaborées).

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

En premier lieu, le Service Météorologique National qui trouvera dans la réalisation de ce projet les moyens nécessaires pour se moderniser et assurer un service aux utilisateurs beaucoup plus performant qu'il ne l'est aujourd'hui.

3.2 Bénéficiaires désignés

Tous les utilisateurs de données, qui bénéficieront rapidement d'un accès à l'information plus facile, plus rapide et beaucoup plus efficient.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé par le Service Météorologique National, plus particulièrement par ses Divisions "Stations synoptiques", "Climatologie" et "Projets et Logistique", avec l'appui d'un informaticien consultant pour une durée de 3 mois.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

Le SMN devra assurer la présence dans le projet d'un ingénieur informaticien, homologue du consultant, et de 5 techniciens supérieurs qui recevront une formation approfondie en traitement informatisé des données.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le personnel national participant au projet sera formé à des technologies nouvelles spécifiques au traitement de l'information climatologique. Il n'y a pas d'indice laissant penser que ce personnel pourrait quitter le SMN après sa formation.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à la suite de l'évaluation hydrologique subsaharienne.

Il doit être considéré comme prioritaire car la demande de données est très forte. Il est indépendant des autres projets, concernant le secteur de la climatologie.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

- . Choix des matériels périphériques complémentaires compatibles avec les équipements déjà opérationnels et en prenant en considération les problèmes de maintenance liés au contexte local.
- . Achat et mise en service de ces matériels.
- . Acquisition de logiciels de statistiques et de cartographie automatique.
- . Formation des techniciens.

6.2 Budget schématique

Ventilation	Coût US\$
Personnel	
* National - un informaticien + 5 techniciens supérieurs	p.m
* International	
- expert en traitement informatisé des données (3 mois)	60 000
- allocation de subsistance (90 jours à 75 \$)	6 750
- voyage AR Europe/Bénin	2 600
Equipement	
- matériel informatique	20 000
Fonctionnement	
- matériel consommable	5 000
Formation	
- 5 techniciens supérieurs pendant 3 mois	10 000
Total	104 350

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le consultant sera un spécialiste en traitement de données, avec une bonne expérience des données climatologiques.

Annexe B

FORMATION

La formation des 5 techniciens affectés au traitement informatisé des données devra être faite durant toute la durée du projet. Une formation préliminaire au système d'exploitation DOS devra être faite sur place à Cotonou dans une Société d'informatique locale.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter sera du matériel informatique, essentiellement du matériel périphérique nécessaire pour le traitement des données (numérisation des diagrammes) et la valorisation de cette information (édition d'annuaires, en particulier).

Ce matériel devra comprendre au minimum :

- . une table à numériser,
- . une table traçante,
- . une imprimante laser de haut niveau.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/03

TITRE PROPOSE : Création d'une banque de données pluviographiques

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement et des Transports
Direction de l'Hydraulique
Service de l'Hydrologie

DUREE ESTIMEE : 2 ans

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 88 375 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Lors de l'enquête réalisée dans le cadre de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne, une très forte demande de données sur l'intensité des pluies s'est manifestée. Les principaux demandeurs sont les Directions de l'Agriculture, des Routes et Ouvrages d'art, de l'Urbanisme et de l'Habitat.

Ces données existent actuellement grâce à un réseau de 22 pluviographes mais sont difficilement utilisables puisque les diagrammes sont stockés sans dépouillement.

1.2 Objectif du projet

L'objectif de ce projet est de rendre accessible à tout utilisateur cette information de base que constituent les données pluviographiques.

Pour cela, il faut entreprendre le traitement systématique des diagrammes stockés par le SMN. Des séries d'enregistrements de plus de vingt années existent : il faut les identifier grâce à un inventaire détaillé, les sélectionner et leur appliquer un traitement à la table à numériser.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

La constitution d'une base de données informatisées permettra au Service de l'Hydrologie de fournir aux utilisateurs des données structurées, voire interprétées (fréquences des intensités de pluies pour des durées données en un lieu déterminé).

La banque pluviographique sera régulièrement alimentée par les données des pluviographes à mémoire de masse qui remplaceront les pluviographes traditionnels, dans le cadre de la modernisation du réseau climatologique.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

Le Service Météorologique National qui sera déchargé d'une responsabilité qu'il n'est pas en mesure d'assumer aujourd'hui faute de moyens et de personnel et le Service de l'Hydrologie de la Direction de l'Hydraulique qui pourra élargir ainsi son domaine de compétence.

Rappelons que les premiers utilisateurs de ces données sont les hydrologues pour le calcul des débits maximaux consécutifs aux averses exceptionnelles.

3.2 Bénéficiaires désignés

Tous les utilisateurs de données sur l'intensité des pluies, déjà cités au paragraphe 1.1.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé par le Service de l'Hydrologie, qui affectera une équipe de 3 personnes (un informaticien responsable et deux adjoints techniques) à cette opération.

Ce projet devra être mené en étroite collaboration avec le SMN, actuel détenteur de l'information "sur papier" ; il serait souhaitable que le SMN détache un agent au SH pour la durée du projet.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

L'autre stratégie de mise en oeuvre pourrait être la sous-traitance complète de cette opération à une Société privée mais cette procédure serait beaucoup plus coûteuse.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

Le Service de l'Hydrologie est particulièrement dynamique et possède un personnel qualifié et compétent, très suffisant pour assurer la contrepartie nationale du projet.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Il n'existe aucun indice que le personnel du Service de l'Hydrologie soit amené à partir vers le secteur privé.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à la suite de l'évaluation hydrologique subsaharienne.

Il doit être considéré comme prioritaire car la demande de données est très forte. Il est indépendant des autres projets, concernant le secteur de la climatologie.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

Pour constituer la banque de données pluviographiques, les activités suivantes seront développées :

- . acquisition des équipements informatiques nécessaires pour la réalisation de la banque de données (micro-ordinateur à coprocesseur 386/20 et disque dur de 80 Mo, table à digitaliser, etc.) ;
- . inventaire du stock de pluviogrammes disponibles au SMN ;
- . récupération, classement, préparation et traitement de ces diagrammes sur table à numériser ;
- . création de la banque de données pluviographiques qui sera gérée par le logiciel PLUVIOM de l'ORSTOM, logiciel déjà en possession du SH ;
- . formation du personnel dédié à cette opération et, d'une manière générale, du personnel du SH et du SMN à l'utilisation du logiciel PLUVIOM.

6.2 Budget schématique

Ventilation	Coût US\$
Personnel	
*National - 1 ingénieur et 2 techniciens supérieurs	p.m
*International - expert en traitement de données (1,5 mois)	30 000
- allocation de subsistance (45 jours à 75 \$)	3 375
- 2 voyages Europe/Cotonou AR	5 000
Equipement	
- matériel informatique	30 000
- logiciels complémentaires	5 000
Fonctionnement	
- matériel consommable	5 000
- divers	5 000
Formation	
- par groupe, sur place	5 000
Total	88 375

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Un consultant international est prévu pour une durée totale de 1,5 mois. Il devra posséder une bonne expérience dans le domaine du traitement des données et de la pluviographie.

Son intervention est prévue en deux étapes :

- . l'une, de trois semaines dès la fin de l'inventaire des diagrammes pluviographiques, pour le lancement effectif de la phase de digitalisation (mise au point de la procédure et formation du personnel chargé de l'exécution) ;
- . l'autre, vers la fin du projet pour l'implémentation des logiciels d'exploitation des données (statistiques des averses, intensités-durées-fréquences, etc.).

Annexe B

FORMATION

La formation sera réalisée sur place au Service de l'Hydrologie par le consultant.

Elle portera sur :

- . la formation du personnel chargé du traitement des diagrammes (initiation au logiciel PLUVIOM et aux autres procédures définies par l'expert) ;
- . la formation de l'ingénieur informaticien, responsable national du projet, aux méthodes d'analyse des données pluviographiques ;
- . l'organisation d'un stage d'une semaine pour l'ensemble du personnel du SH et du SMN.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement prévu est informatique :

- . 1 micro-ordinateur 386/20 avec coprocesseur arithmétique 80387/20, disque dur 80 Mo et extension de mémoire de 2 Mo.
- . 1 moniteur couleur définition VGA.
- . 1 table à digitaliser format A2.
- . 1 table traçante format A2.
- . 1 imprimante laser.
- . 1 streamer et un lecteur externe 5"1/4.
- . Accessoires (souris, etc.).

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/04

TITRE PROPOSE : Extension du domaine d'intervention
du Service de l'Hydrologie

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Équipement
et des Transports
Direction de l'Hydraulique
Service de l'Hydrologie

DUREE ESTIMEE : 3 ans

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 583 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

La mise en valeur des ressources en eaux superficielles du Bénin nécessite d'en faire l'inventaire et d'identifier les contraintes à surmonter pour pouvoir les exploiter. Les ressources en eaux connaissent une irrégularité interannuelle très forte.

L'objectif pour le Bénin est donc de maintenir en activités un réseau permanent de stations d'observation et de disposer d'un système performant pour le traitement, l'analyse et l'accessibilité aux données.

1.2 Objectif du projet

Depuis 1985, grâce à trois projets FAC successifs (193/CD/84, 283/CD/86, 289/CD/88), le réseau hydrométrique national a été réhabilité et doté du système ARGOS, ce qui a permis de réduire les coûts de son exploitation. Le personnel a été formé et le SH constitue l'une des structures hydrologiques les plus performantes de l'Afrique de l'Ouest.

Le soutien du FAC est arrivé à son terme. Vu les difficultés économiques du Bénin, le SH n'a pas un budget suffisant pour réaliser les investissements indispensables à la maintenance du réseau.

Le premier objectif du projet sera donc de doter le SH des moyens nécessaires pour remplacer les équipements existants à bout de potentiel et de poursuivre la modernisation du réseau entamée au cours des projets FAC.

Le réseau actuel ne permet pas un suivi de la salinité des eaux lacustres et lagunaires du Sud Bénin. Ce facteur peut pourtant être une contrainte à prendre en compte pour la mise en valeur de ces eaux. Ceci devient aujourd'hui d'autant plus important que les barrages construits ou projetés risquent de modifier les échanges mer-lagune et induire de ce fait un changement de salinité.

Le deuxième objectif du projet est donc la mise en place d'un réseau minimum de surveillance de la salinité dans les lacs et lagunes méridionaux.

Une autre contrainte qu'il est souvent nécessaire de prendre en compte est l'importance des débits solides des rivières. Les données disponibles actuellement sont fragmentaires et anciennes puisqu'elles datent des années soixante. Il paraît donc souhaitable de mener une étude exploratoire sur ce thème. C'est le troisième objectif du projet.

Enfin le SH se doit de regrouper toute l'information hydrologique sur le Bénin. Le quatrième objectif sera donc la création d'un fonds documentaire.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

- . Modernisation des équipements aux stations par la généralisation :
 - pour les stations à émetteurs ARGOS, des PCD de type PH11 (9 unités supplémentaires) ;
 - pour les stations de débits fluviaux sans émetteur, des capteurs de pression SPI III (4 unités pour les stations existantes et une pour une station à créer) ;
 - pour les stations du système lagunaire, des SPI III dotés de capteurs de conductivité (9 unités dont 2 pour des stations à créer).
- . Soutien logistique au SH : achat de deux véhicules 4 x 4, de 2 canots pneumatiques de jaugeage et de matériel informatique pour la gestion.
- . Réalisation d'une campagne de jaugeages de débits solides aux quatre sites d'Adjarala sur le Mono, de Ketou et de Beterou sur l'Ouémé, de Couberi sur la Sota. La campagne s'étalera sur deux années pour les deux premiers sites où sont projetés des barrages, sur une année seulement pour les deux autres.
- . Réalisation d'une campagne de mesure de la salinité des eaux des systèmes lagunaires
- . Création d'un fonds documentaire.
- . Formation du personnel qui se fera sur le tas et au cours de stages de courte durée.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

En premier lieu, le principal bénéficiaire du projet sera le SH qui sera ainsi doté des moyens lui permettant d'accomplir sa mission.

3.2 Bénéficiaires désignés

Le projet bénéficiera ensuite aux aménageurs et planificateurs qui ont besoin de données hydrologiques fiables.

Enfin de façon indirecte, le projet bénéficiera aux populations concernées par une meilleure utilisation de l'eau et la protection de l'environnement.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé par le Service de l'Hydrologie, tout son personnel étant concerné par cette opération.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Ce projet apparaît comme une conséquence directe de l'évaluation hydrologique qui vient d'être réalisée. Il est d'une importance essentielle pour l'avenir de l'hydrologie au Bénin et les alternatives de mise en oeuvre sont très limitées.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

Le Service de l'Hydrologie est particulièrement dynamique et possède un personnel qualifié et compétent, très suffisant pour assurer la contrepartie nationale du projet.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Il n'existe aucun indice que le personnel du Service de l'Hydrologie soit amené à partir vers le secteur privé.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à la suite de l'évaluation hydrologique subsaharienne.

Il doit être considéré comme prioritaire car la demande de données est très forte. Il est indépendant des autres projets, concernant le secteur de l'hydrologie.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

- . Le projet se déroulera sur 3 ans et bénéficiera de l'appui d'un consultant ou d'un bureau d'études spécialisé au cours de missions périodiques ; un ingénieur et un technicien supérieur du SH seront directement associés à cette opération.
- . Achat des équipements et choix des sites.
- . Installation des matériels et lancement des campagnes de mesures des débits solides et de prélèvements pour les analyses de qualité de l'eau.
- . Traitement des données : mises en forme, intégration à la banque.
- . Activités de formation durant toute la durée du projet.

6.2 Budget schématique

Ventilation	Coût US\$
Personnel	
* National - un ingénieur (18 mois) + 2 techniciens (54 mois)	p.m
* International	
- ingénieur/consultant (9 mois)	180 000
- allocation de subsistance (270 jours à 75 US\$)	20 250
- 6 voyages Europe/Cotonou	15 600
Equipement	
- équipement stations	187 000
- matériel prélèvement et analyses	35 000
- matériel informatique	10 000
- 2 véhicules 4 x 4	40 000
Fonctionnement	
- véhicules	30 000
- matériel consommable	30 000
- divers	20 000

Ventilation	Coût US\$
Formation - 2 techniciens supérieurs pendant 2 mois à l'étranger - billets d'avion	10 000 5 000
Total	582 850

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le consultant international devra être un ingénieur hydrologue de grande expérience dans le domaine de l'hydrométrie quantitative et qualitative en général et dans celui de l'instrumentation moderne en particulier.

Ses interventions périodiques de 3 à 6 semaines lui permettront d'orienter les activités et d'assurer la formation continue du personnel local.

Annexe B

FORMATION

Il est prévu des stages en Europe d'une durée de 2 mois chacun pour les techniciens associés au projet. Ces stages porteront sur les technologies de l'hydrométrie moderne : limnimétrie électronique, centrales d'acquisition sur site, télétransmission des données, techniques de prélèvement et d'analyse sur le terrain et en laboratoire.

Annexe C

EQUIPEMENT

Le matériel nécessaire est estimé comme suit :

. **Equipement des stations :**

- 9 plates-formes hydrologiques type PH11	83 000 US\$
- 4 centrales d'acquisition limni. CHLOE D	30 000 US\$
- 9 centrales avec capteurs de conductivité	74 000 US\$

. **Matériel de prélèvements et d'analyse :**

- préleveurs de débit solide	20 000 US\$
- 2 canots pneumatiques	5 000 US\$
- matériel de laboratoire	10 000 US\$

. **Matériel informatique :**

- un micro-ordinateur 386/20 Mhz + environnement	10 000 US\$
--	-------------

. **Véhicules de tournée :**

- 2 véhicules "tout terrain"	40 000 US\$
------------------------------	-------------

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/05

TITRE PROPOSE : Création d'un logiciel pour l'évaluation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés du Bénin

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement et des Transports
Direction de l'Hydraulique
Service de l'Hydrologie

DUREE ESTIMEE : 3 ans

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 428 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

La connaissance des régimes hydrologiques est indispensable pour tout projet de mobilisation de la ressource en eau superficielle. Pour les grands fleuves du territoire national béninois, ces régimes sont connus parce qu'étudiés depuis de longues années aux stations du réseau hydrométrique de base.

Il n'en est pas de même pour les rivières de moindre importance (bassins versants de superficie inférieure à 5000 km²), qui constituent néanmoins un potentiel important, autant pour l'agriculture (débits dérivés) que pour la production d'énergie (microcentrales).

1.2 Objectif du projet

Augmenter la densité du réseau pour accroître sa résolution n'est pas envisageable. Cela reviendrait trop cher en personnel et en coût de fonctionnement. Ainsi pour atteindre une résolution de 3000 km², c'est quinze stations supplémentaires qu'il faudrait créer. Cela nécessiterait le recrutement d'une brigade hydrologique supplémentaire et entraînerait une augmentation du budget annuel de fonctionnement du SH de près de 5 M.CFA. Ceci est irréaliste dans la conjoncture actuelle.

On serait donc dans une impasse si L. LE BARBE de l'ORSTOM, en association avec G. ALE du SH, n'avait mis au point, pour la rédaction d'une synthèse sur l'hydrologie du Bénin, une méthode d'estimation des régimes hydrologiques aux sites non jaugés, qui donne des résultats très satisfaisants.

L'objectif de ce projet est donc de traduire cette méthode en un outil informatique qui permettrait, une fois implanté au SH, de répondre rapidement à la demande des aménageurs.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

Les produits que l'on obtiendra avec ce logiciel seront de deux types.

Les premiers concernent les écoulements aux sites non jaugés et sont, pour un bassin dont le contour serait lu dans un fichier ou saisi sur un clavier :

- . reconstitution des chroniques des lames écoulées annuelles et mensuelles,
- . estimation de la distribution statistique des débits maximaux de crues.

Les seconds concernent la pluviométrie et seront obtenus à partir des fichiers nécessaires au calcul des lames écoulées. Ce sont :

- . reconstitution des chroniques des pluies moyennes sur une région ou un bassin pour des périodes d'un ou plusieurs mois,
- . estimation en tout point du pays des distributions statistiques des totaux pentadaires, décadaires ou mensuels ; des averses extrêmes de chaque mois ; et pour chaque mois, des hauteurs et du nombre des averses, etc.

Ces deux types de produits pourront être obtenus sous forme de tableaux, de fichiers informatiques ou de cartes.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

En premier lieu, la Direction de l'Hydraulique et son Service de l'Hydrologie qui pourra dans le même temps satisfaire des demandes -ce qu'elle ne peut faire aujourd'hui- et augmenter considérablement le potentiel de la Division des Etudes, et par ce biais, ses ressources.

3.2 Bénéficiaires désignés

Ce logiciel sera donc un outil très puissant qui pourra répondre à des besoins très divers des agronomes, des aménageurs, des planificateurs, etc.

Enfin, de façon indirecte, le projet bénéficiera aux populations concernées par une meilleure utilisation de l'eau et la protection de l'environnement.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé conjointement par l'ORSTOM et le SH, qui ont mis au point la méthode.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Le projet pourrait aussi être confié à un bureau d'études mais, outre l'augmentation importante du coût, il est très recommandé qu'il soit mené au sein de la Division des Etudes du SH.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

Le Service de l'Hydrologie est particulièrement dynamique et possède un personnel qualifié et compétent, très suffisant pour assurer la contrepartie nationale du projet.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Il n'existe aucun indice que le personnel du Service de l'Hydrologie soit amené à partir vers le secteur privé.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à la suite de l'évaluation hydrologique subsaharienne.

Il doit être considéré comme prioritaire car la demande est urgente. Il est indépendant des autres projets, en particulier du projet de renforcement du SH.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

Le projet se déroulera sur trois ans.

Les deux premières années seront utilisées pour l'analyse, la programmation et la constitution des fichiers d'entrée. Le logiciel sera implanté au début de la troisième année au siège du SH où il sera testé en conditions réelles. Le personnel sera alors formé à son utilisation.

Le projet nécessitera l'achat d'un micro-ordinateur 386, de 4 Mo de RAM, doté d'un disque dur de 100 Mo et d'un coprocesseur. Une table traçante et une imprimante laser compléteront cet ensemble.

6.2 Budget schématique

Ventilation	Coût US\$
Personnel * National - un ingénieur (12 mois) + 1 technicien (24 mois)	p.m
* International - un ingénieur/consultant (10 mois) - analyste (10 mois) - allocation de subsistance (100 jours à 75 US\$) - 6 voyages Europe/Cotonou	200 000 150 000 7 500 15 600
Equipement - matériel informatique	15 000
Fonctionnement - divers	20 000
Formation - stage en Europe ingénieur national (séjour de 6 mois + voyage)	20 000
Total	428 100

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le personnel international intervenant dans ce projet sera :

- . un hydrologue ayant une grande expérience dans les techniques d'analyse hydrologique (analyse des séries, statistiques, modélisation), ainsi qu'une bonne connaissance des outils informatiques modernes utilisés dans l'analyse des données,
- . un analyste-programmeur qui sera chargé du développement du logiciel ; une bonne connaissance des langages scientifiques (FORTRAN, C++) est indispensable.

Les 6 voyages Europe/Cotonou ont été prévus pour permettre des séjours périodiques de 3 à 6 semaines, nécessaires pour le suivi du projet.

Annexe B

FORMATION

Il est prévu un stage en Europe d'une durée de 6 mois pour l'ingénieur national attaché au projet. Ce stage sera orienté sur l'étude des outils (logiciels) utilisés dans l'analyse des données et sur une formation complémentaire en informatique.

Ce stage devrait avoir lieu dès le début du projet.

Annexe C

EQUIPEMENT

Le matériel à acquérir pour ce projet est un équipement de micro-informatique à hautes performances : micro-ordinateur 386 à 20 Mhz, avec coprocesseur arithmétique et extension de mémoire de 4 Mo, disque dur de 80 à 100 Mo et ses périphériques (imprimante laser et table traçante).

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/06

TITRE PROPOSE : Etude préliminaire du fonctionnement des systèmes lagunaires

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement et des Transports
Direction de l'Hydraulique
Service de l'Hydrologie

DUREE ESTIMEE : 3 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 228 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Le système formé par les lacs Ahémé et Nokoue et par les lagunes côtières est très riche de potentialités sur le plan agricole par les possibilités d'irrigation qu'il représente, sur le plan de la production de sel, enfin et surtout, pour la pêche.

Son fonctionnement est complexe car il dépend à la fois des apports continentaux, des relations entre la mer et les lagunes, des relations interlagunaires et du niveau de la nappe phréatique.

C'est un milieu fragile, d'autant plus qu'il se situe dans le Sud du pays où la densité de la population est très élevée. Les risques de pollution sont donc majeurs.

L'intérêt de placer ce milieu "sous monitoring", c'est-à-dire de l'équiper d'un réseau de mesures dense et complet pour mieux suivre son état, est évident pour le bien de l'économie nationale.

1.2 Objectif du projet

Le système lagunaire béninois est un milieu très sensible.

La baisse du niveau d'inondation dans les lagunes de Toho et de Todouba résultant des pompages effectués pour le périmètre de Ouidah-Nord (880 ha de palmeraies et de cocoteraies), aurait entraîné une chute de la production halieutique. Le barrage de Nangbeto en régulant les apports du Mono entraînerait la dégradation des mangroves, zones de frai de certaines espèces de poissons et la réduction de la fréquence et de la durée de l'ouverture sur la mer, donc la baisse de la salinité des eaux. Ces deux facteurs ne seraient pas sans conséquence sur la pêche.

On sait par ailleurs qu'il existe des pertes très importantes le long des vallées du Zou et de l'Ouémé, au contact du socle et du bassin sédimentaire. La construction d'un barrage (Ketou par exemple sur l'Ouémé) risquerait d'entraîner, par suite du laminage des crues, une baisse importante dans la recharge des nappes et dans les apports au système lagunaire. Le mécanisme de ces pertes, et leur devenir, est aujourd'hui inconnu.

Le système lagunaire est également un milieu exposé par endroits, à des risques de pollution. La majeure partie des eaux usées de Cotonou se jettent sans contrôle dans la lagune ou le lac Nokoue.

Pour toutes ces raisons, auxquelles il faut ajouter la très forte densité de la population de la région, une attention toute particulière doit être donnée à ce milieu et il paraît indispensable de quantifier son fonctionnement.

L'objectif du projet est donc une expertise sur la faisabilité de cette modélisation.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

En raison du manque total de données sur les lacs et lagunes, il n'est pas possible de proposer ni de chiffrer le réseau nécessaire pour le suivi permanent de ce système, ni sur sa modélisation.

L'expertise demandée a pour objectif de définir quelle doit être l'approche la plus judicieuse pour y parvenir.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

Les Directions et Services chargés de la mise en valeur des lacs et des systèmes lagunaires et de leur protection.

3.2 Bénéficiaires désignés

Tous les utilisateurs et exploitants des ressources des lacs et des systèmes lagunaires dans leur ensemble.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet se résume à une expertise, qui sera menée par des consultants internationaux, en liaison avec la Direction de l'Hydraulique et son Service de l'Hydrologie.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

Le Service de l'Hydrologie est particulièrement dynamique et possède un personnel qualifié et compétent, très suffisant pour assurer le suivi de ce projet.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à la suite de l'évaluation hydrologique subsaharienne.

Il s'agit d'un projet de la plus grande importance et urgent car le système lagunaire est très menacé.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

Cette expertise nécessitera une mission de trois mois au Bénin de trois consultants, un hydrologue, un hydrobiologiste et un hydrogéologue, qui travailleront en relation avec des homologues nationaux.

6.2 Budget schématique

Ventilation	Coût US\$
Personnel	
* National	
- un ingénieur (3 mois)	p.m
* International	
- 3 consultants (3 x 3 mois)	180 000
- allocation de subsistance (270 jours à 75 US\$)	20 250
- 3 voyages Europe/Cotonou AR	7 800
Equipement	
Néant	
Fonctionnement	
- divers	20 000
Total	228 050

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

L'équipe de trois consultants internationaux, qui conduira cette expertise, sera composée d'un hydrologue, d'un hydrogéologue et d'un hydrobiologiste.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/07

TITRE PROPOSE : Exécution de la carte géologique de synthèse de la République du Bénin à l'échelle 1/500 000

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Entreprises Publiques/OBEMINES

DUREE ESTIMEE : 18 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 1 352 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. PROBLEMES LIES AU DEVELOPPEMENT ABORDES DANS LE PROJET PROPOSE

1.1 Problèmes actuels au niveau sectoriel

La connaissance géologique du Bénin est un élément indispensable pour permettre le développement du pays dans de nombreux domaines parmi lesquels il faut citer la prospection minière, la recherche de matériaux, les hydrocarbures, l'hydrogéologie.

Dans le domaine spécifique de l'hydrogéologie, les données géologiques sont primordiales pour la connaissance des ressources en eau souterraine ; elles permettent de :

- . comprendre,
- . évaluer,
- . exploiter,
- . protéger,
- . prévoir.

Depuis 1977, le Bénin a accordé la priorité à un programme de cartographie géologique national à l'échelle 1/200 000.

La couverture géologique du pays a été réalisée comme suit :

- . Au Nord du 11e parallèle : réalisée par Institut de Recherche BREDA de 1980 à 1983 (financement : 4e FED).
- . Entre les 10e et 11e parallèles : réalisée par TECHNOEXPORT (prêt du gouvernement d'URSS) de 1977 à 1983.
- . Entre les 9e et 10e parallèles : réalisée par BRGM (financement FAC), en 1978.
- . Au Sud du 9e parallèle : Institut de Recherche BREDA (financement 5e FED), de 1984 à 1987.

Les documents cartographiques actuellement disponibles ont été établis avec des moyens différents et par des écoles différentes, se traduisant par des difficultés de raccordement entre les différents documents, ce qui rend impossible toute évaluation précise dans les domaines cités essentiels pour le développement du pays.

1.2 Problèmes dont la résolution sera recherchée par le projet proposé

Il est nécessaire d'entreprendre un travail de synthèse cartographique devant permettre d'aboutir à une harmonisation de l'important matériel technique et scientifique recueilli.

Le projet proposé consiste à harmoniser les données géologiques disponibles et à doter le Bénin d'une carte géologique de synthèse à l'échelle 1/500 000 accompagnée d'une notice explicative. La dernière carte de synthèse date de 1960 et est établie au 1/1 000 000.

2. A PROPOS DES BENEFICIAIRES DU PROJET PROPOSE

2.1 Qui a identifié le problème et comment a-t-il attiré l'attention du PNUD ?

L'OBEMINES : dès l'achèvement des travaux de cartographie au 1/200 000, en 1987, a considéré cette synthèse cartographique :

- . nécessaire compte tenu des résultats obtenus,
- . comme l'aboutissement normal de l'important travail d'accumulation de données recueillies.

L'OBEMINES a identifié ce projet et établi des termes de référence qui ont été présentés à l'aide extérieure mais jusqu'ici sans réponse précise (Italie, France).

La Direction de l'Hydraulique : chargée de réaliser la carte hydrogéologique du Bénin (financement 5e FED), elle s'est heurtée à l'absence d'un fond géologique de base fiable pour atteindre ses objectifs :

- . Carte hydrogéologique du Bénin au 1/500 000.
- . Carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier au 1/200 000.

Une synthèse géologique a été exécutée à partir des documents existants : cartes géologiques, topographiques, photographies aériennes, sans pouvoir faire une reconnaissance de terrain.

Les exigences actuelles en matière d'exploitation des ressources en eau exigent une plus grande précision des données pour permettre au Bénin de se doter d'une nouvelle carte hydrogéologique prenant en compte toutes les données acquises.

Le programme des Nations-Unies pour le développement a pu constater cette lacune du Bénin en matière de cartographie géologique dans le cadre du projet BEN/85/004 : "Contribution à l'élaboration d'un Plan Directeur d'utilisation des ressources en eau souterraine du Bénin", projet qui a surtout concentré ses activités sur le bassin sédimentaire côtier.

2.2 Qui seront les bénéficiaires des résultats du projet proposé ?

- . Dans le domaine du développement des ressources en eau : le projet bénéficiera à tous ceux pour qui l'utilisation des ressources en eau constitue une composante obligatoire de leurs projets :
 - alimentation en eau potable des populations,
 - abreuvement du cheptel,
 - besoins en eau pour l'agriculture.

- . Dans d'autres domaines liés au développement du Bénin
 - mise en valeur des ressources naturelles,
 - aménagement,
 - protection contre les risques naturels
 - environnement.

3. SITUATION AVANT-PROJET ET APRES PROJET

3.1 Situation actuelle : l'avant-projet

Le Bénin dispose actuellement d'une cartographie géologique de l'ensemble du pays à l'échelle 1/200 000 comportant 11 cartes. Des difficultés de raccordement sont constatées entre certains documents.

La cartographie réalisée grâce aux aides soviétique et française doit être actualisée et repensée en fonction des théories les plus récentes développées au Bénin.

3.2 Situation attendue après l'exécution du projet

Le Bénin disposera de la carte géologique officielle du pays à l'échelle 1/500 000 sur fond topographique avec notice explicative, sur la base des cartes établies à l'échelle 1/200 000 existantes.

La carte sera imprimée en couleur, sur deux feuilles, en mille exemplaires et constituera un document officiel de l'état béninois. Il servira de document d'études et d'aide à la décision pour les nombreux intervenants dans le domaine du développement du pays.

4. CONSIDERATIONS SPECIALES

4.1 Considérations spéciales relevant du projet lui-même

La cartographie géologique de synthèse est un document de données de base dont l'impact est capital pour tous les aspects de programmation et de planification.

Elle permettra de développer des stratégies de développement dans de nombreux domaines.

4.2 Aspects négatifs du projet

Aucun impact négatif ne peut être attendu de l'exécution du projet.

5. AUTRES FINANCEMENTS ET INTERVENANTS ACTUELS DANS LE MEME SOUS-SECTEUR

Le travail de cartographie géologique relève uniquement du domaine de l'OBEMINES.

Depuis l'achèvement du projet 5e FED en 1987, aucun financement n'a été mis à la disposition de l'OBEMINES pour lui permettre de poursuivre son programme. Depuis cette date, les activités de ce service ont été très réduites à cause du manque de moyens financiers.

6. OBJECTIFS DE DEVELOPPEMENT ET LEURS RELATIONS AVEC LE PROGRAMME DE L'ETAT BENINOIS

Le Bénin est actuellement en train d'élaborer un nouveau Plan de Développement à l'échelle décennale.

Les 3 axes d'orientation de ce plan sont :

- . l'eau : une priorité pour améliorer la santé,
- . l'agriculture : base de croissance du Bénin, nécessite la maîtrise de l'eau face aux aléas climatiques,
- . un plan énergétique : développement de l'énergie d'origine hydraulique pour laquelle le pays possède des potentialités non négligeables.

La carte géologique de synthèse constitue une base de données indispensable à l'élaboration de cette politique.

7. PRINCIPAUX ELEMENTS DU PROJET

Le projet se déroulera selon les phases suivantes :

- . Acquisition et compilation de toute la documentation existante.
- . Préparation d'une base topographique à l'échelle 1/500 000 pour recevoir toutes les données géologiques.
- . Etude photogéologique sur photographies aériennes conventionnelles et sur images satellites de tout le territoire du Bénin.
- . Mission géologique sur le terrain pour étudier, en détail, toutes les différentes formations géologiques décrites par les études précédemment exécutées. Cette phase doit permettre une harmonisation des informations contenues dans les différents documents cartographiques existants. Des échantillons seront prélevés pour être étudiés.
- . Etude au laboratoire pour l'analyse chimique des roches, la détermination isotopique de l'âge absolu.
- . Elaboration des maquettes de la carte géologique et des notices. Le document final sera conforme aux standards internationaux et régionaux.
- . Préparatifs pour impressions.
- . Impression typographique des cartes et impression des notices explicatives.

La carte géologique comprendra les informations lithologiques, structurales, pétrographiques et minières. Les notices explicatives, sous forme de volumes reliés, seront accompagnées de photographies, schémas et coupes géologiques, de qualité et en quantité suffisante et représentatives pour aider à la compréhension de la complexité des phénomènes géologiques du pays.

Elles comportent des éléments exhaustifs et les références bibliographiques complètes sur la géologie, la structure, la morphologie, la géophysique, la pétrographie, les caractéristiques hydrogéologiques principales et les indices de minéralisation.

Les notices présenteront une reconstitution de l'évolution géologique du Bénin dans le contexte plus général de la géologie de l'Afrique de l'Ouest.

8. STRATEGIE DU PROJET

8.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier des résultats du projet ?

En tout premier lieu, le projet bénéficiera à tous les services techniques du Bénin qui ont pour rôle d'exécuter des programmes de développement du pays : l'OBEMINES, la Direction de l'Hydraulique, la Société Béninoise d'Eau et d'Electricité (SBEE), le Ministère du Développement Rural et de l'Action Coopérative, le Ministère du Plan et de la Statistique.

Cette liste n'est pas exhaustive.

8.2 Quels seront les bénéficiaires dans un domaine général ?

En plus des services techniques cités, le projet aura un intérêt à tous ceux qui, de près ou de loin, s'intéressent au développement du Bénin : les organismes internationaux, les bailleurs de fonds, les bureaux d'études, les entreprises, les aménagistes, les planificateurs.

8.3 Organisation du projet

Le Maître d'Oeuvre sera le Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Entreprises Publiques. La maîtrise d'oeuvre sera confiée à l'OBEMINES. Tous les services techniques qui disposent de données relatives à la géologie du pays seront tenus de les mettre à la disposition de l'OBEMINES dans le cadre du projet.

Pour l'exécution du projet, l'OBEMINES disposera de l'appui d'un bureau d'études expérimenté.

9. CAPACITE DU PAYS RECEVEUR

9.1 Support local

Le niveau de compétence du personnel technique de l'OBEMINES est très bon, grâce à l'expérience acquise au cours des programmes de cartographie géologique réalisés antérieurement. La structure d'accueil prévue pour le projet possède l'envergure nécessaire permettant d'assurer sa réussite.

Cependant, les moyens de l'OBEMINES sont insuffisants dans certains domaines bien précis : les analyses isotopiques, certaines analyses de roches, l'édition de cartes en couleur, le traitement des photos satellites. Pour cela, l'appui d'un bureau d'études spécialisé est nécessaire.

9.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays se développe actuellement au Bénin.

Cependant, il n'y a aucun élément permettant de dire que le personnel de l'OBEMINES formé chercherait un emploi ailleurs.

10. RISQUES

10.1 Facteurs pouvant entraîner un retard dans l'exécution du projet

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés comme étant le résultat de l'évaluation hydrologique des pays de l'Afrique subsaharienne. Le planning de tous ces projets devra être soigneusement coordonné pour éviter que le retard dans le démarrage de l'un des projets entraîne des retards dans le démarrage des autres projets complémentaires.

Au niveau de ce projet, une partie du travail doit être réalisée sur le terrain, ce qui implique une contrainte : la mission sur le terrain ne peut être réalisée qu'en saison sèche.

10.2 Facteurs pouvant empêcher l'exécution des tâches prévues et d'atteindre les objectifs

Aucune difficulté n'est à prévoir dans le bon déroulement de ce projet.

11. BUDGET SCHEMATIQUE

Voir tableau page suivante.

National	International	Coût US\$
Personnel Ingénieurs = 16 h/mois Prospecteurs = 24 h/mois Chauffeurs = 24 h/mois Personnel d'appui = 48 h/mois		
Total		55 000
	Personnel Consultant : 41 mois à 20 000 \$ Dessinateur : 4 mois à 10 000 \$ Allocation de subsistance : 750 jours à 75 \$ Billets d'avion : 8 x 2600 \$	820 000 40 000 56 250 20 800
Equipement Matériel de camping Matériel de bureau Remise en état du laboratoire de l'OBEMINES 3 véhicules tout terrain	Equipement Matériel de camping 2 véhicules tout terrain	4 000 8 130 7 500 110 000
	Analyses Analyses paramétriques, chimiques, isotopiques, âge absolu, provision	100 000
Fonctionnement Véhicules 18 mois x 2200 \$ Bureau, laboratoire	Fonctionnement Véhicules 14 mois x 2200 \$	70 400 13 000
	Travaux cartographiques et édition	30 000
Formation 3 mois de stage		16 920
Total		1 352 000

Annexe A

QUALIFICATION ET EXPERIENCE DU PERSONNEL INTERNATIONAL

- . Le responsable du projet doit avoir une expérience confirmée des problèmes de géologie africaine.
- . Les 3 géologues seront chargés de la mission de terrain et de la rédaction de la carte. Ils devront avoir une expérience spécifique du Bénin.
- . Les 2 pétrographes ont une expérience sur les formations métamorphiques et magmatiques pour l'étude de laboratoire.
- . Les 2 photogéologues sont chargés de l'étude des photos aériennes et des images satellites.
- . L'expert en géochronologie isotopique effectuera les datations absolues.

Tous les membres du Bureau d'Etudes devront avoir la maîtrise parfaite de la langue française.

Annexe B

FORMATION

La formation aura 2 thèmes :

- . Formation aux techniques de traitement par télédétection appliquées à la géologie. Il est prévu un mois de stage pour un ingénieur de l'OBEMINES au siège du Bureau d'Etudes qui sera choisi.
- . Formation aux techniques modernes de la cartographie géologique. Il est prévu que 2 ingénieurs de l'OBEMINES suivent un stage d'un mois au siège du Bureau d'Etudes.

Annexe C

EQUIPEMENT

Outre les véhicules et le matériel de camping qui sont indispensables pour le travail de terrain, l'équipement à acheter consistera en matériel permettant au laboratoire d'analyses de l'OBEMINES d'être à nouveau fonctionnel.

Une évaluation préliminaire de l'équipement nécessaire est présentée ci-dessous. Celle-ci sera précisée par le Chef de projet du Bureau d'Etudes lors de son arrivée au Bénin :

- . 1 balance de précision,
- . remplacement de la plaque informatique du colorimètre,
- . remise en état de l'absorption atomique,
- . achat de verrerie et de matériel divers de laboratoire.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/08

TITRE PROPOSE : Mise en place d'une base
de données hydrogéologiques

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement
et des Transports (Direction
de l'Hydraulique)

DUREE ESTIMEE : 10 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 438 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Depuis 1984, le Bénin a initié plusieurs études permettant d'avancer vers une évaluation précise des ressources en eaux souterraines du pays. Les principales étapes sont :

- . Etablissement de la carte hydrogéologique du Bénin en 1985 (1/500 000 ensemble du Bénin, 1/200 000 bassin sédimentaire côtier avec notices explicatives).
- . Contribution à l'étude des ressources en eau souterraine du bassin côtier du Bénin. Confrontation ressources- besoins (projet BEN 85/004, P. PALLAS, 1988).
- . Préparation du Plan Directeur des ressources en eau du bassin sédimentaire au Sud du Bénin (projet BEN 85/004, HASCOET, 1988).
- . Assistance à la Direction de l'Hydraulique pour la préparation d'un Plan Directeur des ressources en eau. Conclusions et recommandations du projet (projet BEN 85/004, PNUD, 1990).
- . Inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin (projet BID, 1990).

L'objectif du Bénin est, aux termes de toutes ces études, l'élaboration d'un Plan Directeur national d'aménagement des ressources en eau.

Dans le cadre d'un Plan Directeur national, une évaluation précise des ressources en eau est nécessaire : celle-ci ne peut se faire qu'à partir de données de base fiables.

Pour cela, il est indispensable que toutes les données relatives aux eaux souterraines du Bénin soient centralisées au même endroit : le Service des Etudes d'Hydrogéologie de la Direction de l'Hydraulique.

L'objectif du projet est la mise en place d'une banque de données hydrogéologiques avec :

- . Affectation officielle au Service des Etudes d'Hydrogéologie de tout ce qui a déjà été fait dans le cadre du projet PNUD BEN 85/004 : matériels informatiques, logiciels et programme HYDROBASE, disquettes contenant les données déjà saisies.
- . Une étude préalable sur la conception d'une base de données hydrogéologiques en fonction des besoins du Bénin :

- objectif,
 - quel doit être son contenu,
 - architecture du programme.
-
- . Mise au point d'un logiciel adapté au stockage, à l'affichage et au traitement des données.
 - . Récupération, après vérification, des données déjà stockées dans le cadre d'HYDROBASE.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

Il est indispensable pour le Bénin de concevoir une banque de données hydrogéologiques adaptée.

2.1 Conception d'une banque de données hydrogéologiques

La banque de données (matériel, logiciel, structure des fichiers et des programmes) sera conçue pour s'intégrer dans un environnement standard pouvant s'adapter à l'évolution prévisible du matériel informatique et des logiciels commerciaux et permettre une utilisation conviviale.

a. Standards à utiliser

Il faut orienter le choix du matériel vers du compatible IBM et du logiciel vers dBASE IIIplus qui est le standard le plus adopté dans le domaine des systèmes de gestion de base de données.

Ce logiciel permet de communiquer sans problème de transfert.

b. Programmation

Le programme sera conçu pour permettre aux utilisateurs de créer leurs propres fichiers de données et programmes spécifiques tout en restant compatible avec la banque centrale.

2.2 Gestion de la banque de données

La banque de données est destinée à gérer la totalité des renseignements concernant les ressources en eau du Bénin : pour cela, il faut respecter une rigueur dans son utilisation. Le schéma de gestion pourrait être le suivant :

a. Modalités d'entrée, de vérification, de saisie et de sauvegarde des données

La collecte, la saisie et la vérification des données constituent le processus le plus important dans la constitution d'une banque de données.

b. Traitement

Le traitement des données doit être accessible par le biais des menus qui permettent :

- . la consultation à l'écran,
- . la modification des données,
- . l'édition de données.

c. Structure et utilisation de la banque de données

La Direction de l'Hydraulique mènera une étude pour définir la structure de la banque de données avec tous les fichiers qui la constituent.

Cette structure sera basée sur le modèle suivant :

- . un noyau central de fichiers dBASE articulés autour du "VILLAGE" qui est l'unité administrative de base,
- . une série de fichiers satellites en LOTUS 1, 2, 3.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

Le principal bénéficiaire sera la Direction de l'Hydraulique dont les différents services seront les premiers utilisateurs de la banque de données hydrogéologiques, en tant qu'outil d'aide à l'élaboration des nouveaux programmes d'alimentation en milieu rural et pour élaborer le Plan Directeur d'aménagement des ressources en eau, objectif principal de la Direction de l'Hydraulique.

3.2 Bénéficiaires désignés

Le projet servira à mettre en place une source d'information à consulter obligatoirement pour tous les intervenants dans le domaine de la mobilisation des ressources en eau souterraine.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé en collaboration avec la Direction de l'Hydraulique.

Il bénéficiera de l'appui technique d'un Consultant hydrogéologue pendant 10 mois et d'un Consultant informaticien pendant 6 mois.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Il n'y a pas d'alternative dans la stratégie de mise en oeuvre du projet.

Cette dernière est absolument indispensable pour permettre l'actualisation de la carte hydrogéologique du Bénin.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

La qualité du personnel disponible à la Direction de l'Hydraulique est relativement bonne : elle permettra d'assurer un niveau raisonnable à l'exécution des tâches envisagées ici.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays est actuellement en développement.

Cependant, il n'y a aucun indice laissant craindre que le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie formé par le projet cherche un emploi ailleurs.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposé à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée pour assurer que les retards dans le démarrage ou la remise tardive des résultats d'un projet n'entraîne pas de retard dans le démarrage ou l'exécution des autres projets complémentaires.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

6.1.1 Acquisition d'un matériel informatique

L'état du matériel disponible dans le cadre d'HYDROBASE (projet PNUD BEN 85/004) étant difficilement appréciable et un seul ordinateur étant insuffisant, on préconisera l'acquisition d'un matériel homogène avec ce qui existe déjà (ou prévu) dans le cadre du programme PROSPER et de l'informatisation de la documentation.

6.1.2 Appui d'un Bureau d'Etudes

Pour la conception et la mise en oeuvre d'une banque de données hydrogéologiques, la Direction de l'Hydraulique aura besoin de l'appui d'un Bureau d'Etudes expérimenté qui mobilisera les moyens suivants :

- . 1 ingénieur informaticien pendant 6 mois,
- . 1 ingénieur hydrogéologue pendant 10 mois.

6.1.3 Récupération des données saisies sur HYDROBASE

Le programme HYDROBASE est sous dBASE.

Il ne doit donc pas y avoir de difficultés à récupérer les informations ainsi stockées.

Cependant, un important travail de vérification de ces données reste à faire.

Les types de vérification à faire sont :

a. Vérification par identification des données anormales

Des petits programmes simples, écrits en dBASE, pour permettre de déceler certaines données anormales.

b. Vérification du positionnement et de l'altitude

Les coordonnées des points d'eau représentent une donnée essentielle. Celles-ci sont informatisées à partir des indications données par les fiches de terrain fournies par chaque projet, sans aucune vérification.

Au préalable à leur enregistrement, il est nécessaire d'effectuer une vérification pour déceler les données suspectes.

6.1.4 Formation

Un programme de formation est indispensable pour le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie affecté à la banque de données.

6.2 Budget schématique

National	International	Coût US\$
Personnel		
3 ingénieurs hydrogéologues pendant 10 mois		
1 opérateur de saisie (10 mois)		
Salaires		p.m.
Indemnité de terrain 10 mois x 550\$		5 500
	1 hydrogéologue	
	1 informaticien : 16 mois x 20 000 \$	320 000
	Frais de logement	16 000
	Billet d'avion : 4 x 2600 \$	10 400
Equipement		
Matériel informatique		20 000
Matériel de bureau		10 000
1 véhicule tout terrain		22 000

National	International	Coût US\$
Fonctionnement		
Fournitures diverses, papeterie : 10 mois x 730 \$		7 300
Fonctionnement véhicule : 10 mois x 2200 \$		22 000
Formation		
Cours sur l'utilisation de logiciels pour 3 ingénieurs et 1 opérateur de saisie		4 800
Total		438 000

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le responsable du projet doit avoir une bonne connaissance de l'hydrogéologie des pays africains ainsi qu'une expérience dans le domaine de la conception et de la mise en place d'une banque de données hydrogéologiques.

Annexe B

FORMATION

Pour la mise en place d'une banque de données hydrogéologiques, les besoins en formation de personnel national sont les suivants :

- . Formation à l'utilisation des logiciels DBASE III plus, LOTUS 1, 2, 3 pour :
 - le Chef de service du SEH,
 - les 2 chefs de division,
 - un ingénieur de la Division "Etude et Gestion des ressources en eau souterraine",
 - un opérateur de saisie.

- . Formation pratique du même personnel pendant la présence du Bureau d'Etudes.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter consistera en matériel informatique.

Une évaluation préliminaire est donnée ci-dessous.

Celle-ci sera précisée par le Bureau d'Etudes dès sa mise en place.

- . 1 micro-ordinateur 386/20 NORMEREL.
- . 1 imprimante LQ 1050 à grand chariot.
- . 1 co-processeur 387/20.
- . 1 extension mémoire à 4 Mo.
- . 1 onduleur.
- . 1 photocopieuse.
- . Divers logiciels.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/09

TITRE PROPOSE : Renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement et des Transports (Direction de l'Hydraulique)

DUREE ESTIMEE : 15 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 432 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

La mobilisation des ressources en eau va s'accroître dans les années à venir, ce qui nécessite dès maintenant de surveiller la vulnérabilité des ressources en eau et la potabilité de l'eau fournie pour l'alimentation des populations.

Il devient donc essentiel, pour le Bénin, d'avoir des données fiables sur la qualité de l'eau.

Les données actuellement disponibles sont très insuffisantes en quantité et en qualité.

1.2 Objectif du projet

La Direction de l'Hydraulique s'est dotée d'une Division Hydrochimie pouvant effectuer des analyses d'eau : physico-chimiques et bactériologiques.

Le matériel et la construction du laboratoire ont été financés par plusieurs bailleurs de fonds : FED, BOAD et PNUD.

Les analyses suivantes peuvent être faites :

- . pH, conductivité,
- . résidu à 110°C,
- . titre TA et TAC,
- . dureté totale,
- . alcalinité,
- . bicarbonates (CO_3H^-), carbonates (CO_3^{--}),
- . chlorures (Cl^-),
- . sulfates (SO_4^{--}),
- . nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-),
- . ammonium (NH_4^+),
- . calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}),
- . sodium (Na^+), potassium (K^+),
- . fer (Fe^{++}),
- . manganèse (Mn^{++}),
- . fluor,
- . phosphates,
- . silice.

En bactériologie :

- . germes totaux,
- . coliformes totaux,
- . coliformes fécaux.

Actuellement, les conditions de fonctionnement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique ne permettent pas de faire des analyses d'eau avec un niveau de fiabilité irréprochable pour les raisons suivantes :

- . Les conditions d'installation du laboratoire :
 - manque d'isolation contre la poussière,
 - manque de moyens pour prélèvement d'eau,
 - manque de produits,
 - moyens d'analyses incomplets ou en mauvais état.
- . La formation du personnel : un complément de formation s'avère indispensable.

Il est nécessaire de valoriser au mieux le laboratoire d'analyses d'eau de la Direction de l'Hydraulique.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

Le renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique doit comporter :

- . Faire les transformations qui s'imposent au niveau du laboratoire.
- . Compléter le matériel existant.
- . Mettre en application un programme de formation complémentaire du personnel affecté.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

En premier lieu, le principal bénéficiaire sera la Direction de l'Hydraulique, Service des Etudes d'Hydrogéologie, qui disposera ainsi d'un outil lui permettant :

- . d'aborder les études d'hydrochimie,
- . de contrôler et surveiller la qualité des eaux.

Le projet bénéficiera à tous les intervenants dans le domaine de la mobilisation des ressources en eau qui sont demandeurs d'informations sur la qualité de l'eau utilisée :

- . alimentation en eau potable des populations,
- . eau industrielle,
- . eau pour l'agriculture,
- . pisciculture,
- . etc.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé en collaboration avec le Service des Etudes d'Hydrogéologie de la Direction de l'Hydraulique. Il emploiera un Consultant qui organisera la fourniture des équipements, définira et coordonnera les travaux de transformation du laboratoire qui s'imposent et définira le programme de formation. Pendant les 15 mois que durera le projet, le Consultant travaillera en étroite collaboration avec ses homologues pour assurer leur formation et un fonctionnement correct du laboratoire.

Les activités proposées par le projet permettront à la Direction de l'Hydraulique de disposer d'un laboratoire d'analyses d'eau pouvant fournir des résultats fiables et en mesure de prendre en charge l'exécution de la campagne de mesures sur la qualité des eaux (de surface et souterraine) proposée par la présente étude.

Le présent projet doit impérativement démarrer 3 mois avant l'exécution de la campagne de mesures sur la qualité des eaux du Bénin, ceci pour laisser le délai nécessaire à la réorganisation nécessaire du laboratoire (travaux, achat de matériel, formation).

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

La qualité du personnel disponible à la Direction de l'Hydraulique est relativement bonne : elle permettra d'assurer un niveau raisonnable à l'exécution des tâches envisagées ici.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays est actuellement en développement.

Cependant, il n'y a aucun indice laissant craindre que le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie formé par le projet cherche un emploi ailleurs.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée pour assurer que les retards dans le démarrage ou la remise tardive des résultats d'un projet n'entraîne pas de retard dans le démarrage ou l'exécution des autres projets complémentaires.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

Il faut mettre en oeuvre les moyens suivants :

- a. Mise à disposition d'un ingénieur hydrochimiste expatrié pendant 15 mois.

Son rôle sera :

- . apporter un complément de formation pratique au personnel du laboratoire,
 - . organiser le travail du laboratoire de façon rationnelle,
 - . former le Chef de la Division Hydrochimie à la gestion d'un laboratoire d'analyses d'eau.
- b. Faire les transformations qui s'imposent pour que les analyses soient faites dans de bonnes conditions d'hygiène (pour avoir des analyses fiables) et de sécurité (pour le personnel qui y travaille) :
 - . isoler le laboratoire contre l'invasion de la poussière extérieure : climatisation de la salle d'analyses chimiques, remplacement d'une partie des fenêtres à persiennes (type NACO) par des vitres,
 - . achat de flacons à prélèvement spécialement prévus à cet effet,

- . constitution d'un stock de roulement en produits pour les différentes analyses à faire,
 - . mise en place de conditions de sécurité minimum dans le laboratoire : un extincteur, une boîte à pharmacie de première urgence, couverture anti-feu, installation d'une douche de sécurité.
- c. Compléter l'équipement du laboratoire en matériel d'analyses.
- d. Stage de formation de 6 mois pour le Chef de la Division Hydrochimie dans une école de chimie à l'étranger.

6.2 Budget schématique

National	International	Coût US\$
Personnel		
1 ingénieur chef de division (15 mois)		p.m.
3 techniciens pendant 15 mois		p.m.
	1 ingénieur hydrochimiste pendant 15 mois x 20 000 \$	300 000
	Frais de logement	15 000
	Billets d'avion : 2 x 2600 \$	5 200
Equipement		
Matériel complémentaire de laboratoire et consommables		13 000
1 véhicule 4 x 4		22 000
Travaux		4 000
Fonctionnement		
Véhicule : 15 mois x 2200 \$		33 000
Fournitures diverses : 15 mois x 400 \$		6 000
Formation		
6 mois de stage		33 800
Total		432 000

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le Consultant devra posséder un diplôme d'Ingénieur chimiste provenant d'une école reconnue. Il devra avoir au minimum 10 ans d'expérience dans le domaine de l'hydrochimie. Il aura pour tâche de réorganiser la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique :

- . Définir et contrôler les travaux qui s'imposent dans le laboratoire.
- . Faire le diagnostic sur le matériel existant.
- . Commander l'équipement complémentaire indispensable.
- . Assurer la formation du personnel affecté au laboratoire.
- . Diriger le laboratoire d'analyses pendant 15 mois.

Annexe B

FORMATION

La formation concernera :

- . Un Ingénieur, Chef de la Division Hydrochimie :
 - Formation pratique pendant 15 mois en qualité d'homologue du Consultant.
 - Stage de formation théorique pendant 6 mois dans une école de chimie à l'étranger.

- . Trois techniciens de laboratoire : formation pratique et théorique pendant 15 mois assurée par le Consultant.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter consistera en matériel d'analyses pour compléter l'équipement actuel.

Une évaluation préliminaire de l'équipement nécessaire est présentée ci-dessous. Celle-ci sera précisée par le Consultant hydrochimiste :

- . Un photomètre de flamme pour le dosage du sodium, potassium.
- . Un pHmètre de laboratoire.
- . Un pHmètre de terrain.
- . Un conductimètre de laboratoire.
- . Un conductimètre de terrain.
- . Un déminéralisateur régénérable.
- . Un réfrigérateur-congélateur.
- . Lot de flacons pour prélèvements d'eau.
- . Lot de produits consommables.

A cette liste doit s'ajouter :

- . une boîte à pharmacie complète,
- . un extincteur,
- . une couverture anti-feu,
- . 2 climatiseurs.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/10

TITRE PROPOSE : Campagne de mesures sur la qualité des eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Équipement et des Transports (Direction de l'Hydraulique) et Ministère de la Santé Publique (Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement)

DUREE ESTIMEE : 12 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 228 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Compte tenu du développement prévisible de la mobilisation des ressources en eau, le Bénin a exécuté plusieurs études lui permettant d'avancer vers une évaluation précise des ressources en eau du pays. D'autres études sont en cours.

L'objectif du Bénin est, aux termes de toutes ces études, l'élaboration d'un Plan Directeur national d'aménagement des ressources en eau. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer les ressources en eau sur le plan quantitatif mais aussi sur le plan qualitatif.

1.2 Objectif du projet

Très peu d'informations sont actuellement disponibles concernant la qualité des eaux souterraines : un millier d'analyses chimiques seulement ont été faites alors que les points de prélèvements dans les eaux souterraines représentent :

- . 2898 forages d'Hydraulique Villageoise,
- . 746 puits modernes cimentés,
- . au moins 1000 puits traditionnels,
- . 100 forages d'adduction,

soit 4744 captages.

Il n'existe également que très peu d'informations concernant la qualité des ressources en eau de surface utilisées pour l'alimentation en eau potable.

Il est actuellement impossible, compte tenu du faible nombre d'analyses disponibles et du doute sur la fiabilité de certains résultats, d'avoir un aperçu général, à l'échelle du Bénin, de la cartographie sur l'aspect qualitatif de l'eau.

A cause de cela, il est actuellement impossible de dire :

- . combien faut-il de points de contrôle de la qualité de l'eau ?
- . quels sont les éléments caractéristiques de la qualité à suivre ?
- . quelles sont les zones à risques ou présentant un problème de qualité d'eau qu'il convient de surveiller ?

Pour permettre de mettre au point un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines au Bénin, il faut, en premier lieu, faire une campagne de prélèvements couvrant toutes les unités hydrogéologiques définies incluant les différents types de captage utilisés (forages, puits modernes, puits traditionnels, sources) en tenant compte de tous les cas spécifiques recensés (pollution locale, secteur à géochimie particulière, secteurs à risques, etc.).

Il n'y a, actuellement au Bénin, aucune information sur l'aspect qualitatif pour 3700 captages d'eau souterraine et pour la quasi-totalité des ressources en eau de surface.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

- . La campagne de mesures sur la qualité des eaux utilisées pour l'AEP sera réalisée conjointement par :
 - la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique qui se chargera de faire les analyses physico-chimiques,
 - la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement du Ministère de la Santé Publique qui se chargera de faire les analyses bactériologiques.
- . Le présent projet doit démarrer 3 mois après la mise en oeuvre d'un autre projet proposé par la présente étude : le renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique, ceci pour permettre à ce laboratoire d'être parfaitement opérationnel.
- . Le projet doit permettre à la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement d'acquérir les moyens minimums lui permettant d'assumer ses responsabilités.

La DHA est en charge de faire appliquer le code de l'hygiène créé en septembre 1989.

Il est prévu, à cet effet, la mise en place d'une police sanitaire chargée de faire des visites intra-domiciles et des installations industrielles afin de :

- faire des prescriptions,
- délivrer l'autorisation préalable à tout déversement dans les plans d'eau.

La DHA doit aussi contrôler la qualité de l'eau fournie par la SBEE.

La DHA n'a actuellement aucun équipement pour faire le minimum de contrôle sur le terrain.

En tant qu'organe de contrôle, la DHA ne dispose pas de laboratoire. Pour faire des analyses, la DHA est obligée de s'adresser au laboratoire national du Ministère de la Santé pour lequel les analyses d'eau ne sont qu'une activité infime, l'essentiel de leurs moyens étant surtout orienté vers la bactériologie. De plus, les capacités de ce laboratoire sont très limitées.

La Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement n'est jamais associée aux projets d'alimentation en eau comme cela devrait être. Un seul cas de participation active de la DHA : dans le cadre du projet USAID.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

Les principaux bénéficiaires seront :

- . le Service des Etudes d'Hydrogéologie de la Direction de l'Hydraulique, responsable de l'élaboration d'un Plan Directeur national d'aménagement des ressources en eau,
- . la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement du Ministère de la Santé Publique chargée d'assurer le contrôle de la qualité de l'eau.

3.2 Bénéficiaires désignés

Le projet bénéficiera à tous les utilisateurs d'eau, que ce soit pour l'AEP ou pour d'autres usages, mais aussi à tous ceux qui réalisent des études ou des plans directeurs et qui sont demandeurs d'informations sur la qualité de l'eau.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre

Le projet sera réalisé en collaboration avec :

- . le Service des Etudes d'Hydrogéologie de la Direction de l'Hydraulique,
- . la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement du Ministère de la Santé Publique.

Il bénéficiera de l'appui technique du Consultant chimiste mis à disposition de la Direction de l'Hydraulique dans le cadre du projet de renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique.

Le présent projet se déroulera sur 12 mois.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Les activités proposées par le projet devront impérativement démarrer 3 mois après la mise en oeuvre du renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique afin de permettre au Consultant chimiste de réorganiser le service concerné.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

La qualité du personnel disponible à la Direction de l'Hydraulique et à la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement est relativement bonne : elle permettra d'assurer un niveau raisonnable à l'exécution des tâches envisagées ici.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays est actuellement en développement.

Cependant, il n'y a aucun indice laissant craindre que le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie formé par le projet cherche un emploi ailleurs.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée pour assurer que les retards dans le démarrage ou la remise tardive des résultats d'un projet n'entraîne pas de retard dans le démarrage ou l'exécution des autres projets complémentaires.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

6.1.1 Conception d'une campagne de mesures sur la qualité des eaux du Bénin

Compte tenu de la situation actuelle sur l'état des connaissances sur la qualité des eaux, il importe de faire 2 campagnes de prélèvements pour analyses complètes des eaux : physique, chimique et bactériologique, soit :

- . une campagne en période de hautes eaux,
- . une campagne en étiage (fin de saison sèche).

Nous déterminerons le nombre de point de prélèvements de la façon suivante :

- . Des prélèvements doivent être faits aussi bien sur des points d'eau déjà connus sur le plan qualitatif que sur des points d'eau pour lesquels aucune analyse n'a été faite.
- . Les prélèvements à faire doivent être répartis en fonction de la situation du point par rapport aux formations et aquifères captés : on peut considérer qu'il y a 12 unités principales au Bénin.
- . Dans chaque unité, les prélèvements doivent être faits en fonction de la position morphologique du point d'eau :
 - plateau : 80 prélèvements,
 - pente : 80 prélèvements,
 - bas-fond : 80 prélèvements.

Le nombre de points de prélèvements est, dans ces conditions, de 2880, auquel il faut ajouter 100 points de prélèvements des eaux de surface.

Sur 2 campagnes, il faut 5960 analyses complètes.

6.1.2 Renforcement des moyens de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique

Ceci est prévu dans le cadre d'un projet séparé.

Il n'y a donc rien de particulier à préciser ici.

6.1.3 Renforcement des moyens de la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement du Ministère de la Santé Publique

Dans le cadre du présent projet et pour permettre à la DHA d'assurer son rôle de surveillance de la qualité des eaux, il est nécessaire d'équiper la DHA d'un matériel pour prélever des échantillons d'eau et réaliser des analyses bactériologiques. La mise en oeuvre de ce matériel et la formation pratique du personnel seront assurées par le Consultant chimiste affecté à la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique.

6.1.4 Moyens à mettre en oeuvre sur le terrain

Il est nécessaire de mettre en oeuvre deux équipes pour assurer les tournées de terrain.

Chaque équipe comprendra :

- . 1 technicien,
- . 1 chauffeur,
- . 1 véhicule tout terrain,
- . matériel de camping,
- . matériel de prélèvement d'eau pour analyses chimiques et bactériologiques,
- . matériel de conservation des échantillons,
- . 1 sonde électrique,
- . 1 pHmètre et 1 conductimètre de terrain,
- . 1 thermomètre.

Il faudra 2 mois par équipe pour faire chacune des campagnes de prélèvements, soit 4 équipes-mois nécessaires.

Cette étude sur la qualité des eaux sera réalisée conjointement par la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique et par la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement.

Sur chaque point de prélèvement, 2 échantillons d'eau sont nécessaires :

- . 1 échantillon pour l'analyse physico-chimique qui sera faite par la Direction de l'Hydraulique,
- . 1 échantillon pour l'analyse bactériologique qui sera faite par la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement.

6.2 Budget schématique

National	International	Coût US\$
Personnel		
<u>a. Personnel de la DHA</u>		
1 ingénieur sanitaire et 3 techniciens : salaires pendant 12 mois		p.m.
Per diem pour 2 techniciens : 4 mois x 550 \$		2 200
<u>b. Personnel de la DH</u>		
Salaires		p.m.
Per diem pour 2 techniciens : 4 mois x 550 \$		2 200
	1 consultant hydrochimiste	p.m.
Equipement		
Matériel de laboratoire pour la DHA		36 300
Véhicules 4 x 4 : 2 x 22 000 \$		44 000
Matériel de camping		1 500
Aménagement laboratoire de la DHA		11 000
Fonctionnement		
Consommables pour environ 6000 analyses		73 000
Fournitures diverses		5 000
Fonctionnement véhicule		52 800
Formation		
		p.m.
Total		228 000

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Dans le cadre du présent projet, il n'est pas prévu de mettre en place un Consultant spécifique. L'appui technique nécessaire sera assuré par le Consultant chimiste mis en place dans le cadre du renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique.

Annexe B

FORMATION

La formation concernera 4 techniciens de laboratoire : formation pratique sur les méthodes de prélèvements et d'analyses bactériologiques. Cette formation sera faite sur place et échelonnée sur 12 mois.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter consistera en matériel de prélèvements et d'analyses pour la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement du Ministère de la Santé Publique.

Une évaluation préliminaire de l'équipement nécessaire est présentée ci-dessous. Celle-ci sera précisée par le Consultant hydrochimiste affecté au projet de renforcement de la Division Hydrochimie de la Direction de l'Hydraulique.

a. Pour le prélèvement des échantillons

- . Flacons de prélèvement stérilisables.
- . Un lot de comparateurs plus le réactif (Orthotolidine).
- . Un lot de thermomètres hypersensibles.
- . Un lot de glacières pour le transport des échantillons.
- . Des becs à gaz.

b. Pour un laboratoire d'analyses des eaux

- . Autoclave vertical électrique auto-réglé de 180 litres.
- . Poupinel ou four électrique.
- . Microscope binoculaire modèle BH2.
- . Minéralisateur DIGESDAHL, HACH (Prolabo) fourni complet avec fiole, verrerie et accessoires et réactifs pour dosage azote total.
- . Appareil manométrique à 6 postes pour la mesure de la DBO complet avec flacons et réactifs.
- . Appareillage-accessoires et réactifs pour mesure volumétrique de la DCO.

- . Laboratoire portatif DREL/2500 (Prolabo) avec conductimètre et pHmètre digital incorporés plus accessoires et réactifs.
- . Etuve bactériologique réglable 25-70°C.
- . Deux stérilisateur à ultraviolet pour la stérilisation des entonnoirs et base et accessoires (lampes UV) et fusibles.
- . Balance de précision Mettler modèle PE 600.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/11

TITRE PROPOSE : Création d'un réseau piézométrique minimum

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement et des Transports (Direction de l'Hydraulique)

DUREE ESTIMEE : 24 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 769 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Depuis 1984, le Bénin a initié plusieurs études permettant d'avancer vers une évaluation précise des ressources en eaux souterraines du pays. Les principales étapes sont :

- . Etablissement de la carte hydrogéologique du Bénin en 1985 (1/500 000 ensemble du Bénin, 1/200 000 bassin sédimentaire côtier avec notices explicatives).
- . Contribution à l'étude des ressources en eau souterraine du bassin côtier du Bénin. Confrontation ressources-besoins (projet BEN 85/004, P. PALLAS, 1988).
- . Préparation du Plan Directeur des ressources en eau du bassin sédimentaire au Sud du Bénin (projet BEN 85/004, HASCOET, 1988).
- . Assistance à la Direction de l'Hydraulique pour la préparation d'un Plan Directeur des ressources en eau. Conclusions et recommandations du projet (projet BEN 85/004, PNUD, 1990).
- . Inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin (projet BID, 1990).

L'objectif du Bénin est, aux termes de toutes ces études, l'élaboration d'un Plan Directeur national d'aménagement des ressources en eau.

Dans le cadre d'un Plan Directeur national, une évaluation précise des ressources en eau est nécessaire.

Concernant les eaux souterraines, cela implique la mise en place d'un réseau de surveillance piézométrique.

Actuellement, il n'y a pas de réseau piézométrique généralisé sur l'ensemble du pays.

Des piézomètres existent, ou sont en cours d'exécution, dans le cadre de 2 projets :

- . Préparation du Plan Directeur des ressources en eau du bassin sédimentaire au Sud du Bénin (projet PNUD BEN 85/004).
- . Inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin (projet BID).

L'objectif du projet est de compléter le nombre de piézomètres mis en place dans le cadre des 2 études citées ci-dessus, de manière que le Bénin dispose d'un réseau piézométrique préventif nécessaire à la gestion des eaux souterraines.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

Pour définir la densité d'un réseau de piézomètres, la façon la plus rationnelle possible est de déterminer ce qu'il faut :

- . surveiller,
- . suivre,
- . mesurer.

Les critères pour la conception d'un réseau piézométrique au Bénin sont les suivants :

- . En zone de socle :
 - Suivre l'évolution du niveau de la zone fracturée à l'échelle interannuelle afin de déceler les éventuelles baisses de cette nappe, phénomène constaté depuis plusieurs années dans les pays sahéliens.
 - Evaluer la recharge des aquifères discontinus. La corrélation entre les fluctuations piézométriques avec différents paramètres climatiques conduira à évaluer la recharge (en utilisant un modèle hydroclimatologique global tel que l'un des modèles de simulation du bilan hydrique du CIEH).
 - Lorsque des débits importants sont prélevés dans un aquifère de fractures (cas de l'alimentation en eau d'un centre urbain), il faut surveiller la nappe et l'évolution du niveau piézométrique. Dans le cas de l'hydraulique urbaine, les prélèvements ne sont plus négligeables par rapport à la recharge en zone de socle.
- . En zone sédimentaire :
 - Surveillance de la configuration de la surface piézométrique de chaque aquifère principal (essentiellement Continental Terminal et sable du Mestrichtien).
 - Mettre en évidence les zones de recharge, secteurs sensibles où l'environnement est à protéger.

- Appréhender la valeur du seuil pluviométrique d'alimentation de chaque aquifère, ce qui est une donnée essentielle pour estimer les risques au niveau de certains aquifères très sollicités : cas de la nappe du Continental Terminal du plateau de Godomey-Allada exploitée par la SBEE.
- Enfin, fournir un élément supplémentaire permettant de mieux évaluer l'importance des réserves.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

Le principal bénéficiaire sera la Direction de l'Hydraulique qui aura ainsi à sa disposition un outil de surveillance des aquifères lui permettant de prendre les dispositions pour assurer une meilleure gestion des ressources en eaux souterraines.

3.2 Bénéficiaires désignés

La mise en place de ce réseau de mesure permettra à tous les utilisateurs d'eau souterraine, actuels ou à venir, de mieux planifier l'exécution des ouvrages de captage.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé en collaboration avec la Direction de l'Hydraulique et, plus particulièrement, le Service des Etudes d'Hydrogéologie.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Le travail pour l'exécution des piézomètres sera fait par le matériel et les équipes de forage de la Direction de l'Hydraulique ou, en cas d'indisponibilité, par une entreprise privée.

Le suivi technique des travaux sera assuré par la Direction de l'Hydraulique.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

La qualité du personnel disponible à la Direction de l'Hydraulique est relativement bonne : elle permettra d'assurer un niveau raisonnable à l'exécution des tâches envisagées ici.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays est actuellement en développement.

Cependant, il n'y a aucun indice laissant craindre que le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie formé par le projet cherche un emploi ailleurs.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposé à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée pour assurer que les retards de démarrage ou la remise tardive des résultats d'un projet n'entraînera pas de retard dans le démarrage ou l'exécution des autres projets complémentaires.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

Le complément d'installation nécessaire à la mise en place d'un réseau piézométrique minimum de prévention comportera :

6.1.1 Pour surveiller la nappe du Continental Terminal

Sur le réseau mis en place par le projet PNUD, un examen des données piézométriques disponibles permettra de sélectionner les 5 piézomètres qui présentent les plus grandes fluctuations de niveau d'eau : pour ces 5 piézomètres, l'équipement sera complété par un limnigraphe.

6.1.2 Réseau de surveillance complémentaire nécessaire pour la nappe du Continental Terminal

Le réseau actuel doit être complété par 20 piézomètres supplémentaires réalisés avec les techniques suivantes :

- . Foration du Continental Terminal en ϕ 8"1/2 au rotary à la boue.
- . Mise en place d'une colonne en PVC 50/63 comportant des éléments crépinés au droit de l'aquifère, des centreurs et un bouchon de pied.
- . L'espace annulaire sera comblé de bas en haut par du gravier roulé, fin, quartzitique jusqu'à 5 m au-dessus de la dernière crépine, 2 m de sable fin, du tout-venant et enfin cimenté sur les 2 derniers mètres.
- . Construction d'une superstructure comportant un tube métallique avec capot vissant et socle de ciment.
- . 5 de ces piézomètres seront équipés d'un limnigraphe.
- . Nivellement de l'ouvrage.

6.1.3 Réseau de surveillance complémentaire nécessaire en zone de socle

Il n'y a que 4 piézomètres existant dans la région de Natitingou.

Actuellement, le projet BID a recensé un certain nombre de puits où il effectue des mesures de niveau d'eau.

Ces ouvrages ne peuvent pas être considérés comme piézomètres car ils sont exploités.

Compte tenu des objectifs qu'il faut se fixer en zone de socle et décrits ci-dessus, la mise en place d'un réseau piézométrique est indispensable :

- . 8 piézomètres dans l'Atacora,
- . 6 piézomètres dans le Borgou,
- . 4 piézomètres dans le Zou.

Pour implanter ces piézomètres, une étude déterminera quelles sont les unités hydrogéologiques qu'il convient de surveiller. Pour cela, on s'appuiera sur les résultats des mesures piézométriques faites par le projet BID sur les 200 points d'eau répartis dans tout le pays.

Les techniques de réalisation seront les suivantes :

- . Foration des altérations en ϕ 9"7/8 ou 10".
- . Mise en place d'un tubage provisoire 8".
- . Forage dans le socle au marteau fond de trou 6"1/2.
- . Mise en place d'une colonne en PVC 50/63 comportant des éléments crépinés au droit des venues d'eau et un bouchon de pied.
- . L'espace annulaire sera comblé de bas en haut par du gravier roulé, fin, quartzitique jusqu'à 5 m au-dessus de la dernière crépine, 2 m de sable fin, du tout-venant et enfin cimenté sur les 2 derniers mètres.
- . Construction d'une superstructure comportant un tube métallique avec capot vissant et socle de ciment.
- . 5 de ces piézomètres seront équipés d'un limnigraphe.
- . Nivellement de l'ouvrage.

6.1.4 Surveillance du réseau à mettre en place

La Direction de l'Hydraulique met actuellement en place un suivi périodique des points d'eau villageois, visant à contrôler l'état des pompes et le niveau de maintenance assuré par les artisans réparateurs privés.

Le réseau de piézomètre minimum proposé ici doit être implanté pour que sa surveillance puisse se faire dans le cadre des circuits de visite des pompes.

Il est hors de question de prévoir des tournées de mesures spécifiquement pour ce réseau de surveillance, compte tenu des faibles moyens financiers que peut mobiliser la Direction de l'Hydraulique.

Néanmoins, compte tenu des faibles moyens financiers dont dispose actuellement la Direction de l'Hydraulique, et plus spécialement le Service des Etudes d'Hydrogéologie, le projet doit prendre en charge le fonctionnement d'une équipe chargée de surveiller le réseau piézométrique mis en place pendant 2 ans.

6.2 Budget schématique

	Coût US\$
Exécution à l'entreprise ou en régie de 38 piézomètres de 60 m de profondeur, soit 2280 m x 250 (y compris amenée du matériel, installation sur chaque site, foration, équipement, développement et toutes sujétions)	570 000
Fourniture et installation de 15 stations limnigraphiques	55 000
Mise à disposition d'un Consultant pour :	
- implantation du réseau de piézomètres,	
- contrôle de l'installation du limnigraphe,	
- organisation de la surveillance du réseau,	
1,5 mois de Consultant en 2 missions x 20 000 \$	30 000
Frais de logement et de déplacement locaux	6 750
Billets d'avion : 2 x 2600 \$	5 200
Suivi technique de la Direction de l'Hydraulique et surveillance du réseau de piézomètre :	
- achat d'un véhicule tout terrain	22 000
- indemnité pour 1 ingénieur et 1 chauffeur pendant 24 mois	22 000
- fonctionnement et entretien du véhicule pendant 24 mois x 2200 \$	52 800
- frais de camping	1 500
- divers et consommables	3 750
Total	769 000

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/12

TITRE PROPOSE : Actualisation de la carte hydrogéologique du Bénin

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement et des Transports (Direction de l'Hydraulique)

DUREE ESTIMEE : 4 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 220 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Depuis 1984, le Bénin a initié plusieurs études permettant d'avancer vers une évaluation précise des ressources en eaux souterraines du pays. Les principales étapes sont :

- . Etablissement de la carte hydrogéologique du Bénin en 1985 (1/500 000 ensemble du Bénin, 1/200 000 bassin sédimentaire côtier, avec notices explicatives).
- . Contribution à l'étude des ressources en eau souterraine du bassin côtier du Bénin. Confrontation ressources-besoins (projet BEN 85/004, P. PALLAS, 1988).
- . Préparation du Plan Directeur des ressources en eau du bassin sédimentaire au Sud du Bénin (projet BEN 85/004, HASCOET, 1988).
- . Assistance à la Direction de l'Hydraulique pour la préparation d'un Plan Directeur des ressources en eau. Conclusions et recommandations du projet (projet BEN 85/004, PNUD, 1990).
- . Inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin (projet BID, 1990).

L'objectif du Bénin est, aux termes de toutes ces études, l'élaboration d'un Plan Directeur national d'aménagement des ressources en eau.

1.2 Objectif du projet

Dans le domaine de la cartographie hydrogéologique, le document le plus récent est la carte élaborée en 1985 dans le cadre d'un projet FED.

Ce document a été élaboré à partir des données existantes, soit environ 1300 forages.

Le pays a été découpé en unités hydrogéologiques : dans certaines d'entre elles, il n'y avait pas (ou très peu de données), notamment dans le bassin sédimentaire côtier. Maintenant, il est nécessaire d'actualiser cette carte pour les raisons suivantes :

- . Près de 4000 captages (forages et puits modernes) sont recensés avec toutes les données de base.
- . Plusieurs projets d'alimentation en eau ont été amenés à conduire des réflexions sur les potentialités du bassin en matière de ressources en eau.

Cette masse importante de données doit être synthétisée par une nouvelle carte hydrogéologique, élaborée en utilisant les procédés actuels de DAO permettant de disposer de documents cartographiques actualisables.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

- . L'élaboration d'une carte hydrogéologique actualisable pour le Bénin nécessite que les recommandations suivantes soient respectées :
 - Réalisation d'une synthèse géologique à l'échelon national, ceci afin de disposer d'un fond géologique fiable.
 - Mise en place d'une banque de données hydrogéologiques avec toutes les informations disponibles à l'échelle du pays, ceci pour faire tous les traitements statistiques indispensables à l'élaboration d'une carte.
 - Réalisation de la campagne de prélèvements des eaux souterraines pour analyses afin d'intégrer le paramètre qualité.
 - Enfin, publication des résultats de l'étude "inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin" (projet BID).
- . Fournir l'équipement et le mettre en place, dotant ainsi la Direction de l'Hydraulique des moyens lui permettant d'actualiser régulièrement la carte hydrogéologique du Bénin.
- . Formation du personnel béninois à l'élaboration de cartes et à l'utilisation de logiciels de DAO.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

En premier lieu, le principal bénéficiaire sera la Direction de l'Hydraulique qui aura accès à un équipement et à un logiciel modernes lui permettant de disposer de documents cartographiques actualisables.

Le projet intéressera tous les intervenants dans le domaine des ressources en eau souterraine : les utilisateurs et les planificateurs.

3.2 Bénéficiaires désignés

Dans le domaine du développement des ressources en eau, le projet bénéficiera à tous ceux pour qui l'utilisation de l'eau constitue une composante obligatoire de leurs projets :

- . alimentation en eau potable des populations,
- . eau industrielle,
- . abreuvement du cheptel,
- . besoins en eau pour l'agriculture.

Dans d'autres domaines liés au développement du Bénin :

- . mise en valeur des ressources naturelles,
- . aménagement,
- . environnement.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé en collaboration avec le Service des Etudes d'Hydrogéologie de la Direction de l'Hydraulique. Il emploiera un Bureau d'Etudes spécialisé en hydrogéologie qui organisera la fourniture de l'équipement et définira le programme de formation. Il travaillera en étroite collaboration avec ses homologues pour traiter et exploiter toutes les données disponibles et pour concevoir la carte hydrogéologique.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Les activités proposées par le projet sont telles qu'elles ne peuvent être réalisées qu'après exécution des recommandations faites à la suite de l'évaluation hydrologique et énoncées ci-dessus au paragraphe 2.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

La qualité du personnel disponible à la Direction de l'Hydraulique est relativement bonne : elle permettra d'assurer un niveau raisonnable à l'exécution des tâches envisagées ici.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays est actuellement en développement.

Cependant, il n'y a aucun indice laissant craindre que le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie formé par le projet cherche un emploi ailleurs.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposé à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée pour assurer que les retards dans le démarrage ou la remise tardive des résultats d'un projet n'entraîne pas de retard dans le démarrage ou l'exécution des autres projets complémentaires.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

Le projet respectera les échelles des deux feuilles qui composent la première version de la carte hydrogéologique du Bénin :

- Digitalisation de la carte au 1/500 000 pour l'ensemble du pays, ce qui correspond à l'échelle de la carte géologique de synthèse dont l'exécution est recommandée.
- Digitalisation de la carte au 1/200 000 pour le bassin sédimentaire côtier, ce qui donne un format de carte pouvant contenir toutes les informations.

Après digitalisation du fond topographique et de la minute de la carte hydrogéologique, les données sont disponibles sous forme de fichiers graphiques informatiques permettant l'édition directe de cartes en couleur. La production de ces documents au moyen d'un système digital remplacera l'établissement des cartes par la méthode traditionnelle.

Concernant les caractéristiques des supports physiques, leur format doit être compatible avec les matériels courants : disquettes 5"1/4 ou 3"1/2, bandes magnétiques ou tout autre support physiquement compatible avec les stations de travail et micro-ordinateur qui auront à traiter ces données ultérieurement.

Il est nécessaire de prévoir de tester l'intégrité des supports physiques : relecture et comparaison des fichiers.

Les fichiers graphiques doivent permettre d'éditer des cartes allant jusqu'au format A0 sur les traceurs disponibles sur le marché, compatibles avec AUTOCAD (marque déposée).

Concernant l'édition des cartes, pour avoir un document de très bonne qualité, les tracés doivent être réalisés avec un traceur à plumes choisi parmi les plus performants, soit avec un traceur électrostatique couleur dont la résolution est de 400 points par pouce.

6.2 Budget schématique

National	International	Coût US\$
Personnel (indemnités de terrain)		
2 ingénieurs hydrogéologues et personnel d'appui (technicien)		8 000
	1 ingénieur hydrogéologue 4 mois en 2 missions	80 000
	Frais de logement et de déplacements locaux	18 000
	Billets d'avion : 2 x 2600 \$	5 200
Equipement		
Achat des fonds topographiques		1 000
1 station de travail ou micro-ordinateur 486		20 000
1 logiciel DAO		20 000
1 traceur couleur		30 000
Consommables et divers		10 000
Fonctionnement		
Digitalisation des fonds de la carte hydrogéologique		18 000
Sorties papier format A0 en 50 ex.		3 600
Formation		
2 ingénieurs pendant 10 jours à l'étranger		1 000
Billets d'avion : 2 x 2600 \$		5 200
Total		220 000

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le Bureau d'Etudes aura une très bonne expérience en hydrogéologie et dans le domaine particulier de la cartographie évolutive assistée par ordinateur.

Le Chef de projet, mis en place par le Bureau d'Etudes, organisera l'acquisition du matériel nécessaire, définira le programme de formation du personnel béninois affecté au projet.

Il participera à la formation du personnel, à l'utilisation de l'équipement et du logiciel et à la conception de cartes hydrogéologiques. En étroite collaboration avec ses homologues, il définira la conception de la carte hydrogéologique.

Annexe B

FORMATION

La formation concernera 2 ingénieurs hydrogéologues du Service des Etudes d'hydrogéologie et se fera en 2 temps :

- . Stage de 10 jours au siège du Bureau d'Etudes pour se familiariser avec le matériel et le logiciel.
- . Formation pratique au Bénin pendant la présence de l'hydrogéologue du Bureau d'Etudes.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter consistera en matériel et logiciel informatique. Une évaluation préliminaire de l'équipement nécessaire est présentée ci-dessous.

Celle-ci sera précisée par l'expert du Bureau d'Etudes :

- . 1 station de travail ou 1 micro-ordinateur 486,
- . 1 logiciel de DAO,
- . 1 traceur couleur,
- . consommables.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/13

TITRE PROPOSE : Mise en place d'un modèle mathématique de la nappe du Continental Terminal alimentant Cotonou

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Équipement et des Transports (Direction de l'Hydraulique)

DUREE ESTIMEE : 8 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 340 000 US\$

COÛT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Depuis 1984, le Bénin a initié plusieurs études permettant d'avancer vers une évolution précise des ressources en eaux souterraines du pays. Les principales étapes sont :

- . Etablissement de la carte hydrogéologique du Bénin en 1985 (1/500 000 ensemble du Bénin, 1/200 000 bassin sédimentaire côtier avec notices explicatives).
- . Contribution à l'étude des ressources en eau souterraine du bassin côtier du Bénin. Confrontation ressources-besoins (projet BEN 85/004, P. PALLAS, 1988).
- . Préparation du Plan Directeur des ressources en eau du bassin sédimentaire au Sud du Bénin (projet BEN 85/004, HASCOET, 1988).
- . Assistance à la Direction de l'Hydraulique pour la préparation d'un Plan Directeur des ressources en eau. Conclusions et recommandations du projet (projet BEN 85/004, PNUD, 1990).
- . Inventaire des ressources en eaux souterraines du Bénin (projet BID, 1990).

L'objectif du Bénin est, aux termes de toutes ces études, l'élaboration d'un Plan Directeur national d'aménagement des ressources en eau.

1.2 Objectif du projet

Dans le cadre d'un Plan Directeur national, une évaluation précise des ressources en eau est nécessaire.

Les estimations actuellement disponibles sur les ressources en eau souterraine du bassin sédimentaire côtier, et plus précisément du Continental Terminal, sont bien supérieures aux besoins actuels pour l'alimentation humaine.

Cette apparente abondance de ressources est toutefois soumise à des contraintes dès que les prélèvements sont concentrés à proximité de la côte ou de la lagune Nokoué ou du lac Ahémé dont les eaux présentent une salinité non négligeable.

Malgré l'imprécision des données et le manque de suivi dans le temps, le modèle mathématique qui a fonctionné dans le cadre du projet PNUD a montré le risque d'une contamination de la nappe d'Allada-Godomey par de l'eau salée à partir de l'an 2000, compte tenu de l'évolution prévisible des prélèvements dans la nappe du Continental Terminal pour alimenter Cotonou.

Pour l'alimentation de Cotonou, les prélèvements dans la nappe du Continental Terminal sont actuellement de 7 millions de m³ par an.

Ils passeront à 24 millions de m³ par an l'an 2000 et à 35 millions de m³ par an en 2005.

Devant cette situation, il est nécessaire de disposer dès maintenant des moyens de surveillance du comportement de la nappe du Continental Terminal.

L'objectif du projet est de mettre en place un modèle mathématique de simulation du comportement de la nappe en tant qu'outil de surveillance et d'aide à la décision, notamment en ce qui concerne la protection de cette nappe.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

L'intérêt de mettre en place un modèle mathématique de la nappe du Continental Terminal, actuellement la plus fortement exploitée, est :

- . mieux cerner le degré de pénétration actuel du biseau salé,
- . préciser le bilan des apports, des pertes en mer et du potentiel exploitable,
- . évaluer les prélèvements possibles sans déséquilibre de la nappe et garantir la pérennité de l'exploitation des ressources,
- . identifier et proposer des solutions pour la réduction de la pénétration saline,
- . fournir des éléments dynamiques de gestion des eaux souterraines et des moyens de contrôle permanent.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

Le principal bénéficiaire sera la Direction de l'Hydraulique qui aura à sa disposition un outil lui permettant de mettre en application l'une de ses attributions : définition de la politique de l'eau, détermination des plans d'aménagement et de collecte des ressources en eau et de leur distribution.

3.2 Bénéficiaires désignés

Le projet permettra à la SBEE (Société Béninoise d'Eau et d'Electricité) de mieux planifier l'extension des prélèvements dans cet aquifère, garantissant ainsi une meilleure protection de la ressource en eau dans cette zone.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé en collaboration avec la Direction de l'Hydraulique.

Il bénéficiera de l'appui technique d'un Bureau d'Etudes spécialisé en modélisation mathématique.

3.4 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le présent projet devra tenir compte des résultats attendus de la modélisation mathématique du cordon littoral en cours de réalisation dans le cadre de l'inventaire des ressources en eaux souterraines (projet BID).

La modélisation de l'aquifère d'Allada-Godomey ne pourra intervenir qu'après exécution des 20 piézomètres supplémentaires prévus et suivi de ces 20 points d'observation pendant 1 cycle hydrologique complet (1 an).

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

La qualité du personnel disponible à la Direction de l'Hydraulique est relativement bonne : elle permettra d'assurer un niveau raisonnable à l'exécution des tâches envisagées ici.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays est actuellement en développement.

Cependant, il n'y a aucun indice laissant craindre que le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie formé par le projet cherche un emploi ailleurs.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposé à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée pour assurer que les retards dans le démarrage ou la remise tardive des résultats d'un projet n'entraînera pas de retard dans le démarrage ou l'exécution des autres projets complémentaires.

6. INTERVENTIONS

6.1 Sommaire des interventions

6.1.1 Collecte de données, synthèse hydrogéologique

Pour permettre la construction d'un tel modèle en tant qu'outil de surveillance et d'aide à la décision, une étape préliminaire s'impose : les données disponibles sont encore trop imprécises pour pouvoir faire l'objet d'un traitement sur modèle. Il convient d'abord de faire une synthèse hydrogéologique en mettant l'accent sur la qualité des données et sur leur vérification.

Cette synthèse sera faite par un Consultant hydrogéologue (2 mois de mission au Bénin).

6.1.2 Modélisation

Plusieurs types de modèles seront mis en oeuvre :

- a. Des modèles utilisables sur micro-ordinateur et mis à la disposition de la Direction de l'Hydraulique.

Dans ces modèles, l'hypothèse d'une interface franche eau douce-eau salée est généralement admise (hypothèse de Gyben- Herzberg).

Des modèles "gigognes" permettront une modélisation adaptée au système aquifère général d'une part et des représentations locales.

- b. Des modèles plus complexes permettant de représenter la forme exacte et l'étendue du secteur touchés par les eaux salées et saumâtres.

Le modèle utilisé permettra de déterminer les échanges d'eau entre les divers niveaux aquifères et les risques de pénétration saline à long terme, par remontée des eaux des nappes profondes. Ce modèle sera utilisé pour mieux connaître le fonctionnement global du système aquifère et pour améliorer le réglage du modèle du type a. défini ci-dessus.

Le modèle qui sera mis en place sera un code de calcul bidimensionnel dans un plan vertical, permettant la simulation :

- . des écoulements souterrains transitoires en milieu saturé et/ou non saturé,
- . du transport (convection-diffusion) d'un champ de concentration par l'écoulement,
- . de l'influence sur l'écoulement des variations de densité de l'eau induites par le champ de concentration (eau salée) ; les équations de l'écoulement et du transport sont donc couplées,
- . d'ouvrages tels que puits, drains et tranchées.

Le domaine de calcul peut être à symétrie radiale ou à symétrie plane.

Le modèle utilisera un schéma aux différences finies à pas fractionnaires sur un maillage rectangulaire.

6.2 Budget schématique

National	International	Coût US\$
Personnel		
2 Ingénieurs hydrogéologues pendant 10 mois		p.m.
Salaire		
	Synthèse hydrogéologique :	
	1 hydrogéologue 2 mois x 20 000 \$	40 000
	Frais de logement et de placement locaux	9 000
	Avion	2 600
	Construction des modèles au siège du Bureau d'Etudes, identification des risques d'intrusion saline. Définition des scénarios d'exploitation envisageable	80 000
	Réglage des modèles au siège du Bureau d'Etudes et calcul de l'intrusion saline	40 000
	Installation des logiciels à Cotonou	16 500
	Billet avion	2 600
	Frais de logement et de déplacement locaux	1 200
	Calculs de 5 scénarios d'exploitation	64 000
	Frais de logement et de déplacement locaux	4 100
Equipement		
Matériel informatique		30 000
Aménagement d'un bureau		10 000
Consommables et divers		5 000
Formation		
3 mois de stage pour 2 ingénieurs au siège du Bureau d'Etudes		35 000
Total		340 000

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

L'exécution du projet sera confiée à un Bureau d'Etudes ayant une très grande expérience de la modélisation mathématique appliquée à l'hydrogéologie.

L'intervention du Bureau d'Etudes comportera :

- un hydrogéologue pendant 2 mois au Bénin pour la collecte des données et faire la synthèse hydrogéologique,
- la construction des modèles et leurs réglages au siège du Bureau d'Etudes,
- l'installation des logiciels au Service des Etudes d'Hydrogéologie à Cotonou,
- la formation de 2 ingénieurs hydrogéologues du Service des Etudes d'Hydrogéologie.

Annexe B

FORMATION

La formation concernera 2 ingénieurs hydrogéologues du Service des Etudes d'Hydrogéologie et comportera :

- . un stage de 3 mois au siège du Bureau d'Etudes pour la construction et le réglage des modèles,
- . une formation pratique lors de l'installation des logiciels à Cotonou.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter consistera en matériel informatique.

Une évaluation préliminaire est donnée ci-dessous ; celle-ci sera précisée par le Bureau d'Etudes qui sera désigné :

- . 1 micro-ordinateur 486,
- . 1 table traçante,
- . logiciels,
- . consommables et divers.

DOCUMENT DE PROJET

PAYS : Bénin

DATE : Août 1992

PROJET N° : BEN/14

TITRE PROPOSE : Informatisation de la Documentation
de la Direction de l'Hydraulique

STRUCTURE GOUVERNEMENTALE IMPLIQUEE : Ministère de l'Equipement
et des Transports (Direction
de l'Hydraulique)

DUREE ESTIMEE : 6 mois

CONTRIBUTION INTERNATIONALE DEMANDEE : 187 000 US\$

COUT DE LA CONTREPARTIE LOCALE : A calculer

SOURCE DE FINANCEMENT : A décider

1. BUT DU PROJET ET SES LIENS AVEC LE PROGRAMME NATIONAL

1.1 Programme pour le pays

Compte tenu du développement prévisible de la mobilisation des ressources en eau, le Bénin réalise actuellement des études ayant pour objectif l'établissement d'un Plan Directeur national d'aménagement des ressources en eau. Pour le mener à bien, la Direction de l'Hydraulique, responsable de cette tâche, doit collecter toutes les informations et toutes les données relatives aux ressources en eau.

Pour faciliter ce travail, un Comité National de l'Eau a été mis en place : son rôle est de définir les mesures à prendre pour institutionnaliser la coordination entre tous les intervenants dans le domaine de l'eau.

L'un des éléments essentiels de cette coordination est d'assurer la transmission de tous les renseignements et données sur l'eau et l'hydraulique à la Direction de l'Hydraulique.

C'est la Direction de l'Hydraulique qui doit détenir la banque de données sur l'eau au Bénin.

Cette coordination doit être complétée par l'institution d'un secrétariat technique au sein de la Direction de l'Hydraulique, chargé de fournir les services voulus au Comité National de l'Eau.

Dans l'immédiat, en attendant une prise de position sur ces propositions formulées déjà dans le cadre du projet BEN 85/004, il est indispensable que la Direction de l'Hydraulique soit en contact avec tous les organismes (publics ou privés) intervenant dans le domaine de l'eau et de l'hydraulique afin de recueillir toutes les informations pour compléter la banque de données informatisées.

1.2 Objectif du projet

Une banque de données régulièrement mise à jour et une documentation complète sur toutes les études de ressource en eau faites au Bénin doivent devenir très rapidement des éléments indispensables pour la conception et l'orientation des projets futurs.

Ainsi, la recherche de toutes les données concernant les potentialités en eau d'une région bien déterminée constitue actuellement au Bénin une opération longue et complexe exigeant la consultation de nombreuses archives détenues par plusieurs services qui ne sont pas toujours décidés à mettre ces documents à la disposition du visiteur.

La Direction de l'Hydraulique, chargée de centraliser toutes les données, doit aussi assurer la diffusion des informations auprès de tous les intervenants dans le domaine de l'eau qui sont demandeurs.

La documentation de la Direction de l'Hydraulique comporte :

- . la bibliothèque qui contient de multiples rapports avec d'abondantes données techniques sur les ressources en eau,
- . les archives administratives de la Direction de l'Hydraulique.

Actuellement, il n'y a pas de base données documentaires informatisée. Les documents sont recensés grâce à un fichier manuscrit.

La réorganisation et le bon fonctionnement du fichier manuel ont été revus dans le cadre du projet PNUD BEN/85/004.

La documentation de la Direction de l'Hydraulique doit recevoir, répertorier et classer un exemplaire de tous les rapports techniques sur les projets exécutés au Bénin : études de faisabilité, rapports d'avancement, rapports de fin de projet.

Le présent projet vise à compléter la collecte et le rassemblement de tous les documents et rapports existants et à mettre en place une base de données documentaires informatisée.

2. ELEMENTS LES PLUS IMPORTANTS

La centralisation de toute la documentation et des données relatives aux eaux souterraines à la Direction de l'Hydraulique est une première étape nécessaire.

Une fois en place et opérationnelle, la banque de données hydrogéologiques doit être valorisée, c'est-à-dire en mesure d'apporter les éléments de base indispensables à tous les intervenants dans ce secteur permettant une exploitation rationnelle des ressources en eau souterraine.

3. STRATEGIE DU PROJET

3.1 Quelles sont les institutions qui bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet ?

Le principal bénéficiaire sera la Direction de l'Hydraulique dont les différents services seront les premiers utilisateurs de la base de données documentaires informatisées.

3.2 Bénéficiaires désignés

Le projet bénéficiera à tous les intervenants dans le domaine de la mobilisation des ressources en eau : Services techniques des ministères, Société Béninoise d'Eau et d'Electricité, Bureaux d'Etudes.

3.3 Accord pour la mise en oeuvre du projet

Le projet sera réalisé en collaboration avec la Direction de l'Hydraulique.

Il bénéficiera de l'appui technique d'un Consultant documentaliste pendant 6 mois.

3.4 Stratégies alternatives de mise en oeuvre

Les activités proposées par le projet seront développées selon la stratégie décrite ci-dessus.

4. ENGAGEMENT DU PAYS BENEFICIAIRE

4.1 Soutien homologue

La qualité du personnel disponible à la Direction de l'Hydraulique est relativement bonne : elle permettra d'assurer un niveau raisonnable à l'exécution des tâches envisagées ici.

4.2 Accords légaux et déploiement futur du personnel

Le secteur privé du pays est actuellement en développement.

Cependant, il n'y a aucun indice laissant craindre que le personnel du Service des Etudes d'Hydrogéologie formé par le projet cherche un emploi ailleurs.

5. RISQUES

Ce projet fait partie d'un groupe de projets nationaux et régionaux proposé à la suite de l'évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée pour assurer que les retards dans le démarrage ou la remise tardive des résultats d'un projet n'entraîne pas de retard dans le démarrage ou l'exécution des autres projets complémentaires.

6. INTERVENTIONS

6.2 Sommaire des interventions

Faisant suite à la réorganisation de la documentation faite dans le cadre du projet BEN 85/004, il y a lieu de la rendre encore plus opérationnelle avec les actions suivantes :

- a. Mise à disposition d'un documentaliste ayant une expérience professionnelle suffisante de l'informatique, pendant 6 mois.
- b. Acquisition d'un micro-ordinateur 386 SX NORMEREL avec 1 imprimante LQ 1050 à grand chariot, 1 co-processeur 387 SX, 1 extension de mémoire à 4 Mo, un logiciel de gestion de base de données documentaires, 1 onduleur, 1 photocopieuse.
- c. Quelques aménagements doivent être apportés à la documentation : installation de 2 climatiseurs pour garantir une meilleure protection des documents. Aménagement d'un endroit réservé à la consultation des documents sur place.
- d. Formation pratique d'un documentaliste à la gestion d'une documentation informatisée, complétée par des cours d'initiation à l'informatique pendant 3 mois à Cotonou.

6.2 Budget schématique

National	International	Coût US\$
Personnel		
1 documentaliste pendant 6 mois		p.m.
	1 consultant documentaliste 6 mois x 20 000 \$	120 000
	Frais de logement	6 000
	Billet d'avion	2 600
Equipement		
Matériel informatique		20 000
Matériel de bureau		6 600
1 véhicule		15 000

National	International	Coût US\$
Fonctionnement		
Véhicule : 6 mois x 2200 \$		13 200
Consommables, divers : 6 mois x 400 \$		2 400
Formation		
Cours d'initiation à l'informatique pour 1 documentaliste		1 200
Total		187 000

Annexe A

PERSONNEL INTERNATIONAL

Le Consultant documentaliste devra avoir une expérience professionnelle suffisante de l'informatique pour mettre au point le logiciel de gestion de la base de données documentaires adapté au besoin de la Direction de l'Hydraulique.

Il aura pour tâche :

- . achever la collecte de tous les documents existants,
- . poursuivre l'organisation de la bibliothèque,
- . concevoir le fichier informatique,
- . former son homologue.

Annexe B

FORMATION

La formation concernera un documentaliste de la Direction de l'Hydraulique et se fera en 2 temps :

- . Stage d'initiation à l'informatique et à l'utilisation de dBASE III+ (3 mois de cours à Cotonou à raison de 2 séances par semaine).
- . Formation pratique pendant 6 mois en qualité d'homologue du Consultant documentaliste.

Annexe C

EQUIPEMENT

L'équipement à acheter consistera en matériel informatique et en matériel permettant d'équiper le local où se trouve la documentation. Une évaluation préliminaire est donnée ci-dessous. Celle-ci sera précisée par le Consultant documentaliste :

- . Un micro-ordinateur NORMEREL 386 SX.
- . Une imprimante LQ 1050 à grand chariot.
- . Un co-processeur 387 SX.
- . Une extension de mémoire à 4 Mo.
- . Un logiciel de gestion de base de données documentaires.
- . Un onduleur.
- . Une photocopieuse.
- . Deux climatiseurs.
- . Mobiliers.

(La marque et le type de matériel informatique ont été identifiés en fonction du matériel existant à la Direction de l'Hydraulique ou sur le point d'être acheté dans le cadre du projet PNUD).

Annexe C
BIBLIOGRAPHIE

La liste des principaux documents bibliographiques relatifs aux ressources en eau du Bénin est donnée ci-après.

La description de chaque document comporte les éléments suivants :

1. Pays.
2. Auteurs.
3. Client.
4. Date de publication.
5. Titre de la publication.
6. Disponibilité où les codes de disponibilité sont les suivants :

M = document détenu par Mott Mac Donald,

B = document détenu par BCEOM,

S = document détenu par SOGREAH,

O = document détenu par ORSTOM,

N = document non collecté mais noté.

7. Archivage = lieu dans le pays où le document peut être consulté (ministère, service, etc.).
8. Objet du document (thème) :

CLIMAT = climatologie, pluviométrie,

HYDROL = hydrologie, rivière,

GEOLOG = géologie,

AQUIFR = hydrogéologie, ressources en eau souterraine,

QUALIT = qualité des eaux, traitement,

FORAGE = résultats de travaux de forage,

DIVERS.

9. Type de document :

1 = étude générale, faisabilité, plan directeur,

2 = carte,

3 = annuaire, recueil de données brutes, coupes de forage, mesures de géophysique, relevés divers,

4 = rapport de Consultant, rapport de fin de projet, rapport de synthèse,

5 = autre.

La liste des documents intéressant le Bénin est donnée ci-après par année de publication.

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

FAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
** BENIN BENIN	SOFRELEC, EDF-Igéco, ORSTOM, SEDES,		0 AMENAGEMENT DU BASSIN DU MONO - RAPPORT FINAL. DOSSIER I : RESUMES ET CONCLUSIONS. DOSSIER II : MEMOIRE. DOSSIER III : ANNEXES. DOSSIER IV : PLANS ET GRAPHIQUES.	O	HYDROL	4
BENIN	BESAIRE H.		1943 CONTRIBUTION A L'ETUDE STRATIGRAPHIQUE ET STRUCTURALE DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES DU BAS DAHOMEY	N DH	GEOLOG	1
BENIN	SLANSKY M.		1951 CONTRIBUTION A L'ETUDE GEOLOGIQUE DU BAS DAHOMEY	N DH	GEOLOG	1
BENIN	SLANSKY M.	SERVICE HYDRAULIQUE	1955 RAPPORT PROVISOIRE SUR LE FORAGE DE SEHOUE	N DH	FORAG	3
BENIN	SLANSKY M.		1956 LE FORAGE DE BOPA (DAHOMEY)	N DH	FORAG	3
BENIN	MARCHAND J.	SERVICE HYDRAULIQUE	1956 LES SONDAGES DE GRAND POPO (DAHOMEY)	N DH	FORAG	3
BENIN	MARCHAND J.	SERVICE HYDRAULIQUE	1956 RAPPORT PROVISOIRE SUR LE FORAGE D'ILLEMON (DAHOMEY)	N DH	FORAG	3
BENIN	SLANSKY M.	SERVICE HYDRAULIQUE	1956 LE FORAGE D'ODOMETA (DAHOMEY)	N DH	FORAG	3
BENIN	SLANSKY M.	SERVICE HYDRAULIQUE	1956 LE FORAGE D'AHIZA-BENOU (DAHOMEY)	N DH	FORAG	3
BENIN	FOUGNET R., PICARD P., SLANSKY M.		1957 CARTE GEOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE AU 1/500.000. FEUILLES DE PARAKOU ET DE PORTO NOVO EST	N DH	GEOLOG	2
BENIN	SLANSKY M.		1959 HYDROGEOLOGIE DU BAS DAHOMEY ET DU BAS TOGO	N DH	AQUIF	1
BENIN	ORSTOM, Service Hydrologique		1960 ETUDES HYDROLOGIQUES DE PETITS BASSINS VERSANTS AU DAHOMEY - RAPPORT GENERAL.	O	HYDROL	4
BENIN	J. COLOMBANI et R. FAUCK - ORSTOM		1960 ETUDES HYDRO-PEDOLOGIQUES DU BASSIN EXPERIMENTAL DE BOUKOMBE - RAPPORT PROVISOIRE.	O	HYDROL	4
BENIN	ORSTOM, Service Hydrologique		1960 ETAT D'AVANCEMENT DES ETUDES HYDROLOGIQUES DANS LA REPUBLIQUE DU DAHOMEY.	O	HYDROL	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE	TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	FERRAUD A. (C.G.G.)		1961	PROSPECTION HYDROGEOLOGIQUE DE LA BORDURE NORD DU BASSIN SEDIMENTAIRE DU BAS DAHOMEY	N	DH	AQUIF	1
BENIN	J. COLOMBANI - ORSTOM		1961	EAPPOT D'ACTIVITE ANNUEL - ETUDES HYDROLOGIQUES - ANNEE 1960.	N		HYDROL	4
BENIN	ORSTOM, Service hydrologique		1961	ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DU DAHOMEY.	O		HYDROL	3
BENIN	SLANSKY M.		1962	CONTRIBUTION A L'ETUDE GEOLOGIQUE DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER DU DAHOMEY ET DU TOGO	N	DH	GEOLOG	1
BENIN	J. COLOMBANI - ORSTOM		1962	RAPPORT D'ACTIVITE ANNUEL - ETUDES HYDROLOGIQUES - ANNEE 1961.	N		HYDROL	4
BENIN	LELONG F.	CIEH	1963	NOUVELLES DONNEES SUR LES NAPPES D'ARENES A LA SUITE D'UNE RECONNAISSANCE HYDROGEOLOGIQUE DU CENTRE NORD DAHOMEY (REGION DE PARAKOU ET DE NIKKI)	S		AQUIF	1
BENIN	J. COLOMBANI - ORSTOM		1963	RAPPORT D'ACTIVITE ANNUEL - ETUDES HYDROLOGIQUES - ANNEE 1962.	N		HYDROL	4
BENIN	A. BOUCHARDEAU et J. COLOMBANI - ORS		1963	LES ETUDES DES EAUX SUPERFICIELLES AU DAHOMEY.	O		HYDROL	4
BENIN	A. BOUCHARDEAU - ORSTOM		1963	ETUDES HYDROLOGIQUES AU DAHOMEY - RAPPORT D'ACTIVITE DU 1.7.62 AU 1.7.63.	N		HYDROL	4
BENIN	J. RODIER et J. SIRCLOULON - ORSTOM		1963	MONOGRAPHIE DE L'OUEME SUPERIEUR". 2 TOMES : 1. FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME - EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE. 2. INTERPRETATION DES RESULTATS D'OBSERVATIONS - ELEMENTS CARACTERISTIQUES DU REGIME.	O		HYDROL	4
BENIN	BOUCHARDEAU, COL OMBANI et ESTRUP		1963	ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DU DAHOMEY - ANNEE 1961.	O		HYDROL	3
BENIN	SERVICE HYDRAULIQUE, UNE SCO		1963	LES ETUDES DES EAUX SUPERFICIELLES AU DAHOMEY. RAPPORT POUR LA REUNION PREPARATOIRE DE LA DECENNIE HYDROLOGIQUE INTERNATIONALE.	O		HYDROL	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

FAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	DE VAUCORBEIL	SERVICE HYDRAULIQUE	1964 COUPES SCHEMATIQUES DES FORAGES POUR RECHERCHE D'EAU EXECUTES EN 1963.1964 DANS LE BAS DAHOMEY	N DH	FORAG	3
BENIN	J. SIRCOULON - ORSTOM		1964 ETUDE HYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS DU TIAPALOU ET DU DODOU : TOME I - BASSIN DU TIAPALOU - TOME II - BASSIN DU DODOU.	O	HYDROL	4
BENIN	BOUCHARDEAU A. BAUDUIN D.		1964 MONOGRAPHIE DU DELTA DE L'OUEME (EDITION PROVISOIRE).	O	HYDROL	4
BENIN	SOFREL., EDF-IGE CO, ORST, SEDES, SOGREAH		1966 AMENAGEMENT DU BASSIN DU MONO - RAPPORT INTERMEDIAIRE.	O	HYDROL	4
BENIN	BOUZID M.		1967 DONNEES HYDROGEOLOGIQUES SUR LE BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER DU DAHOMEY	N DH	AQUIF	1
BENIN	EDF, Division Hydrologique		1967 ETUDE DU DEVELOPPEMENT DE L'ENERGIE ELECTRIQUE AU DAHOMEY ET AU TOGO. RAPPORT DU POINT C - PARTIE 2 - HYDROLOGIE.	O	HYDROL	4
BENIN	Y. BRUNET-MORET - ORSTOM		1967 ETUDE GENERALE DES AVERSES EXCEPTIONNELLES EN AFRIQUE OCCIDENTALE - REPUBLIQUE DU DAHOMEY.	O	CLIMAT	4
BENIN	H. CAMUS, J. COLOMBANI et M. TOURNE		1967 ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DU DAHOMEY - ANNEES 1961-1962-1963-1964-1965.	O	HYDROL	3
BENIN	ORSTOM, Service Hydrologique		1967 ANNUAIRE HYDROLOGIQUE DU DAHOMEY. ANNEES 1961 - 1962 - 1963 - 1964 - 1965.	O	HYDROL	3
BENIN	BENHAM K.G.	ONU	1968 MISSION DE RECONNAISSANCE GEOPHYSIQUE DANS LE CENTRE ET LE NORD EST DU DAHOMEY POUR LE DEVELOPPEMENT DES EAUX SOUTERRAINES	N DH	AQUIF	3
BENIN	J. THIEBAUX - ORSTOM		1969 OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES - RESULTATS DE MESURES, DE DEBITS, DE VITESSES, DE DIRECTIONS, DES COURANTS DANS LA VALLEE DE L'OUEME.	O	HYDROL	3
BENIN	BOUZID M.	FAO/PNUD	1970 DEVELOPPEMENT DE L'UTILISATION DES EAUX SOUTERRAINES AU DAHOMEY. RAPPORT INTERIMAIRE	N DH	AQUIF	1

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	BOUZID M.	FAO/PNUD	1971 DEVELOPPEMENT DE L'UTILISATION DES EAUX SOUTERRAINES AU DAHOMEY. RAPPORT FINAL	N DH	AQUIF	1
BENIN	J. THIEBAUX - ORSTOM		1971 OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES SUR LE DELTA DE L'OUEME.	O	HYDROL	3
BENIN	H. DOSSEUR et J. RODIER - EDF, ORST		1972 PROJET D'AMENAGEMENT HYDROAGRICOLE PILOTE DANS LA VALLEE DE L'OUEME. ETUDE HYDROLOGIQUE. ETUDE FREQUENTIELLE DES CRUES DANS LE LIT MINEUR. ETUDE DES INONDATIONS DANS LE LIT MAJEUR. PREVISION DES CRUES DANS LA BASSE VALLEE.	O	HYDROL	4
BENIN	J. THIEBAUX - ORSTOM		1972 RECUEIL DES GENERALITES SUR L'HYDROLOGIE ET LA CLIMATOLOGIE.	O	HYDROL	4
BENIN	J. THIEBAUX - ORSTOM		1972 DAHOMEY. OBSERVATIONS HYDROMETRIQUES REALISEES AVANT 1971. LA MEKROU à KOMPONGOU. STATION DE JAUGEAGE.	O	HYDROL	4
BENIN	MONIOD, SIRCOULO N, RODIER, COLOMBANI		1972 MONOGRAPHIE DU DELTA DE L'OUEME. 2 TOMES.	O	HYDROL	4
BENIN	IGIF	SBEE	1973 ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LOKOSSA. ETUDE D'IDENTIFICATION	N SBEE	AQUIF	1
BENIN	COSTA-WAKUTI	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE FED	1973 CONSTRUCTION DE 307 PUIITS DANS LE CENTRE ET LE NORD DE LA REPUBLIQUE DU BENIN 2e FED. ETUDE GEOLOGIQUE	N DH	AQUIF	1
BENIN	Y. BRUNET-MORET - ORSTOM		1973 REPUBLIQUE DU DAHOMEY. PRECIPITATIONS JOURNALIERES DE L'ORIGINE DES STATIONS A 1965.	O	CLIMAT	4
BENIN	SANDERS et INC. THOMAS		1973 ETUDE DE LA 1e PHASE ET ETUDE DEFINITIVE POUR UN NOUVEAU PONT, UN BARRAGE ET LA RENOVATION DU PONT DE COTONOU.	N	HYDROL	4
BENIN	F. MONIOD		1973 REGIME HYDROLOGIQUE DE L'OUEME (DAHOMEY). CAH. ORSTOM, SER. HYDROL., VOL. X, N°2.	O	HYDROL	4
BENIN	NOZERAN-FASQUIER		1976 ECOLOGIE DES MOLLUSQUES DES LAGUNES DU SUD-DAHOMEY. CENTRE D'ETUDES ET RECH. PALEONTOL. BIOSTRATIGR. NOTES ET CONTRIBUTIONS N°11, UNIV. PARIS XI, CENTRE D'ORSAY.	N	HYDROL	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE	TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN		PROJET D'AGRO-PEDOLOGIE	1977	APERCU SUR LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE NIGER DANS LA REPUBLIQUE DU BENIN	N		HYDROL	1
BENIN	FALLAS P.	FAO	1978	POSSIBILITES D'UTILISATION DES EAUX SOUTERRAINES POUR L'IRRIGATION D'UN PERIMETRE PILOTE DANS LA BASSE VALLEE DU MONO	N		AQUIF	1
BENIN		MINIST.DU DEVEL.RURAL ET DE L'ACTION COOP.	1978	DEVELOPPEMENT DU BASSIN DU NIGER EN RPB	N		HYDROL	1
BENIN	DH / FNUD	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1978	PROGRAMME NATIONAL D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE. EVALUATION DES BESOINS EN EAU EN MILIEU RURAL (6 TOMES)	N	DH	DIVERS	3
BENIN	BRGM	OBEMINES	1978	CARTE GEOLOGIQUE AU 1/200.000 DE LA REPUBLIQUE DU BENIN ENTRE LES 9 ^e ET 10 ^e DEGRE DE LATITUDE NORD FEUILLES DE BASSARI-DJOUGOU ET PARAKOU-NIKKI	S	OBEMINES	GEOLOG	2
BENIN	BRGM	CIEH	1979	CARTE DE PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU DU BENIN	N	DH	AQUIF	2
BENIN	CAEB(CONSORTIOM FOUR L'ADDUCT.D'EAU)	MINISTERE DES FINANCES ET DE L'ECONOMIE	1979	ADDUCTION D'EAU ET ELECTRIFICATION DANS 12 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT RAPPORT DE SYNTHESE	N	SBEE	FORAG	3
BENIN		MINIST.DU DEVEL.RURAL ET DE L'ACTION COOP.	1979	DEVELOPPEMENT AGRONOMIQUE DE LA VALLEE DU NIGER AU BENIN. IRRIGATION ET HYDROLOGIE	N		HYDROL	1
BENIN	FERRAND A.	SERVICE DE L'HYDRAULIQUE	1979	PROSPECTION HYDROGEOLOGIQUE DE LA BORDURE NORD DU BASSIN SEDIMENTAIRE DU BAS DAHOMEY	N		AQUIF	1
BENIN	H. TEXIER, C. DOSSOU et B. COLLEUIL		1979	ETUDE DE L'ENVIRONNEMENT LAGUNAIRE DU DOMAINE MARGINO-LITTORAL SUD-BENINOIS. ETUDE HYDROLOGIQUE PRELIMINAIRE DU LAC NOKOUE. BULL. INST. GEOL. BASS. AQUIT., BORDEAUX, N°25.	N		HYDROL	4
BENIN		MINISTERE DES FINANCES ET DE L'ECONOMIE (SBEE)	1980	ADDUCTION D'EAU POUR 6 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT. RESULTAT DE LA CAMPAGNE DE FORAGE	N	SBEE	AQUIF	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE	TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	GEOHYDRAULIQUE	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE FED	1980	EVALUATION DU PROGRAMME HYDRAULIQUE VILLAGEOISE 2e FED. ENQUETE HYDROGEOLOGIQUE	S	DH	AQUIF	4
BENIN	DWSC	SBEE	1980	AEP DE 5 DISTRICTS : ALLADA, APLAHOUÉ, AZOVÉ, DASSA-ZOUMÉ, KANDI-KETOU	N	SBEE	FORAG	4
BENIN	B. MILLET - ORSTOM		1980	ETUDE DU RUISSELLEMENT EN ZONE URBAINE A COTONOU. RAPPORT DE CAMPAGNE 1979.	O		HYDROL	3
BENIN	U. BECK		1980	DIE BINNEN UND LAGUNEN-FISCHEREI DES V.R. BENIN ESCHBORN, GTZ.	N		HYDROL	4
BENIN	M. GAILLARD		1980	ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DES MILIEUX DE MANGROVE DANS LE DOMAINE MARGINO-LITTORAL OCCIDENTAL DU BENIN. LABORATOIRE DE GEOLOGIE, UNIV. DU BENIN, COTONOU.	N		HYDROL	4
BENIN	J. FLIYA		1980	LA PECHE DANS LE SUD-OUEST DU BENIN. AGENCE DE COOPERATION CULTURELLE ET TECHNIQUE, PARIS.	N		HYDROL	4
BENIN	SOGREAH		1980	ETUDE DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE NANGBETO. RAPPORT FINAL. BENIN/TOGO/PNUD-BRD.	S		HYDROL	4
BENIN	TEXIER, COLLEUIL, PROFIZI, DOSSOU		1980	LE LAC NOKOUE, ENVIRONNEMENT DU DOMAINE MARGINO-LITTORAL SUD-BENINOIS : BATHYMETRIE, LITHOFACIS, SALINITE, MOLLUSQUE ET PEUPELEMENTS VEGETAUX. BULL. INST. GEOL. BASS. AQUIT., BORDEAUX, N°28	N		HYDROL	4
BENIN	SOC.GEN. POUR L'INDUST.(SCI)	MIN. DE L'INDUST., DES MINES ET DE L'ENERGIE SBEE	1981	ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE A GODOMEY	N	DH	AQUIF	1
BENIN	GEOHYDRAULIQUE	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE FED	1981	PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DANS LES PROVINCES DE L'ATACORA, DU MONO ET DE L'OUEME 5e FED ETUDE DE FAISABILITE	S	DH	AQUIF	1
BENIN	A.A. AFOUDA, G. ALE et L. VODJI		1981	ETUDE DU RUISSELLEMENT EN ZONE URBAINE A COTONOU. RAPPORT DE CAMPAGNE 1978.	O		HYDROL	3
BENIN	G. DOSSOU		1981	PEUPELEMENT ANIMAUX DES LAGUNES DU BENIN. IN : LA PÊCHE DU BENIN. IN. FO.S.E.C. CAHIERS ETUDES ET DOCUMENTS, 4.	N		HYDROL	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	L. FAGBOHOUN		1981 L'AQUACULTURE ET PROBLEMES DE PECHEES CONTINENTALES. IN : LA PECHE AU BENIN. IN.FO.S.E.C. CAHIERS ETUDES ET DOCUMENTS, 4.	N		HYDROL	4
BENIN	A. KLINGEBIEL		1981 UN EXEMPLE DE LA MOBILITE DU TRAIT DE COTE : LE SYSTME COTIER DU TOGO ET DU BENIN. UNESCO, RAPP. SC. MER, 17.	N		HYDROL	4
BENIN	A. KLINGEBIEL		1981 UN EXEMPLE D'AMENAGEMENT COTIER NON COORDONNE : LA FERMETURE DU CHENAL LAGUNAIRE DE COTONOU(BENIN). UNESCO, RAPP. SC. MER, 17.	N		HYDROL	4
BENIN	DWSC	MINISTERE DE L'INDUSTRIE, DES MINES ET DE L'ENERGIE (SBEE)	1982 ADDUCTION DANS 6 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT. CAMPAGNE DE FORAGES	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	BREDA-EFIM	OBEMINES FED	1982 ETUDE DE CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE ET DE PROSPECTION MINIERE DE RECONNAISSANCE AU NORD DU 11 ^e PARALLELE	S	OBEMINES	GEOLOG	2
BENIN	H. MLATAC - ORSTOM		1982 ETUDES HYDROLOGIQUES MENEES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE. INSTALLATION ET ETALONNAGE DES STATIONS HYDROMETRIQUES DANS LE BASSIN DE L'OUEME. CAMPAGNE 1981.	O		HYDROL	3
BENIN	L. LE BARBE - ORSTOM		1982 ANALYSE DES PROBLMES HYDROLOGIQUES POSES PAR LES OPERATIONS D'EPANDAGE D'INSECTICIDES EFFECTUEES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE.	O		HYDROL	4
BENIN	H. TEXIER et M. BAGLO		1982 DEVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION DU SEL MARIN. RAPPORT UNIV. NAT. DU BENIN. COTONOU.	N		HYDROL	4
BENIN	IGIF-GKW_GRAS	MIN. DE L'INDUSTRIE, DES MINES ET DE L'ENERGIE SBEE BAD	1983 PLAN DIRECTEUR ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE COTONOU. LES RESSOURCES EN EAU	N	SBEE	AQUIF	1
BENIN	SOCIETE GENERALE POUR L'INDUSTRIE		1983 ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE DE GODOMEY. RAPPORT COMPLEMENTAIRE SUR LES PIEZOMETRES (POUR L'ETUDE DU BISEAU SALE)	N	SBEE	AQUIF	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	COMITE NATIONAL D'APPUI A LA DIEPA		1983 PLAN DECENNAL DE DEVELOPPEMENT DU SECTEUR EAU POTABLE ET ASSAINISSEMENT	S	DH	AQUIF	1
BENIN	UNICEF	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1983 PROJET HYDRAULIQUE VILLAGEOISE. CREATION DE 138 POINTS D'EAU DANS LA PROVINCE DU ZOU	N	DH	AQUIF	4
BENIN	J.L. MASLIN		1983 LES MOLLUSQUES BENTHIQUES D'UNE LAGUNE DU SUD-BENIN, LE LAC AHEME : LES FACTEURS DE LEUR REPARTITION, DYNAMIQUE DE POPULATION ET ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE CORBULA TRIGONA.	N		HYDROL	4
BENIN	BOUKARI M.	UNIVERSITE DU BENIN	1984 RAPPORT DE SYNTHESE SUR LES CONNAISSANCES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES DU BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER	N	UNIVERSITE	AQUIF	4
BENIN	BURGEAP	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. CONSEIL DE L'ENTENTE. CCCE	1984 PROGRAMME D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DU CONSEIL DE L'ENTENTE. RAPPORT FINAL DE LA PREMIERE PHASE	S	DH	AQUIF	4
BENIN	IVED(SUISSE)	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1984 MISE EN VALEUR DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE DISTRICT DE OUESSE (PROVINCE DU ZOU). RAPPORT FINAL	S	DH	AQUIF	4
BENIN	IGIP	MIN. DE L'INDUSTRIE, DES MINES ET DE L'ENERGIE SBEE	1984 ADDUCTION D'EAU DANS 13 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT. RAPPORT DE FIN DE TRAVAUX	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	UNICEF	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. FENU /UNDRO	1984 PROGRAMME D'URGENCE DE CREATION DE 31 POINTS D'EAU DANS LE DISTRICT DE SEGBANA. PROVINCE DE BORGOU	N	DH	AQUIF	4
BENIN	GEOHYDRAULIQUE	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1984 EXPERIMENTATION POUR L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE SUD MONO ET LE SUD OUEME	S	DH	AQUIF	1
BENIN	R. GUALDE - ORSTOM, OMS,		1984 ETUDES HYDROLOGIQUES MENEES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE. CAMPAGNE 1984.	O		HYDROL	3
BENIN	B. COLLEUIL		1984 UN MODELE D'ENVIRONNEMENT LAGUNAIRE SOUMIS AUX CONDITIONS DU CLIMAT EQUATORIAL TEMPERE : LE LAC NOKOUE (BENIN). THESE DOCT. D'UNIVERSITE. UNIV. BORDEAUX.	N		HYDROL	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	MIN. DES TR. PUBLICS, CONSTR, HABIT,		1984 RAPPORT DE SYNTHESE, ETUDE DE DEVELOPPEMENT URBAIN DE LA VILLE DE COTONOU.	N		HYDROL	4
BENIN	H. TEXIER		1984 MANAGEMENT OF THE LAGOON SECTOR IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF BENIN. STUDIES AND REVIEWS F.A.O., ROME, N°61,2.	N		HYDROL	4
BENIN	H. TEXIER		1984 L'EVOLUTION HYDROLOGIQUE RECENTE DU LAC NOKOUE(1978-1981), BENIN. TABLE RONDE SUR QUELQUES THEMES DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE EN COOPERATION. USTL. MONTPELLIER.	N		HYDROL	4
BENIN	C.E.B.		1984 ETUDE D'INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDROELECTRIQUES POTENTIELLES DU TOGO ET DU BENIN ET PLAN DIRECTEUR DE DEVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION ET DU TRANSPORT. RAPPORT DEFINITIF.	O		HYDROL	4
BENIN	BURGEAP	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. BANQUE MONDIALE	1985 PREPARATION D'UN PROGRAMME D'HYDRAULIQUE DANS LES PROVINCES DE L'ATLANTIQUE ET DE L'OUEME	N	DH	AQUIF	1
BENIN	FLEURY	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE PNUD/DTCT	1985 PLAN DIRECTEUR DES RESSOURCES EN EAU. LISTE DES FORAGES EN REPUBLIQUE DU BENIN	N	DH	AQUIF	3
BENIN	GEOHYDRAULIQUE	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE FED	1985 HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DANS LES PROVINCES DE L'ATACORA, DU MONO ET DE L'OUEME. PROJETS 4è ET 5è FED. RAPPORT FINAL	S	DH	AQUIF	4
BENIN	GEOHYDRAULIQUE	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE FED	1985 CARTES HYDROGEOLOGIQUES DU BENIN. 1/500.000 ENSEMBLE DU BENIN 1/200.000 BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER AVEC NOTICES EXPLICATIVES	S	DH	AQUIF	2
BENIN	SBEE	MINISTERE DES FINANCES ET DE L'ECONOMIE	1985 SITUATION D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DANS LES CHEFS-LIEUX DE DISTRICT	N	DH	AQUIF	3
BENIN	SOGEA	MINISTERE DES FINANCES ET DE L'ECONOMIE. SBEE	1985 EXECUTION DE 4 FORAGES A LOKOSSA. RAPPORT DE FORAGES	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	VAN ROOISEN R. ALE G.	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE PNUD/DTCD	1985 ETUDE PLUVIOMETRIQUE DU BENIN DE 1922 A 1984	N	DH	CLIMAT	1

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	UNICEF/FENU	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1985 MINI PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE: CREATION DE 30 POINTS D'EAU DANS LES DISTRICTS D'AGBANGNIZOOM ET DE DJIDJA. PROVINCE DU ZOU	N	DH	AQUIF	5
BENIN	PNUD / UNO	MIN. DU DVLPT RURAL ET DE L'ACTION COOPERATIVE	1985 PROJET DE CONSTRUCTION DE PETITES RETENUES D'EAU A BUT PASTORAL DANS LE NORD DU BENIN	S	G. RURAL	HYDROL	1
BENIN	PNUD /UNO	MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS	1985 PROJET DE DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES HYDRAULIQUES A BUT PASTORAL AU NORD DU BENIN	S	DH	AQUIF	1
BENIN	BKGM /BURGEAP /SATEC	CONSEIL DE L'ENTENTE. DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1985 PROGRAMME D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DU CONSEIL DE L'ENTENTE. EVALUATION TECHNIQUE ET FINANCIERE DE LA 2e PHASE	N	DH	AQUIF	4
BENIN	UNICEF	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1985 PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE. CREATION DE 132 POINTS D'EAU DANS LES PROVINCES NORD DU ZOU ET SUD DU BORGOU	N	DH	AQUIF	1
BENIN	LAHAYE(CIEH) ET LAVABRE (CEMAGREF)	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1985 GESTION DES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES AU BENIN	S	DH	AQUIF	3
BENIN	LAHAYE, LAVABRE - CIEH, CEMAGREF.		1985 GESTION DES RESSOURCES EN EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES EN REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN.	O		HYDROL	4
BENIN	POB	DIRECTION DE L'URBANISME	1986 PROJETS PLAN D'URBANISME EN REPUBLIQUE DU BENIN. SYNTHESE DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE URBAIN	N	DIR. URBANIS	DIVERS	4
BENIN	SOCIETE GEN. FOUR L'INDUSTRIE (SCI)	MINISTERE DES FINANCES ET DE L'ECONOMIE. SBEE	1986 PROJET D'ADDUCTION D'EAU ET D'ELECTRIFICATION DE 9 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT. RAPPORT DE L'HYDROGEOLOGUE SUR L'EXECUTION DES SONDRAGES	N	SBEE	AQUIF	4
BENIN	ORSTOM	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1986 ANNALES HYDROLOGIQUES. ANNEES 1977 A 1984 TOME 4	N	DH	HYDROL	3
BENIN	BERGER L.	MINISTERE DE L'AGRICULTURE	1986 ETUDE DU SOUS SECTEUR DE L'ELEVAGE. ETABLISSEMENT D'UNE STRATEGIE ET D'UN PROGRAMME POUR SON DEVELOPPEMENT. VOLET HYDRAULIQUE VILLAGEOISE	S	DIR. ELEVAG	DIVERS	1

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE	TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	SOPEX	COMMISSIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES	1986	PROJET DE DEVELOPPEMENT RURAL INTEGRE DE LA PROVINCE DU MONO	S	MINIS. AGRIC	?	1
BENIN	BURGEAP	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1986	PROGRAMME D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DU NORD BORGOU. RAPPORT FINAL	N	DH	AQUIF	4
BENIN	IGIF	SBEE	1986	ADDUCTION D'EAU DE LA VILLE DE NATITINGOU (DEPARTEMENT DE L'ATACORA)	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	R. GUALDE - ORSTOM		1986	RESTAURATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE. RAPPORT DEFINITIF. CONVENTION DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE DE LA R.F. DU BENIN-ORSTOM.	O		HYDROL	3
BENIN	L. LE BARBE - ORSTOM		1986	PROPOSITIONS POUR L'AMELIORATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE NATIONAL ET DE SON MODE D'EXPLOITATION.	O		HYDROL	4
BENIN	ORSTOM, Service Hydrologique		1986	ANNALES HYDROLOGIQUES. TOME I, II, III : DE L'ORIGINE DES NATIONS à 1976. TOME IV : DES ANNEES 1977 à 1984.	O		HYDROL	3
BENIN	R. GUALDE - ORSTOM, Service Hydrolog		1986	RESTAURATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE. RAPPORT DEFINITIF. CONVENTION DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE DE LA R.P. DU BENIN / ORSTOM.	O		HYDROL	4
BENIN	H. TEXIER, J. MASLIN		1986	HYDRODYNAMIQUE ET FACTEUR PHYSICO-CHIMIQUE D'UNE LAGUNE SOUS CLIMAT SEMI-EQUATORIAL DU LAC AHEME, BENIN (A PARAITRE).	N		HYDROL	4
BENIN	IGIF	MINISTERE DES FINANCES ET DE L'ECONOMIE. SBEE	1987	RAPPORT FINAL SUR LES FORAGES F18 ET F19 A GODOMEY ET LE FORAGE FAC A ABOMEY. CALAVI	N	SBEE	FORAG	4
BENIN	BURGEAP	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. CCCE	1987	PROJET D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES VILLAGES DES ZONES LACUSTRES AU BENIN. ETUDE DE FACTIBILITE	S	DH	AQUIF	1
BENIN	BRGM/BURGEAP/COYNE, BELLIER/GEO MINES	CEAO .DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE.	1987	DEUXIEME PROGRAMME CEAO D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE ET PASTORALE. VOLET BENIN. RAPPORT D'EVALUATION	S	DH	AQUIF	4
BENIN	BRGM / BURGEAP / SATEC.	CONSEIL DE L'ENTENTE .DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE.	1987	PROGRAMME D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DU CONSEIL DE L'ENTENTE. EVALUATION TECHNIQUE ET FINANCIERE DE LA PHASE 2 BIS	S	DH	AQUIF	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	GESELLSCHAFT FUR AGRARP...MEH (GFA)	COMMISSIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES	1987 PROGRAMME DU DEVELOPPEMENT RURAL DU MONO. REPUBLIQUE DU BENIN	S	MINIS. AGRI.	DIVERS	1
BENIN	AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INT.	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE.	1987 RAPPORT DE L'ETUDE DU PLAN DE BASE RELATIF AU PROJET DE CREATION DE POINTS D'EAU EN REPUBLIQUE DU BENIN.	N	DH	AQUIF	4
BENIN	SOGEA. FORAFRIQUE.	SBEE	1987 AEP DANS 9 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT DANS L'ATLANTIQUE, LE MONO ET L'OUEME	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	KONIUZEWSKI, VA N EECKHOUT, O.N.U.		1987 EVALUATION DES RESSOURCES EN PETITS AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES EN REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN.	O		HYDROL	4
BENIN	L. LE BARBE - ORSTOM		1987 NOTICE D'UTILISATION DE LA BANQUE DE DONNEES HYDROLOGIQUES.	O		HYDROL	4
BENIN	B. COLLEUIL, H. TEXIER		1987 LE COMPLEXE LAGUNAIRE DU LAC NOKOUE ET DE LA LAGUNE DE PORTO NOVO. IN : "ZONES HUMIDES ET LACS PEU PROFONDS D'AFRIQUE". TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM, N° 211.	N		HYDROL	4
BENIN	ORSTOM, Service Hydrologique		1987 NOTICE POUR LE DECODAGE DES MESSAGES ARGOS. OMS 1e GENERATION - HYDRONIGER - CHLOE C (PH 11) - CHLOE A.	O		HYDROL	4
BENIN	PALLAS P.	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. FNUD / DCTD	1988 CONTRIBUTION A L'ETUDE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DU BASSIN COTIER DU BENIN .CONFRONTATION RESSOURCES_BESOINS.	S	DH	AQUIF	1
BENIN	SOGREAH	COMMUNAUTE ECONOMIQUE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST. (CEAO)	1988 SITUATION ET PERSPECTIVE DE L'APPROVISIONEMENT EN EAU EN MILIEU RURAL EN REPUBLIQUE DU BENIN	S	DH	AQUIF	1
BENIN	TURKPAK Int. SCET. TUNISIE	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. BA NQUE ISLAMIQUE DE DEVELOPPEMENT (BID)	1988 INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE AU BENIN. RAPPORT D'ETABLISSEMENT	S	DH	AQUIF	3
BENIN	CANDELLA L.L.	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. FNUD / DTCD	1988 CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UN PLAN DIRECTEUR D'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU DU BENIN. RAPPORT DU CONSULTANT	S	DH	AQUIF	1

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	HASCOET	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. PNUD / DTCD	1988 PREPARATION DU PLAN DIRECTEUR DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN SEDIMENTAIRE AU SUD DU BENIN. RAPPORT DU CONSULTANT.	N	DH	AQUIF	4
BENIN	GEOHYDRAULIQUE / SOGREAH	COMMISSIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES	1988 IDENTIFICATION DU VOLET HYDRAULIQUE VILLAGEOISE DU PROGRAMME INDICATIF 6& FED AU BENIN	S	DH	AQUIF	1
BENIN	GEOHYDRAULIQUE / BURGEAP	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE.	1988 PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE BOAD DANS LES PROVINCES DE L'ATLANTIQUE ET LE SUD DU ZOU. RAPPORT FINAL.	S	DH	AQUIF	4
BENIN	IGIP / GKW / KELLER	SBEE	1988 AEP DANS 13 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT DANS L'ATACORA, LE BORGOU, L'OUEME ET LE ZOU.	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	J.C. BADER, G. DELFIEU et R. GUALDE		1988 ETUDES HYDROLOGIQUES MENEES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE. RAPPORT D'INSTALLATION DE SONDAS CHLOE TELETRANSMETTRICES AU TOGO ET AU BENIN.	O		HYDROL	3
BENIN	ORSTOM, Service hydrologique		1988 REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN. AUTOMATISATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE ET DEVELOPPEMENT DE LA BANQUE DE DONNEES. RAPPORT SUR L'ENSEMBLE DES TRAVAUX DEJA REALISES.	O		HYDROL	4
BENIN	J.C. BADER et R. GUALDE - ORSTOM		1988 AUTOMATISATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE ET DEVELOPPEMENT DE LA BANQUE DE DONNEES . RAPPORT FINAL.	O		HYDROL	4
BENIN	G. ALE, et L. LE BARBE - ORSTOM		1988 L'UTILISATION DU SYSTEME ARGOS DANS LE CADRE DU RESEAU HYDROMETRIQUE BENINOIS. UNESCO. SAHEL FORUM. "THE STATE -OF-ART OF HYDROLOGY AND HYDROGEOLOGY IN THE ARID AND SEMI-ARID AREAS OF AFRICA. 7-12 NOVEMBRE 1988. OUAGADOUGOU. BURKINA FASO.	O		HYDROL	4
BENIN	ORSTOM, Service Hydrologique		1988 AUTOMATISATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE ET DEVELOPPEMENT DE LA BANQUE DE DONNEES. RAPPORT SUR L'ENSEMBLE DES TRAVAUX DEJA REALISES.	O		HYDROL	4
BENIN	PNUD/DTCD/ Direct. de l'Hydraulique		1988 RAPPORT DU CONSULTANT ENTRANT DANS LE CADRE DE LA PREPARATION DU PLAN DIRECTEUR DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN SEDIMENTAIRE AU SUD DU BENIN.	N		HYDROL	1

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP	ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	HYDROEXPERT	CONSEIL DE L'ENTENTE.	1989 BILAN DIAGNOSTIC DES ACTIONS D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE AU BENIN	N	DH	AQUIF	4
BENIN	BUSHAYIJA G.M.	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE. PNUD / DTCD	1989 HYDROBASE = CONCEPTION ET REALISATION D'UNE BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES	N	DH	AQUIF	3
BENIN	IGIF	SBEE	1989 ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE COTONOU, PORTO NOVO ET ABOMEY CALAVI	N	SBEE	AQUIF	3
BENIN	L. LE BARBE et T. LABEL		1989 ANALYSIS OF REGIONAL PRECIPITATION PATTERNS IN WEST AFRICA BASED ON THE LAW OF LEAKS. OMM 4EME INTERNATIONAL MEETING ON STATISTICAL CLIMATOLOGY. AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, N.Z. STATISTICAL ASSOCIATION. MARS 1989, ROTORUA, NEW ZEALAND.	O		CLIMAT	4
BENIN	EMSELLEM Y.	PNUD / DTCD	1990 BILAN DES PROGRAMMES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE AU BENIN POUR LA DECENNIE 1981-1990. PERSPECTIVES POUR LA DECENNIE 1991-2000.	S	DH	AQUIF	4
BENIN	TURKPAK ET SCET TUNISIE	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE	1990 INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES DU BENIN. RAPPORT TRIMESTRIEL JANVIER-AVRIL 1990	S	DH	AQUIF	3
BENIN	PNUD / DTCD	DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE.	1990 ASSISTANCE A LA DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE POUR LA PREPARATION D'UN PLAN DIRECTEUR DES RESSOURCES EN EAU. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS DU PROJET.	S	DH	AQUIF	1
BENIN	SOGEA	SBEE	1990 ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE BOHICON	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	IGIF	SBEE	1990 AEP DANS 12 CHEFS-LIEUX DE DISTRICT DANS LE BORGOU ET L'ATACORA	N	SBEE	FORAG	3
BENIN	ORSTOM, Service Hydrologique		1990 CONVENTION DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE DE LA R.P. DU BENIN - ORSTOM. RAPPORT SUR L'ENSEMBLE DES TRAVAUX DEJA REALISES.	O		HYDROL	4
BENIN	L. LE BARBE - ORSTOM		1990 LE SERVICE DE L'HYDROLOGIE DU BENIN. SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES.	O		HYDROL	4
BENIN	C.E.B, E.D.F. INTERN.		1990 ETUDE DE PREFAISABILITE DU PROJET KETOU DANS LE CADRE DE L'AMENAGEMENT OPTIMAL DU FLEUVE OUEME.	O		HYDROL	4

BASE DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

PAYS	AUTEURS	CLIENTS	ANNEE TITRE	DISP ARCHIVAGE	OBJET	TYPE
BENIN	C. KAREMANGINGO		1990 IDENTIFICATION DES BASSINS VERSANTS ET CONCEPTION DE LEURS PROGRAMMES D'AMENAGEMENTS. RAPPORT DE MISSION.	0	HYDROL	4

BENIN	CIEH-BRGM- GEOHYDRAULIQUE	FED	1986 Carte des potentialités des ressources en eau souterraine	S	AQUIF	2

Annexe D

**DISPONIBILITE DES PHOTOGRAPHIES
AERIENNES
ET DE DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES**

1. COUVERTURE AERIENNE DU BENIN

1.1 Photographies aériennes en noir et blanc

Les tableaux des pages suivantes indiquent la disponibilité actuelle des photographies aériennes du Bénin.

De nombreuses campagnes de prises de vues aériennes ont été faites à différentes échelles et entre 1949 et 1989 :

Echelle	Années de prise de vue
1/5 000	53, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 67, 71
1/6 000	59
1/7 500	53, 58, 66
1/8 000	56
1/10 000	52, 53, 58, 59, 61, 66, 80, 81, 82, 85, 88, 89
1/15 000	58, 65, 67, 82, 86, 87
1/20 000	52, 53, 54, 65, 81, 82
1/25 000	53, 61, 86
1/30 000	89
1/40 000	77
1/50 000	49, 50, 54, 55, 56, 75, 81
1/65 000	63, 64
1/75 000	75, 76

La couverture aérienne générale du Bénin est à l'échelle 1/65 000 ou au 1/75 000. Cette couverture générale date des années 1963-64 et 1975-76.

PRISES DE VUES AERIENNES AU BENIN
destination

Feuille à 1/200000	Ville ou Région	Année	Echelle	Identification	nombre de photos
DJOUGOU	PELEBINA	1953	5000	MV.24	34
DJOUGOU	DJOUGOU	1958	15000	AO 054/150	19
DJOUGOU	DJOUGOU	1982	15000	19/150	40
DJOUGOU		1949	50000	TOGO N° 001	184
DJOUGOU	DJOUGOU	1975	50000	NC 31-VIII/500	159
DJOUGOU	BASSILA	1963	65000	NC 31-VIII	195
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	60
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	12
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	8
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	7
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	7
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	14
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	18
DJOUGOU		1975	75000	KENTING EARTH	48
DUNKASSA	SEGBANA	1962	5000	AO 433/50	27
DUNKASSA	SEGBANA	1986	25000	041/250	604
DUNKASSA	DUNKASSA	1954	50000	NC 31- XVI	439
DUNKASSA		1975	75000	KENTING EARTH	32
DUNKASSA		1975	75000	KENTING EARTH	89
DUNKASSA		1975	75000	KENTING EARTH	17
DUNKASSA		1975	75000	KENTING EARTH	76
GAYA	MALANVILLE	1962	5000	AO 434/50	6
GAYA	MALANVILLE	1958	15000	AO 059/150	8
GAYA	MALANVILLE	1986	15000	022/150	14
GAYA	MALANVILLE	1987	15000	038/150	34
GAYA	BODJEKALI	1965	20000	AO 646/200	81
GAYA	MALANVILLE	1950	50000	AO 029	473
KANDI	KANDI	1954	5000	MV.37	34
KANDI	BANIKUARA	1959	5000	AO 252/50	7
KANDI	BANIKUARA	1962	5000	AO 436/50	30
KANDI	KANDI	1958	15000	AO 056/150	8
KANDI	KANDI	1986	15000	023/150	16
KANDI	BANIKUARA	1986	15000	042/150	17
KANDI	BANIKUARA	1965	20000	AO 645/200	114
KANDI	parcNation	1950	50000	AO 028	528
KANDI		1955	50000	NC 31--XXI	38
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	31
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	16
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	31
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	6
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	33
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	76
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	36
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	12
KANDI		1975	75000	KENTING EARTH	40
KIRTACHI	PARCNATION	1956	50000	ND 31-111	126
KIRTACHI		1975	75000	KENTING EARTH	24
KIRTACHI		1975	75000	KENTING EARTH	15
KIRTACHI		1975	75000	KENTING EARTH	7

PRISES DE VUES AERIENNES AU BENIN
destination

Feuille à 1/200000	Ville ou Region	Année	Echelle	Identification	nombre de photos
ABOMEY	Route	1954	5000	MV.45	56
ABOMEY	Route	1954	5000	MV.23	129
ABOMEY	KETOU	1960	5000	AO 249/50	9
ABOMEY	COVE	1962	5000	AO 438/50	52
ABOMEY	BOHICON	1962	5000	AO 437/50	37
ABOMEY	SAVALOU	1962	5000	AO 429/50	28
ABOMEY	DASSAZOUME	1962	5000	AO 428/50	30
ABOMEY	SAVALOU	1958	10000	AO 053/100	20
ABOMEY	BOHICON	1958	10000	AO 052/100	52
ABOMEY	ABOMEY	1958	10000	AO 051/100	69
ABOMEY	ZAGNANADO	1958	10000	AO 221/100	3864
ABOMEY	SAVALOU	1958	15000	AO 053/150	15
ABOMEY	BOHICON	1982	15000	15/150	92
ABOMEY	KETOU	1986	15000	35/150	16
ABOMEY	ZAGNANADO	1986	15000	33/150	22
ABOMEY	DASSAZOUME	1986	15000	27/150	15
ABOMEY	tl/Ouémé	1952	20000	AO 1952 Oueme	207
ABOMEY	tl/Ouémé	1953	20000	AO1952-53Ouème	251
ABOMLY	SAVE	1965	20000	AO 642/200	223
ABOMEY	ZOGBODOMEY	1981	20000	10/200PIRC N°2	76
ABOMEY	AGOUNA	1949	50000	TOGO N°005	38
ABOMEY	SAVALOU	1949	50000	TOGO N°006	324
ABOMEY		1954	50000	NB 31-XX-XX1	261
ABOMEY	Oz/au Oat	1982	50000	NB31XX-XX1/500	488
ARLI	ParcNation	1955	50000	NC 31-XX	211
ARLI	Reserve	1975	75000	KENTING EARTH	31
ARLI	Reserve	1975	75000	KENTING EARTH	10
ARLI	Reserve	1975	75000	KENTING EARTH	11
ARLI	Reserve	1975	75000	KENTING EARTH	7
ARLI	Reserve	1975	75000	KENTING EARTH	14
ARLI	Reserve	1975	75000	KENTING EARTH	10
ARLI	Reserve	1975	75000	KENTING EARTH	25
BEMBEREKE	PEHUNKO	1953	5000	MV.24	3
BEMBEREKE	BEMBEREKE	1962	5000	AO 432/50	34
BEMBEREKE	GOGOUNOU	1963	65000	NC 31-XV	312
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	16
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	32
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	46
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	15
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	50
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	18
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	32
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	50
BEMBEREKE		1975	75000	KENTING EARTH	67
BIMBEREKE	BIMBEREKE	1986	15000	034/150	11
BIMBEREKE		1949	50000	TOGO N°11	456
DJOUGOU	TEBOU	1953	5000	MV.24	3
DJOUGOU	SEMERE	1953	5000	MV.24	34
DJOUGOU	DJOUGOU	1953	5000	MV.24	18

PRISES DE VUES AERIENNES AU BENIN
destination

Feuille a 1/200000	Ville ou Région	Année	Echelle	Identification	nombre de photos
NIKKI	NIKKI	1958	15000	A0 057/150	7
NIKKI	NIKKI	1986	15000	30/150	15
NIKKI		1975	75000	KENTING EARTH	24
NIKKI		1975	75000	KENTING EARTH	14
NIKKI		1975	75000	KENTING EARTH	16
NIKKI		1975	75000	KENTING EARTH	13
PAMA	PORGA	1955	50000	NC 31-XIX	9
PAMA	PORGA	1975	75000	KENTING EARTH	3
PAMA	PORGA	1975	75000	KENTING EARTH	2
PARAKOU	PARAKOU	1954	5000	MV.50	37
PARAKOU	PARAKOU	1958	5000	V.21	108
PARAKOU	PARAKOU	1989	10000	046/100	72
PARAKOU	PARAKOU	1958	15000	A0 058/150	20
PARAKOU	PARAKOU	1982	15000	017/150	43
PARAKOU	PARAKOU	1986	15000	036/150	20
PARAKOU	BETEROU	1977	40000	007/400	90
PARAKOU	NIKKI	1949	50000	TOGO N°002	516
PARAKOU	NIKKI	1964	65000	NC 31-IX-X	373
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	70
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	53
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	10
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	60
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	41
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	29
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	21
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	6
PARAKOU		1975	75000	KENTING EARTH	49
PORTO-NOVO	PORTO-NOVO	1953	5000	MV.26	31
PORTO-NOVO	PORTO-NOVO	1959	5000	A0 223/50	111
PORTO-NOVO	COTONOU	1959	5000	A0 222/50	183
PORTO-NOVO		1961	5000	A0 385/50	100
PORTO-NOVO	CALAVI	1962	5000	A0 446/50	15
PORTO-NOVO	POBE	1962	5000	A0 440/50	27
PORTO-NOVO	SAKETE	1962	5000	A0 445/50	16
PORTO-NOVO	ADJOHOUN	1962	5000	A0 444/50	14
PORTO-NOVO	ALLADA	1962	5000	A0 443/50	21
PORTO-NOVO	COTONOU	1967	5000	A0 760/50	88
PORTO-NOVO	CALAVI	1971	5000	A0 931/50	243
PORTO-NOVO	HINVI	1966	7500	A0 711/75	90
PORTO-NOVO		1956	8000	A0 015/80	107
PORTO-NOVO	PORTO-NOVO	1952	10000	A0 1952	31
PORTO-NOVO	COTONOU	1952	10000	A0 1952	45
PORTO-NOVO	PORTO-NOVO	1958	10000	A0 044/100	54
PORTO-NOVO	SAKETE	1958	10000	A0 046/100	32
PORTO-NOVO	POBE	1958	10000	A0 047/100	27
PORTO-NOVO	ALLADA	1958	10000	A0 048/100	21
PORTO-NOVO	ADJOHOUN	1958	10000	A0 050/100	20
PORTO-NOVO	Lac Nokoué	1959	10000	A0 239/100	262
PORTO-NOVO		1961	10000	A0 385/100	472

PRISES DE VUES AERIENNES AU BENIN
destination

Feuille a 1/200000	Ville ou Région	Année	Echelle	Identification	nombre de photos
KIRTACHI		1975	75000	KENTING EARTH	10
KIRTACHI		1975	75000	KENTING EARTH	12
LOME	BOPA	1954	5000	MV.40	21
LOME	COME	1954	5000	MV.39	24
LOME	APLAHOUE	1954	5000	MV.41	19
LOME	GRAND-POPO	1954	5000	MV.38	141
LOME	HOUEYUGBE	1959	5000	AO 235/50	1/3
LOME	LOKOSSA	1962	5000	AO 463/50	9
LOME	ATHIEMLE	1962	5000	AO 441/50	22
LOME	BOPA	1962	5000	AO 442/50	24
LOME	GRAND-POPO	1962	5000	AO 447/50	42
LOME	AGOUÉ	1960	6000	AO 253/50	6
LOME	ANECHO	1952	10000	AO 1952	7
LOME	GRAND-POPO	1952	10000	AO 1952	7
LOME	GRAND-POPO	1953	10000	AO 1952-53	41
LOME	APLAHOUE	1958	10000	AO 220/100	2043
LOME	ATHIEMLE	1958	10000	AO 045/100	16
LOME	GRAND-POPO	1958	10000	AO 049/100	23
LOME	LOKOSSA	1982	15000	016/150	42
LOME	APLAHOUE	1986	15000	028/150	16
LOME	COME	1986	15000	031/150	15
LOME	CALAVI	1954	20000	AO 003/200	779
LOME	ATHIEMLE	1949	50000	TOGO N°007	18
NATITINGOU	TANGUIETA	1962	5000	AO 435/50	36
NATITINGOU	TANGUIETA	1965	5000	AO 435/50	14
NATITINGOU	BOUKOUMBE	1959	6000	AO 250/50	9
NATITINGOU	NATITINGOU	1958	7500	AO 237/75	14
NATITINGOU	NATITINGOU	1958	15000	AO 055/150	6
NATITINGOU	NATITINGOU	1982	15000	018/150	43
NATITINGOU	NATITINGOU	1986	15000	037/150	6
NATITINGOU	BOUKOUMBE	1986	15000	026/150	13
NATITINGOU	TANGUIETA	1986	15000	024/150	13
NATITINGOU	KOUANDE	1986	15000	25/150	14
NATITINGOU	BOUKOUMBE	1961	25000	AO 424/250	136
NATITINGOU	PEHUNKO	1986	25000	040/250	405
NATITINGOU	KOUANDE	1949	50000	TOGO N°010	406
NATITINGOU	NATITINGOU	1975	50000	NC 31-XIII-XIV	201
NATITINGOU	KOUANDE	1963	65000	NC 31-XIV	307
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	31
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	27
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	10
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	1
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	33
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	65
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	38
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	18
NATITINGOU		1975	75000	KENTING EARTH	53
NATITINGOU	KOUANDE	1959	6000	AO 247/50	14
NIKKI	NIKKI	1962	5000	AO 431/50	16

PRISES DE VUES AERIENNES AU BENIN
destination

Feuille à 1/200000	Ville ou Region	Année	Echelle	Identification	nombre de photos
PORTO-NOVO	COTONOU	1980	10000	005/100	30
PORTO-NOVO	COTONOU	1981	10000	011/100	396
PORTO-NOVO	bord mer	1981	10000	012/100	148
PORTO-NOVO	TOFFO	1982	10000	HL/002/100	23
PORTO-NOVO	DJIGBE	1982	10000	HL/001/100	39
PORTO-NOVO	COTONOU	1985	10000	021/100	91
PORTO-NOVO	COTONOU	1988	10000	045/100	225
PORTO-NOVO	ALLADA	1965	15000	AO 709/150	275
PORTO-NOVO	ALLADA	1967	15000	AO 759/150	251
PORTO-NOVO	PORTO-NOVO	1982	15000	14/150	52
PORTO-NOVO	OUIDAH	1986	15000	032/150	17
PORTO-NOVO	ALLADA	1986	15000	029/150	13
PORTO-NOVO	Sud Bénin	1981	20000	10/200PIRC N°1	239
PORTO-NOVO	f1/Ouémé	1982	20000	1 APR/200 T4	43
PORTO-NOVO	Forêt KO	1982	20000	HL/004/200	61
PORTO-NOVO	OUIDAH	1953	25000	AO 1952-53	7
PORTO-NOVO	POBE	1949	50000	TOGO N°008	94
PORTO-NOVO	Sud Bénin	1956	50000	NB 31 X111 XV	507
PORTO-NOVO	DOGBO-TOTA	1981	50000	NB31X1V XV/500	104
SABONGARI	KOMPATI	1950	50000	AUF 023	91
SABONGARI		1975	75000	KENTING EARTH	10
SABONGARI		1975	75000	KENTING EARTH	4
SABONGARI		1975	75000	KENTING EARTH	2
SABONGARI		1975	75000	KENTING EARTH	8
SABONGARI		1975	75000	KENTING EARTH	13
SANSANNE	KORONTIERE	1959	10000	AO 238/100	273
SANSANNE	KORONTIERE	1949	50000	TOGO N°009	159
SANSANNE		1975	75000	KENTING EARTH	19
SANSANNE		1975	75000	KENTING EARTH	21
SANSANNE		1975	75000	KENTING EARTH	7
SAVE	SAVE	1962	5000	AO 430/50	7
SAVE	f1/Ouémé	1981	10000	013/100	77
SAVE	SAVE	1986	15000	039/150	8
SAVE	f1/Ouémé	1989	30000	044/300	531
SAVE	OUESSE	1977	40000	006/400	71
SAVE	BANTE	1949	50000	TOGO N°004	385
SAVE	TCHAOUROU	1964	65000	NC 31-111	224
SAVE		1975	75000	KENTING EARTH	45
SAVE		1975	75000	KENTING EARTH	21
SAVE		1975	75000	KENTING EARTH	45
SAVE		1975	75000	KENTING EARTH	20
SAVE	TCHAOUROU	1975	75000	KENTING EARTH	11
SAVE		1975	75000	KENTING EARTH	11
SOKODE	BASSILA	1982	20000	HL/003/200	1121
SOKODE		1949	50000	TOGO N°003	93
SOKODE	BANTE	1964	65000	NC 31 11	115
SOKODE		1975	75000	KENTING EARTH	10
SOKODE		1975	75000	KENTING EARTH	22
SOKODE	BANTE	1975	75000	KENTING EARTH	10

BENIN
PRISES DE VUES AERIENNES
DOUBLEES PAR INFRAROUGE

Enreg. N°	ANNEE	ECHELLE	IDENTIFICA	EMU	DIM	FEUILLE	VILLE	XMIN	YMIN	XMAX	YMAX	NOMBRE	NUMEROS1	NUMEROS2	NUMEROS3	DISPINC	TA	MANQUEINC	NEGATIFS	OBJET
8	1958	10000	AO 053/100	PIR	19	ABOMEY	SAVALOU	1.56	7.55	2.01	7.57	20	1.0020	1001.1019	0.0000	0	0		IGN	
9	1958	10000	AO 052/100	PIR	19	ABOMEY	BOHICON	2.00	7.11	2.05	7.13	52	1.0020	1001.1032	0.0000	0	0		IGN	
10	1958	10000	AO 051/100	PIR	19	ABOMEY	ABOMEY	1.56	7.11	2.02	7.14	69	1.0035	1001.1034	0.0000	0	0		IGN	
11	1958	10000	AO 221/100	PIR	19	ABOMEY	ZAGNANADO	2.03	6.44	2.50	7.26	3864	1.0072	79.0089	2358.3893	0	M	Nombre important	IGN	
12	1958	15000	AO 053/150	PIR	19	ABOMEY	SAVALOU	1.56	7.54	2.01	7.57	15	1.0150	0.0000	0.0000	0	0		IGN	
20	1981	20000	10/200PIRC N°2	PIR	24	ABOMEY	ZOGBODOMEY	2.00	7.00	2.27	7.07	76	240.0315	0.0000	0.0000	M	0		IGN	
35	1963	65000	NC 31-XV	PIR	19	BERBEREKE	GOGOUNOU	1.55	10.00	3.05	11.00	312	1.0312	0.0000	0.0000	0	0	(227,228,239,240 en IR) et 288 photos en P	IGN	
55	1963	65000	NC 31-VIII	PIR	19	DJOUGOU	BASSILA	1.00	9.00	2.00	10.00	195	1.0017	36.0071	310.0323	0	0	73 à 89 en P, 73 à 89 et 129 à 135 en IR	IGN	
75	1965	20000	AO 646/200	PIR	19	GAYA	BOJJEKALI	3.20	11.47	3.37	11.38	81	1.0081	0.0000	0.0000	M	0	TOUTES	IGN	
83	1965	20000	AO 645/200	PIR	19	KANDI	BANIKOARA	2.03	11.27	2.29	11.19	114	1.0114	0.0000	0.0000	M	0	TOUTES	IGN	
105	1959	5000	AO 235/50	PIR	19	LOME	HOUYOGRE	1.45	6.31	1.50	6.35	173	1.0173	0.0000	0.0000	0	0	151 photos	IGN	
114	1958	10000	AO 220/100	PIR	19	LOME	APLAHOU	1.35	6.17	1.59	6.58	2043	1.0517	523.2048	0.0000	M	0	TOUTES	IGN	
136	1963	65000	NC 31-XIV	PIR	19	NATITINGOU	KOUANDE	1.00	10.00	2.00	11.00	307	1.0267	277.0316	0.0000	0	0	1% photos en émulsion panchromatique	IGN	
165	1964	65000	NC 31-IX-X	PIR	19	PARAKOU	NIKKI	2.00	9.02	3.39	10.00	373	1.0373	0.0000	0.0000	0	0	214,215,241à246,278à284,298à300,362à365	IGN	
178	1961	5000	AO 385/50	PIR	19	PORTO-NOVO						100	1.0100			0	M		IGN	
186	1966	7500	AO 711/75	PIR	19	PORTO-NOVO	HINVI					90	1.0090			0	M		IGN	
196	1961	10000	AO 385/100	PIR	19	PORTO-NOVO						472	1.0152	154.0473	0.0000	0	M		IGN	
203	1988	10000	045/100	PIR	24	PORTO-NOVO	COTONOU	2.16	6.19	2.37	6.32	225	1.0225	0.0000	0.0000	0	0		SERHAU	
205	1967	15000	AO 759/150	PIR	19	PORTO-NOVO	ALLADA	2.09	6.28	2.23	6.40	251	1.0251	0.0000	0.0000	M	0	TOUTES	IGN	
209	1981	20000	10/200PIRC N°1	PIR	24	PORTO-NOVO	Sud Bénin	1.47	6.17	2.35	6.31	239	1.0239	0.0000	0.0000	M	0	TOUTES	IGN	
222	1959	10000	AO 238/100	PIR	19	SANSANNE	KORONTIERE	0.59	10.09	1.11	10.17	273	1.0273	0.0000	0.0000	0	0	193,195,197 en Infra-Rouge	IGN	
228	1981	10000	013/100	PIR	24	SAVE	f1/Duémé	2.17	8.09	2.25	8.14	77	1.0077	0.0000	0.0000	0	0		IGN	
233	1964	65000	NC 31-III	PIR	19	SAVE	TCHAOUROU	1.57	8.05	2.53	9.03	224	1.0224	0.0000	0.0000	0	0		IGN	
242	1964	65000	NC 31-II	PIR	19	SOKODE	BANTE	1.00	8.00	2.00	8.58	115	18.0039	72.0082	255.0273	0	0		IGN	

1.2 Mosaïque au 1/50 000

Les mosaïques au 1/50 000 couvrent tout le Bénin au Nord de 8°5 de latitude. Ce sont des photos plans établies à partir des photographies aériennes de 1975-1976, redressées en 1977 dans le cadre du projet onchocercose.

La carte de la page suivante montre le schéma d'assemblage de cette mosaïque.

1.3 Prise de vue aérienne (PVA) doublée en infrarouge

Ces photos aériennes infrarouges sont à des échelles allant du 1/5000 au 1/65 000 et ont été prises entre 1958 et 1988. Ces photos concernent des villes ou certains sites particuliers.

Le tableau ci-après donne la liste de ces documents.

2. CARTES TOPOGRAPHIQUES DU BENIN

Le tableau ci-après donne les échelles des cartes disponibles ainsi que les années d'édition.

La couverture générale du Bénin en cartes topographiques existe aux échelles suivantes :

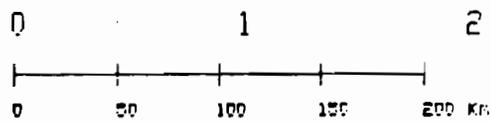
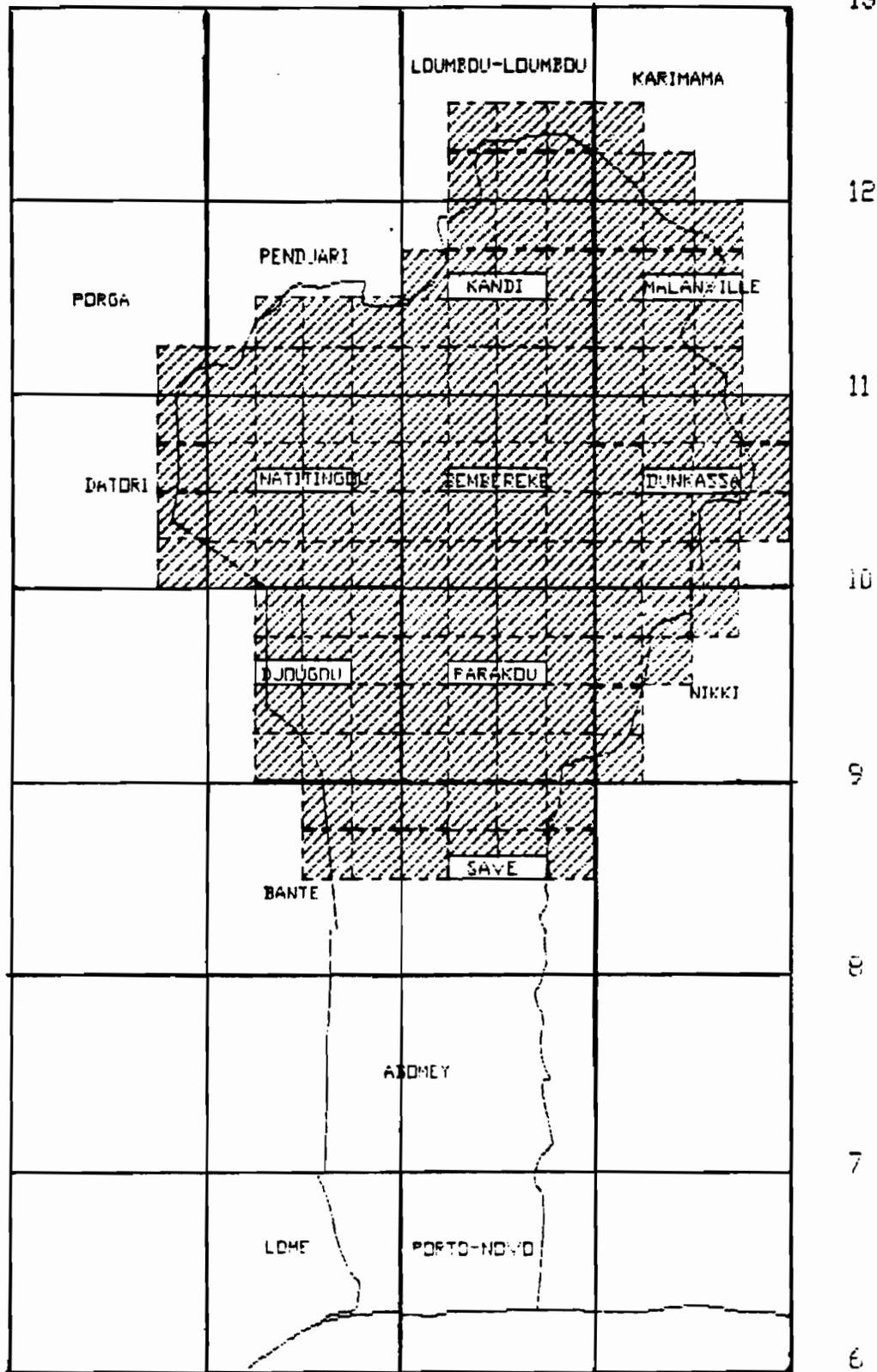
- . 1/600 000 (éditée en 1986),
- . 1/500 000 (éditée en 1950-55),
- . 1/200 000 (éditée de 1955 à 1972).

La couverture cartographique au 1/50 000 n'est que partielle. Certaines cartes datent de 1951, les plus récentes de 1987.

Les cartes de la plupart des villes existent aux échelles suivantes :

- . 1/5000,
- . 1/2000,
- . 1/1000.

Toutes ces cartes ont été éditées en 1982.



3c	3a	4c	
2a	3b	4a	4b
1c	1d	2c	2d
1a	1b	2a	2b

Mosaïque disponible
 Désignation des feuilles
 (Ex: LDME etc)

DISPONIBILITE DES CARTES TOPOGRAPHIQUES AU BENIN				
Echelle	Equidistance Courbes de niveau (m)	Couverture du pays	Feuille	Année d'édition
1/600 000	100	Tout le pays		1986
1/500 000	100	Tout le pays		1950-1955
1/200 000	40	Tout le pays	Kirtachi	1969
			Sabongari	1972
			Pama	1965
			Ari	1965
			Kandi	1955
			Gaya	1968
			Sansane Mango	1955
			Natitingou	1972
			Bembereke	1970
			Dunkassa	1970
			Djougou	1955
			Parakou	1955
			Nikki	1955
			Sokode	1969
			Save	1955
			Abomey	1987
			Lome	1969
			Porto-Novo	1966
1/50 000	20	1°30-2°45 Est	-	1951-1953-1954
		6°15-8°00 Nord	-	1962-1963-1968-1987
		2°15-2°45 Est	-	1954
		8°00-9°00 Nord	-	-
		0°45-1°30 Est	-	1958-1978
		10°00-11°00 Nord	-	-
		2°15-3°45 Est	-	1965-1966-1967
		11°45-12°30 Nord	-	-
		1°15-2°00 Est	-	1958-1978
		9°00-10°00 Nord	-	-
1/25 000	5	Région de Ouidah	-	1982
1/20 000	5	Région de Béterou	-	1982
		Région de Glazoué	-	1982
1/5000	1	Ville Abomey-Bohicon	-	1982
		Ville de Djougou	-	1982
		Ville de Cotonou	-	1982
		Ville de Lokossa	-	1982
		Ville de Natitingou	-	1982
		Ville de Parakou	-	1982
		Ville de Porto-Novo	-	1982
		Ville de Savé	-	1982
1/2000	1	Ville d'Abomey-Bohicon	-	1982
		Ville de Cotonou	-	1982
		Ville de Parakou	-	1982
		Ville de Porto-Novo	-	1982
1/1000	1	Ville d'Abomey-Bohicon	-	1982
		Ville de Cotonou	-	1982
		Ville de Djougou	-	1982
		Ville de Natitingou	-	1982
		Ville de Parakou	-	1982
		Ville de Porto-Novo	-	1982

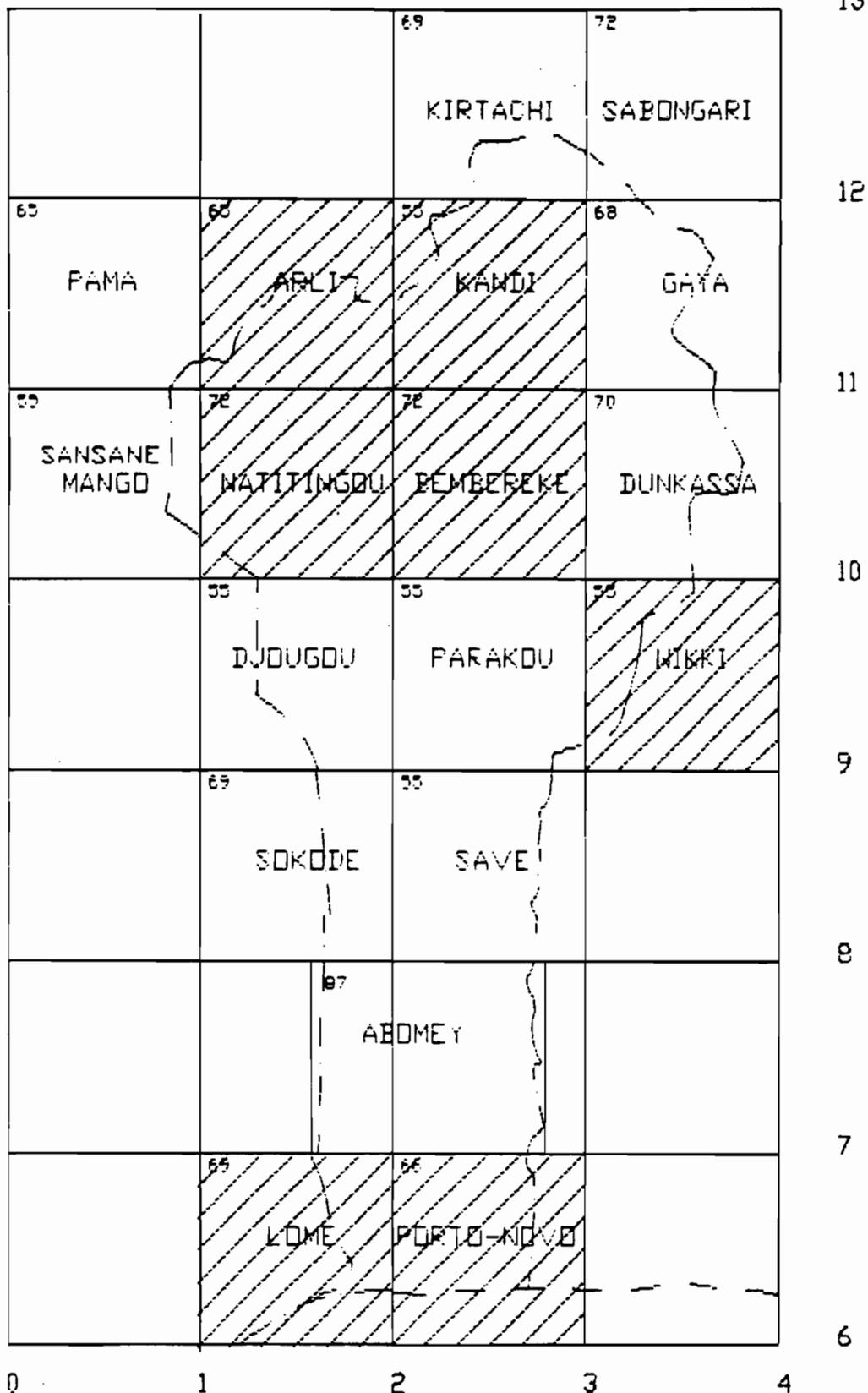
3. CARTES GEOLOGIQUES

Les cartes géologiques existantes sont :

- . Cartes géologiques de reconnaissance au 1/500 000. Feuilles de Parakou et de Porto-Novo Est (Pougnet, Aicard, Slansky, 1956-1957).
- . Carte géologique au 1/200 000 du Bénin entre les 9e et 10e degrés de latitude Nord. Feuilles de Bassari-Djougou et Parakou-Nikki (BRGM, 1978).
- . Carte géologique au 1/200 000 du Bénin entre le 10e et le 11e parallèles. Feuilles de Natitingou, Bembereke et Dunkassa (Technoexport, 1977 à 1983).
- . Etude de cartographie géologique et de prospection minière de reconnaissance au 1/200 000 au Nord du 11e parallèle (BREDA-EFIM, 1982).
- . Etude de cartographie géologique et de prospection minière de reconnaissance au 1/200 000 au Sud du 9e parallèle (BREDA-EFIM, 1987).

4. CARTES HYDROGEOLOGIQUES

- . Carte de planification des ressources en eau du Bénin (BRGM, 1979).
- . Carte hydrogéologique du Bénin, au 1/500 000 (GEOHYDRAULIQUE, 1985).
- . Carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin au 1/200 000 (GEOHYDRAULIQUE, 1985).



13

12

11

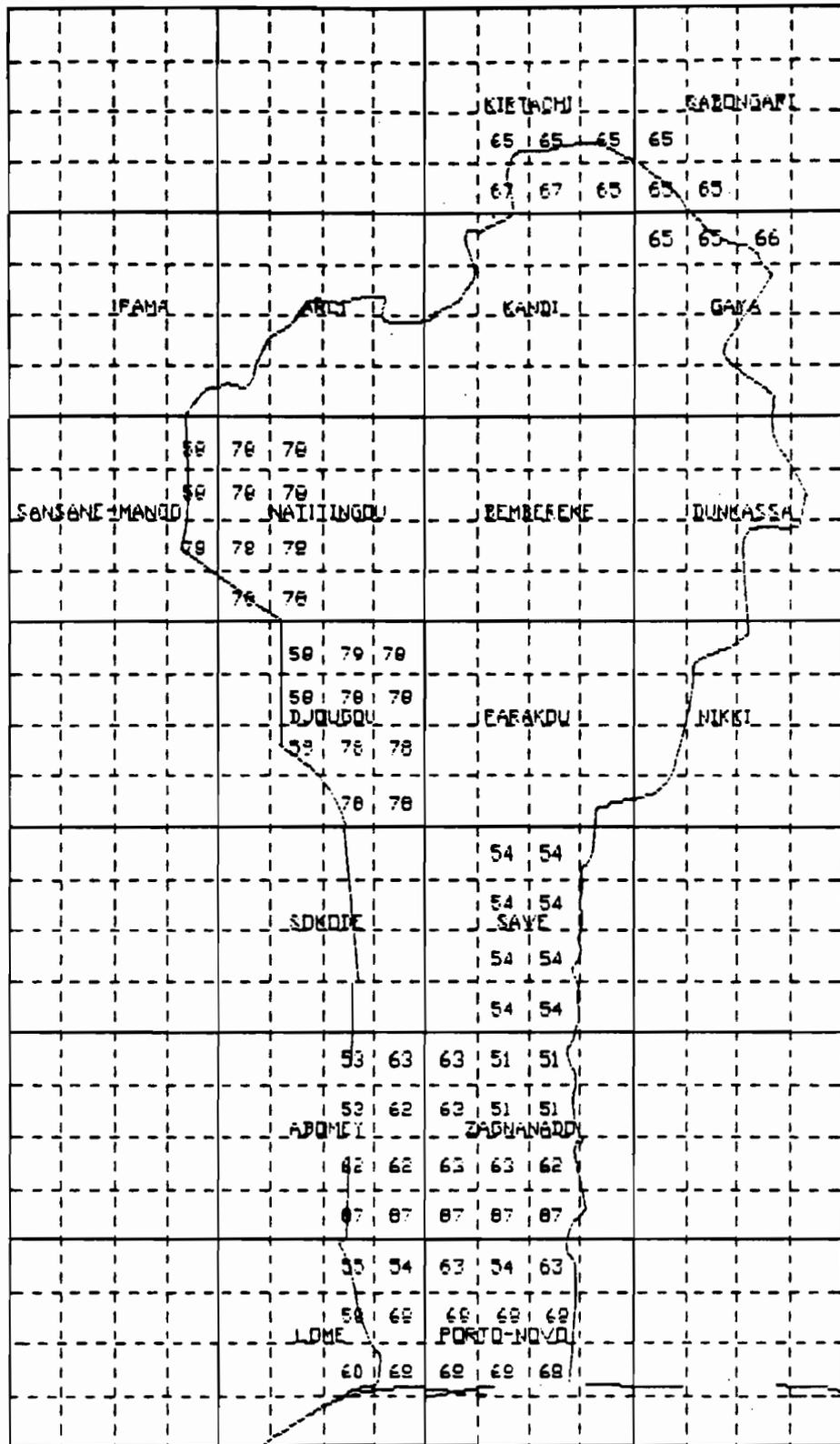
10

9

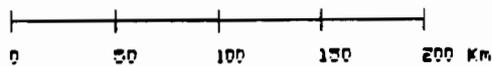
8

7

6

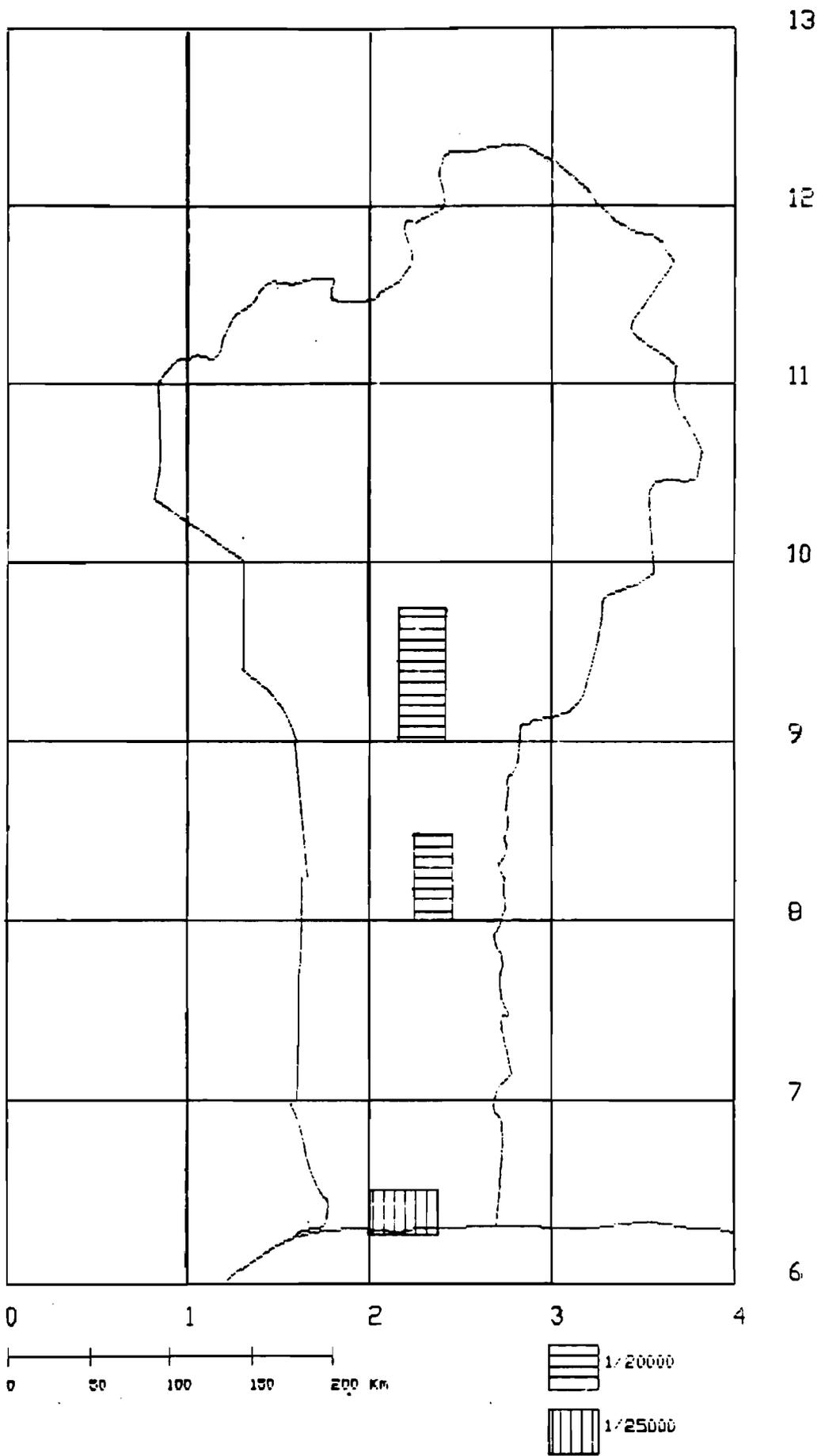


0 1 2 3 4



3c	3a	4c	68
3a	3c	4a	4b
1c	1d	2c	2d
1a	1b	2a	2b

année d'édition
 Désignation des feuilles
 (Ex) LDME 2c)



Annexe E

**LISTE DES SERVICES VISITES
LORS DE LA MISSION AU BENIN**

1. DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE (Ministère de l'Équipement et des Transports) :

- . Direction générale
- . Service des Etudes Hydrogéologiques.
- . Service Hydrologique.
- . Service de la Programmation et de la Réglementation.
- . Service des Travaux Hydrauliques.
- . Division Inventaire et Programmation.

2. DIRECTION DE L'URBANISME ET DE L'HABITAT (Ministère de l'Équipement et des Transports) :

- . Direction Générale

3. DIRECTION DES VOIES URBAINES (Ministère de l'Équipement et des Transports) :

- . Direction Générale
- . Service Assainissement.

4. DIRECTION DES ROUTES ET OUVRAGES D'ART (Ministère de l'Équipement et des Transports) :

- . Direction Générale

5. SERVICE METEOROLOGIQUE DU BENIN (ASECNA) :

- . Division Climatologie.
- . Centre Météo de Cotonou.
- . Division Agrométrie.

6. PORT AUTONOME DE COTONOU (Ministère de l'Équipement et des Transports) :

- . Service des Etudes.
- . Service Hydrographique et Topographique.

7. SOCIÉTÉ BÉNINOISE D'EAU ET D'ÉLECTRICITÉ (SBEE) :

- . Direction de l'Électricité
- . Service Étude Eau.
- . Service Étude Électricité.

8. DIRECTION DES EAUX-FORÊTS ET CHASSE (Ministère du Développement Rural et de l'Action Coopérative)

9. DIRECTION DES PÊCHES (Ministère du Développement Rural et de l'Action Coopérative)

10. DIRECTION DU PLAN (Ministère du Plan et de la Statistique) :

- . Direction Générale

11. BUREAU CENTRAL DES PROJETS (Ministère du Plan et de la Statistique) :

- . Direction Générale

12. DIRECTION DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (Ministère du Développement Rural et de l'Action Coopérative) :

- . Direction Générale

13. DIRECTION DU GENIE RURAL (Ministère du Développement Rural et de l'Action Coopérative) :

- . Direction Générale

14. DIRECTION DE L'AGRICULTURE (Ministère du Développement Rural et de l'Action Coopérative) :

- . Direction Générale

15. OBEMINES :

- . Direction Générale
- . Direction des Recherches Géologiques et Minières
- . Service Laboratoire
- . Service Recherches Minières

16. CENTRE BENINOIS DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE (CBRST, Ministère de l'Enseignement Moyen et Supérieur) :

- . Direction Générale-Adjoint
- . Comité MAB (Man and Biosphère, sous l'égide de l'UNESCO).
- . Département des Recherches Technologiques et en Sciences Exactes

17. DIRECTION DE L'HYGIENE ET DE L'ASSAINISSEMENT (Ministère de la Santé Publique) :

- . Direction Générale

18. COMMUNAUTE ELECTRIQUE DU BENIN (CEB) :

- . Direction Générale

19. USAID :

- . Direction de projet

20. UNICEF :

- . Direction du programme hydraulique

21. SERVICE D'ETUDES REGIONALES D'HABITAT ET AMENAGEMENT URBAIN (SERHAU)
(Ministère de l'Équipement et des Transports)

22. INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE INC (Ministère de l'Équipement et des Transports)

23. PNUD :

- . Section Eau

24. MISSION D'AIDE ET DE COOPERATION FRANCAISE

Annexe F

**LISTE DES STAGES DE FORMATION SUIVIS
PAR LES AGENTS DU SERVICE HYDROLOGIQUE**

LISTE DES STAGES DE FORMATION SUIVIS
PAR LES AGENTS DU SERVICE HYDROLOGIQUE

Période	Durée	Objet
		1) <u>ALE Grégoire</u> : Ingénieur de l'Équipement Rural - Chef de Service
3-12/80	10 mois	Spécialisation en Hydrologie à l'E.P.F. de Lausanne (Suisse)
9/85 à 8/86	11 mois	Traitement des données pluviométriques et hydrométriques. Synthèse régionale au Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM à Montpellier (France)
7/86	1 semaine	Initiation à la télétransmission des données hydrologiques au siège de CEIS-ESPACE à Toulouse (France)
11/86	2 semaines	Séminaire itinérant sur les systèmes de données hydrologiques organisé par l'O.M.M. à Niamey (Niger)
7/87	2 semaines	Séminaire sur la Planification et la Gestion des Ressources en Eau organisé par le CIEH à Niamey (Niger)
10/88	1 mois	Utilisation de l'informatique dans la Gestion des Ressources en Eau organisé par le CEFIGRE à Sophia-Antipolis (France)
11/88	1 semaine	Séminaire Régional sur l'Évaluation des Ressources en Eau organisé par l'O.M.M. et l'UNESCO à Conakry (Guinée)
4-5/89	1 mois	"Nouvelles Technologies et gestion des grands fleuves" organisé par le CEFIGRE à Dakar (Sénégal)

Liste des stages de formation suivis par les agents du Service Hydrologique (suite)

		2) <u>ADISSO Pierre</u> : Ingénieur hydrotechnicien
11/84 4/85	à 6 mois	Stage d'hydrologie opérationnelle à l'E.P.F. de Lausanne (Suisse)
9/88	3 semaines	Intégration de l'Aspect Environnement dans les Aménagements Hydrauliques CEFIGRE à Niamey (Niger)
11/88	1 mois	Gestion des Ressources Energétiques à Charleroi (Belgique)
10/90	3 semaines	Informatique et Gestion des Ressources en Eaux Superficielles - CEFIGRE à Cotonou (Bénin)
		3) <u>AHOKPOSSI Maurice</u> : Ingénieur
1984	2 semaines	Formation pour la prévision hydrologique sur le fleuve Niger - SOGREAH - HYDRONIGER à Grenoble (France)
4-5/85	2 mois	Utilisation des micro-ordinateurs en hydraulique à l'E.I.E.R. Ouagadougou (Burkina-Faso)
2-4/88	2 mois	Programmation en Basic à Abidjan (Côte d'Ivoire)
5-6/88	2 mois	Initiation au Multiplan I
3/89	1 mois	Initiation au Framework
5/89	1 mois	Initiation au Logoscript
6/89	1 mois	Initiation au DBase et au Word
2/90	1 mois	Initiation à l'E.A.O. et au Calculs mat.

Liste des stages de formation suivis par les agents du Service Hydrologique (suite)

4) <u>DESSOUASSI Robert</u> : Contrôleur des Travaux Publics		
11/84 à 11/85	13 mois	Spécialisation en Hydrologie à l'Université des Sciences et Techniques de Montpellier (France)
1/87	2 semaines	Initiation au logiciel HYDROM à Cotonou par l'ORSTOM
7/87	2 semaines	Initiation au Système Argos et utilisation de la Station de Réception Directe Argos par l'ORSTOM à Cotonou
4-6/89	2 mois	Télétransmission des données - Traitement des données - Programmation en Quick Basic à l'ORSTOM Montpellier (France)
6/90	2 semaines	Courbes de tarage et traitement statistique des données par HYDRONIGER à l'ORSTOM à Niamey (Niger)
8-12/90	5 mois	Programmation en Fortran et en Quick Basic à Cotonou par INFRES - INFORMATIQUE
5) <u>GOHOUNGOSSOU Antoine</u> : Contrôleur des Travaux Publics		
11/84 à 11/85	13 mois	Spécialisation en Hydrologie à l'Université des Sciences et Techniques de Montpellier (France)
1984	2 semaines	Maintenance des plate-formes de collecte de données hydrologiques et utilisation de la Station de Réception Directe Argos par HYDRONIGER à Niamey (Niger)
1988	3 semaines	Maintenance des P.C.D. et S.R.D.A. par HYDRONIGER à Niamey (Niger)
1989	1 mois	Télétransmission des données par l'ORSTOM et CEIS-ESPACE à Montpellier (France)
12/90 à 6/91	6 mois	Programmation en Quick Basic et Framework à Cotonou (Bénin)

Liste des stages de formation suivis par les agents du Service Hydrologique (suite)

		6) LANHOUSI Flavier : Contrôleur des Services Agricoles
87 à 89	2 ans	Spécialisation en hydrologie à l'AGRHYMET à Niamey (Niger)
1/87	2 semaines	Initiation au logiciel HYDROM par l'ORSTOM à Cotonou (Bénin)
2/87	2 semaines	Initiation à la télétransmission des données par l'ORSTOM à Cotonou (Bénin)
3-5/91	2 mois	Technologies nouvelles en Hydrologie à l'ORSTOM à Montpellier (France)

**Banque Mondiale
Programme des Nations Unies
pour le Développement
Banque Africaine de Développement
Ministère Français de la Coopération**