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 Régional

Décembre 1992

Mott MacDonald International
Cambridge, UK

BCEOM
Montpellier, France

ORSTOM
Montpellier, France

SOGREAH
Grenoble, France

Report Distribution and Revision Sheet

Project: Sub-Saharan Africa Hydrological Assessment
West African Countries

Project Code: 07171B01

Report Nr: 20 Report Title: Rapport Régional

Rev Nr	Date of Issue	Originator*	Checker*	Approver	Scope of Revision
A	15/06/92	A Stuck	A Stuck	T Evans	
		Translator F Barber	F Barber		
B	27/03/93				ammended in response to comments received from: UNDTCD, CIEH, and two workshops of country representatives.
		A Stuck	A Stuck	T Evans	
		Translator F Barber	F Barber	T Bruce	

* The draft report (revision A) was prepared in collaboration with staff from ORSTOM who wrote sections, checked the whole document, and translated the majority of the report into French. Final editing and printing of the draft French language version of the report was carried out by ORSTOM.

Ammendments made in response to comments were made in English and agreed with ORSTOM who provided a translation. Final editing and printing of the French language version of the ammended report (revision B) was carried out by Mott MacDonald.

PREAMBULE

Le présent rapport a été réalisé à partir des informations et documents rassemblés durant les missions effectuées dans les pays d'Afrique de l'Ouest durant la période de novembre 1990 à novembre 1991. Les missions ont été exécutées par les Consultants (Mott MacDonald International, BCEOM et SOGREAH, assistés par des experts locaux), en liaison avec les personnels de l'ORSTOM.

Nous souhaitons insister particulièrement sur l'aide précieuse reçue au cours de nos visites. Il n'est malheureusement pas possible de donner le nom de toutes les personnalités qui nous ont assistés.

Le rapport a été publié sous une forme provisoire en juin 1992. La Banque Mondiale a invité l'UNDTCD, l'OMM, le CIEH et des représentants des pays de la région à réviser le rapport provisoire et plus particulièrement à donner leur avis sur les propositions de projets. Les représentants des pays se sont accordés sur des recommandations discutées au cours de deux ateliers tenus à Abidjan du 8 au 10 septembre et à Accra du 14 au 16 septembre.

Pendant que tous les efforts étaient faits pour prendre en compte les vues exprimées, un certain nombre d'approches nouvelles étaient proposées, qui n'avaient pu être formulées de façon convenable à l'occasion de la précédente étape du projet. Ces propositions n'ont été que brièvement introduites dans le rapport final, mais elles constituent des sujets qui devront être examinés dans tous leurs détails dans le futur au titre du débat à conduire sur le développement des ressources en eau en Afrique.

TABLE DES MATIERES

			Page No
RESUME			R-1
CHAPITRE 1	INTRODUCTION		
	1.1	Contexte de l'étude	1-1
	1.2	Le rapport intérêt/coût des données hydrologiques	1-1
	1.3	Méthodologie	1-3
CHAPITRE 2	LES RESSOURCES EN EAU AU NIVEAU REGIONAL		
	2.1	Introduction	2-1
	2.2	Climat de l'Afrique de l'Ouest	2-1
		2.2.1 Introduction	2-1
		2.2.2 Evolution climatique récente	2-1
		2.2.3 Evolution climatique future	2-4
	2.3	Principaux bassins pour les ressources en eau	2-6
		2.3.1 Introduction	2-6
		2.3.2 Le Niger	2-7
		2.3.3 Le Fleuve Sénégal	2-11
		2.3.4 Le Fleuve Gambie	2-13
		2.3.5 La Volta	2-15
		2.3.6 Le Lac Tchad	2-18
		2.3.7 Le Zaïre ou Congo	2-21
	2.4	Les eaux souterraines	2-24
		2.4.1 Introduction	2-24
		2.4.2 Les aquifères des bassins d'effondrement côtiers	2-25
		2.4.3 Aquifères des bassins sédimentaires	2-29
		2.4.4 Aquifères régional	2-40
	2.5	Les ressources en eau confrontées aux besoins futurs	2-45
		2.5.1 Estimation des besoins	2-45
		2.5.2 Satisfaction des besoins en eau en Afrique de l'Ouest	2-46
	2.6	Transferts inter-bassins à partir du Zaïre	2-49
		2.6.1 Introduction	2-49
		2.6.2 Transfert des eaux du Zaïre : le projet Bonifica	2-49
		2.6.3 Transfert des eaux du Zaïre : les propositions de la NEPA	2-50
CHAPITRE 3	ORGANISATIONS ET PROGRAMMES A VOCATION REGIONALE		
	3.1	Introduction	3-1
	3.2	Les organisations régionales pour les ressources en eau	3-1
		3.2.1 L'Autorité du Bassin du Niger (ABN)	3-1
		3.2.2 Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT)	3-2
		3.2.3 Organisation de Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS)	3-3
		3.2.4 Organisation de Mise en Valeur du Fleuve Gambie (OMVG)	3-3

TABLE DES MATIERES (Suite)

Page No

CHAPITRE 3 (Suite)

3.2.5 Union de la Mano River 3-4
3.2.6 Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) 3-5
3.2.7 Comité Inter-africaine d'études Hydrauliques (CIEH) 3-5
3.2.8 L'ORSTOM 3-6

3.3 Projets et programmes régionaux d'aide et de coopération 3-7
3.3.1 AGRHYMET 3-7
3.3.2 HYDRONIGER 3-11
3.3.3 Le Programme OMS/OCP (Projet de Contrôle de l'Onchocercose) 3-12
3.3.4 CLICOM 3-13
3.3.5 Le projet DARE de récupération de données (DAta REscue) 3-13

CHAPITRE 4 METHODE POUR L'EVALUATION DES SYSTEMES DE COLLECTE DE DONNEES

4.1 Principe de l'évaluation 4-1
4.1.1 Introduction 4-1
4.1.2 Les recommandations de l'UNESCO-OMM 4-2

4.2 Compilation des inventaires 4-4
4.2.1 Inventaires des stations et des données 4-4
4.2.2 Listes bibliographiques 4-6

4.3 Identification des besoins en données 4-7
4.4 Identification des lacunes dans les données 4-8
4.4.1 Lacunes temporelles 4-8
4.4.2 Densité insuffisante des données 4-9

4.5 Analyse de la qualité des données 4-9
4.5.1 Introduction 4-9
4.5.2 Contrôles de qualité élémentaires 4-10
4.5.3 Contrôles de qualité approfondis 4-11

4.6 Formulation de recommandations pour le développement 4-12

CHAPITRE 5 SITUATION DE LA COLLECTE DE DONNEES A L'ECHELLE REGIONAL

5.1 Difficultés rencontrées par les agences de collecte 5-1
5.1.1 Situation générale 5-1
5.1.2 Difficultés ordinaires des services de collecte de données 5-1

5.2 Climatologie 5-3
5.2.1 Réseaux climatologiques 5-3
5.2.2 Equipements utilisés pour la collecte 5-6
5.2.3 Qualité des données 5-7

TABLE DES MATIERES (Suite)

			Page No
CHAPITRE 5 (Suite)			
	5.3	Hydrométrie	5-7
		5.3.1 Réseaux	5-7
		5.3.2 Equipements utilisés pour la collecte	5-12
		5.3.3 Techniques de mesures des débits	5-14
		5.3.4 Qualité des données	5-15
	5.4	Eaux souterraines	5-16
		5.4.1 Introduction	5-16
		5.4.2 Inventaire des sources, puits et forages	5-16
		5.4.3 Suivi régulier	5-16
	5.5	Transports solides	5-19
	5.6	Qualité de l'eau	5-20
	5.7	Domaines pour une coopération régionale	5-21
		5.7.1 Climat	5-21
		5.7.2 Hydrologie de surface	5-21
		5.7.3 Eaux souterraines	5-22
CHAPITRE 6	GESTION DES DONNEES		
	6.1	Systèmes utilisés pour la gestion des données	6-1
		6.1.1 Revue générale	6-1
		6.1.2 Traitement des données brutes	6-2
		6.1.3 Gestion des données	6-4
		6.1.4 Procédures de contrôle de qualité	6-5
		6.1.5 Stockage et extraction des données	6-5
	6.2	Stockage et traitement dans l'avenir	6-7
		6.2.1 Contraintes de base	6-7
		6.2.2 Evolution future	6-8
	6.3	Gestion informatisée des données	6-8
		6.3.1 Introduction	6-8
		6.3.2 Gestion des données météorologiques	6-9
		6.3.2 Gestion des données hydrologiques	6-9
		6.3.4 Gestion des données hydrogéologiques	6-10
		6.3.5 Commentaires	6-11
	6.4	Publication et diffusion des données	6-12
		6.4.1 Politiques actuelles	6-12
		6.4.2 Développements futurs	6-13
CHAPITRE 7	ASPECTS INSTITUTIONNELS		
	7.1	Introduction	7-1
	7.2	Justification financière de la collecte de données hydrologiques	7-1
	7.3	Services nationaux	7-5
		7.3.1 Le "parfait" service de collecte de données	7-5
		7.3.2 Structures institutionnelles	7-5

TABLE DES MATIERES (Suite)

Page No

CHAPITRE 7 (Suite)

7.3.3 Equipements 7-6
7.3.4 Moyens de déplacement 7-7
7.3.5 Ressources humaines 7-8

7.4 Organisations régionales et projets régionaux 7-8
7.4.1 Introduction 7-8
7.4.2 Evaluation SWOT des agences ou autorités internationales de bassin 7-9
7.4.3 Evaluation SWOT - Le Projet AGRHYMET 7-10
7.4.4 Evaluation SWOT - Le Projet OMS/OCP 7-11
7.4.5 Evaluation SWOT - Le Projet HYDRONIGER 7-12
7.4.6 Evaluation SWOT - Le CIEH 7-13
7.4.7 Enseignements pour la conception des projets régionaux 7-14

7.5 Résumé des problèmes institutionnels 7-15

CHAPITRE 8 RECOMMANDATIONS

8.1 Vers de nouvelles perspectives 8-1
8.2 Le Programme pour le Développement de l'Hydrométrie en Afrique de l'Ouest (PDH) 8-3
8.3 Projets régionaux 8-5
8.3.1 Considérations générales 8-5
8.3.2 Programme de Développement de l'Hydrométrie PDH (Projet Parasol) 8-6
8.3.3 Programme de formation des ingénieurs et techniciens hydrologues et hydrogéologues (REG-2) 8-11
8.3.4 Programme de perfectionnement de la surveillance hydrologique et de l'environnement (REG-3) 8-12
8.3.5 Data rescue (REG-4) 8-12
8.3.6 Evaluation des bienfaits économiques et sociaux de la collecte de données de ressources en eau (REG-5) 8-13

8.4 Projets nationaux 8-13
8.4.1 Considérations générales 8-13
8.4.2 Résumé des projets 8-13
8.4.3 Personnel 8-15

8.5 Estimations financières 8-16
8.5.1 Bases de calcul 8-16
8.5.2 Budget général du PDH 8-17

REFERENCES

ANNEXES

ANNEXE A Projets régionaux

ANNEXE B Changements climatiques mondiaux au XXIième siècle (Dr M. Hulme)

ANNEXE C Nouvelles technologies pour l'hydrologie de surface en Afrique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau No	Titre	Page No
1.1	Programme de visite des pays	1-4
2.1	Bassins des cours d'eau internationaux	2-5
2.2	Principaux aménagements sur le bassin du Niger	2-8
2.3	Les bassins hydrologiques aux sites des stations hydrométriques	2-10
2.4	Sites potentiels pour la production électrique sur la Volta au Ghana	2-14
2.5	Production d'électricité à Akosombo-Kpong	2-14
2.6	Aménagements existants et projetés sur la Volta au Burkina Faso	2-15
2.7	Aménagements hydro-agricoles dans le bassin du Lac Tchad	2-17
2.8	Présence d'aquifères discontinus dans la région - par pays	2-36
2.9	Statistiques de population	2-41
2.10	Matrice de pénurie d'eau	2-42
3.1	Présence des hydrologues de l'ORSTOM en Afrique de l'Ouest	3-6
3.2	Activités nationales du Programme AGRHYMET - Phase 3	3-9
4.1	Niveaux d'activité minimum recommandés pour la collecte de données hydrologiques	4-3
4.2	Nombre de stations climatiques actuellement opérationnelles	4-5
4.3	Nombre de stations hydrométriques actuellement opérationnelles	4-6
5.1	Densités des stations pluviométriques (sans enregistrement) selon normes UNESCO/OMM, 1988	5-3
5.2	Densités des stations météorologiques, selon normes UNESCO/OMM, 1988	5-4
5.3	Densités des stations hydrométriques (sans enregistrement) selon normes UNESCO/OMM, 1988	5-7
5.4	Densités des stations hydrométriques (avec enregistrement) selon normes UNESCO/OMM, 1988	5-8
5.5	Densités des stations de mesure des débits, selon normes UNESCO/OMM, 1988	5-9
5.6	Situation du réseau piézométrique	5-16
6.1	Etat actuel du traitement informatique des données	6-3
7.1	Dépenses relatives aux projets et aux réalisations conditionnés par l'hydrologie en Australie	7-3
8.1	Programme de Développement de l'Hydrométrie en Afrique de l'Ouest - Proposition de Projets Régionaux	8-6
8.2	Projets nationaux, par type d'activités	8-12

LISTE DES FIGURES

Figure No	Titre	Après Page No
R.1	La Zone d'Etude	R-2
R.2	Organisation du Programme de Développement de l'Hydrométrie	R-10
1.1	La Zone d'Etude	1-2
1.2	Méthodologie et organisation des travaux	1-4
2.1	Anomalies pluviométriques des décennies 1951-60 et 1981-90 et des déciles des années 1950 et 1984	2-2
2.2	Variations pluviométriques en été (juin, juillet, août) entre la période 1931-60 et la période 1961-90	2-2
2.3	Anomalies pluviométriques au Sahel - Période 1888-1991	2-4
2.4	Anomalies pluviométriques au Sahel et différences de TSM entre les hémisphères	2-4
2.5	Effets d'un doublement de concentration de CO_2 - moyenne des résultats de plusieurs modèles	2-4
2.6	Les grands bassins versants	2-6
2.7	Caractéristiques du débit du Niger à Kouliokoro	2-8
2.8	Débits entrants et sortants du delta intérieur du Niger - 1986/87	2-8
2.9	Caractéristiques du débit du Sénégal à Kays	2-12
2.10	Caractéristiques du débit du Sénégal à Bakel	2-12
2.11	Caractéristiques du débit de la Gambie	2-14
2.12	Le lac Volta	2-16
2.13	Comportement historique du lac Tchad	2-18
2.14	Bassin du lac Tchad - Programmes d'irrigation	2-20
2.15	Bassin versant du fleuve Zaïre	2-22
2.16	Caractéristiques du débit du Congo à Brazzaville	2-24
2.17	Aquifères régionaux	2-26
2.18	Pénurie d'eau en Afrique en 2025	2-48
2.19	Projet Bonifica	2-50
2.20	Le Projet NEPA	2-50
3.1	Organisations régionales	3-2
3.2	"Bassin conventionnel" du Lac Tchad	3-2
3.3	Bulletin du système GIEWS de la FAO	3-8
4.1	Etapes de la régionalisation pour l'évaluation hydrologique	4-2
4.2	Besoins en données pour le développement des ressources en eau	4-8
4.3	Exemple d'inventaire de fichier avec le système HYDROM	4-10
4.4	Lacunes temporelles dans les séries pluviométriques	4-10
4.5	Comparaison des débits jaugés et calculés	4-12
5.1	Exemple de disponibilité des enregistrements piézométriques	5-18
7.1	Objectifs de gestion pour les agences hydrométriques nationales et les programmes régionaux	7-16
8.1	Organisation du Programme pour le Développement de l'Hydrométrie	8-4

ABREVIATIONS

Internationales

ABN	Autorité du Bassin du Niger, Niamey, Niger
ACMAD	African Centre of Meteorological Applications for Development
ASECNA	Association de Sécurité de Navigation Aérienne, Dakar, Sénégal
CBLT	Commission du Bassin du Lac Tchad, N'Djamena, Tchad
CEE	Communauté Economique Européenne
CIEH	Comité Inter-africain d'Etudes Hydrauliques, Ouagadougou, Burkina Faso
CILSS	Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel, Ouagadougou, Burkina Faso
DARE	Data Aquisition and Rescue Project, International Data Co-ordination Centre, Bruxelles, Belgique
EIER	Ecole pour les Ingénieurs de l'Equipement Rural, Ouagadougou, Burkina Faso
ETSHER	Ecole pour les Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural, Ouagadougou, Burkina Faso
FAC	Fonds d'Aide et de Coopération, aide française
FAO	Food and Agriculture Organisation
FAD	Fonds Africain de Développement
FED	Fonds Européen pour le Développement
FMI	Fonds Monétaire International
GIEWS	Global Information and Early Warning System, programme FAO
IGADD	Inter-Governmental Authority for Drought and Development
OCP	Onchocerciasis Control Project, programme de l'OMS
ODA	Overseas Development Administration, aide Britannique
OMM	Organisation Mondiale pour le Météorologie
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé
OMVG	Organisation de Mise en Valeur du Fleuve Gambie, Dakar, Sénégal
OMVS	Organisation de Mise en Valeur du Fleuve Sénégal, Dakar, Sénégal
ONG	Organisation Non-Gouvernementale
OPEC	Organisation of Petroleum Exporting Countries
ORSTOM	Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
SADCC	Southern African Development Co-ordination Conference, Maseru, Lesotho
UNDTCD	United Nations Department for Technical Cooperation and Development
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation
UNICEF	United Nations Childrens Fund
UNSO	United Nations Sudano-Sahelian Office
USAID	American aid
USGS	United States Geological Service

Nationales

NEPA	National Electric Power Authority, Nigéria
NWRI	National Institute for Water Resources, Kaduna, Nigéria
SCIP	South Chad Irrigation Project, Nigéria
SEMRY	Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture de Yagoua, Cameroun
SONEL	Société d'Energie Electrique du Cameroun
VRA	Volta River Authority, Akosombo, Ghana
WRRI	Water Resources Research Institute, Accra, Ghana

Techniques

CFC	Chlorofluorocarbonés
EPROM	Extended Programmable Read Only Memory
SWOT	Strength, Weakness, Opportunity, Threat
TA	Technical Assistance
TSM	Température de la Surface de la Mer
ZITC	Zone Inter-Tropicale de Convergence

RESUME

1 Introduction

Cette étude est la troisième tranche de l'évaluation hydrologique régionale de l'Afrique sub-saharienne, étude financée par le PNUD (Projet No RAF/87/030), la Banque Africaine de Développement et le Fonds Français pour l'Aide et la Coopération. Cette étude couvre vingt-trois pays de l'Afrique de l'Ouest (figure R.1)et a démarré en Septembre 1990. Les membres de l'équipe chargée de l'étude se sont rendus dans ces pays entre novembre 1990 et novembre 1991. Le temps consacré à chaque pays a été en moyenne de six semaines, dont trois passées au siège du Consultant. Dans 17 pays, les Consultants ont reçu l'assistance du CIEH. L'étude a été organisée de telle manière que les évaluations ont été effectuées par des personnels de Mott MacDonald International, BCEOM, SOGREAH, ORSTOM, et un nombre de consultants locaux de la région. Tous les efforts possibles ont été faits depuis le départ pour assurer la cohérence de la méthode de travail et l'homogénéité de l'évaluation.

Le but du projet était d'évaluer l'état de tous les systèmes de collecte de données hydrologiques et de faire les recommandations nécessaires à l'accroissement du rendement de ces systèmes, le but ultime étant d'apporter à ces pays une assistance pour l'amélioration des systèmes existants ou pour l'implantation d'une base de données hydrologiques solide en vue de planifier et d'évaluer des programmes et des projets d'aménagement des ressources en eau. L'objectif était d'identifier les secteurs nécessitant un soutien international, et de développer ces recommandations en proposant des projets, sous une forme convenant aux financements des donateurs potentiels.

Les évaluations, les recommandations et les propositions de projets identifiées, au niveau national, ont été publiées dans les rapports spécifiques à chaque pays. Le rapport "régional" complète les rapports de pays en couvrant les aspects de l'étude qui exigent une évaluation au niveau régional ou au niveau du grand bassin hydrographique. Ce rapport résume également les caractéristiques communes des évaluations nationales et comprend un certain nombre de propositions de projets ayant trait aux activités qui concernent toute ou une partie de la région.

2 Ressources en eau

Le suivi des ressources en eau de la région devrait être évalué par rapport au critère de disponibilité de données fiables permettant de satisfaire les besoins des responsables de la planification des ressources en eau et de la réalisation des aménagements à moyen et à long termes. Les ressources en eau de surface et en eau souterraine les plus importantes sont décrites brièvement, ainsi que leur niveau d'aménagement actuel. Le potentiel d'aménagement futur a été extrait des plans gouvernementaux disponibles et des rapports de consultants. Dans le cadre de ce projet, il n'a pas été tenté de préparer de nouvelles estimations de la demande en eau.

Le climat de la région, et en particulier la période récente de sécheresse sévère et soutenue dans le Sahel, est décrit. Les récentes théories concernant les répercussions possibles des activités de l'homme sur le climat mondial et régional sont également considérées. Un fort mouvement d'opinion scientifique prévoit des changements climatiques au niveau mondial qui pourront avoir une influence néfaste sur la région.

Les pressions concurrentes qui s'exercent déjà sur des ressources en eau rares dans la grande partie de la région s'intensifieront à l'avenir, à cause de l'accroissement rapide de la population et des espérances optimistes concernant le niveau de vie. Les pays du nord de la région reconnaissent bien la nécessité de gérer leurs ressources, limitées, mais même dans les pays équatoriaux plus humides de la région, l'eau peut être de mauvaise qualité ou peut être en quantité insuffisante à certains moments de l'année. La disponibilité d'une eau de bonne qualité bactériologique et chimique est un problème, tant dans les zones sèches que dans les zones humides de la région.

3 Organisations et programmes à vocation régionale

Le caractère international des problèmes des ressources en eau en Afrique de l'Ouest est un fait bien connu, mais les effets de la sécheresse qui sévit au Sahel depuis le début des années 70 ont montré que la mise en oeuvre d'une coopération internationale et régionale était nécessaire pour traiter ce problème. En conséquence il existe aujourd'hui plusieurs organisations, programmes régionaux et projets d'aide associés, qui sont considérés compétents et parties prenantes en matière d'acquisition de données hydrologiques, de gestion de ces données et de planification des ressources. Dans beaucoup de pays de la région, l'évaluation hydrologique serait incomplète si elle ne faisait pas référence aux activités de ces organisations internationales et de leurs projets régionaux.

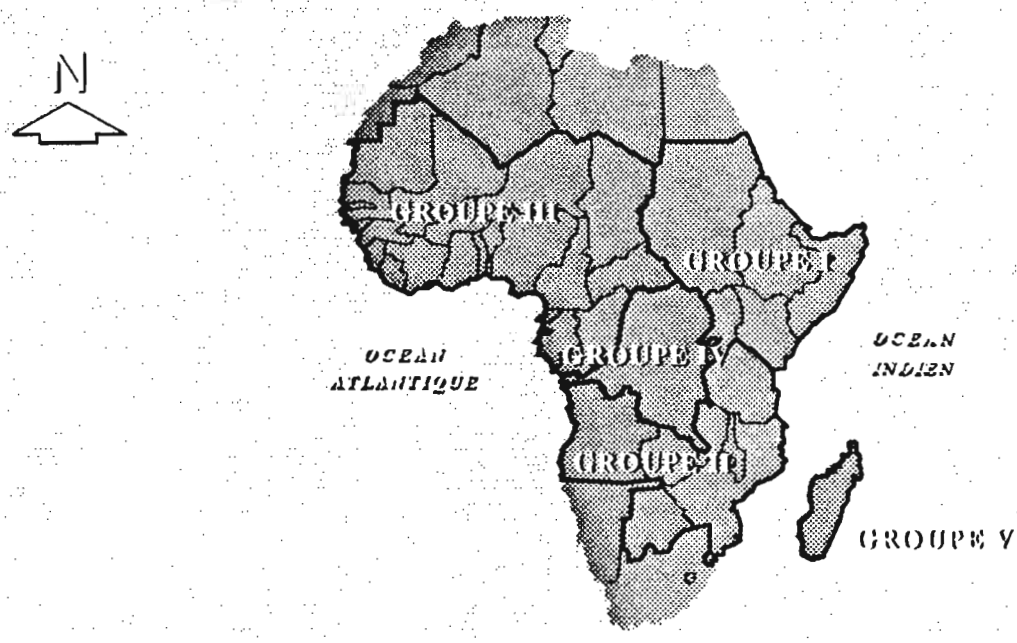
Huit organisations et cinq programmes/projets sont décrits brièvement ; leur performance est discutée par la suite, au chapitre 7. Sur ces huit organisations, cinq sont basées sur les bassins hydrologiques de surface comme par exemple HYDRONIGER. L'organisation CILSS et son programme associé AGRHYMET concerne l'ensemble des pays de la zone de Sahel qui doivent faire constamment face au fléau que représente la sécheresse. Le CIEH est une organisation intergouvernementale de pays principalement francophones. Les trois programmes restants : CLICOM, DARE et OCP bénéficient tous de soutien international et chacun couvre une grande partie de l'Afrique de l'Ouest.

4 Méthode d'évaluation des systèmes de collecte de données

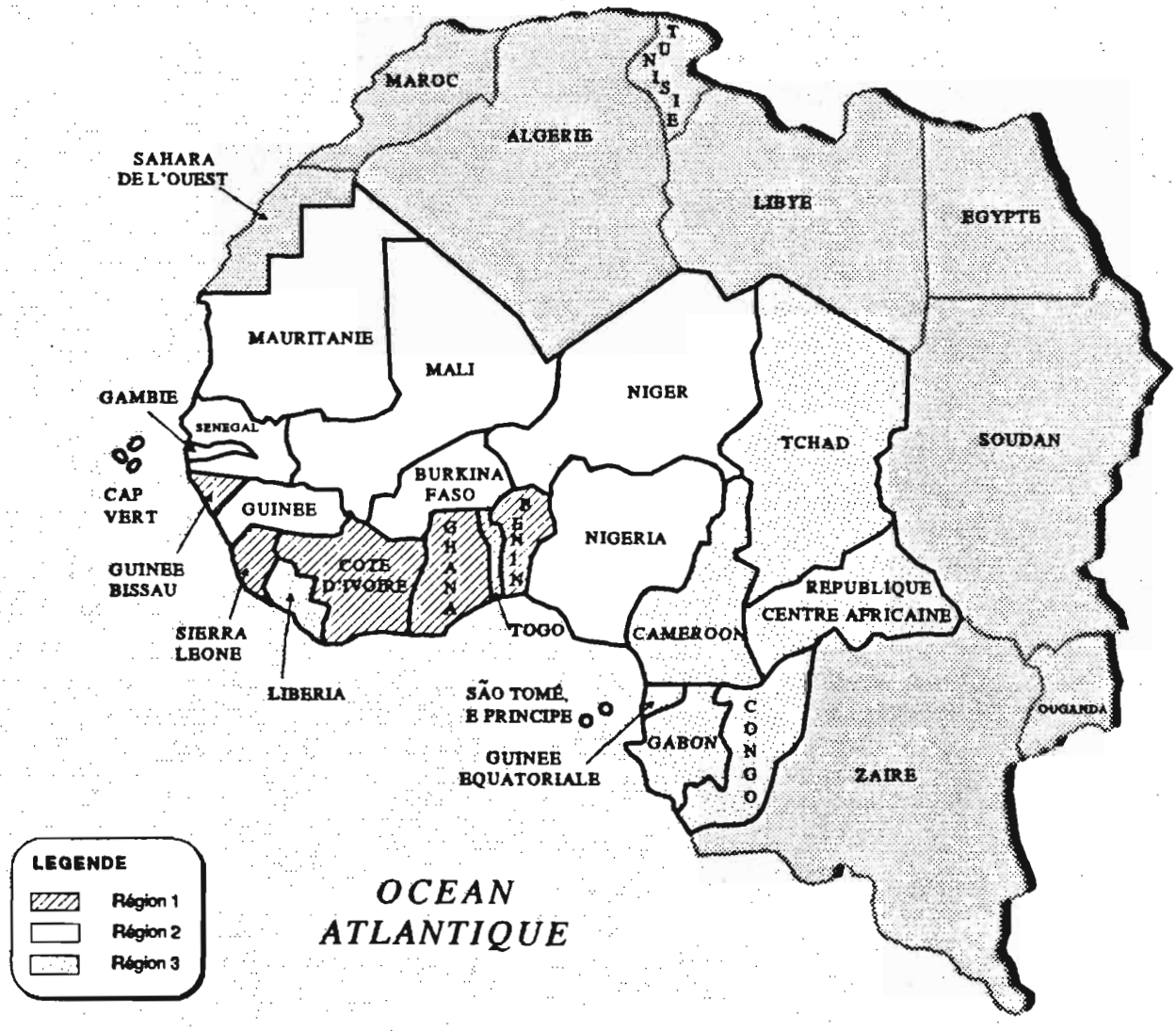
La publication de lignes directrices par l'UNESCO et l'OMM, "Water Resource Assessment Activities : Handbook for National Evaluation" (1988), constitue une méthode de comparaison objective des systèmes de collecte et de traitement de données hydrologiques en établissant des normes "mondiales" permettant de comparer les services hydrologiques et leurs activités. Pour évaluer si le service hydrométrique national est adéquat, on préfère généralement l'alternative qui consiste à effectuer une analyse coût-bénéfice rapportant le coût des services aux bénéfices offerts par l'aménagement futur des ressources en eau. L'application d'un ensemble de critères standard est une

La Zone d'Etude

Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-Saharienne



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



Les agences de collecte de données sont très couramment soumises à la contrainte d'un financement inadéquat associé à une situation économique généralement médiocre. Les restrictions budgétaires prolongées ont conduit à une baisse de qualification du personnel et à une pénurie d'équipement et de transport, ce qui ne permet plus de faire fonctionner des réseaux conçus et implantés au cours de périodes passées moins austères. A l'heure actuelle, les financements ont été réduits au point que la plupart des agences sont à peine capables de fonctionner, et très peu d'entre elles le font de manière satisfaisante. Les projets régionaux tels AGRHYMET (cf. 3.3.1) ou OCP (cf. 3.3.3) ont créé momentanément des conditions très favorables dans beaucoup de pays, en assumant une part importante des activités hydrométriques sur financements internationaux. Si ce type de support venait à disparaître, la totalité des suivis hydrométriques viendrait à cesser rapidement dans certains pays.

L'évaluation et la modification de la structure des réseaux hydrométriques constituent un processus qui préoccupe tous les services nationaux de la région, mais récemment deux éléments nouveaux, les restrictions budgétaires et l'avènement de technologies plus modernes de collecte des données, ont focalisées davantage leur attention. L'apparition du matériel de surveillance électronique permet d'appréhender directement tout le processus de collecte et l'utilisation des données, stockées en mémoire et directement transférées sur informatique.

Le projet HYDRONIGER représente pour cette région le plus ancien exemple de réseau constitué par 65 stations automatiques reliées par satellite à un centre de réception principal à Niamey. Mais quelques agences nationales contrôlant les eaux de surface, commencent à incorporer une telle technologie dans leurs réseaux, celle-ci offrant des économies potentielles de personnel de terrain et des coûts de transport réduits.

Avoir des données fiables est le but ultime d'une bonne collecte de données en hydrométrie, et d'un bon traitement de ces données. Dans certains pays, les inspections sur le terrain, les jaugeages et les activités d'échantillonnage sont à présent tellement réduits que des doutes ont été émis sur la fiabilité de l'information finale, produit de données collectées grâce aux réseaux opérationnels.

On n'a trouvé aucune place par exemple, d'un quelconque essai de planification des programmes de jaugeages annuels sur la base d'une évaluation où le jaugeage serait absolument nécessaire pour maintenir la qualité des débits traités.

Il est essentiel que les agences régionales aient une vue à long terme de la collecte de données et donnent des priorités à leurs activités pour qu'apparaissent clairement les tâches qui doivent être réduites ou temporairement suspendues si la situation financière l'exige. Ceci pourrait être mieux décrit en termes d'activités "primaires" ou "secondaires". En ayant identifié, par exemple, le réseau primaire à long terme des points de surveillance du niveau de l'eau et de toutes les activités de terrain nécessaires à son maintien (programme de jaugeage, visite d'entretien, remplacement de l'équipement, etc.), l'agence sera en mesure de déterminer les limites de ses programmes secondaires.

Les activités de surveillance primaires sélectionnées devraient être le meilleur compromis entre les exigences conflictuelles de ne pas dépasser les limites d'un budget et de fournir des données de haute

qualité du type le plus enclin à être demandé dans le futur par ces programmes de développement des ressources en eau.

Peu de pays tentent une surveillance systématique des sédiments. Quand on fait cas de l'utilisation des données relatives aux sédiments dans les plans de développement (envasement estimés sur le sites de réservoirs potentiels, effet des pratiques culturales sur l'érosion, etc.) et des difficultés inhérentes à la mesure effective de l'apport des sédiments dans les rivières (à la fois sur le terrain et au laboratoire), il apparaît qu'une telle surveillance serait mieux menée sur la base d'un projet, peut-être si les agences nationales entreprenaient des programmes de mesure sous contrat. La surveillance de la qualité de l'eau pose des problèmes similaires et de la même manière n'est pas facilement gérable sur la base d'un réseau de surveillance national. On reconnaît bien le besoin de contrôler la qualité des sources potables avant d'en distribuer l'eau sans toujours le mettre en oeuvre précisément dans les programmes de forages ruraux, la surveillance régulière étant seulement entreprise auprès de quelques sources urbaines majeures. La surveillance environnementale de fond pourrait être introduite de manière appropriée sous la forme de relevés intensifs de saison sèche au niveau national des sources de surface, exécutés peut-être tous les cinq ou dix ans et organisés sur la base d'un projet.

6 Gestion des données

Les agences de collecte de la région sont pour la plupart dans une période de transition en matière de gestion de données, passant de systèmes de traitement essentiellement manuels à des systèmes informatisés. Les systèmes de gestion de données comportent une diversité d'activités, depuis la tenue des bordereaux par les observateurs sur le terrain jusqu'à la gestion des données par le système central, en passant par la saisie, le stockage et l'accès aux informations et la publication des données. Dans certains cas, le système peut être complètement informatisé, en particulier lorsque des systèmes de télétransmission de données sont utilisés.

Les contraintes financières des systèmes nationaux ont eu un effet négatif sur la récente performance de leurs systèmes de traitement des données. Les problèmes liés à la gestion des données sont très nombreux et trouvent leur origine dans un certain nombre de causes fondamentales comme:

- l'inadaptation et la lourdeur des structures administratives ;
- le développement non coordonné de différents systèmes de gestion, qui peut introduire des domaines d'incompatibilité ou de redondance ;
- l'inadéquation des qualifications des personnels et des moyens ;
- l'insuffisance des réflexions préalables aboutissant à des systèmes de stockage de l'information inadaptés ;
- des installations matérielles très médiocres ;
- une animation et des contrôles de travaux inadéquats ;
- un manque de support informatique et d'entretien.

Une condition préalable nécessaire pour qu'un système de gestion de données puisse être opéré avec succès, qu'il soit manuel ou informatisé, est l'existence d'une bonne gestion et d'un personnel

suffisant en nombre et en qualité. Dans le cas de systèmes manuels qui manquent de main d'oeuvre ou qui sont mal encadrés, l'introduction d'ordinateurs ne peut pas résoudre entièrement le problème.

Au sein de la région, la vaste diffusion de logiciels spécialisés pour la météorologie et l'étude des eaux de surface a été un développement majeur des techniques de traitement des données : systèmes de traitement "CLICOM" de l'OMM et "HYDROM" de l'ORSTOM.

Dans le domaine des eaux souterraines, la création de banques de données utilisant des logiciels bien connus tels que Dbase sont maintenant largement disponibles. L'introduction de logiciels similaires fournit l'opportunité de créer des standards régionaux pour un traitement efficace des données, l'amélioration du stockage des données et des systèmes d'extraction, et une opportunité pour des publications de données plus fiables.

Un certain nombre d'observations peuvent être faites concernant l'état actuel de la gestion informatisée des données dans la région :

- l'entretien du matériel informatique est insignifiant et ceci représente un problème réel en dépit de la solidité des micro-ordinateurs de ces dernières années ;

- le contrôle de la qualité est très variable et dans certains cas, les bases de données n'ont pas été vérifiées pour éliminer les erreurs de saisie. Ceci est une insuffisance potentiellement grave puisque l'on a tendance à considérer que toute donnée imprimée par l'ordinateur est correcte, tout simplement parce qu'elle est informatisée ;

- lorsqu'une assistance technique a été fournie à long terme, ou lorsque la base de données a été entretenue dans le cadre d'un projet spécifique, les systèmes ont fonctionné de manière relativement satisfaisante, mais lorsque le soutien apporté a été insuffisant, comme ce fut le cas pour certaines des installations de CLICOM, le système n'a jamais atteint tous ses objectifs ;

- il n'est pas évident que le problème du stockage à long terme des données informatisée soit étudié de façon adéquate.

Les systèmes de saisie informatisée de données réclament une bonne gestion et sont beaucoup plus exigeants que les systèmes manuels qu'ils remplacent ; une défaillance au niveau de la formation du personnel, de l'entretien de l'équipement et du maintien le plus rigoureux des procédures de stockage des données peut présenter un risque considérable quant à la sécurité à long terme des données.

L'apparition d'une informatique à moindre coût peut néanmoins offrir l'opportunité de décentraliser le traitement des données de base (saisie et contrôle de qualité primaire) et ainsi impliquer les hydrométristes responsables de la collecte de données dont la connaissance des sites de surveillance peut rendre le contrôle de la qualité plus efficace.

7 Aspects institutionnels

L'expérience récente a montré que les services de collecte de données sont habituellement victimes des exercices de restriction budgétaire périodiquement imposés aux gouvernements. Pour pouvoir exercer une pression efficace et obtenir des budgets plus importants, les retours économiques induits par l'existence de données de bonne qualité doivent être connus, de façon à ce que les décideurs soient informés des risques à concevoir des projets sans données hydrologiques ou sur la base de données hydrologiques inadéquates.

Le manque de véhicules présente un sérieux problème à un grand nombre d'agences et a une répercussion considérable sur leurs activités.

Les pénuries de main d'oeuvre sont une préoccupation majeure pour un grand nombre d'agences. Ceci découle à la fois de la pénurie de personnel qualifié au niveau national et de la basse priorité donnée aux services hydrométriques, ainsi que des conditions médiocres de carrière, de salaire et de conditions de travail au sein de ces services.

Un grand nombre des agences de la région ont un besoin urgent de financements pour que le fonctionnement au quotidien puisse être assuré à son niveau le plus élémentaire.

La coopération régionale devient une nécessité de plus en plus impérative compte tenu de l'accroissement rapide de la population, le désir d'améliorer le niveau d'alimentation en eau et de l'incertitude quant à la stabilité du climat et la possibilité que la sécheresse de ces dernières années puisse persister ou se reproduire avec une plus grande fréquence. Il existe un certain nombre de moyens possibles pour arriver à une telle coopération, depuis d'importantes organisations permanentes telles que l'Agence de Bassin du Niger jusqu'à de petits comités inter-gouvernementaux. L'évaluation que nous avons faite de ces alternatives indique que les petites organisations dont l'objectif n'est pas aussi vaste peuvent réussir plus facilement. Le programme AGRHYMET montre plusieurs caractéristiques qui, à notre avis, devraient être incorporées dans les programmes futurs.

8 Recommandations

Nous estimons que les meilleures chances d'obtenir un contrôle et une gestion efficaces des ressources en eau résident en un programme de soutien à long terme, au niveau national et régional, couvrant tous les aspects des services hydrométriques. L'accent devrait porter sur une période d'assistance prolongée ; la plupart des problèmes hydrométriques rencontrés dans la région sont anciens et l'expérience passée a montré qu'ils ne pouvaient être résolus par deux ou trois années d'assistance.

Le "Programme pour le Développement de l'Hydrométrie en Afrique de l'Ouest - PDH" a été formulé dans ce sens et toutes les recommandations qui suivent visent à donner aux agences hydrologiques de collecte les moyens de remplir efficacement leur mission sur des bases concertées et durables.

L'engagement de maintenir une assistance directe pendant une période de 10 à 15 ans est indispensable, tout comme le sont des apports importants et systématiques en équipements essentiels, en capacité d'expertise et en formation, conçus pour satisfaire aux besoins de chacun des pays.

Les recommandations qui sont faites concernent tous les aspects touchant au suivi des eaux de surface, depuis les méthodes de mesure sur le terrain, jusqu'au traitement et à la gestion des données, la présentation des résultats et l'utilisation des données. Il a constamment été tenu compte des implications financières et administratives du projet pour chaque pays.

Le programme consiste en une série de projets nationaux qui ont été soigneusement conçus de façon à améliorer la capacité des services. Outre les projets nationaux, un certain nombre de projets régionaux ont également été conçus pour inciter à la coopération régionale et pour promouvoir, soutenir et effectuer le suivi des services hydrométriques.

Le PDH est basé sur un nombre d'éléments qui se sont révélés positifs dans le cadre du long programme AGRHYMET, en particulier en ce qui concerne la coordination des composantes régionales et nationales du programme. Une attention particulière a été accordée à la structure institutionnelle du programme, d'après les résultats d'une évaluation détaillée d'un certain nombre d'organisations et de projets régionaux, et en tenant compte des perspectives différentes des agences nationales et des agences de financement bilatérales ou multilatérales, sur un grand nombre de questions telles que l'équilibre entre les projets régionaux et nationaux, ou l'étendue des intrants en biens d'équipements et personnels internationaux.

Cinq projets régionaux et 153 projets nationaux ont été identifiés, le coût total étant d'environ 150 millions US$. Les propositions de projets ont été élaborées à partir de la publication du PNUD **"Guidelines for Project Evaluation and Project Document Formulation"** ("Lignes Directrices pour l'Evaluation de Projets et la Formulation de Documents de Projets") et elles sont donc présentées dans un format approprié à l'évaluation préliminaire des agences de financement. Les projets régionaux sont décrits dans ce rapport et les projets nationaux sont présentés dans les rapports de pays concernés.

Les cinq projets régionaux sont les suivants :

REG-1	Projet Parasol ;
REG-2	Programmes de Formation pour les Techniciens et les Cadres ;
REG-3	Programme de Suivi Perfectionné de l'Hydrologie et de l'Environnement ;
REG-4	Programme de Récupération de Données ;
REG-5	Evaluation des Bienfaits Economiques et Sociaux de la Collecte de Données de Ressources en Eau.

Le Projet Parasol vise à mettre en place une petite équipe de coordination pour le *Programme de Développement de l'Hydrométrie*, en vue d'assurer la présence continue d'experts techniques dans la région, pendant 10 à 15 années. Le Projet Parasol est plus un projet susceptible de fournir un lien rentable, et dont l'efficacité est démontrable, entre les composantes du PDH, qu'un projet de prestige

coûteux. Le lien entre le Projet Parasol, le PDH plus vaste et tous les autres projets identifiés, fait l'objet de la figure R.2.

Les principales activités du Projet Parasol peuvent être classées dans les catégories suivantes :

- Coordination des composantes du Programme de Développement de l'Hydrométrie ;
- Promotion ;
- Formation (comme soutien au Projet REG-2 et composantes de formation dans le cadre des projets nationaux) ;
- Standardisation des pratiques et de l'équipement, en vue d'une harmonisation au niveau régional ;
- Entretien ;
- Matériel et logiciels informatiques - soutien aux autres projets ;
- Assistance visant à assurer la disponibilité régulière d'un minimum de données fiables (comme soutien au Projet REG-3 et à un nombre de projets nationaux).

9 Résumé des commentaires sur le rapport régional provisoire

La Banque Mondiale avait invité le UNDTCD, l'OMM, le CIEH et des représentants des pays de la région à réviser le rapport régional et particulièrement à commenter les propositions de projets.

Un certain nombre de thèmes communs ont été identifiés parmi les commentaires reçus et tous les efforts ont été faits pour en tenir compte lors de la finalisation du rapport :

- Les projets devraient accentuer leur "sustainability" par une utilisation maximale d'experts africains.

- Une organisation régionale existante devrait être identifiée qui servirait de base au projet Parasol REG-1.

- Le concept général du projet de suivi de l'environnement à l'échelle du continent, dont REG-3 est la ramification régionale, est accepté.

- Des problèmes dans les projets régionaux sont à prévoir pour ce qui est du partage des données sur les ressources en eau qui ne sont pas considérées comme faisant partie du "domaine public".

- Il est reconnu que les équipements de haute technologie peuvent avoir un rôle important à jour, tempéré par l'expérience du coût (une formation est nécessaire spécialement pour la maintenance, la courte existence de certains équipements avec pour conséquence la nécessité de les remplacer régulièrement).

- Tel qu'il était présenté, le projet REG-5 a été généralement perçu par les représentant des pays comme une critique implicite des directions des services, de leur insuffisance ou de leur absence de qualité.

Cependant, certaines opinions ne sont exprimées que par une source unique et, à ce stade du projet, il n'est pas possible de concilier chacune des vues divergentes avec celles des autres contributeurs, ni de montrer comment les nouveaux concepts peuvent être livrés à leur propre expertise. Par exemple :

- Les participants à la réunion d'Abidjan suggèrent qu'un programme régional soit institué pour les ressources en eau et que le PDH représente une première étape essentielle d'un tel programme.

- Les participants à l'atelier d'Accra rejettent le besoin du Projet Parasol REG-1 .

- Les participants à l'atelier d'Accra réclament aussi l'accroissement de l'importance des projets par pays auxquels ils donnent la priorité sur les projets régionaux.

- Les commentaires de l'UNDTCD sur le projet REG-3 suggèrent que les autres technologies de plus bas niveau soient également explorées.

- Les contributeurs à l'atelier d'Abidjan préfèrent la stratégie alternative présentée pour le projet REG-3, qui minimise les responsabilités de l'équipe dirigeante du projet REG-3 en faveur d'un renforcement du développement des agences nationales, en suggérant que les projets REG-3 et REG-1 soient combinés.

- Les participants de l'atelier d'Abidjan ont approuvé l'idée de rassembler tous les aspects des ressources en eau au sein d'une seule organisation et, au cas où le climat politique serait favorable, de lui donner un statut d'agence semi-autonome, en partie financée par le gouvernement et en partie financée par des activités commerciales, avec pour objectifs l'accroissement des financements globaux et la mise en place d'un emploi général.

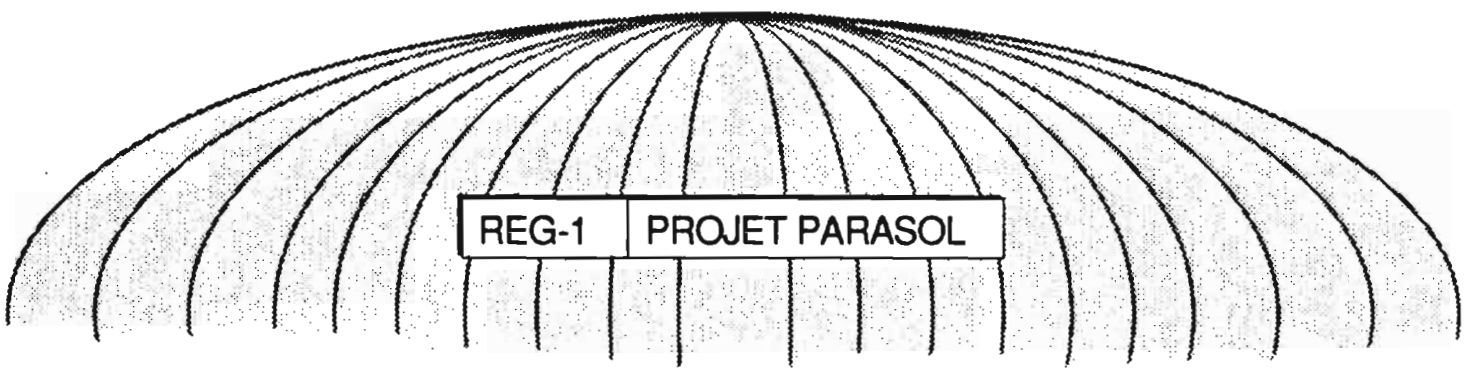
Tous ces points sont des contributions valables au débat à ouvrir sur la bonne approche de l'assistance internationale pour le développement des ressources en eau dans la région, et en particulier avec l'objectif de consolider les services hydrologiques nationaux.

AGENCES DE FINANCEMENT

CONSULTANTS DES AGENCES D'EXECUTION

COMITE D'ORGANISATION

PROGRAMME POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'HYDROMETRIE



PROJETS NATIONAUX					
Pays A.....					Pays W
AAA-1		Projets nationaux visant à renforcer la collecte et le traitement des données en météorologie, hydrologie et eaux souterraines.		WWW-1	
AAA-n				WWW-n	

PROJETS REGIONAUX	
REG-2	Formation
REG-3	Surveillance de L'Environnement
REG-4	Récupération de Données
REG-5	Valeur des données de Ressources en Eau

Organisation du Programme de Développement de l'Hydrométrie

Figure R.2

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

Le programme d'évaluation des systèmes de collecte de données hydrologiques de 23 pays d'Afrique de l'Ouest constitue une partie d'une étude plus importante, qui porte sur l'ensemble des pays de l'Afrique sub-saharienne. La présente étude est financée conjointement par le Programme des Nations Unies pour le Développement (Projet RAF/87/030), la Banque Africaine de Développement et le Fond d'Aide et de Coopération de la République Française (FAC), sous la coordination de la Banque Mondiale. Le présent Projet "Afrique de l'Ouest" est le troisième volet de l'étude générale. L'évaluation des pays membres de l'IGAAD a été terminée en fin d'année 1989 et celle des pays du SADCC en fin 1990. En même temps que la présente étude, une quatrième tranche était en phase de réalisation sur trois pays d'Afrique Centrale. La figure 1.1 présente la zone du projet concernant ces pays de l'Afrique de l'Ouest.

L'objectif du projet était d'évaluer la situation des réseaux et des systèmes de collecte, de dresser un état exhaustif des données hydrologiques existantes et de faire des recommandations pour pallier aux manques les plus importants, pour améliorer la qualité de la collecte et pour renforcer la capacité à mesurer, collecter, traiter et publier les données et les informations hydrologiques dans les pays sub-sahariens. A long terme, l'objectif est d'aider les pays de la zone dans la création ou l'amélioration d'une base de connaissances fiables en hydrologie, qui soit utilisable pour la conception et l'évaluation des programmes et des projets de mise en valeur des ressources en eau. Les domaines abordés dans la présente expertise sont les données hydrométéorologiques, les ressources en eau de surface et les eaux souterraines.

Pendant toute la durée de l'étude, le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) a assuré la coordination entre les 14 pays membres du Comité, les consultants et la Banque Mondiale. L'encadrement du CIEH a été extrêmement précieux à toutes les étapes du Projet, plus particulièrement pour la préparation et le suivi des visites des experts dans les pays membres. Le CIEH a poursuivi sa collaboration en rassemblant les commentaires des pays membres après la remise des rapports provisoires et en assurant une lecture critique des rapports pour la Banque Mondiale.

1.2 Le rapport intérêt/coût des données hydrologiques

Un préalable nécessaire à l'appréciation de tout système de collecte de données est de déterminer la valeur des informations à acquérir, c'est-à-dire, d'une part leur utilité et d'autre part leur prix de revient.

Il est très difficile d'estimer correctement la valeur des données hydrologiques, particulièrement celle des données de base, telles que celles requises par exemple pour connaître précisément la répartition des précipitations. Par contre, cette évaluation reste possible pour des projets particuliers, comme la construction d'un barrage, pour lesquels les répercussions financières d'une mauvaise connaissance des débits sur le coût de l'aménagement peuvent être appréciées, même si cela est rarement fait.

En Afrique de l'Ouest, les données hydrologiques sont le plus souvent utilisées pour des objectifs de développement d'extension limitée *(small scale development)*, tels que : détermination des droits d'eau, captage pour l'adduction en zone rurale ou conception de petits périmètres irrigués. Dans la plupart des cas, la connaissance de la ressource ne résulte pas d'une mesure effective sur le site, mais doit s'appuyer sur des procédures d'extrapolation ou de régionalisation des données, avec par exemple l'utilisation de valeurs limites inférieures pour les coefficients de ruissellement ou pour l'état des réserves en eaux souterraines. Une régionalisation précise de ces données serait évidemment du plus grand intérêt, mais au stade actuel, même la précision des méthodes d'interpolation utilisées reste mal connue.

Une appréciation sur une base plus large de la valeur des données hydrologiques peut aussi être faite en comparant les coûts et les moyens investis dans la conception, la construction, la mise en oeuvre et la maintenance des aménagements hydrologiques, avec les ressources qui sont affectées à la collecte des données hydrologiques. De telles comparaisons seront faites plus loin dans ce rapport lorsque l'on traitera des agences de collecte de données hydrologiques et de leur fonctionnement.

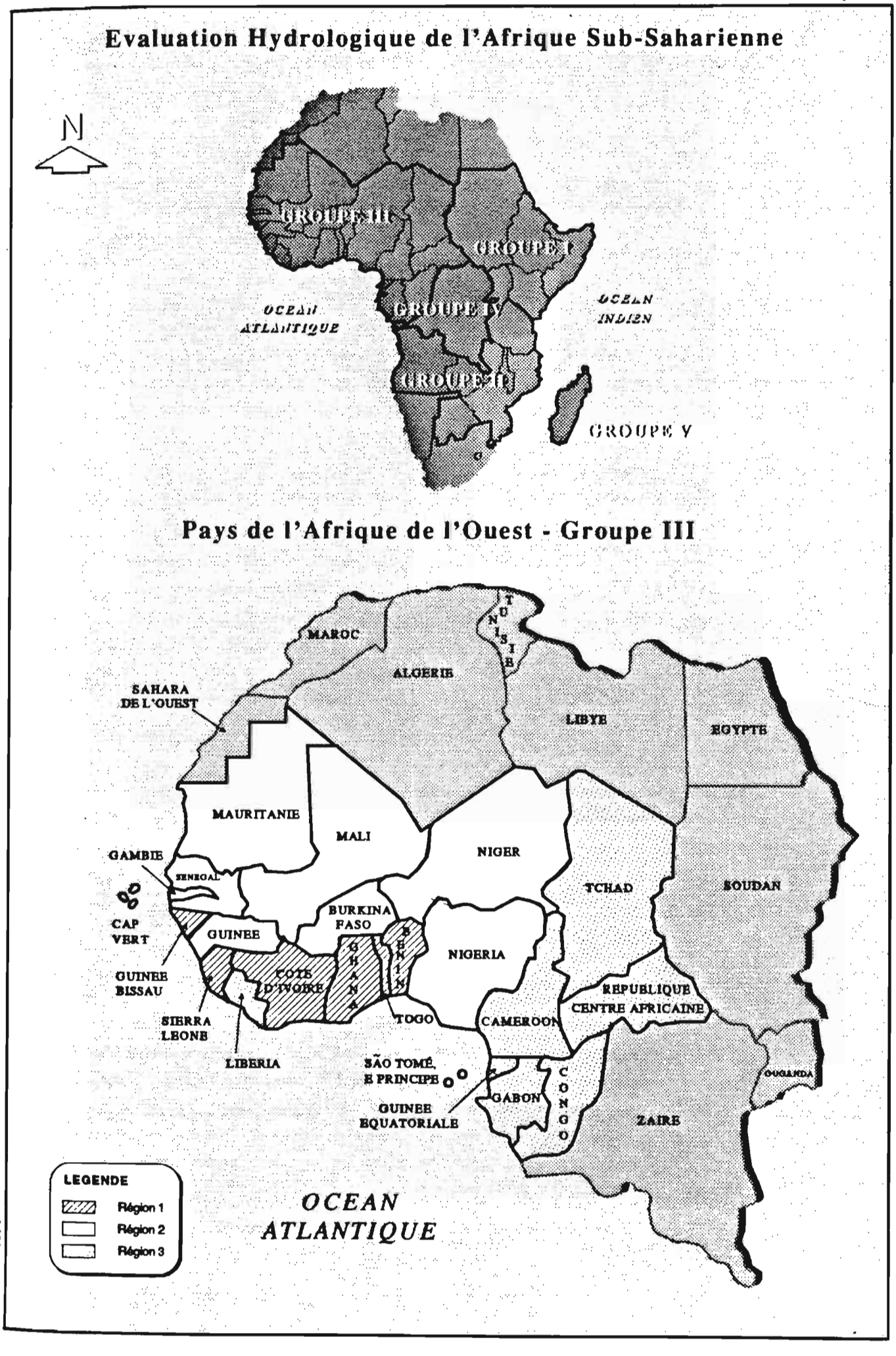
Un fait très important qu'il faut toujours garder présent à l'esprit dans toute évaluation des bénéfices de la collecte de données hydrologiques est la nécessité d'avoir une idée précise de la variabilité à long terme de tout paramètre hydrologique, si l'on désire exploiter cette ressource de manière optimisée. Cela signifie que même pour les projets qui ne seront développés qu'à l'échéance des 50 prochaines années, les données collectées maintenant pourraient être d'une valeur irremplaçable.

Ceci est d'autant plus vrai dans le contexte actuel, où l'on s'inquiète fortement des impacts de l'homme sur le climat à long terme, de l'effet de serre et du réchauffement global qui en découle, de la désertification, de l'érosion croissante des sols et d'autres tendances de ce type. Les seuls moyens à notre disposition pour évaluer ces lentes modifications de l'environnement sont d'assurer un suivi précis et fiable de réseaux de collecte spécialement conçus à cet effet.

Un événement exceptionnel peut survenir à tout moment d'une période d'observation, et par exemple, une crue importante peut amener à réviser une prévision des fortes crues qui aurait pourtant été calculée à partir d'une série observée de longue durée, mais de manière générale, on peut considérer qu'il y a aussi un effet asymptotique décroissant de la valeur des données hydrologiques en fonction de la durée de la collecte. L'information collectée sur un site la première année est plus importante que celle qui est collectée pendant la dixième année d'observation, qui est elle-même d'une plus grande valeur que la cinquantième année de données. Cet effet temporel amène à concevoir l'organisation des réseaux hydrométriques selon deux niveaux :

Figure 1.1

La Zone d'Etude



- Le niveau supérieur est composé par les stations primaires qui fournissent une information sur la variabilité temporelle de la ressource et ces stations sont exploitées selon des protocoles aussi constants et consistants que possible.

- Le niveau inférieur est composé par des stations fournissant l'information au niveau local ce qui permet d'interpoler les résultats entre les noeuds du réseau primaire et par conséquent ces stations secondaires peuvent être fermées dès que la répartition spatiale des paramètres est connue avec une précision suffisante.

Malheureusement, la situation selon laquelle la variabilité spatiale des principaux paramètres hydrologiques est supposée connue avec la précision requise n'est actuellement réalisée dans aucun des pays d'Afrique de l'Ouest, bien qu'une amélioration significative de cette situation puisse être envisagée au cours de la prochaine décennie, avec la possibilité de proposer d'importantes réductions du nombre des stations hydrométriques.

Dans le passé, l'importance des données hydrologiques a été fortement sous-évaluée en Afrique de l'Ouest, avec pour conséquence des services hydrologiques nationaux dotés de budgets irréalistes et de ressources humaines et matérielles totalement inadéquates. La sécheresse qui a affecté les pays sahéliens a entraîné un grand nombre d'initiatives internationales pour que certaines données hydrologiques soient disponibles rapidement. De fait, la sécheresse aura focalisé l'attention sur l'intérêt et l'importance des données hydrologiques dans un tel environnement, particulièrement vulnérable aux variations climatiques.

1.3 Méthodologie

L'étude a été menée en trois phases : une courte phase préliminaire, l'évaluation proprement-dite avec la rédaction et la remise des rapports nationaux provisoires et la phase terminale de finalisation. Pour des questions de convenance, les vingt-trois pays ont été regroupés en trois ensembles (figure 1.2). Cette subdivision aura permis d'améliorer la coordination de l'étude et la gestion des activités et aura permis à certains experts du groupement de procéder à l'évaluation hydrologique de plusieurs pays.

L'évaluation par pays a été lancée à l'occasion de la Réunion Préliminaire à laquelle ont participé des représentants des pays concernés. Au cours de cette réunion, les objectifs de l'étude ont été définis et une demande formelle a été transmise aux pays pour obtenir la mise à disposition des données avant la visite des consultants. Deux réunions de ce type se sont tenues ; en octobre 1990 pour les deux premiers groupes de pays et en mai 1991 pour le troisième groupe.

Pendant la phase préliminaire, des notices décrivant les protocoles de travail ont été préparées et distribuées à tous les membres du groupement pour assurer l'homogénéité des méthodologies, et celles de la présentation des rapports et de la formulation des propositions de Projets.

Le tableau 1.1 présente le calendrier des visites effectuées dans les différents pays pendant la phase d'évaluation.

TABLEAU 1.1

Programme de visite des pays

Pays	Date début mission	Durée	Responsable Hydrologie	Responsable Hydrogéologie
Mauritanie	Mai 1991	3 semaines	ORSTOM	BCEOM
Mali	Mai 1991	3 semaines	ORSTOM	BCEOM
Niger	Mars 1991	3 semaines	ORSTOM	BCEOM
Tchad	Juin 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
Sénégal	Mars 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
Gambie	Juin 1991	2 semaines	Mott MacDonald	Mott MacDonald
Guinée Bissau	Janvier 1991	2 semaines	ORSTOM	BCEOM
Guinée	Février 1991	3 semaines	ORSTOM	BCEOM
Sierra Leone	Janvier 1991	3 semaines	Mott MacDonald	Mott MacDonald
Libéria			Mott MacDonald	Mott MacDonald
Côte d'Ivoire	Janvier 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
Burkina Faso	Avril 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
Ghana	Février 1991	3 semaines	Mott MacDonald	Mott MacDonald
Togo	Février 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
Bénin	Novembre 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
Nigéria	Juillet 1991	5 semaines	Mott MacDonald	Mott MacDonald
Cameroun	Juin 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
R.C.A.	Octobre 1991	3 semaines	ORSTOM	BCEOM
Guinée Equatoriale	Août 1991	2 semaines	Mott MacDonald	Mott MacDonald
Gabon	Juillet 1991	3 semaines	ORSTOM	BCEOM
Congo	Juillet 1991	3 semaines	ORSTOM	SOGREAH
Cap Vert	Novembre 1991	2 semaines	ORSTOM	BCEOM
São Tomé & Príncipe	Août 1991	3 semaines	Mott MacDonald	Mott MacDonald

07171\30\NPAHYD-TECH\NABRD\WAC\WACFR_2.ORM

PHASE I
Préliminaire

DEBUT DE MISSION

Acheter cartes de base

Préparer Formulaires d' inventaire proforma

Demander, collecter et compiler données des archives de bureaux d' études, d' instituts britanniques, francais, portugais et espanols et d' organisations internationales

Préparer un document de programme de travail detaillé pour aider la coordination des activités dans les différents pays

Mobiliser et donner des instructions au personnel impliqué principalement dans les activites de la Phase 2

Travail de coordination avec l' ORSTOM

RAPPORT DE PREMIER ETABLISSEMENT

PHASE II

REGION 1	REGION 2	REGION 3
Unité Nationale	Unité Nationale	Unité Nationale
7 Pays: Bénin, Cap Vert, Côte d'Ivoire, Ghana, Guinée Bissau, Sierra Leone, Togo	8 Pays: Burkina Faso, Gambie, Guinée, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Sénégal	8 Pays: Cameroun, République Centr- Africaine, Tchad, Congo, Guinée Equatoriale, Gabon, Liberia, Sao Tome & Principe
RAPPORTS FINALS MINUTES	RAPPORTS FINALS MINUTES	RAPPORTS FINALS MINUTES
Cartes Minutes	Cartes Minutes	Rapport Régional; Cartes Minutes
Coordination ORSTOM	Coordination ORSTOM	Coordination ORSTOM

PHASE III

DISCUSSION & APPROBATION

RAPPORT FINAL

CORRECTIONS FINALES PRODUIRE ORIGINAUX DES CARTES

IMPRIMER CARTES

Méthodologie et organisation des travaux

Figure 1.2

Ce tableau indique la répartition des responsabilités entre les consultants et l'ORSTOM ; des consultants locaux ont été impliqués dans les évaluations concernant le Cameroun, le Tchad, le Ghana, le Nigéria et le Sénégal. Le tableau souligne le fait que les visites d'évaluation ont été extrêmement courtes, ce qui a obligé les membres de l'équipe à adopter une approche hautement concentrée et à procéder aux activités par ordre de priorité ; le temps total imparti à chaque pays était en moyenne de six semaines, y compris le temps passé au siège des consultants. Une conséquence directe de la courte durée de ces missions a été que l'examen des procédures de gestion et de traitement des données a bénéficié d'une attention prioritaire par rapport à la compilation des inventaires.

En plus des objectifs fondamentaux du projet, à savoir l'évaluation de la situation des réseaux, l'inventaire de la quantité et de la qualité des données disponibles et la réalisation de cartes hydrométéorologiques, se sont ajoutées un certain nombre de requêtes plus détaillées, spécifiques à chacun des pays, définies par des Termes de Références Particuliers.

Ces requêtes ont fait l'objet d'une attention particulière et ont été traitées de manière aussi complète que possible. Ces problèmes ont été discutés en détail avec les représentants des services concernés et les conclusions qui en découlent sont présentées dans le chapitre correspondant du rapport de pays.

Au début de la phase terminale de cette étude d'évaluation, les représentants des pays ont assisté à des réunions à Ouagadougou et Accra en mai 1992, au cours desquelles les consultants ont présenté leur analyse de la situation propre à chaque pays. Suite à cela, deux réunions-ateliers se sont tenues dans la région en septembre 1992, au cours desquelles les représentants des pays ont commenté et endossé la version provisoire du rapport régional et les propositions de projets proposés en annexe à ce rapport.

Compte tenu du fait que les données et les informations d'un certain pays ne sont pas forcément pertinentes en dehors de ce pays, il a été décidé de subdiviser le rapport final en autant de rapports nationaux de manière à fournir à chaque pays les informations le concernant directement. Le rapport est donc composé de 24 volumes : un rapport régional et 23 rapports nationaux. Le rapport régional a été préparé en anglais et en français. Les rapports relatifs aux trois pays lusophones et à la Guinée Equatoriale ont été rédigés dans la langue respective de chaque pays ainsi qu'en anglais ou en français. Il est entendu que chaque pays recevra avec son propre rapport national, le rapport régional dans sa version française ou anglaise selon le pays.

CHAPITRE 2

LES RESSOURCES EN EAU AU NIVEAU REGIONAL

2.1 Introduction

L'objectif premier du Projet d'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne était d'établir un état actualisé de la situation des réseaux de collecte de données hydrologiques dans les pays d'Afrique de l'Ouest et d'émettre des recommandations pour améliorer ou modifier ces dispositifs, afin qu'ils soient à même de répondre aux besoins des futurs programmes de développement de ressources en eau. Le projet ne visait pas à une évaluation détaillée de l'état et de l'évolution des ressources en eau et des besoins pays par pays, les délais d'exécution prévus étant de toute manière inadéquats pour une telle entreprise. On s'est toutefois efforcé d'obtenir pour chaque pays les chiffres officiels les plus récents, qui sont présentés dans les rapports nationaux. Lorsque les ressources sont partagées entre plusieurs états, les données correspondantes sont reprises dans ce chapitre.

2.2 Climat de l'Afrique de l'Ouest

2.2.1 Introduction

Dans le passé, les ressources en eau ont été appréciées sur la base de conditions climatiques supposées stables. Si dans les zones arides la conception des projets prenait effectivement en compte une plus grande variabilité inter-annuelle que dans les zones humides, les conditions climatiques ponctuelles étaient considérées comme constantes pendant toute la durée de fonctionnement de l'aménagement. Les conséquences dramatiques de la sécheresse prolongée dans le Sahel, qui ont montré les risques qu'il y avait à concevoir des projets d'aménagement à partir de séries chronologiques de durées relativement réduites, ainsi que l'importance grandissante du concept du réchauffement global dans l'opinion internationale, font que les facteurs climatiques sont aujourd'hui considérés comme déterminants pour l'évaluation des disponibilités et des besoins dans tout schéma d'utilisation des ressources en eau.

Ce chapitre comporte une analyse sommaire des éléments du climat à l'échelle régionale et présente les conséquences possibles d'un réchauffement global. Une discussion plus détaillée fait l'objet de l'annexe B.

2.2.2 Evolution climatique récente

A l'encontre des autres continents ou d'autres régions en Afrique, il n'y a pas en Afrique de l'Ouest de reliefs montagneux importants, ni dans les sens E-O ni dans les sens N-S, qui serait susceptible de perturber la circulation dominante de mousson. En conséquence, le climat régional est très

largement déterminé par les mouvements saisonniers de la Zone Inter-Tropicale de Convergence (ZITC). De ce fait, les variations saisonnières de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest sont très marquées avec l'occurrence d'une saison humide qui s'observe entre juillet et septembre sur les latitudes les plus septentrionales (entre 12^0 et 16^0 N), et d'avril à novembre plus au sud. Le long de la côte du Golfe de Guinée (entre 5^0 et 8^0 N), le régime pluviométrique se caractérise par une légère tendance bimodale, avec deux maximums en mai et en octobre séparés par une courte saison sèche en juillet et août.

La variabilité de la pluviométrie africaine est très forte, tant d'une année sur l'autre qu'à l'échelle de la décennie, plus particulièrement dans la frange tropicale semi-aride et sub-humide du continent (Hulme, 1992). Cette variabilité est un facteur inhérent au climat africain, et il a été démontré que cette situation se maintenait pour le moins depuis plusieurs siècles (Nicholson, 1978).

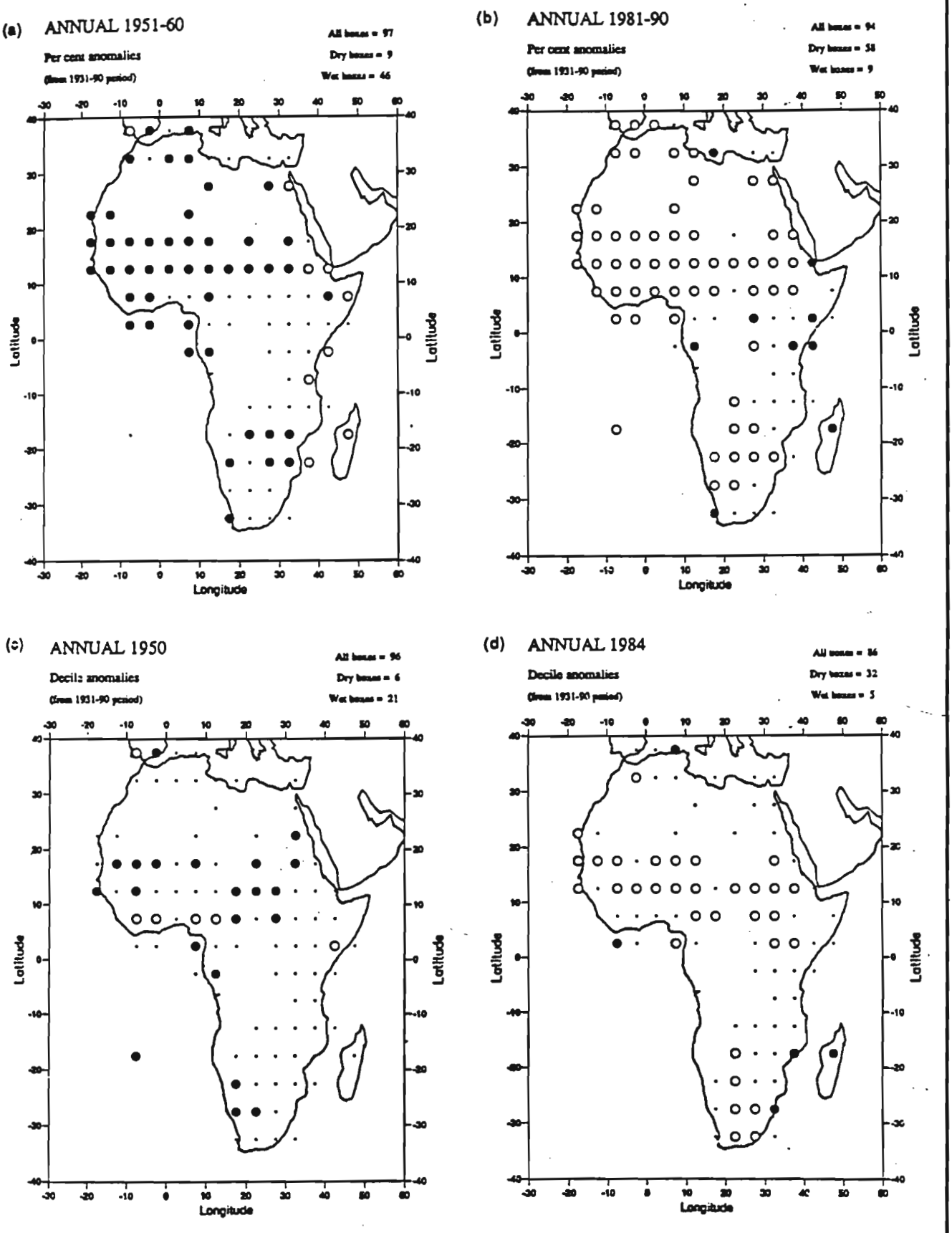
La figure 2.1 montre les anomalies pluviométriques en Afrique pour la décennie 1951-1960, généralement humide, et la décennie sèche 1981-1990. Les cartes (a) et (b) à la figure 2.1 montrent la cohérence des anomalies décennales de cette pluviométrie à travers toute l'Afrique de l'Ouest. On note également la tendance à observer en Afrique équatoriale des anomalies pluviométriques opposées à celles du reste du continent. Ce comportement pluviométrique opposé a été clairement mis en évidence par les niveaux enregistrés sur le lac Victoria, le lac Tanganyka et le lac Malawi. Toutefois, l'exemple le plus clair de ce phénomène est sans doute la stabilité à un niveau élevé depuis 1961 des apports du haut Nil Blanc (dont la source est située en Afrique équatoriale), alors que pour les deux dernières décennies le Nil Bleu (source en Afrique tropicale nord) a subi les plus sévères diminutions de débits jamais enregistrées pendant ce siècle.

En Afrique, les anomalies pluviométriques présentent une homogénéité spatiale très nette, aussi bien à l'échelle des années isolées qu'à celle des décennies. Ceci est illustré pour 1950 (humide) et 1984 (sèche) (voir carte (c) et (d) de la figure 2.1). Il apparaît que pour les années extrêmes particulières - sèches et humides - pratiquement tout le continent peut être affecté (par exemple 1984). Nicholson (1986) a identifié quatre types caractéristiques de répartition des anomalies pluviométriques sur le continent africain, à savoir :

- franges tropicales nord et sud sèches; régions équatoriales humides;
- franges tropicales nord et sud humides; régions tropicales sèches;
- la totalité du continent sèche;
- la totalité du continent humide.

Une approche plus fine de la variabilité de la pluviosité en Afrique de l'Ouest revient à considérer l'opposition des anomalies pluviométriques de la côte nord du Golfe de Guinée et de l'intérieur du Sahel. Ce contraste est figuré pour l'année 1950 généralement humide (figure 2.1, carte c) ainsi que sur la figure 2.2 qui montre les modifications des moyennes pluviométriques de juin à août entre les périodes 1931-60 et 1961-90 : alors que la pluviométrie dans le Sahel *avait diminué* d'un ordre de grandeur allant jusqu'à 1 $mm.jour^{-1}$, les précipitations sur la côte nord du golfe de Guinée *ont augmenté* dans les mêmes proportions.

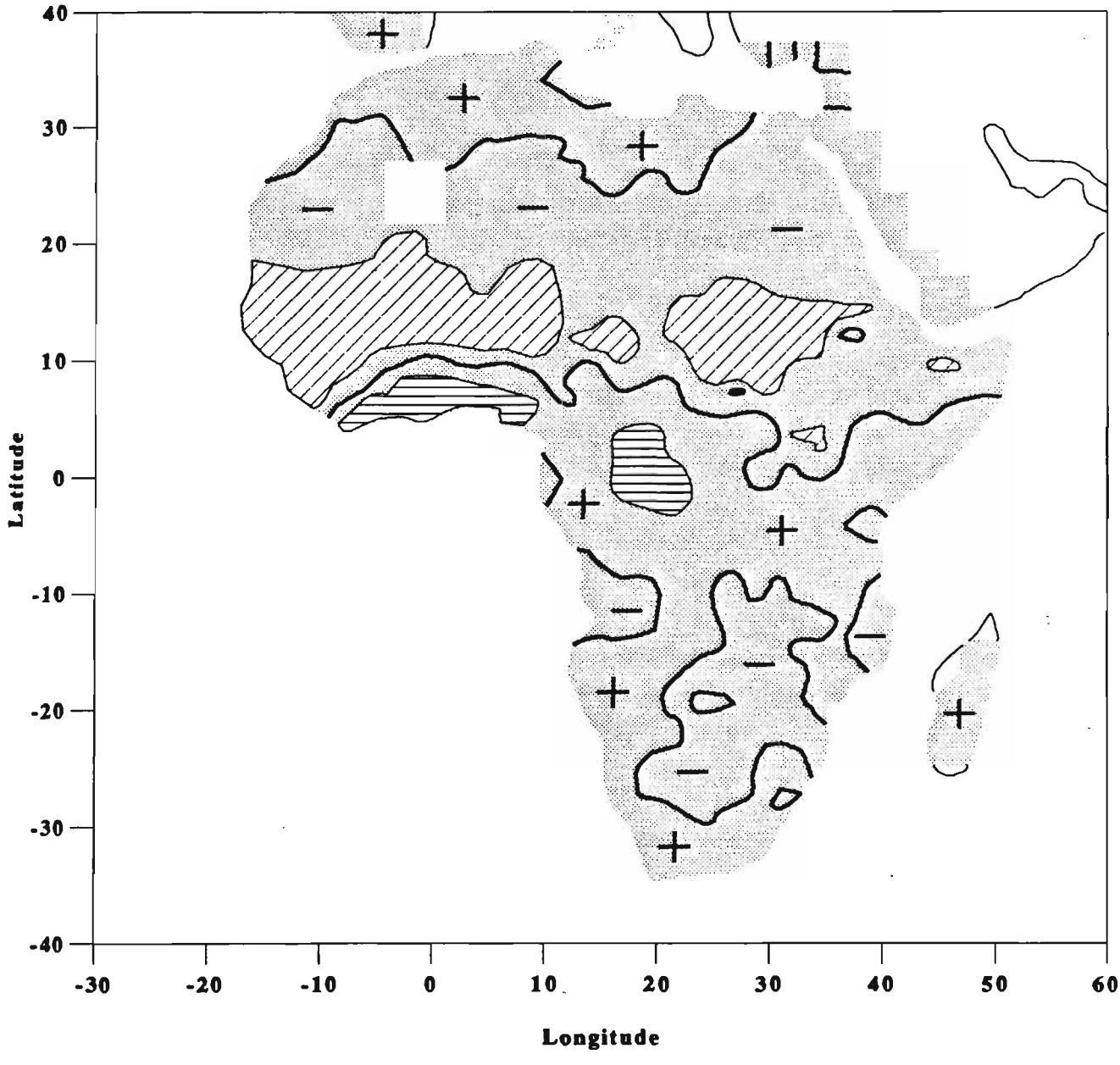
Anomalies pluviométriques des décennies 1951-60 et 1981-90 et des déciles des années 1950 et 1984



Les cercles pleins dans les cartes (a) et (b) indiquent que la pluviométrie moyenne annuelle de la décennie dépassait de plus de 5% la moyenne des années 1931 à 1990, les cercles vides qu'elle lui était inférieure de plus de 5% et les points indiquent une pluviométrie inférieure ou supérieure de moins de 5% à la moyenne des années 1931 à 1990. Dans les cartes (c) et (d), les cercles pleins indiquent que l'année sélectionnée tombe dans les 10% des années les plus humides entre 1931 et 1990, les cercles vides dans les 10% des années les plus sèches, et les points représentent toutes les autres valeurs.

Figure 2.2

Variations pluviométriques en été (juin, julliet, août) entre la période 1931-60 et la période 1961-90



Légende :-

Augmentation de pluviométrie > 0,5 mm par jour

Inchangé

Variations pluviométriques ± 0,5 mm par jour

Baisse de pluviométrie > 0,5 mm par jour

Les hydrologues s'appuient habituellement sur l'objectivité des méthodes statistiques pour estimer la marge d'incertitude avec laquelle sont connus les apports des cours d'eau, que ces données soient générées stochastiquement ou qu'elles proviennent directement de séries historiques observées. La tendance à long terme et l'effet de persistance sont généralement ignorés, tant que des explications physiques n'ont pu être avancées pour justifier la prise en considération de ces éléments.

A cet égard, trois facteurs sont particulièrement importants lorsque l'on considère les changements du climat en Afrique de l'Ouest :

- avec la persistance de la sécheresse au Sahel (figure 2.3), la probabilité de voir se développer des répercussions importantes au niveau des apports des cours d'eau augmente ;

- les recherches météorologiques à grande échelle fournissent des résultats qui tendent à expliquer les mécanismes de la sécheresse sur des bases physiques ;

- si la récente diminution de la pluviométrie est effectivement liée à des modifications physiques apportées au système climatique par l'homme, alors la persistance de cette situation et ses conséquences pourraient être plus prononcées et potentiellement plus graves que celles observées dans le passé.

La recherche des causes de la sécheresse en Afrique a été entreprise par le Bureau Météorologique du Royaume Uni (Folland et al, 1991). Ces travaux ont démontré qu'il existait de fortes corrélations entre les anomalies de Température de Surface de la Mer (TSM) à une échelle globale et l'occurrence de périodes humides et sèches en Afrique.

A partir du milieu des années 60, on a observé un réchauffement marqué des océans de l'hémisphère Sud par rapport à ceux de l'hémisphère Nord. L'Océan Indien tend à se réchauffer de la même façon que l'hémisphère Sud plutôt que parallèlement au Pacifique Nord et à l'Atlantique Nord. Lorsque l'on met en régression l'évolution temporelle des différences entre les anomalies de TSM des océans de l'hémisphère Sud (plus l'Océan Indien) et des océans de l'hémisphère Nord avec la série chronologique des anomalies pluviométriques du Sahel d'Afrique de l'Ouest, on constate qu'il existe une forte corrélation négative (figure 2.4) entre ces deux paramètres. Le coefficient de corrélation, calculé sur la période juillet-septembre, entre la répartition des TSM et les pluies au Sahel sur la période de 1901 à 1988 est de -0.62, cette valeur étant significative pour un intervalle de confiance de 99%.

Des simulations utilisant des modèles de représentation numérique du climat ont aussi été entreprises par le Bureau Météorologique du Royaume Uni, dans lesquelles on a simulé les anomalies pluviométriques dans le Sahel pour sept années récentes : 1950, 1958, 1976, 1983, 1984, 1988 et 1990 (Rowell et al., 1991). Pour ces simulations le modèle a été initialisé avec les répartitions spatiales des TSM effectivement observées sur l'ensemble du globe chacune de ces années, sans modifier les valeurs des autres paramètres. La bonne reproduction de la pluviométrie sur le Sahel obtenue par ces simulations qui utilisaient les anomalies de TSM de juin, renforce l'idée que des

anomalies de TSM à grande échelle peuvent altérer la pluviométrie au Sahel d'une manière significative.

Bien que le réchauffement observé dans les océans de l'hémisphère Sud, proportionnellement plus rapide que celui des océans de l'hémisphère Nord, semble dû à une réduction du transfert de chaleur du sud vers le nord, les mécanismes effectifs ne sont pas complètement expliqués.

2.2.3 Evolution climatique future

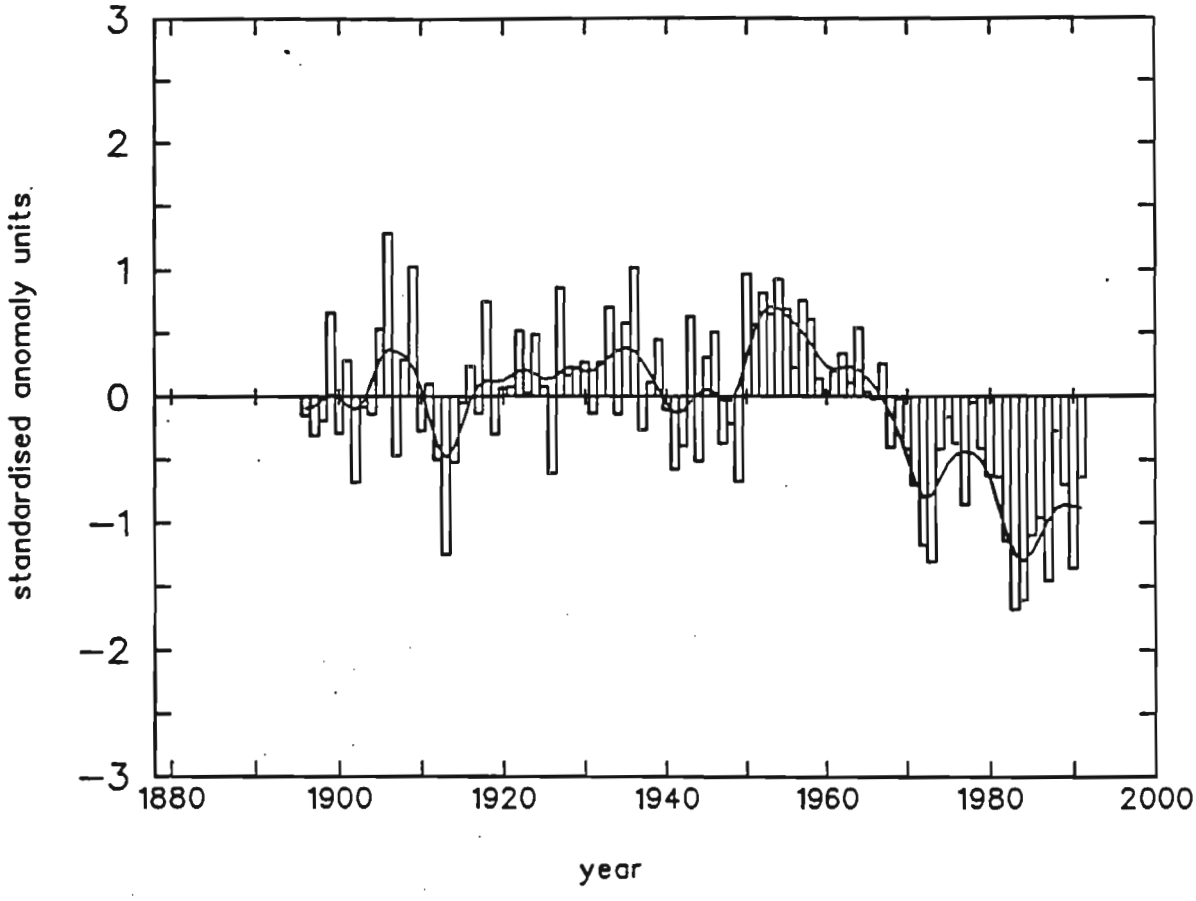
Pendant la dernière décennie, un certain nombre de tentatives importantes pour modéliser le climat ont été entreprises, pour apprécier les effets de l'augmentation des concentrations atmosphériques de CO_2 et d'autres gaz à effet de serre sur l'évolution future des températures et des précipitations. Ces recherches ont surtout reposé sur des Modèles prenant seulement en compte la Circulation Générale dans l'Atmosphère (AGCM), mais des travaux récents ont été faits sur des Modèles de Circulation Globale couplés océan-atmosphère. Le résultat consensuel de ces expériences est que pour un doublement de la concentration des gaz à effet de serre, la température moyenne d'équilibre de la Terre pourrait augmenter de 1,5° à 4,5° C. La meilleure estimation du réchauffement global serait de 2,5° C (Houghton et al., 1990). La date à laquelle un tel réchauffement serait atteint reste incertaine en raison du nombre de facteurs en cause. Toutes ces conclusions doivent être considérées plus comme des hypothèses de recherche, qui devront être validées, que comme des certitudes. L'annexe B présente le point de vue d'un expert particulier (Dr M. Hulme) sur ces questions.

Le fait que les résultats des différents modèles ne concordent pas entre eux fait naître un doute légitime quant à la fiabilité de ces simulations pour l'identification des changements climatiques régionaux. Ceci est plus vrai encore pour les précipitations que pour les températures. Un récent travail fait au Royaume Uni par le Climatic Research Unit (Wigley et al., 1992) a combiné les différents résultats obtenus par cinq modèles distincts de simulation, permettant d'apprécier ainsi l'incertitude des différentes prévisions des modifications du climat dans la région. Selon ce scénario composite de plusieurs modèles, une diminution de la pluviométrie de juin à août est prévisible sur la côte ouest de l'Afrique entre la Côte d'Ivoire et le Cameroun (figure 2.5). Plus au nord et à l'est, le modèle prévoit des augmentations de précipitations en été et cette zone avec augmentation des précipitations pourrait s'étendre vers le nord jusqu'au Lac Tchad. Pour un doublement de la concentration du CO_2 atmosphérique, ces augmentations pourraient aller jusqu'à 0,5 mm.jour^{-1}. Cependant sur les hauts bassins du Chari et du Logone, la modification de la pluviométrie serait probablement insignifiante. Les pluies hivernales (décembre à février) sont supposées augmenter jusqu'à 1 mm.jour^{-1} sur l'ouest de l'Afrique équatoriale.

Le scénario composite génère des augmentations de températures moyennes annuelles comprises entre 3° C et 4° C sur l'Afrique de l'Ouest et le bassin du Lac Tchad. La confiance que l'on peut accorder aux prévisions de température calculées par ces modèles est bien meilleure que celles qui concernent les pluies.

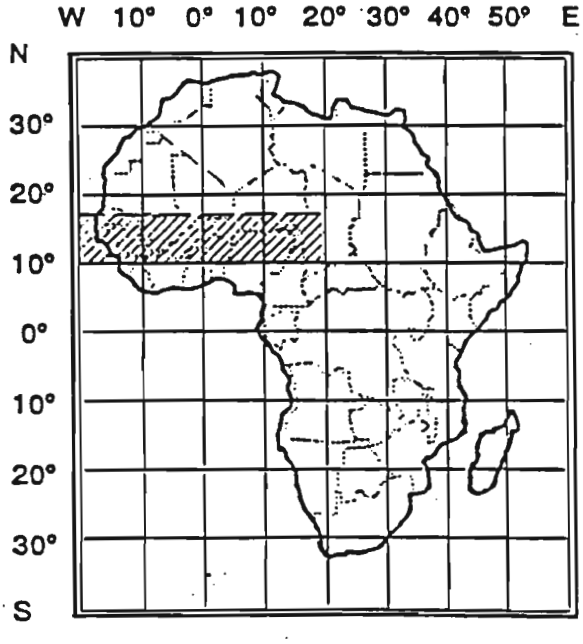
Figure 2.3

Anomalies pluviométriques au Sahel - Période 1888 - 1991



Latitude 10°N to 17°N

Longitude 20°W to 22°E

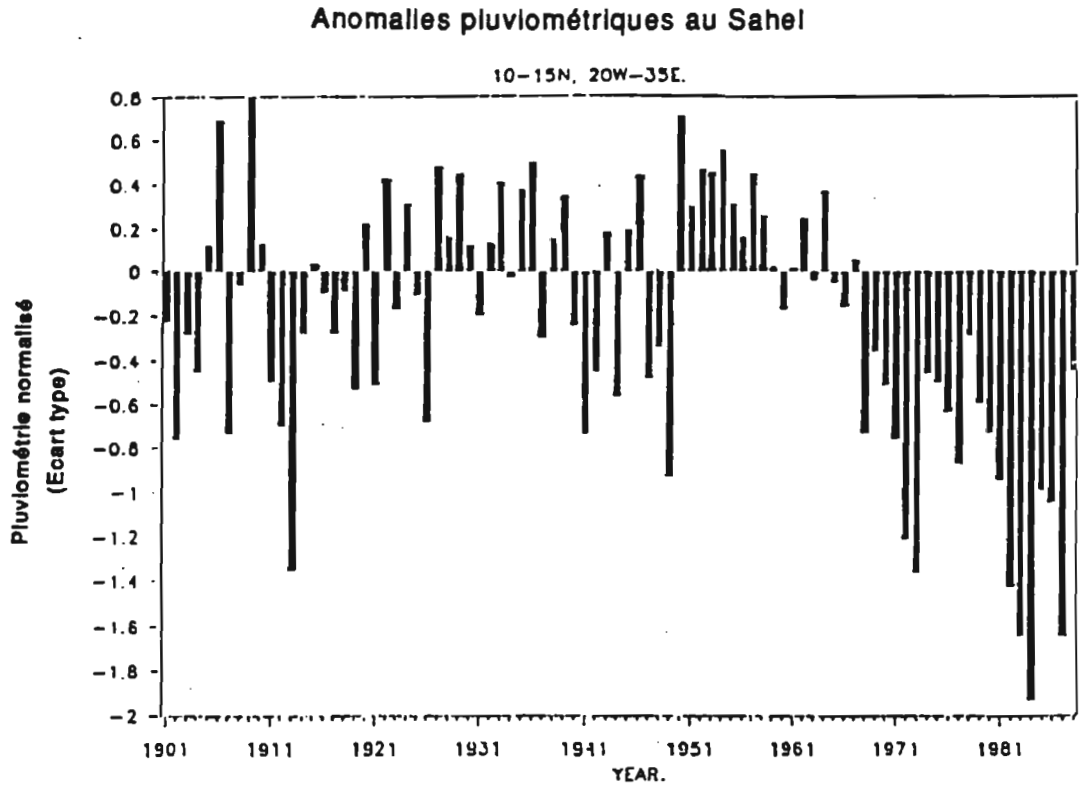


Les anomalies sont exprimées en % de la moyenne 1951-80.

L'indicateur a été calculé sur la région fugurée sur la carte.

Figure 2.4

Anomalies pluviométriques au Sahel et différences de TSM entre les hémisphères



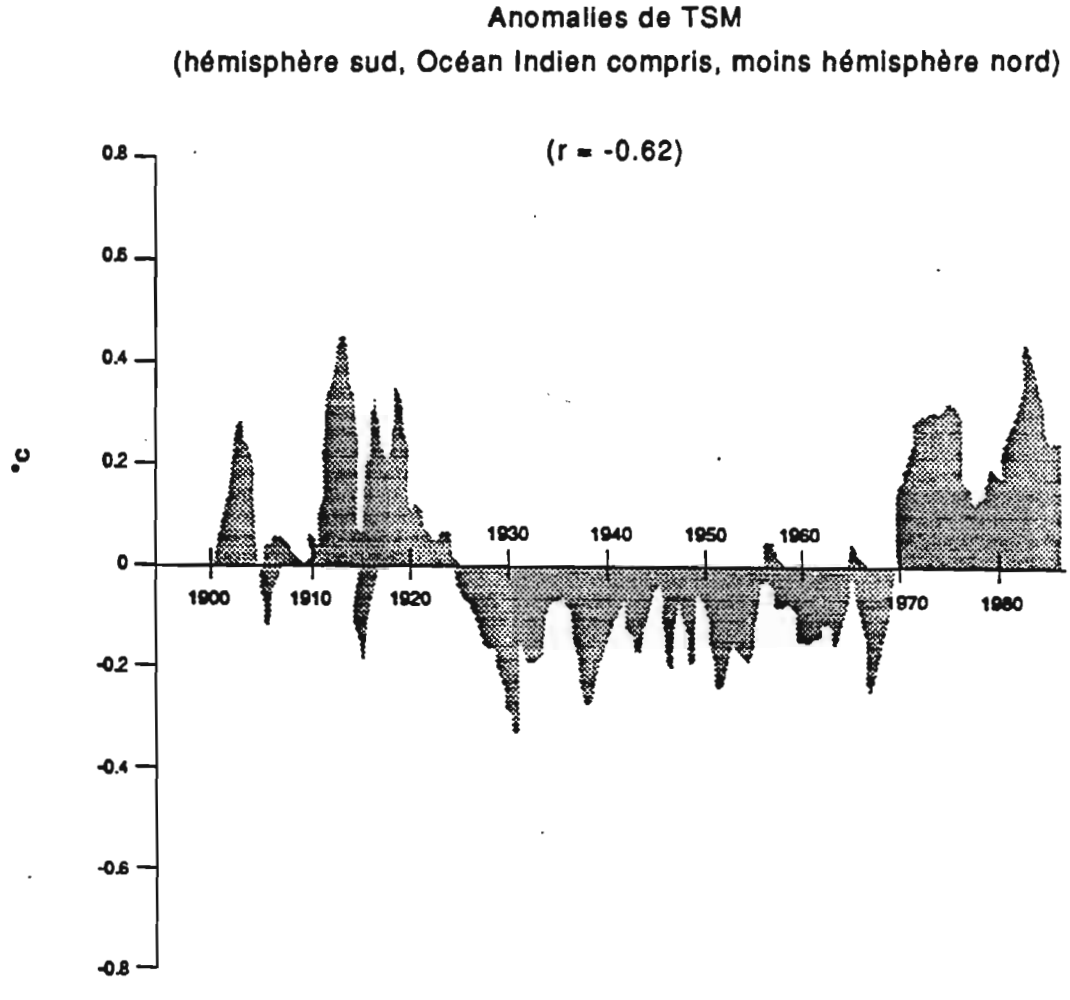
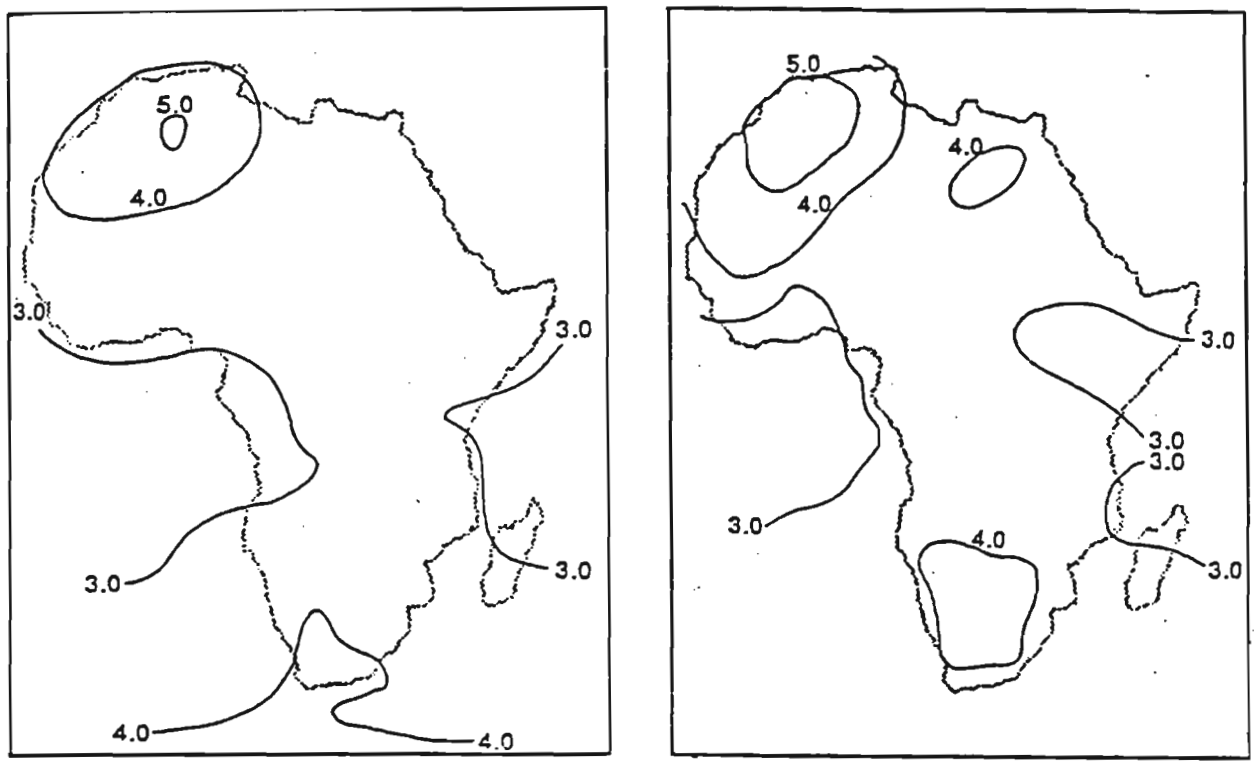


Figure 2.5

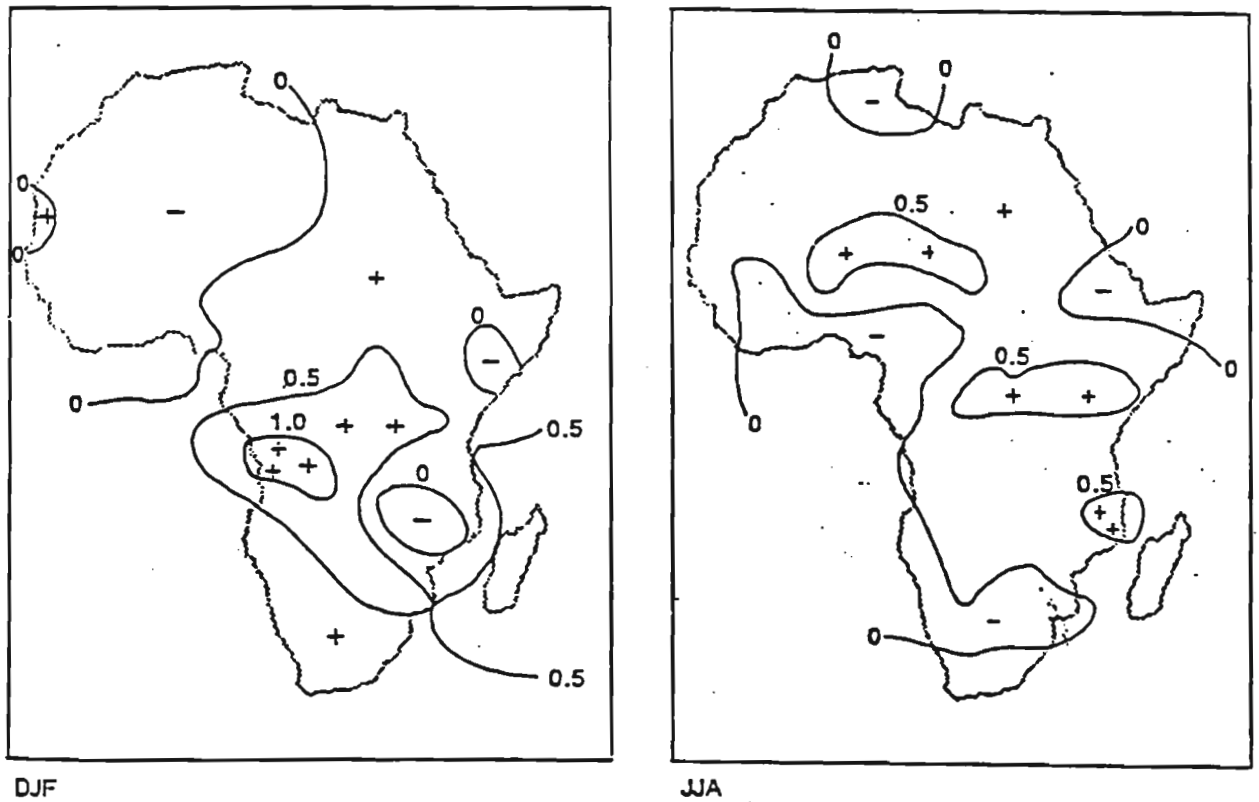
Effets d'un doublement de concentration CO_2 - moyenne des résultats de plusieurs modèles

Changement de la température de l'air (°C)



DJF JJA

Changement de la pluviométrie (mm par jour)



DJF JJA

		Augmentation de pluviométrie		Baisse de pluviométrie
DJF	décembre, janvier, février			
JJA	juin, juillet, août			
		- 0-0,5 mm par jour	+	0-0,5 mm par jour
			++	0,5-1,0 mm par jour
			+++	1,0-1,5 mm par jour

(d'après Wigley et al, 1992)

Cette augmentation de température, avec ses effets sur l'évaporation des nappes d'eau libre et l'évapotranspiration sur les bassins versants pourrait constituer un problème plus sérieux pour les ressources en eau dans la région que celui lié à la modification des apports par changement du régime pluviométrique. L'augmentation des pertes en eau par évaporation et par transpiration amènerait probablement à annuler les gains d'une augmentation des précipitations, ou viendrait fortement aggraver les problèmes déjà causés par une diminution de la pluviométrie.

Ces prévisions des effets d'un réchauffement global sont basées sur un doublement de CO_2 dans l'atmosphère, dans des conditions stabilisées. Il est plus difficile de simuler la modification du climat global avec des scénarios où la concentration de gaz à effet de serre serait en augmentation continue selon des taux conformes aux réalités observées (voir annexe B). Un modèle prenant en compte de manière réaliste la circulation des océans et la dissolution du CO_2 dans les océans est nécessaire pour réaliser de telles simulations dans des conditions transitoires.

En résumé, le niveau actuel de notre connaissance des mécanismes de la sécheresse au Sahel et des modifications climatiques qui sont possibles en Afrique de l'Ouest dans le futur, nous permet d'identifier des facteurs susceptibles d'être mis en rapport avec la sécheresse actuelle et qui suggèrent que celle-ci pourrait bien continuer pour un certain nombre d'années encore. Ces facteurs sont :

- Le réchauffement différentiel des océans, particulièrement dans l'hémisphère Sud et l'océan Indien qui se traduit par une répartition spatiale des anomalies de TSM et qui est effectivement capable d'entraîner une réduction des précipitations, particulièrement dans la zone tropicale en Afrique du nord. La cause de cette différence de réchauffement entre les deux hémisphères n'est pas clairement expliquée ; elle peut être mise en relation avec des modifications de la circulation thermo-haline dans l'Atlantique ou avec un réchauffement global provoqué par l'action de l'homme.

- Des mécanismes de rétroactions bio-géophysiques, comme l'augmentation de l'albédo et la diminution de l'humidité du sol dans le Sahel, qui concourent à la persistance de la sécheresse et tendent à s'opposer à un retour vers le régime pluviométrique antérieur.

- L'augmentation des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère, qui amène un réchauffement général des basses couches de l'atmosphère. Même si les concentrations de CO_2 et des autres gaz à effet de serre se stabilisaient aux niveaux actuels, il est probable que des modifications notables viendraient affecter les températures et les régimes pluviométriques actuels des pays d'Afrique de l'Ouest. Cette éventualité devra faire l'objet d'une considération toute particulière dans les évaluations des futures disponibilités et besoins en eau dans la région.

2.3 Principaux bassins pour les ressources en eau

2.3.1 Introduction

Les limites des bassins des principaux cours d'eau de la région sont montrées à la figure 2.6 et la liste des bassins pour lesquels les ressources sont partagées entre plusieurs pays fait l'objet du tableau 2.1. Les bassins sont géologiquement très anciens et ont été affectés par des mouvements tectoniques et des modifications climatiques. L'effet de la tectonique est visible dans les ruptures brutales dans le profil en long de beaucoup de rivières, et les limites des rivages successifs du Lac Tchad constituent autant de marques d'anciens régimes climatiques. Des captures de rivières, à différentes périodes, ont façonné d'étranges tracés pour certains cours d'eau, comme par exemple pour le cours principal du Niger. Le processus est encore actif aujourd'hui, comme par exemple sur la Bénoué où l'érosion régressive pourrait entraîner à terme la capture du Logone, via le Mayo Kebi.

TABLEAU 2.1

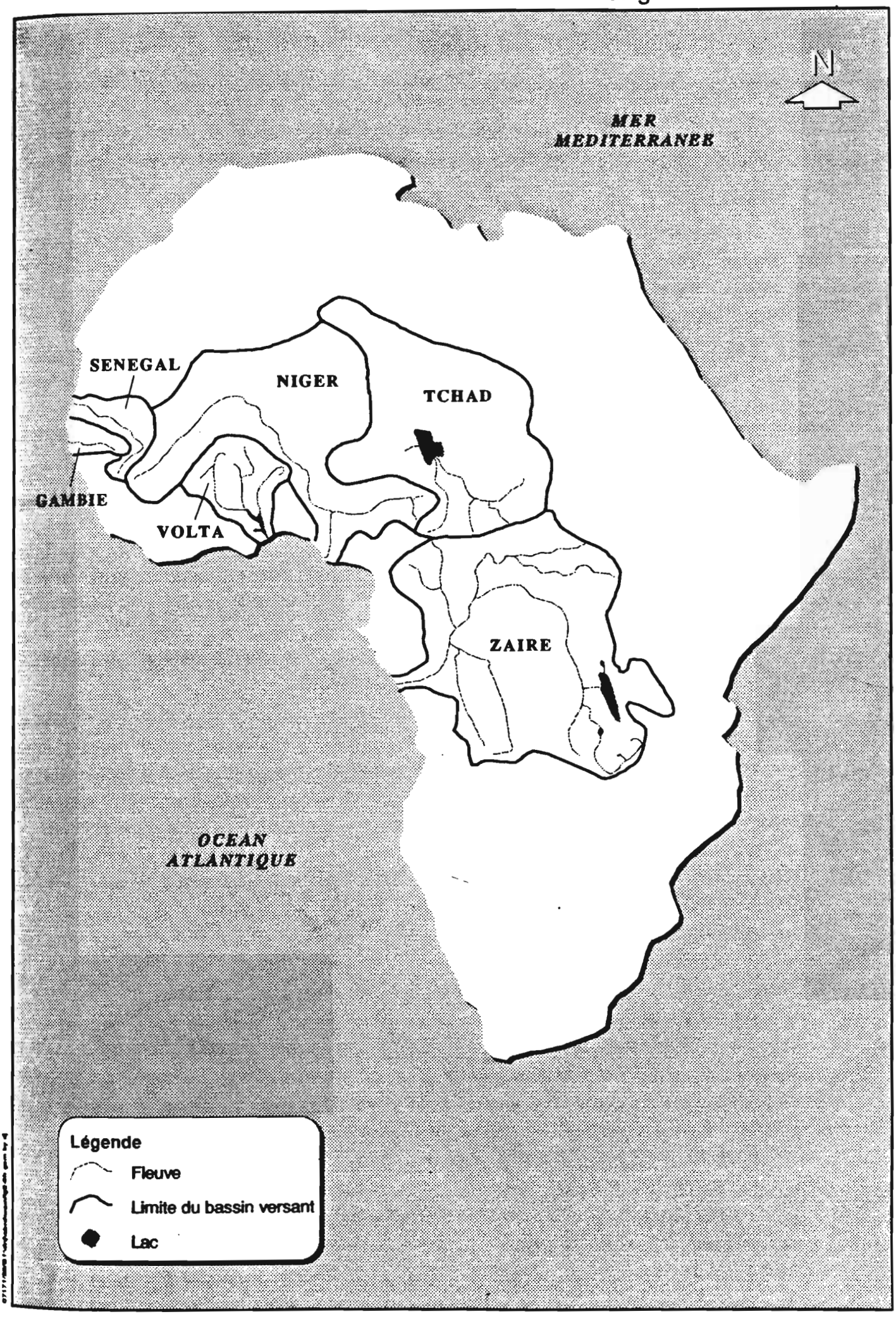
Bassins des cours d'eau internationaux

Surface (km^2)	Niger 2 000 000	Sénégal 340 000	Gambie 80 000	Volta 390 000	Tchad 2 500 000	Congo 4 100 000
Bénin	*			*		
Burkina Faso	*			*		
Cameroun	*				*	*
Congo						*
Côte d'Ivoire	*			*		
Guinée	*	*	*			
Gambie			*			
Ghana				*		
Mali	*	*		*		
Mauritanie		*				
Niger	*				*	
Nigéria	*				*	
RCA					*	*
Sénégal		*	*			
Tchad	*				*	
Togo				*		

Note: Le bassin du Zaïre ou Congo alimente également certains pays des Groupes II et IV de l'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-Sharienne.

Figure 2.6

Les grands bassins versants



2.3.2 Le Niger

Le Niger et son principal affluent la Bénoué traversent le territoire de neuf pays, et par conséquent toute mise en valeur soulève quantité de problèmes au plan des relations internationales. Tous les états en bordure du fleuve sont membres de l'Agence du Bassin du Niger, voir Paragraphe 3.2.1.

Le cours du Niger est long de quelque 4 200 km et draine un bassin d'environ 1 870 000 km^2. Cependant, en raison des climats et des conditions physiographiques très diversifiées qu'il traverse, une partie réduite de cette vaste zone contribue effectivement aux apports. En raison des grandes distances parcourues, entraînant des décalages très importants dans les temps de montée, il y a par exemple un déphasage de presque six mois entre la "crue noire" provenant des hauts bassins de Guinée, du Mali et de Côte d'Ivoire et la "crue blanche", appelée ainsi à cause de la forte concentration des eaux en limons, qui est générée au Nigéria.

La République de Guinée possède la quasi-totalité des affluents du Niger supérieur. A sa sortie de Guinée, le Niger à Dialakoro draine 71 000 km^2, auxquels il convient de rajouter les 21 900 km^2 du Sankarani à Mandiana et les 2 700 km^2 du Fié à Siramana. Le Niger et ses principaux affluents en rive droite, le Mafou, le Niandan, le Milo, le Fié et le Sankarani, selon l'expression consacrée drainent "comme les doigts d'une main" le vaste plateau orienté vers le nord-est qui descend progressivement depuis les reliefs frontaliers de la dorsale guinéenne vers la cuvette du delta central du Niger. Après deux petits affluents, le Balé et le Niantan, le Niger reçoit en rive gauche le Tinkisso qui draine le versant ouest de ce plateau, depuis les reliefs peu accusés qui séparent le bassin du Niger de celui du Bafing.

Le Niger lui-même prend sa source vers 800 m d'altitude, à la frontière de la Guinée et de la Sierra Léone. Sur les 40 premiers kilomètres, sa pente est très forte (7,5 $m.km^{-1}$). Jusqu'à Faranah (3 200 km^2) la pente se maintient au dessus de 0,3 $m.km^{-1}$, malgré de nombreux méandres dans une vaste plaine d'inondation. Le module du Niger est alors de 73 $m^3.s^{-1}$ pour une pluviométrie voisine de 1 900 mm. Après Faranha cette pente se maintient avec l'apport en rive gauche de petits affluents à fortes pentes issus du Fouta Djalon (Balé, Koba, Niantan). Juste après le confluent du Mafou en rive droite (3 750 km^2 au confluent, avec une très forte pente de 2 $m.km^{-1}$ durant les 100 premiers km), le Niger chute d'une dizaine de mètres par une série d'imposants rapides. Le Niger gardera jusqu'à Bambako le même aspect : berge de 5 à 6 mètres de haut, plaine d'inondation d'extension notable, courbes à grand rayon, îles multiples, avec une pente qui reste voisine de 0,12 $m.km^{-1}$. Peu après le confluent du Mafou, il passe à Kouroussa (16 560 km^2), où son module est voisin de 240 $m^3.s^{-1}$, pour une pluviométrie annuelle de 1 500 mm. Le Niger reçoit alors successivement le Niandan et le Milo en rive droite, puis le Tinkisso à gauche. Il passe alors à la station de Tiguibéry (67 600 km^2) puis à celle de Dialakoro (68 330 km^2) peu avant de quitter la Guinée où son module est voisin de 1 130 $m^3.s^{-1}$ pour une pluviométrie de 1 450 mm environ. La crue annuelle a dépassé 5 300 $m^3.s^{-1}$ à Tiguibéry et 7 200 $m^3.s^{-1}$ à Dialakoro début octobre 1967 (Extrait de "Monographie du Niger Supérieur", ORSTOM, 1986).

A Koulikoro, le débit moyen annuel calculé en 1989 sur une base de 83 ans est de 1 450 $m^3.s^{-1}$ et la pointe de crue a lieu en septembre (figure 2.7, haut). Le volume transité moyen interannuel est de

47.10^9 m^3 mais la répartition des volumes sur la période 1907-88 met en évidence la faiblesse des apports au cours de la dernière décennie (figure 2.7, bas). Après Koulikoro, la rivière s'étale pour former le "delta intérieur" qui s'étend sur quelque 17 000 km^2, presque jusqu'à Tombouctou. Dans ce bief, le principal affluent est le Bani qui prend sa source en Côte d'Ivoire. Le cours d'eau a fréquemment changé de tracé dans le passé et comporte plusieurs chenaux qui se séparent et se réunissent dans la traversée de la plaine. Il existe un grand nombre de petits lacs, qui sont reliés entre eux par de nombreux bras de la rivière ; quelques-uns sont pérennes mais la plupart sont temporaires. Les pertes par infiltration et évaporation dans le delta intérieur sont très importantes (voir figure 2.8) avoisinant 50% du cumul des apports externes par écoulement et de ceux par pluie directe sur la zone.

En aval du delta intérieur le Niger traverse un pays très aride et à l'entrée en République du Niger, le module est de l'ordre de 1 000 $m^3.s^{-1}$ (période 1952-78). A Niamey, le maximum de la crue passe en janvier-février et l'étiage absolu s'observe en juin-juillet. Sur sa rive droite, le Niger reçoit quelques affluents en provenance du Burkina Faso (Gorouol, Dargol, Sirba, Goroubi, Diamangou, Tapoa) et du Bénin (Mekrou) qui apportent à eux tous une contribution moyenne de 29 $m^3.s^{-1}$ seulement, affectée d'une très forte irrégularité interannuelle (module décennal sec de 12 $m^3.s^{-1}$ et module décennal humide de 53 $m^3.s^{-1}$).

Le fleuve ne reçoit plus aucun affluent significatif jusqu'à la confluence avec la Sokoto. La Sokoto qui prend sa source dans les hautes terres du nord ouest du Nigéria et l'écoulement est intermittent dans le cours supérieur de la rivière. Après la confluence avec la Sokoto à Jebba, le débit moyen atteint 1 600 $m^3.s^{-1}$ et la "crue blanche" prédomine. La Kaduna prenant sa source sur le plateau de Jos apporte une contribution importante, le débit moyen annuel du Niger après leur confluence s'élevant à 2 500 $m^3.s^{-1}$.

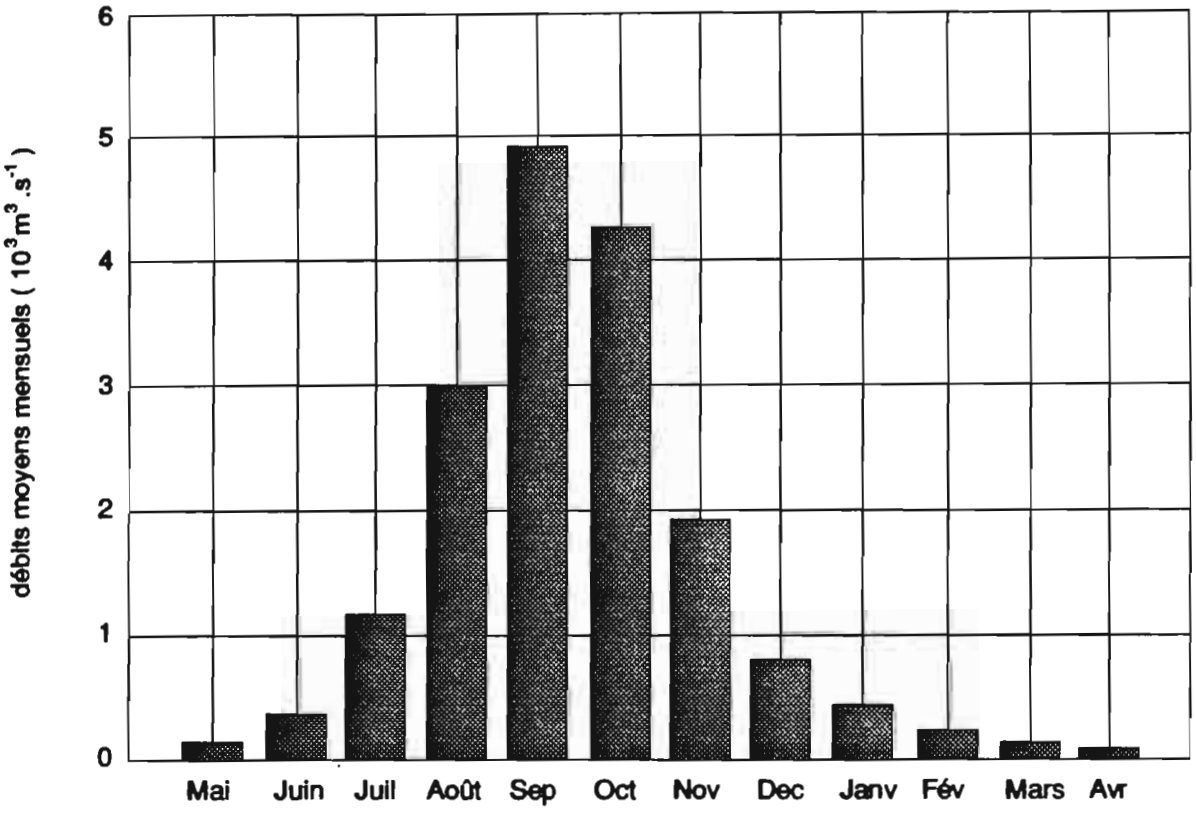
La Bénoué rejoint le Niger à Lokoja et le débit moyen fait plus que doubler avec l'apport de 3 400 m^3/s supplémentaires. Dans son cours supérieur au Cameroun, la pointe de crue de la Bénoué a lieu en août/septembre et se décale à la mi-octobre à sa confluence avec le Niger.

La Bénoué prend sa source sur le plateau de l'Adamaoua au Cameroun à environ 1 300 m d'altitude. La pente du cours supérieur est forte, mais sur les derniers 110 km avant la confluence avec le Niger, la pente devient très faible. La vallée est caractérisée par de larges plaines d'alluvions fertiles et le tracé est anastomosé sur la plus grande partie de son cours. La variation saisonnière de l'écoulement est très marquée, avec une réduction du débit à 100 $m^3.s^{-1}$ en saison sèche. Les débordements très importants ont limité la mise en valeur des plaines d'inondation. En année moyenne, les durées de submersion varient entre 7 semaines près de Yola et 20 à 30 semaines après Makurdi.

Le delta du Niger couvre une superficie de 30 000 km^2 ; au débouché en mer, le débit moyen annuel est de l'ordre de 7 000 $m^3.s^{-1}$.

L'utilisation des ressources en eau du Niger et de ses affluents est présentée dans le tableau 2.2 qui comporte les projets existants, ceux qui sont en cours de réalisation et ceux qui sont en phase d'étude

Caractéristiques du débit du Niger à Kouliokoro



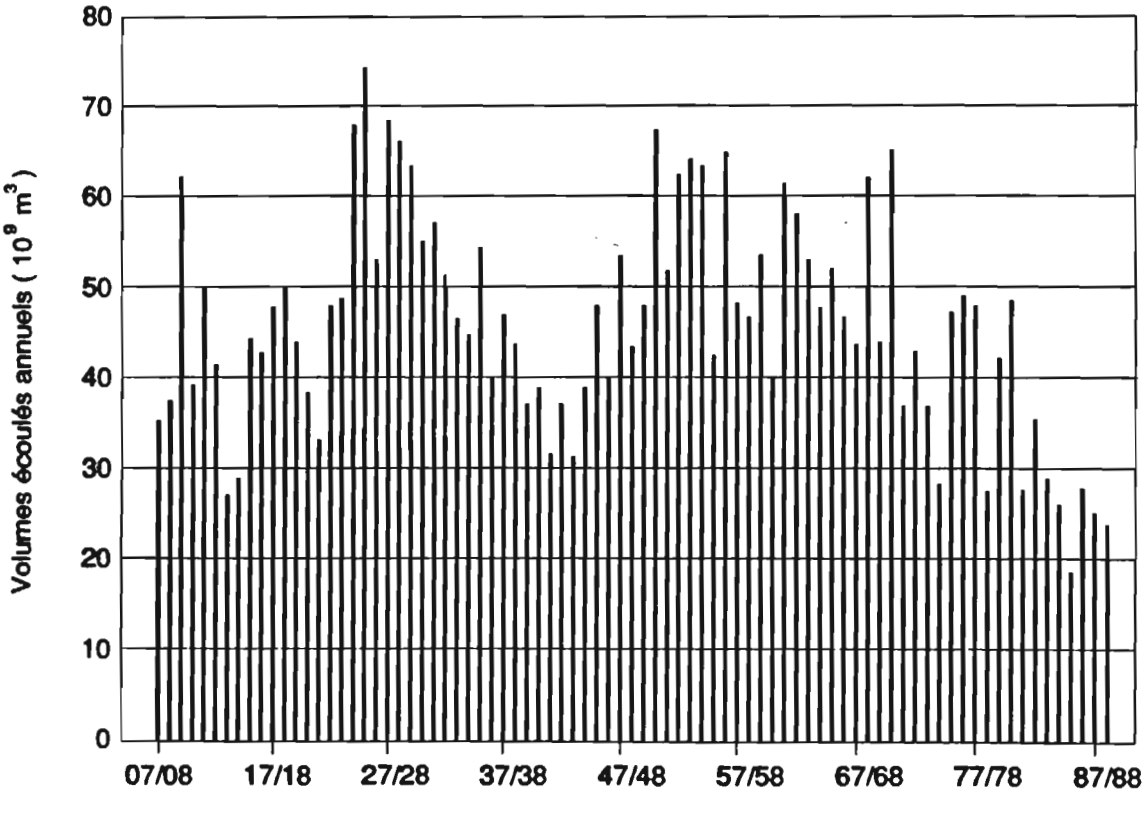


Figure 2.8

Débits entrants et sortants du delta intérieur du Niger - 1986/87

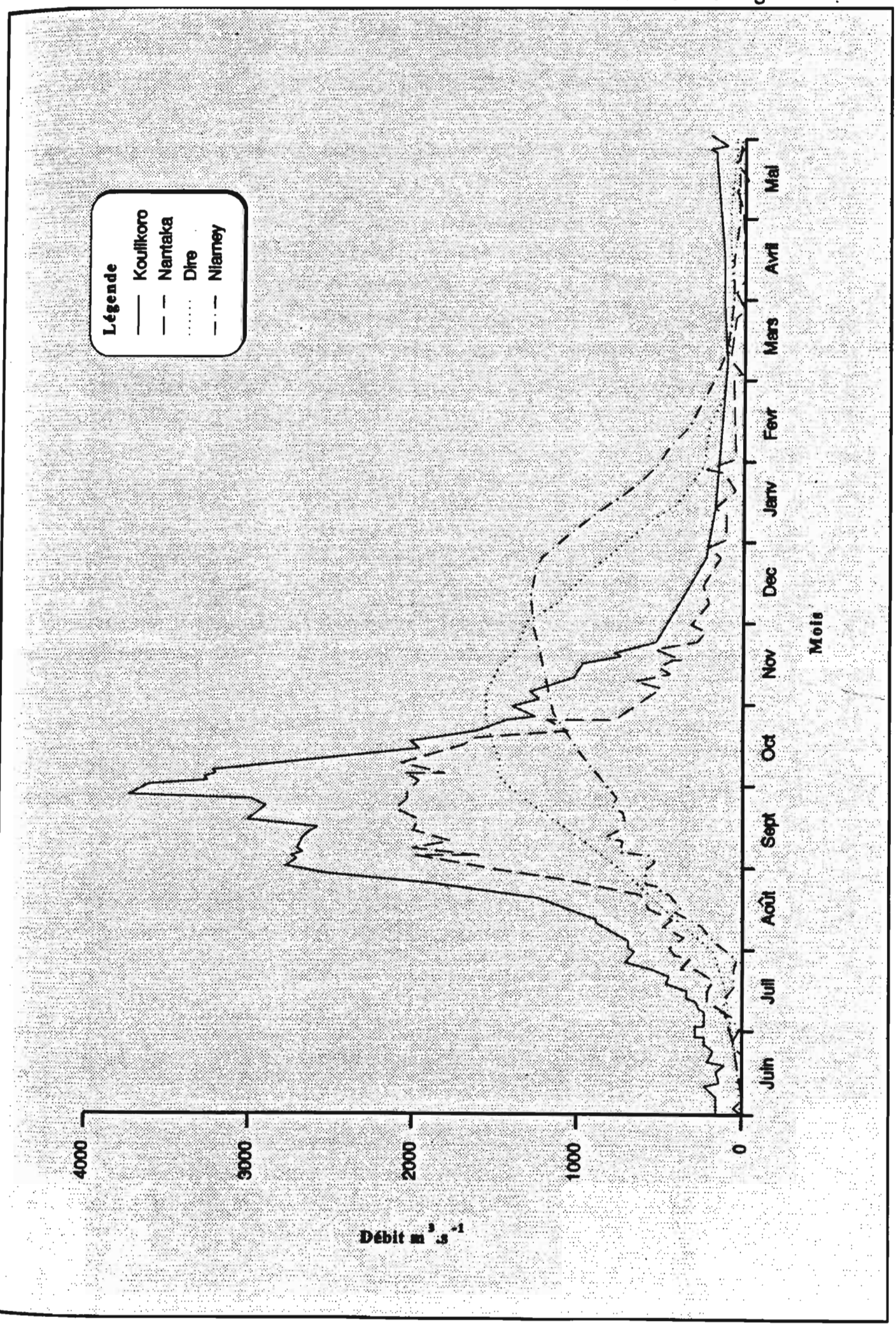


TABLEAU 2.2

Principaux aménagements sur le bassin du Niger

Aménagement	Rivière	Pays	Type	Commentaires
Existants :				
Barrage de Sélingué	Sankarani	Mali	Usages multiples	2000 ha irrigués/ 44 MW Hydroélectricité
Markala			Irrigation	60 000 ha irrigués
Barrage de Lagdo	Bénoué	Cameroun		
Goronyo	Sokoto	Nigéria	Irrigation	30 000 ha irrigués
Barrage de Bakolori	Sokoto	Nigéria	Irrigation	Retenue de 450.10^6 m^3
Kanji	Niger	Nigéria	Hydroélectricité	760 MW
Jebba	Niger	Nigéria	Hydroélectricité	500 MW
Shiroro	Chanchanga	Nigéria	Hydroélectricité	300 MW
Kiri	Gongola	Nigéria	Irrigation	Retenue de 325.10^6 m^3
Dadin Kowa	Gongola	Nigéria	Irrigation	Retenue de $2\,765.10^6$ m^3
Tungan Kawo	Niger	Nigéria	Irrigation	Retenue de 2.10^6 m^3, 800 ha irrigués
En cours de construction :				
Omi	Kampé	Nigéria	Irrigation	6 000 ha irrigués
A l'étude :				
Fomi	Niandan	Guinée	Usages multiples	Hydroélectricité
Tossaye	Niger	Niger/Mali Burkina	Usages multiples	83 000 ha irrigués, retenue de plus de $2{,}5.10^9$ m^3, 30-40 MW
Kandaji	Niger	Niger	Usages multiples	Irrigation et hydroélectricité
Zunguru	Kaduna	Nigéria	Hydroélectricité	950 MW
Dasin Hausa	Bénoué	Nigéria		
Makurdi	Bénoué	Nigéria	Hydroélectricité	600 MW
Lokoja	Niger	Nigéria	Hydroélectricité	1950 MW
Onitsha	Niger	Nigéria	Hydroélectricité	750 MW

Ces projets recouvrent toute une gamme d'utilisations possibles, comme le contrôle des crues, la production d'hydroélectricité, l'irrigation et la navigation. La pêche et les pâturages constituent d'autres usages importants des eaux de la rivière et des plaines d'inondation.

L'importance économique du delta intérieur est triple :

- pour l'agriculture, plus spécialement la riziculture ; un barrage a été construit à Markala en 1946 pour contrôler l'irrigation ;

- pour le pâturage du bétail en saison sèche ; l'étalement des crues dans le delta favorise la création de bons pâturages ("le bourgou"), utilisables quand la région environnante est trop sèche pour le bétail ;

- pour la pêche - en grande partie en période de crue.

Les "fadamas" de la Sokoto en aval de la confluence avec la Rima sont également importants pour les mêmes raisons, bien que la principale période pour la pêche soit la saison sèche, lorsque les mares de la plaine d'inondation s'assèchent et que les poissons sont pris au piège. Les nouvelles techniques permettant d'exploiter les eaux souterraines saisonnières en vue d'une irrigation plus extensive sur les fadamas suscitent un grand intérêt au Nigéria.

Le développement de l'irrigation dans les plaines d'inondation de la Bénoué a été limité par l'extension des débordements de la crue annuelle et les faibles débits en saison sèche, le développement étant de ce fait conditionné par la construction préalable de barrages destinés à réguler les débits.

La production d'hydro-électricité est importante sur le bas Niger, depuis la mise en eau du barrage de Kainji au Nigéria en 1968 et l'achèvement récent d'un barrage plus en aval, à Jebba. Comme le montre le tableau 2.2, la possibilité de plusieurs projets d'aménagement hydroélectrique au Nigéria sont à l'étude à l'heure actuelle.

Le bas Niger et la Bénoué sont navigables. Pour certains bateaux, le Niger est navigable entre Niamey et la mer ; la période favorable à la navigation a été prolongée par la régulation du fleuve à Kainji et à Jebba. A Jebba, le fleuve est navigable entre juillet et décembre, et en aval à Lokoja il est navigable entre juillet et avril. La Bénoué est navigable vers l'amont jusqu'à Garoua, 1 000 km en amont de sa confluence avec le Niger. Cependant la navigation commerciale sur la Bénoué est limitée par suite des très faibles écoulements en saison sèche et les conditions sont difficiles au début et à la fin de la saison des pluies. Des caboteurs avec un tirant d'eau de 3 mètres peuvent remonter jusqu'à Makurdi pendant une période allant de mi-juin jusqu'à fin septembre ; à Garoua cette saison favorable à la navigation va de fin juillet à fin septembre et le tirant d'eau praticable est habituellement inférieur à 2 mètres. Il faut draguer les cours d'eau les plus importants du delta pour qu'ils restent navigables pendant toute l'année. Malgré ses avantages pour les pondéreux, le transport par voie d'eau a cependant été supplanté par la route. Au Nigéria, le pétrole bon marché a entraîné l'expansion des transports terrestres et le développement des infrastructures routières alors que les systèmes portuaires étaient laissés à l'abandon.

2.3.3 Le fleuve Sénégal

Le cours supérieur du fleuve Sénégal est constitué principalement par le Bafing et ses affluents majeurs qui sont le Bakoye et le Baoulé en rive droite, et par la Falémé qui rejoint le système en rive gauche plus à l'aval. Les débits du fleuve sont régulés en grande partie par le barrage de Manantali sur le Bafing. Dès la saison pluvieuse de 1992, cet ouvrage permettra la régularisation interannuelle des débits du fleuve au niveau de Kayes et plus à l'aval dans la vallée sénégalo-mauritanienne.

Le tableau 2.3 présente certaines caractéristiques physiques des sous-bassins correspondant aux sites des principales stations hydrométriques du haut et du moyen bassin du fleuve Sénégal :

TABLEAU 2.3

Les bassins hydrologiques aux sites des stations hydrométriques

Cours d'eau	Station Hydrométrique	Superficie drainée (km^2)	Pente ($m.km^{-1}$)
Bafing	Dakka Saidou	15 700	1,59
	Mahina	38 400	1,01
Falémé	Kidira	28 900	1,50
Bakoye	Oualia	84 700	0,38
	Toukoto	16 500	1,03
Baoulé	Siramakana	59 500	0,52
Sénégal	Bafoulabé	124 700	0,48
	Kayes	157 400	0,49

Le bassin versant du Sénégal à Kayes couvre une superficie de 157 400 km^2. A ce point les caractéristiques des écoulements, calculés sur la période 1905-1989, sont les suivantes :

Module interannuel :	545 $m^3.s^{-1}$
Module décennal sec :	284 $m^3.s^{-1}$
Module décennal humide :	829 $m^3.s^{-1}$
Coefficient d'irrégularité :	2,92
Module maximum observé :	966 $m^3.s^{-1}$ en 1924
Module minimum observé :	162 $m^3.s^{-1}$ en 1987
Débit journalier maximum :	5960 $m^3.s^{-1}$ (1958-59)
débit minimum :	Nul à plusieurs reprises (période 1980-90)

Pour la période récente qui va de 1968 à 1989, le volume annuel moyen transité à Kayes n'est plus que de $10,5.10^9$ m^3 contre $17,2.10^9$ m^3 pour la période 1905-89. La figure 2.9 montre l'évolution de ces volumes durant toute la période d'observation.

Le barrage de Manantali est le principal aménagement du cours supérieur. Il est implanté sur un des formateurs principaux du Sénégal, le Bafing à l'aval de sa confluence avec le Bakoye. Ce barrage contrôle un bassin versant d'environ 28 000 km^2.

Le volume total de la retenue approche 12.10^9 m^3 pour un volume utile de 7,85.10^9 m^3. L'ouvrage est à vocations multiples avec les objectifs suivants :

- produire de l'électricité (l'installation d'une puissance de 200 MW est envisagée) ;
- laminer les fortes crues du Bafing, ainsi que celles du Sénégal à l'aval de Bakel, dans le but de protéger les périmètres irrigués ;
- soutenir l'étiage du fleuve Sénégal, afin de le rendre navigable en permanence entre l'embouchure et Kayes ;
- garantir en permanence un débit suffisant au niveau de Bakel pour l'alimentation de tous les périmètres irrigués de la vallée (superficie totale envisagée à long terme sur les 2 rives de 300 000 hectares) ;
- soutenir la crue du Sénégal afin que celle-ci atteigne un niveau et une durée suffisants pour permettre l'inondation annuelle des terres exploitées selon le mode traditionnel en culture de décrue. Il a été envisagé d'abandonner cette option quand la superficie des terres aménagées pour la culture irriguée aura atteint un niveau suffisant.

Ce barrage est en service depuis 1987 et la retenue a atteint sa cote de remplissage en septembre 1991. Il est encore en phase de test et l'usine hydroélectrique n'est pas installée. Le barrage est actuellement utilisé pour générer une crue artificielle permettant de cultiver 50 000 ha en culture traditionnelle de décrue. Les ressources en eau du bassin du Sénégal sont gérées par l'OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal), organisation plurinationale regroupant le Mali, la Mauritanie, le Sénégal ainsi que la Guinée avec le rang de pays observateur (voir Paragraphe 3.2.3).

L'OMVS a confié à l'ORSTOM la réalisation d'un système de gestion en temps réel des débits du fleuve Sénégal à partir d'un système de télétransmission des hauteurs d'eau par satellite ARGOS et d'un modèle de prévision et de gestion. Une station de réception des données couplée à un ordinateur permet d'effectuer des lâchures au niveau de Manantali en fonction de la variation des niveaux d'eau à Bakel.

Différentes variantes de gestion ont été testées à partir d'une banque de données qui contient tous les débits moyens journaliers observés ou reconstitués du Sénégal et de ses affluents.

Les ressources en eaux disponibles pour la basse-vallée sont bien caractérisées par les débits du fleuve à Bakel, car les apports à l'aval de cette station sont pratiquement négligeables. La figure 2 présente l'évolution des débits moyens annuels à Bakel depuis 1904. En plus de deux périodes

Caractéristiques du débit du Sénégal à Kays

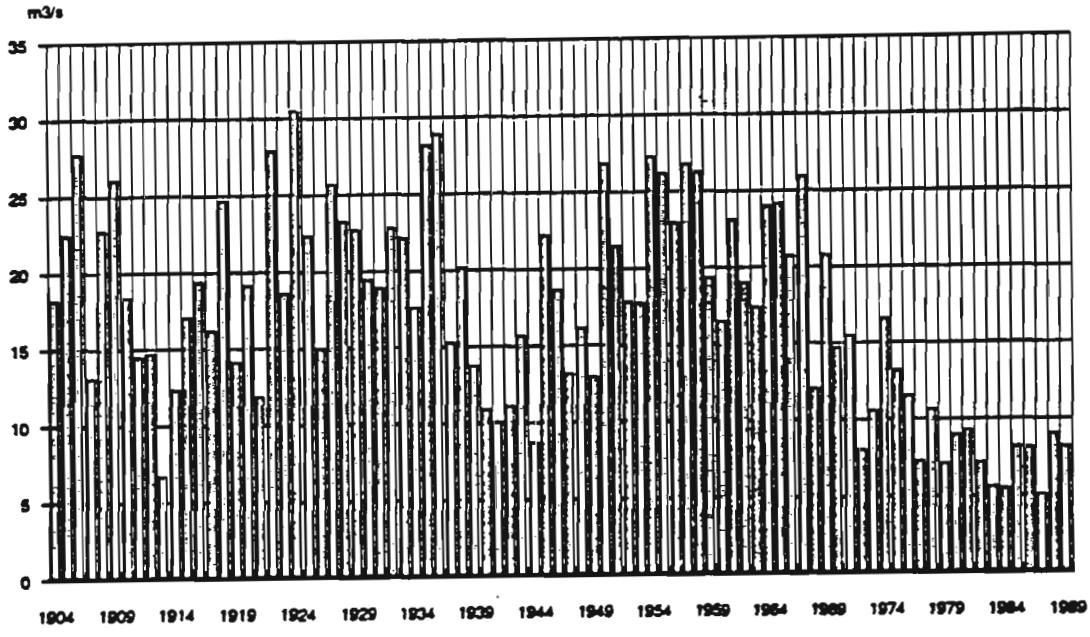
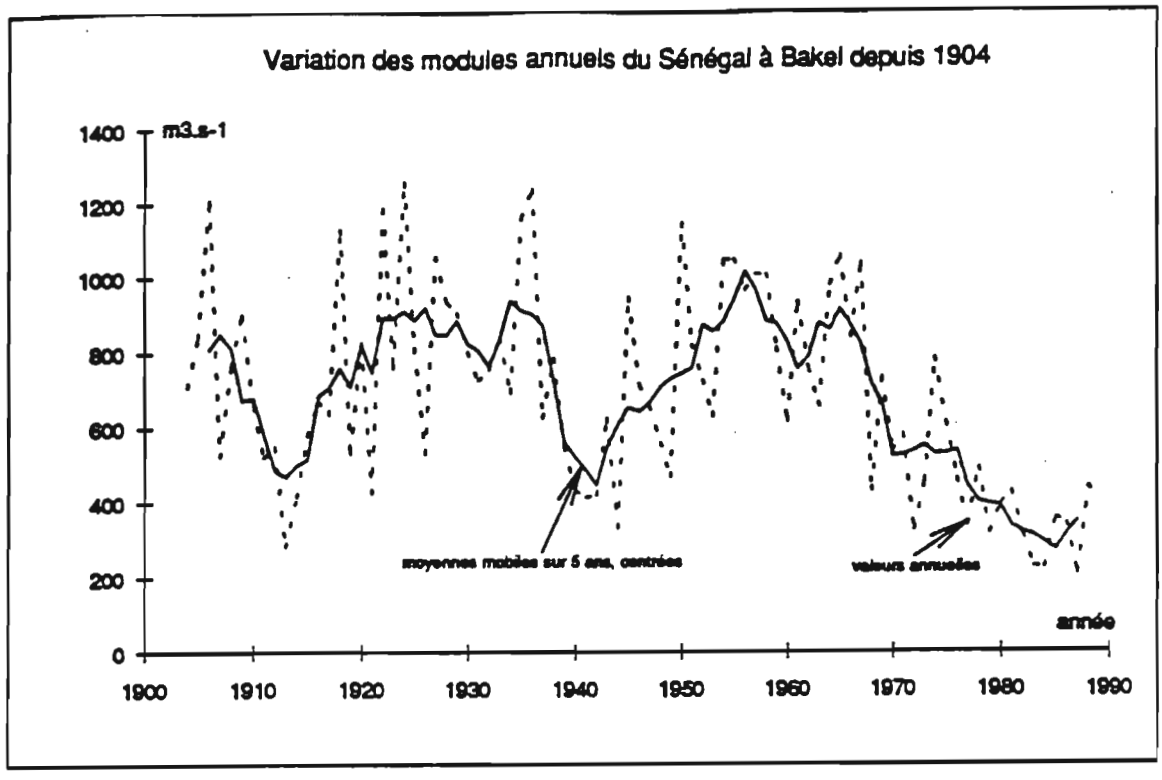
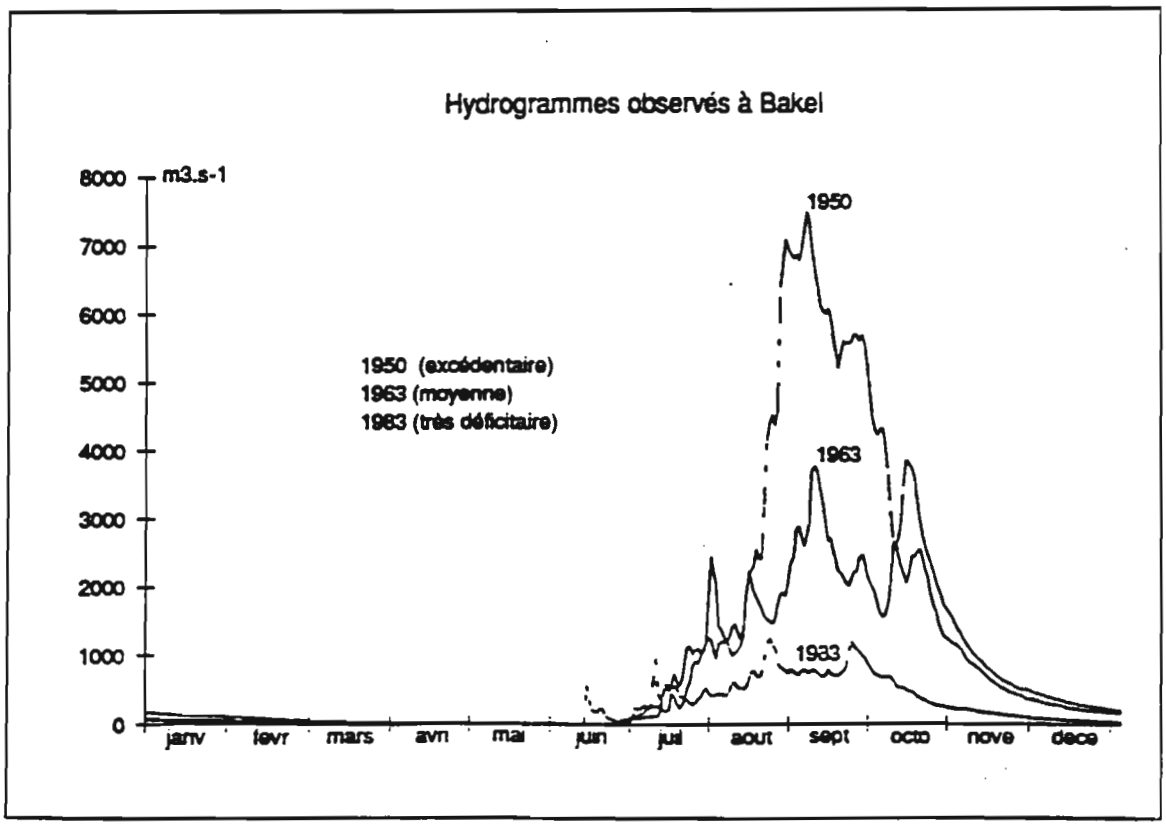


Figure 2.10

Caractéristiques du débit du Sénégal à Bakel





déficitaires centrées autour des années 1913 et 1942, on constate une nette tendance à la baisse depuis la fin des années 60. Sur l'ensemble de la période 1904-87, la moyenne interannuelle des débits est de 684 $m^3.s^{-1}$. Depuis 1987, le régime du fleuve Sénégal n'est plus naturel mais fortement modifié par le barrage de Manantali.

Au niveau de Richard-Toll, sur le cours inférieur du Sénégal, le canal de la Tahouey fonctionne comme un défluent par lequel se remplit le lac de Guiers, vaste dépression naturelle pouvant contenir un volume d'eau de 600.10^6 m^3 (équivalent à un débit moyen annuel de 19 $m^3.s^{-1}$). Le remplissage annuel du lac de Guiers, voire la possibilité de mettre en eau la basse vallée du Ferlo, sont potentiellement garantis par l'existence du barrage de Diama, qui permet de maintenir artificiellement le niveau du fleuve à Richard-Toll à une cote suffisante pour alimenter la Tahouey.

Le barrage de Diama est érigé dans le Delta du Sénégal, à une quinzaine de kilomètres à l'amont de Saint Louis. Il est géré par l'OMVS et constitue le complément du barrage de Manantali pour la gestion des eaux du fleuve. Ses fonctions sont doubles :

- empêcher une remontée du fond d'eau salée dans le Delta ;

- maintenir le plan d'eau à une cote suffisante pour l'alimentation des nombreux périmètres irrigués du delta, avec une dépense d'énergie réduite. En particulier il permet d'alimenter en continu le lac de Guiers à partir duquel se fait une partie de l'alimentation en eau potable de Dakar.

Pendant la crue, les vannes à secteur sont levées et toutes les passes sont disponibles pour l'écoulement des forts débits. Les vannes sont ensuite abaissées de manière à maintenir un plan d'eau à la cote minimale de 1,5 m NG. Cette cote peut être maintenue grâce à la réalisation d'endiguements en rive droite du fleuve, et à la réfection de ceux qui existaient en rive gauche jusqu'à la hauteur de Rosso. A la cote optimale d'opération (soit entre 1,5 et 1,8 m NG). La retenue remonte au-delà de Boghé et la courbe de remous rejoint la ligne naturelle entre Boghé et Saldé, ce qui crée une zone d'influence de plus de 350 km. Cet ouvrage est en fonctionnement depuis novembre 1986.

2.3.4 Le fleuve Gambie

La figure 2.6 donne la situation du bassin versant du fleuve Gambie. Le bassin versant s'étend sur 77 054 km^2 et se partage entre quatre Etats : la République de Guinée, où le fleuve prend sa source à 1 125 m d'altitude aux environs de Labé (11 866 km^2) ; la République du Sénégal, dont il draine presque toute la région du Sénégal Oriental, une partie de la Haute Casamance et du Siné Saloun (54 631 km^2) ; la République de Gambie (10 556 km^2) et une faible superficie de la République de Guinée Bissau (16 km^2). Le cours du fleuve Gambie s'étend sur 1 150 km, dont 205 sont situés en Guinée, 485 au Sénégal et 460 en Gambie.

En Guinée, la rivière traverse d'anciennes formations cristallines et métamorphiques et au Sénégal et en Gambie elle traverse un bassin sédimentaire homogène et plat. Dans beaucoup d'études, la

différentiation utilisée distingue le "bassin continental" en amont de la zone d'influence de la marée et le "bassin maritime" à l'aval de ce point. Le bassin maritime est très plat, le zéro de l'échelle de la station hydrométrique de Gouloumbo située près de la limite d'influence de la marée et à 500 km de l'embouchure, est en dessous du niveau de la mer et les eaux du fleuve Gambie sont salées sur quelque 250 km.

Le débit maximum de la Gambie, enregistré à Gouloumbo le 15 septembre 1961, était de 2 100 $m^3.s^{-1}$. A ce site, l'influence de la marée est suffisante pour que la courbe d'étalonnage soit inutilisable en basses eaux. Le plus faible écoulement jaugé a été de 4,58 $m^3.s^{-1}$ le 26 janvier 1984. Mais ce débit ayant été mesuré quelque cinq mois avant l'occurrence des plus basses eaux en fin de la saison sèche, on peut considérer que l'écoulement est pratiquement nul au terme de cette saison sèche. La station hydrométrique de Gouloumbo contrôle l'écoulement d'un bassin versant de 42 000 km^2, alors que le bassin total draine 77 000 km^2. Hormis les mesures réalisées sur de courtes périodes par Howard Humphreys & Fils et par la *Hydraulics Research Station*, aucun jaugeage n'a jamais été fait sur le cours inférieur.

Les débits sont connus avec une meilleure précision à Wassadou-aval (figure 2.11, haut) mais le bassin est beaucoup plus réduit (33 500 km^2) et on ne dispose de données complètes que depuis 1974. Le débit moyen annuel à Wassadou-aval est de 113 $m^3.s^{-1}$ sur la période 1974-1984.

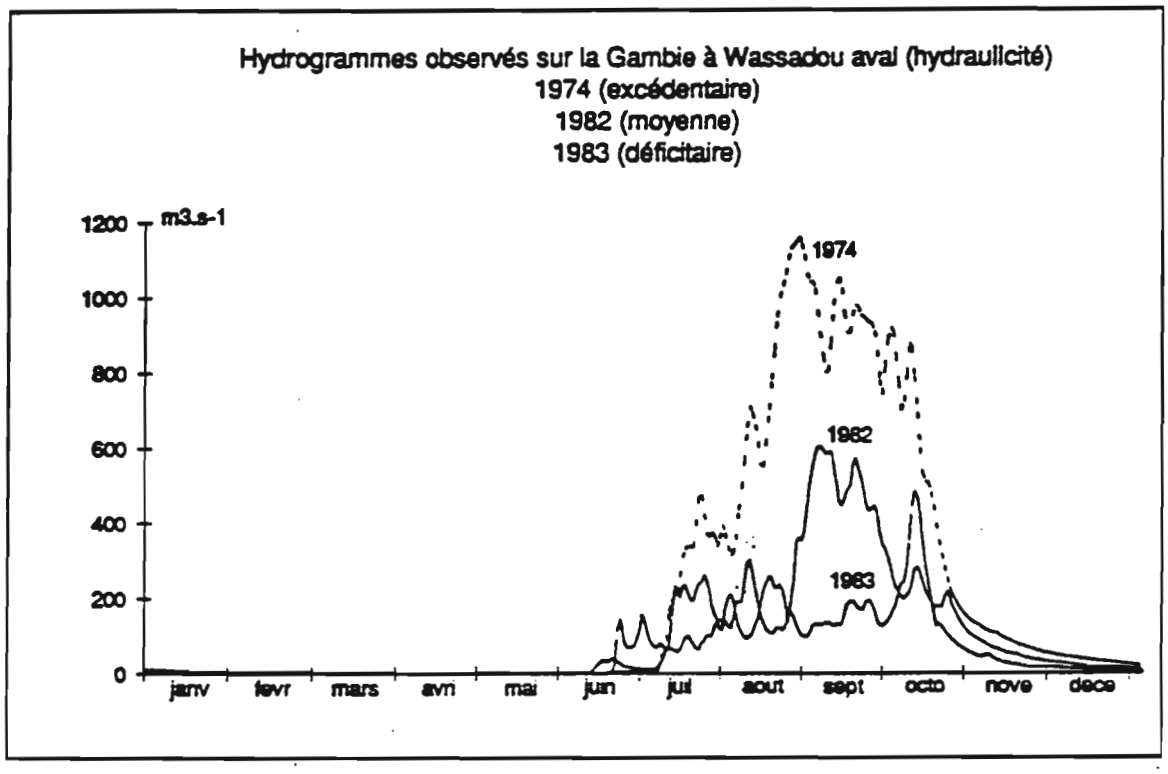
Sur la période 1971-1986 le débit moyen interannuel (70 $m^3.s^{-1}$) est connu à la station de Kédougou (figure 2.11, bas) qui contrôle les débits de la Gambie à l'entrée au Sénégal. Les variations annuelles mettent en évidence des années déficitaires en 1983 et en 1984, mais ne montrent aucune tendance nette sur cette période relativement courte. Les débits sont répartis de façon très contrastée au cours de l'année, avec un Débit Caractéristique de Crue (DCC) de 649 $m^3.s^{-1}$ et un Débit Caractéristique d'Etiage égal à zéro.

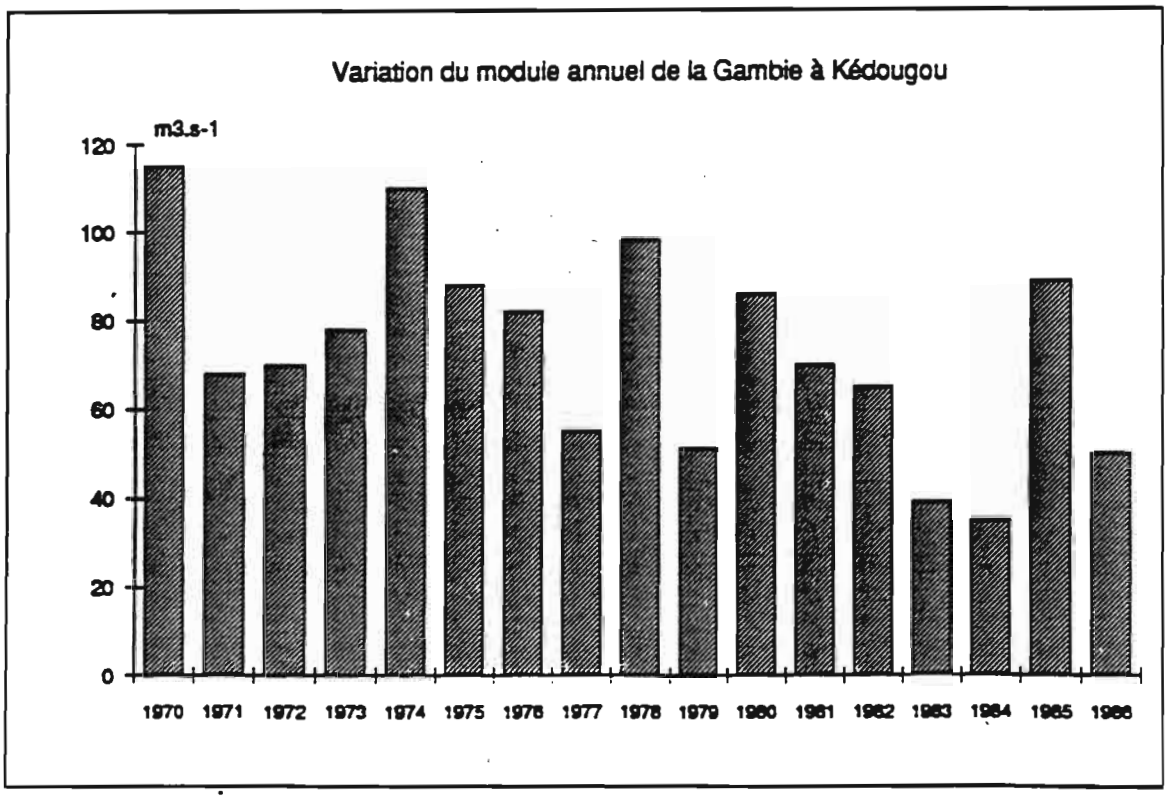
La pénétration très profonde de l'intrusion saline est une caractéristique particulière du fleuve Gambie. La position de l'interface eau salée/eau douce varie avec le débit propre du fleuve. En période très sèche, quand le débit descend à 1 ou 2 $m^3.s^{-1}$ seulement, l'interface se situe à 250 km de la mer, mais pour un débit de 150 $m^3.s^{-1}$ celui-ci descend vers l'aval jusqu'à 115 km de la mer et au maximum de la saison des pluies, la limite eau douce-eau salée peut descendre jusqu'à 80 km de l'embouchure. Ce phénomène est associé à l'influence dynamique de la marée. A l'embouchure de l'estuaire à Banjul, l'amplitude de la marée est de deux mètres ; à Balingho, quelque 150 km en amont, elle est de 1,5 m. L'amplitude reste supérieure à 1 m au droit du canal de Jahally, à 270 km de l'embouchure. A la station de jaugeage de Fatoko, la plus à l'amont du Gambie, située à 477 km de la mer, l'amplitude de la marée est de 0,4 m et à Gouloumbo à plus de 500 km de l'embouchure, une amplitude de l'ordre de 0,1 m est encore sensible.

En 1978, l'OMVG a été créée pour coordonner la planification des ressources en eau dans le bassin (voir 3.2.4). Sous les auspices de l'OMVG plusieurs études hydrologiques du bassin ont été réalisées. Un projet de barrage au Sénégal à Kereti et un autre sur le cours inférieur en Gambie ont fait l'objet d'études. La sensibilité de la position de l'interface eau salée/eau douce à toute modification du régime d'écoulement dans la rivière constitue une préoccupation toute particulière. Toute régulation

Figure 2.11

Caractéristiques du débit de la Gambie





des débits à l'amont risque d'entraîner un déplacement du front salin vers l'intérieur des terres. Ceci aurait pour conséquences de dégrader les performances du système d'irrigation en zone d'influence de la marée en Gambie, qui prévoit la possibilité d'obtenir de l'eau douce en saison des pluies même au maximum de la marée haute. Ce barrage serait aussi le premier passage permanent sur le cours inférieur du fleuve et viendrait remplacer le service de ferry sur la liaison routière Trans-Gambienne. Selon les études les plus récentes, ces deux projets ne sont pas économiquement rentables, en partie parce que le Sénégal a la possibilité d'obtenir de l'énergie électrique en installant des turbines à la sortie du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal.

2.3.5 La Volta

La Volta draine un bassin de 398 700 km^2 comprenant une partie du Mali, du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, du Togo, du Bénin et du Ghana avant de rejoindre le golfe de Guinée, mais 2 pays composent à eux seuls la quasi-totalité de ce bassin versant : le Burkina Faso (43%) et le Ghana (42%). L'écoulement moyen annuel du bassin est de 37.10^9 m^3, mais pendant les deux dernières décennies sèches dans la région, les écoulements ont été bien inférieurs à la moyenne à long terme (figure 2.12). Le régime des écoulements dans les affluents, particulièrement dans le nord plus sec, a un caractère saisonnier très marqué avec pratiquement aucun écoulement pendant six mois de l'année et une pointe de crue en août-septembre ; les écoulements du cours principal et des affluents du sud sont distribués dans le temps d'une façon plus régulière.

Le cours principal de la Volta a été régulé par le barrage d'Akosombo, achevé en 1965. Le Lac Volta créé par le barrage est la plus grande réalisation en matière de retenue artificielle dans la région, avec une capacité de 148.10^9 m^3 et une superficie de 8 500 km^2 à la cote maximum de remplissage. L'utilité principale de ce barrage est la production d'énergie hydro-électrique et l'objectif du projet était la création d'une unité de production d'aluminium pour apporter une valeur ajoutée aux exportations de bauxite du Ghana. En 1981 a été achevé le barrage de Kpong, situé immédiatement en aval d'Akosombo, dont la fonction est la production d'électricité. Le barrage est à 97 km de la mer et la queue de retenue est à 3,0 m d'altitude seulement. Ces réalisations ont été entreprises sous les auspices de l'Autorité de la Rivière Volta (ARV), qui est une organisation entièrement ghanéenne fondée en 1961.

L'ARV cherche activement à augmenter la production d'énergie électrique à partir de la Volta et a financé des études d'évaluation du potentiel de cette ressource. En tout, dix nouveaux sites potentiels ont été identifiés sur la Volta (voir tableau 2.4); l'aménagement du site de Bui sur la Volta Noire, avec un potentiel installable de 300 MW, en est au stade de l'étude de faisabilité détaillée et trois sites sur la Volta Blanche font actuellement l'objet d'études de pré-faisabilité.

L'ARV a passé des accords pour l'exportation d'énergie électrique vers les pays voisins du Togo et du Bénin et l'organisation a des projets pour assurer d'autres fournitures, probablement vers le Burkina Faso.

TABLEAU 2.4

Site Potentiels pour la Production Electrique sur la Volta au Ghana

Rivière/Site	Surface (km^2)	Ecoulement Moyen Annuel ($m^3.s^{-1}$)	Potentiel Equipable (MW)
Volta Noire (Mou Houn)			
Koulbi	107 000	191	68
Nterso	121 000	209	64
Lanka	124 300	217	95
Bui	125 100	217	300
Jambito	139 100	241	55
Volta Blanche (Nakanbé)			
Pwalugu	57 450	150	50
Kulpawn	94 760	234	70
Daboya	98 060	245	80
Oti			
Juale 1	64 750	390	100
Juale 2	64 750	390	50

Les effets de la récente sécheresse au Sahel ont été suivis avec un intérêt tout particulier au Ghana car les quantités d'énergie effectivement générées par les aménagements de la Volta sont inférieures à celles qui avaient été prévues au moment de leur conception. En fait, de 1970 à 1990 l'écoulement moyen de la Volta a représenté seulement 80% de la valeur moyenne à long terme utilisée pour la conception de l'aménagement d'Akosombo. Les variations de volumes du lac depuis 1965 sont indiqués à la figure 2.12. Pendant les années 1980, les niveaux sont restés en dessous de la courbe inférieure d'opération pendant sept ans sur dix. Le déficit pluviométrique en 1983-84 s'est traduit par une crise, et il a fallu réduire la production électrique. Les chiffres des quantités d'énergie produites entre 1984 et 1989 sont présentés au tableau 2.5 ; pour mémoire, et à titre de comparaison, l'énergie moyenne annuelle garantie prévue par le projet était de l'ordre de 5 000 $GW.h^{-1}$, avec une productibilité totale avoisinant les 7 000 $GW.h^{-1}$. Comme on peut le voir sur la figure 2.12, les pluies abondantes de 1989 ont reconstitué le volume stocké du lac, ce qui a permis de faire fonctionner l'aménagement presqu'à pleine puissance. Toutefois, l'année 1990 a montré que la sécheresse au Sahel n'était pas terminée, puisque l'écoulement annuel a été estimé à 14.10^9 m^3, soit seulement 38% de la moyenne à long terme.

Plus en amont, les aménagements réalisés au Burkina Faso ont été surtout conçus pour satisfaire aux besoins de l'irrigation et pour l'adduction d'eau potable. Avec une saison sèche longue, le stockage est une condition indispensable pour le développement futur des ressources en eau de surface : beaucoup de petits barrages ont été construits. Les réalisations les plus importantes, existantes ou en projet, sont présentées au tableau 2.6.

Figure 2.12

Le lac Volta

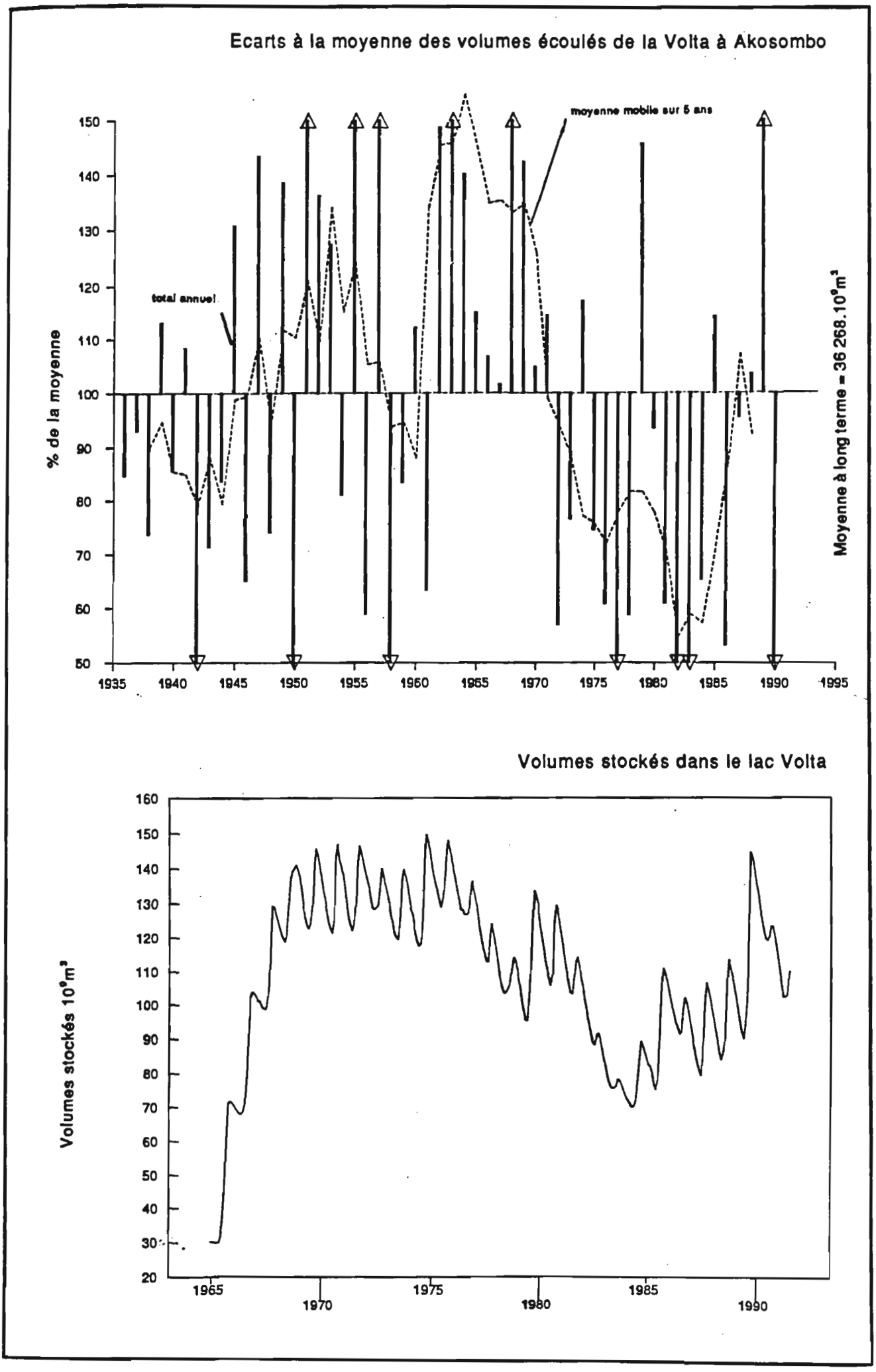


TABLEAU 2.5

Production d'électricité à Akosombo-Kpong

Année	Akosombo ($GW.h^{-1}$)	Kpong ($GW.h^{-1}$)	Total ($GW.h^{-1}$)
1984	1 468.50	330.18	1 814
1985	2 461.37	534.82	2 996
1986	3 677.79	727.25	4 405
1987	3 880.56	795.74	4 676
1988	3 996.49	811.36	4 808
1989	4 383.24	847.27	5 231

Source: Quarterly Digest of Statistics, Ghana, June 1990.

TABLEAU 2.6

Aménagements existants et projetés sur la Volta au Burkina Faso

Rivière/Site	But	Date	Capacité (10^6 m^3)
Mou Houn (Volta Noire)			
Plaine de Banzo	Irrigation	1977	Prise d'eau
Kou Valley	Irrigation	1973	Prise d'eau
Samandeni	Irrigation/HE	Prévu	610
Sourou	Irrigation	1976-84	370
Tenado/Koudougou	AEP	1978	Prise d'eau
Poura Mine	AEI		Prise d'eau
Noumbiel	Hydroélectricité	Prévu	11 300 (60 MW)
Nakanbé (Volta Blanche)			
Ouaga Barrages	AEP	1955	6
Loumbila	AEP	1970	35
Ziga	AEP	Prévu	194
Bagré	Irrigation/HE	Prévu	1 700 (16 MW)
Kompienga	Hydroélectricité	1988	2 000 (14 MW)

La mise en valeur des ressources hydrologiques du bassin a été faite sans concertation inter-états et il n'existe pas d'organisation supra-nationale de coordination. Le Ghana, qui a le plus développé les ressources des rivières, l'a surtout fait pour assurer la production d'énergie électrique. Des projets de développements importants en amont auraient évidemment des impacts significatifs sur les

aménagements existants au Ghana, plus particulièrement si les conditions actuelles de sécheresse devaient se maintenir.

2.3.6 Le Lac Tchad

Le lac Tchad est situé à une altitude d'environ 280 m au dessus du niveau de la mer aux limites du Sahara, entre les latitudes 12° N et 14° 30' N et les longitudes 13° E et 15° 30' E. Le lac est le centre d'un bassin endoréique de 2 500 000 km² qui empiète sur le territoire de 7 états : l'Algérie, le Tchad, le Niger, le Nigéria, le Cameroun, le Soudan et la République Centrafricaine. Plus de 90% des apports au lac sont assurés par le système Chari-Logone, qui prend sa source aux limites sud du bassin.

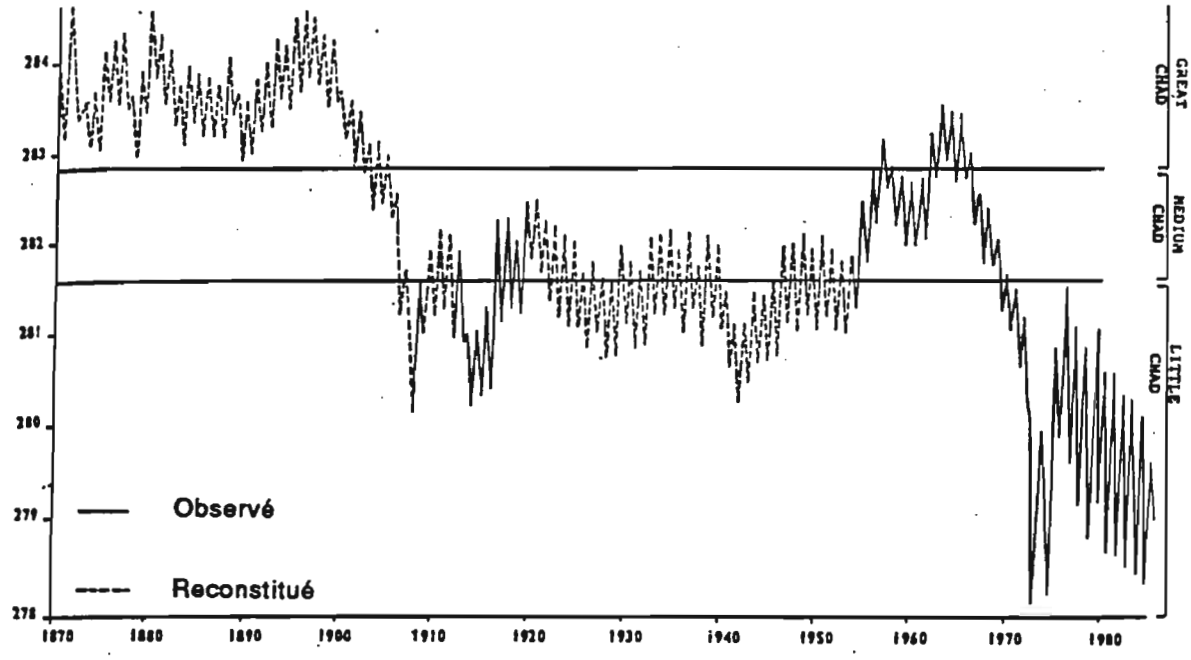
L'hydrologie du bassin du Chari est complexe par suite de l'existence des "yaérés", vastes zones soumises à des inondations saisonnières. Ces zones se situent à l'aval de Miltou sur le Chari et de Lai sur le Logone. La zone inondée est fonction de l'importance de la crue sur le cours principal et de ce fait, les pertes par évaporation et par infiltration sont plus importantes les années humides. La connaissance approfondie de ce phénomène complexe est reconnue comme une nécessité depuis longtemps, mais ce point devient particulièrement urgent pour la mise en oeuvre de tout schéma de développement de cette zone, qui combinerait forcément la nécessité de protéger les zones naturellement inondées, qui sont importantes aux plans écologique et économique, tout en assurant le contrôle artificiel des crues dans le bassin supérieur et un prélèvement des débits pour l'irrigation dans les cours moyens et inférieurs du système hydrologique.

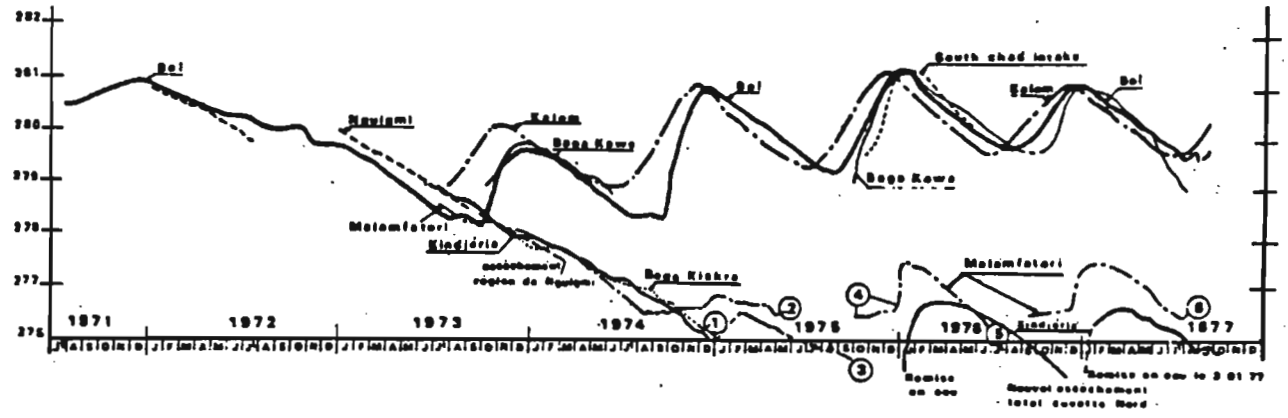
Le Lac Tchad est peu profond; les profondeurs moyennes varient entre 1,5 et 5 m. Cette caractéristique fait que l'extension de la surface mouillée est très sensible aux modifications de volumes provoquées par les fluctuations des apports et des pertes. Pour un niveau inférieur à la cote 279 m, un bourrelet, la "grande barrière", apparaît entre Baga Kawa et Baga Kiskra, divisant le lac en deux plans d'eau distincts au nord et au sud. Après son émersion, le bourrelet se recouvre rapidement d'une végétation dense qui limite les écoulements entre les deux parties. Le lac sud est alimenté par l'écoulement du Chari, tandis que l'alimentation du plan d'eau nord se limite aux apports du bassin de la Komadougou-Yobe et à ceux d'autres systèmes à écoulement intermittent plus quelques déversements du plan d'eau sud par dessus le bourrelet.

L'arrivée soudaine de la sécheresse au Sahel dans les années 1970 (figure 2.13) s'est traduite par de spectaculaires réductions de la taille et du volume du lac, qui est passé du stade de véritable lac à celui d'un delta marécageux du Chari, avec des conséquences désastreuses pour les communautés riveraines et pour d'autres activités plus éloignées, dépendant des ressources en eau du lac. Cette situation a favorisé la multiplication des études et des recherches sur les variations de niveau du lac au cours des temps historiques. Ces dernières années, de nombreuses idées de projets d'aménagement ont été lancées, dont les projets de transfert d'eau à partir du Zaïre ne sont pas les moindres. Cependant, fort peu de projets ont été étudiés de manière suffisamment détaillée pour établir réellement leur faisabilité.

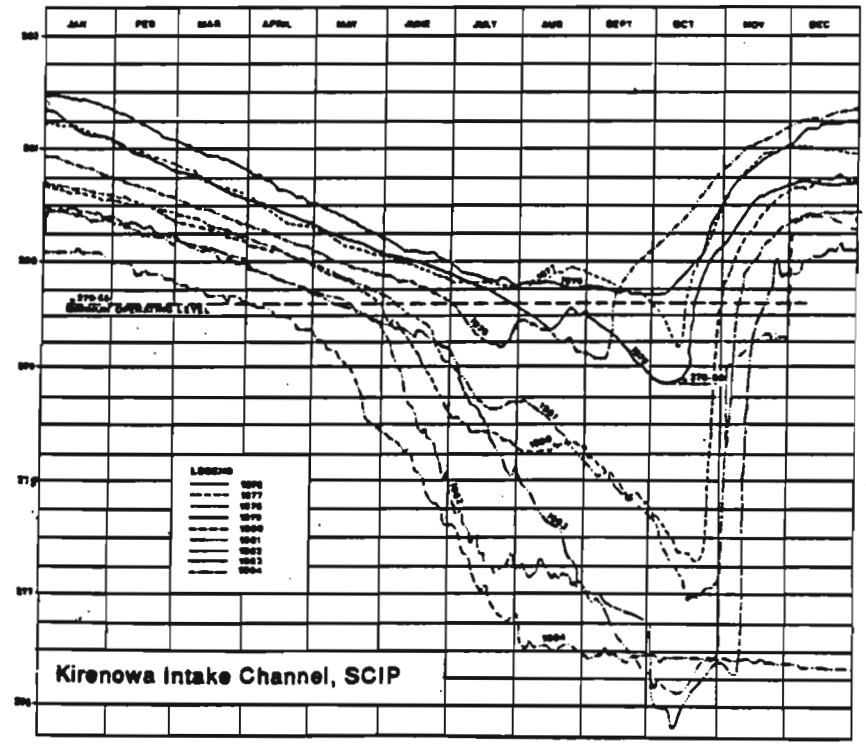
Figure 2.13

Comportement historique du lac Tchad





1 Baga Kiskra à sec 2,5,6 Assèchment région de Malamfatori 3 Assèchment total de la cuvette nord 4 crue Yobé



Kirenowa Intake Channel, SCIP

Source: ORSTOM and SCIP

Le tableau 2.7 présente une compilation récente, par pays, de tous les projets d'aménagement hydro-agricole réalisés dans le bassin conventionnel du Lac Tchad et indique la source d'alimentation en eau. Pour certains périmètres, les superficies ne sont pas connues et par conséquent les totaux sont sous-estimés. Ce tableau montre que seule une faible proportion de la superficie des grands périmètres qui sont achevés ou en projet, est actuellement opérationnelle (environ 23%). Ceci reflète les conséquences graves de la sécheresse, en particulier sur les schémas conçus pour prélever l'eau du Lac Tchad lui-même.

TABLEAU 2.7

Aménagements hydro-agricoles dans le bassin du lac Tchad (superficies en ha)

Origine de l'eau	Tchad	Niger	Cameroun	Nigéria	Total
Existants ou en cours de Construction :					
Lac Tchad	3650			84000	87650
Chari	5000		450	-	5450
Logone	5000		10000	-	15000
Yobe	-	> 185	-	?	200
Extension envisagée :					
Lac Tchad				110	1100
Chari			2000	-	2000
Logone			?	-	
Yobe		2000		100000	102000
Fonctionnels :					
a) Grands périmètres					
Lac Tchad	1200			3500	4700
Chari	5000		450	-	5450
Logone	5000		9550	-	14550
Yobe	-	185			
b) Petits périmètres					
Chari	269				269
Logone			234		234
Yobe		800	-	405	1205
Yedseram			-	100	100
Mares/réservoirs			265		265
Mayo Tsanaga			(7000)		7000

Note: ? Données non collectées au cours des études de reconnaissance.
Source: Projet RAF/88/029, N'Djamena, 1991.

Aménagements sur le lac

Le programme le plus ambitieux est le Projet d'Irrigation du Tchad Sud (South Chad Irrigation Projet - SCIP) au Nigéria. SCIP avait été prévu pour une mise en oeuvre en trois phases. Deux phases ont

été réalisées : la Phase I en 1979 et la Phase II en 1983. La Phase III n'a pas été réalisée en raison de l'abaissement des niveaux du lac Tchad. Une station de pompage avec un débit total de 103 $m^3.s^{-1}$ (capacité installée à l'heure actuelle 75 $m^3.s^{-1}$) permet de pomper l'eau du lac à partir d'un canal. La surface nette prévue pour le projet était d'environ 66 000 ha, et 40 000 ha sont effectivement irrigués à l'issue des Phases I et II.

Cependant, la superficie de cultures prévue par le projet n'a pas été atteinte. En 1989, la meilleure année jusqu'à ce jour, il a été possible d'irriguer 7 400 ha de blé, mais l'année suivante, le niveau du lac a de nouveau baissé et toute irrigation est redevenue impossible. Les niveaux à la station de pompage sont présentés sur la figure 2.14. Le faible développement de l'irrigation qui a pu être réalisé, par suite des bas niveaux du lac, confirme que le projet SCIP n'a pas eu d'influence sur les niveaux du lac Tchad. Cependant, il faudra prendre en compte les effets des prélèvements du projet SCIP et les cumuler avec ceux d'autres options de développement et de réalisations pour la protection des crues.

Des études sont actuellement en cours pour aménager d'autres polders près du Lac Tchad, dans la région de Bol. Le projet comporte trois polders, et deux d'entre eux (Guini et Berim) sont partiellement réalisés avec respectivement 90% et 20% des 1 200 ha prévus. Le troisième polder est celui de Mamdi (1 800 ha), pour lequel un canal de 36 km est à l'étude.

Aménagements sur le Système Chari/Logone

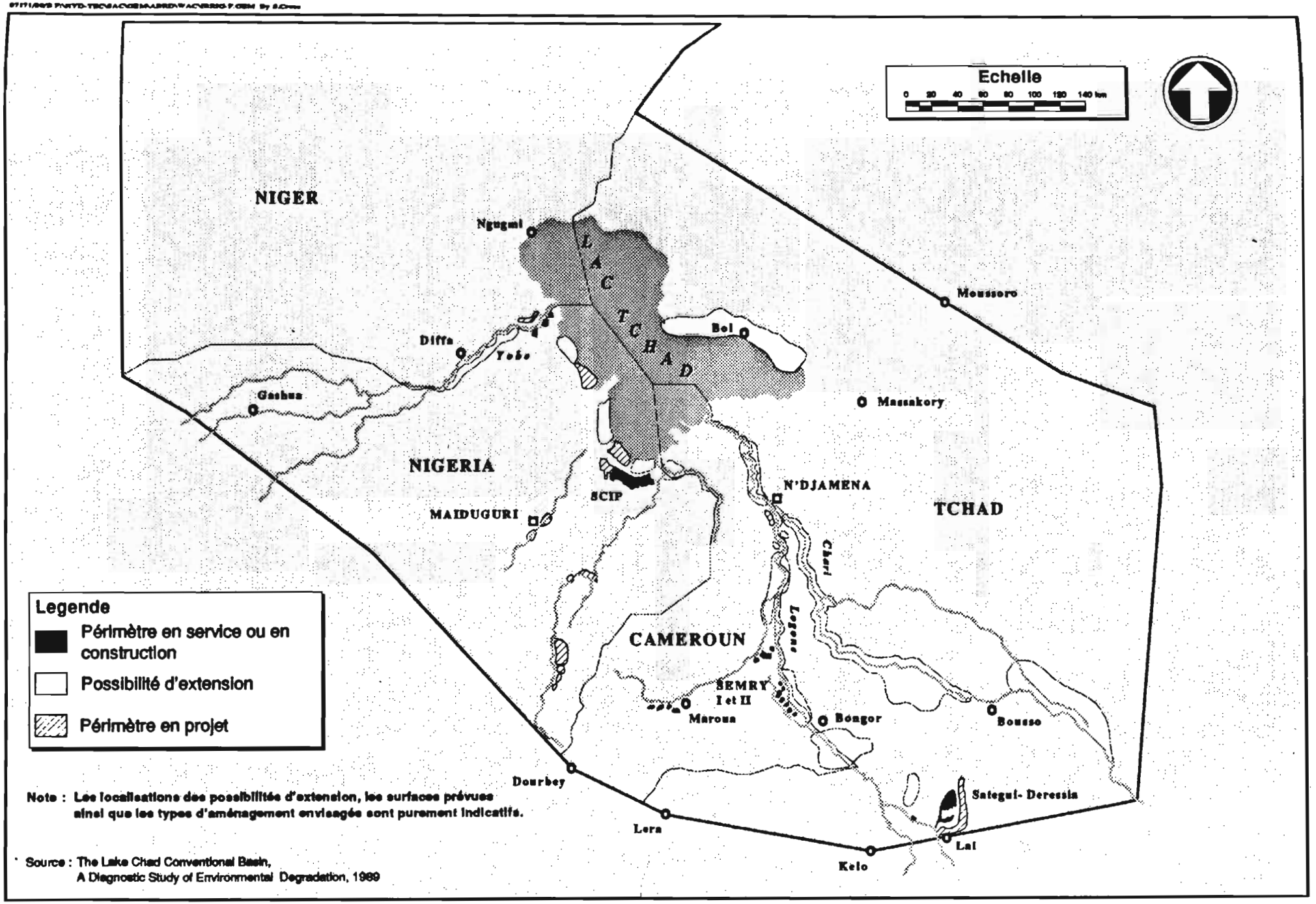
La plupart des projets de développements proposés sont situés sur le bassin du Logone. Le plus grand périmètre irrigué est celui du fleuve Sategui-Deressia, affluent en rive droite du Logone, au Tchad. La construction de ce périmètre de 10 000 ha de rizières qui a commencé en 1975 et a été interrompue par des conflits armés intérieurs, est maintenant reprise.

Le barrage du polder de Maga dérive les eaux du Logone et bloque en partie l'écoulement vers les yaérés. Il est utilisé pour augmenter les apports au projet SEMRY II (Société d'Expansion et de Modernisation de Riziculture de Yagoua) au Cameroun. Les trois projets SEMRY portent sur l'irrigation des zones de :

SEMRY I	5 300 ha (prélèvements sur le Logone)
SEMRY II	6 000 ha (prélèvements au barrage de Maga
SEMRY III	1 500 ha (prélèvements par pompage)

A l'origine, un accord entre le Tchad et le Cameroun permettait de prélever 5 $m^3.s^{-1}$ pendant la période de janvier à avril et 10 $m^3.s^{-1}$ de mai à décembre, mais SEMRY I à lui seul prélève 5 $m^3.s$ et l'accord a du être révisé, chaque pays étant maintenant autorisé à utiliser la moitié des débits au dessus de 40 $m^3.s^{-1}$.

Pour augmenter la fiabilité des fournitures, une étude avait recommandé la construction de deux réservoirs de régulation des crues du Logone supérieur, sur la Vina du Nord à Koumban ($5{,}0.10^9$ m



Bassin du Lac Tchad - développement de l'irrigation

Figure 2.14

et sur la Pende à Gore ($2,8 \times 10^9$ m^3), l'aménagement de Koumban étant considéré comme prioritaire. Ces barrages devaient assurer la régulation du Logone et réduire les déversements à l'aval de Lai, et réduire par là même les pertes dans les yaérés et augmenter le volume d'eau du lac. La construction d'une usine hydroélectrique à Pandzangwe, alimentée avec les débits régulés en aval de Koumban, avait également été prévue.

Avec la construction de digues le long du cours du Logone pour la protection des périmètres irrigués, les risques de crues en aval ont augmenté, et les débits de saison sèche du Logone ont diminué parce que les apports provenant de la vidange des zones d'inondation ne sont plus assurés. D'autres endiguements de crue le long du Logone ont aussi été proposés.

On sait peu de choses sur les aménagements réalisés en République Centrafricaine, bien que tout projet de stockage dans le haut bassin du Chari puisse avoir un impact important sur les apports au Lac Tchad.

Autres aménagements

Au Nigéria il existe plusieurs projets visant à augmenter les écoulements vers le bassin du Lac Tchad par des transferts inter-bassins :

- transfert du bassin du Gongola (Niger) vers les rivières Ngadda et Yedseram par la rivière Hawal (stockage de 822.10^6 m^3 et apports de 20 m^3.s^{-1}) ;

- barrage de Dindima et transfert vers la Komadougou-Yobe.

La contribution des apports de ces deux rivières au lac Tchad est négligeable en volume, mais l'écoulement de la Komadougou-Yobe est important au point de vue écologique puisque c'est le seul apport à la partie nord lorsque le lac est divisé par la Grande Barrière. Les effets de la régulation et de l'irrigation sur les régimes naturels du bassin de la Komadougou-Yobe ont été considérés comme préoccupants. Dans le scénario final de développement prévoyant la mise en valeur de 100 000 ha, on prévoit des diminutions de débits comprises entre 32 et 100%.

2.3.7 Le Zaïre ou Congo

A son débouché à l'Océan, le bassin du Congo couvre une superficie de plus de 4 000 000 km^2, répartis de part et d'autre de l'équateur entre le 7° N et le 12° S (voir figure 2.15). Un tiers de la surface drainée est située dans l'hémisphère nord. La région centrale relativement plate repose sur un des bassins continentaux anciens, plusieurs fois envahi par la mer pendant le Mésozoïque. La surrection importante des terrains périphériques a accentué la dynamique de bassin sédimentaire de la zone, ce qui a eu pour effets de bloquer tout drainage vers la côte et de former ainsi un grand lac au cours du Pliocène. Au Pléistocène, la zone centrale a été de nouveau drainée vers la côte Atlantique, le point de capture se situant probablement juste en aval du Stanley Pool, et les lacs peu

profonds et les marécages existants aujourd'hui dans la partie ouest du bassin central peuvent être considérés comme des formes relictuelles de ce lac. Héritage d'une tectonique antérieure active, des chutes et des rapides jalonnent le cours supérieur de beaucoup d'affluents. C'est le cinquième fleuve du monde par sa longueur (4 374 km) mais le deuxième par son module (41 000 $m^3.s^{-1}$) et par la superficie de son bassin versant, dont la répartition géographique à cheval sur l'équateur explique la régularité du débit : à l'échelle annuelle, le rapport entre débit maximum et débit minimum journaliers n'est que de 2 ; le plus faible débit jamais observé est de 22 000 $m^3.s^{-1}$ et le plus fort de 76 500 $m^3.s^{-1}$, soit un rapport de 3,5 seulement.

Le Zaïre supérieur ou Lualaba

De sa source, dans les plateaux du Shaba à 1 400 m d'altitude, jusqu'à Kisangani, le Zaïre porte le nom de Lualaba. C'est à l'origine un fleuve torrentueux qui s'apaise en entrant dans la dépression de l'Ubemba avec un cours orienté sud-nord présentant une alternance de biefs calmes et de rapides ("Portes d'Enfer" à l'aval de Kongolo, chutes Tshungu à Kisangani). Les affluents qui drainent cette zone montagneuse (Lomani, Lindi, Lowa) ont des coefficients d'écoulement élevés (>40%) qui expliquent l'augmentation brutale du module qui passe de 2 000 $m^3.s^{-1}$ à 5 740 $m^3.s^{-1}$ entre Kindu et Lowa.

Le cours moyen

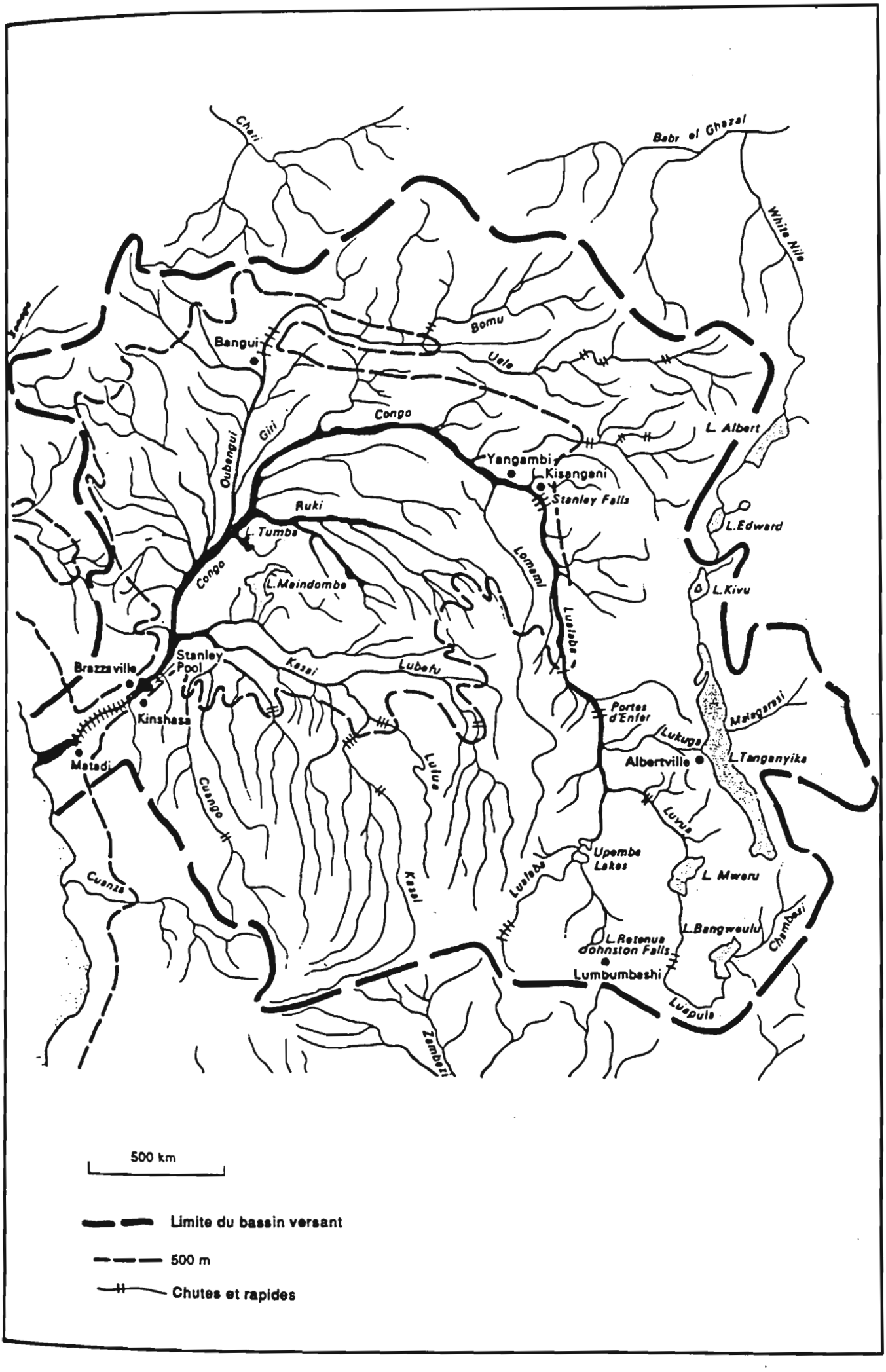
A Kisangani l'orientation du cours d'eau change et le tracé s'infléchit d'abord vers l'ouest, puis vers le sud-ouest ; le fleuve s'élargit grâce à l'apport de puissants affluents drainant de longs et importants bassins versants (Luelle, Aruwini et surtout Oubangui). Large de 10 km et plus, le lit du Congo est encombré de bancs de sable et d'îles, puis à l'aval de sa confluence avec le Kwa (réunion du puissant Kasaï et de la Fimi) son cours se resserre et forme un "couloir" orienté sud-sud-ouest, dans la traversée des plateaux Batéké. En amont de Brazzaville et de Kinshasa, le fleuve s'étale dans une vaste dépression, dite *Pool Malebo* ou *Stanley Pool*, avant de sauter vers l'ouest la barre gréseuse dans un goulet de 1 700 m de large en formant les rapides "du Djoué".

L'Oubangui

Le bassin versant de l'Oubangui se partage entre le Zaïre et la République Centrafricaine, au cœur du continent africain. Son régime hydrologique est caractéristique du régime tropical humide, avec un maximum en septembre-octobre et un étiage en mars-avril à Bangui. Le bassin s'étage entre 1 382 m (la source de l'Uélé) et 350 m à Bangui où le bassin versant est de 480 000 km^2. Le tracé dans le haut bassin est orienté d'est en ouest, jusqu'au coude de Bangui où le tracé s'oriente vers le sud avant que le fleuve ne rejoigne le fleuve Congo, après avoir formé une frontière naturelle sur 400 km entre le Zaïre et la République du Congo. L'extension du bassin versant intermédiaire est modeste, et le module de 4 080 $m^3.s^{-1}$ à Bangui ne croît pas vers l'aval de façon très sensible. Après le passage des rapides de Zinga, le cours de l'Oubangui au Congo se caractérise par une succession de biefs encombrés d'îles qui migrent lentement vers l'aval et de bancs de sable qui sont un obstacle constant à la navigation en basses eaux. Le fleuve est ceinturé sur ses deux rives par des bourrelets de berge importants, couverts d'une forêt épaisse inondable pendant une bonne partie de l'année. Le

Figure 2.15

Bassin versant du fleuve Zaire



liaisons naturelles ou légèrement aménagées par l'homme, existent avec les fleuves voisins, la Likouala-aux-Herbes et la Sangha.

Les Rapides et les biefs maritimes

De Kinshasa à Matadi, le fleuve franchit 32 séries de cataractes, dont les plus célèbres sont les rapides d'Inga. Ce bief présente une dénivellation de 265 m sur une distance de 300 km. Dans la traversée du Mayombe, le tracé se caractérise par des changements de direction brutaux, imposés par le relief appalachien des chaînes côtières. Après Matadi le fleuve s'élargit à nouveau et atteint près de 5 km de large à Boma et 10 km à l'estuaire. Le fleuve rejoint l'Océan Atlantique et un courant d'eau adoucie est encore perceptible à 50 km au large de Banama.

Le régime du fleuve Congo à Brazzaville

Le fleuve n'est pas équatorial seulement par son abondance, mais aussi par la relative régularité de son régime, qui présente à Brazzaville deux maxima annuels, l'un principal en décembre, l'autre secondaire vers mai, qui encadrent un étiage majeur au début d'août et un autre moins prononcé en mars (figure 2.16).

Cet hydrogramme semble conforme à celui d'un régime hydrologique de type équatorial, mais cette forme résulte de la seule géométrie du bassin versant et des délais de transfert des crues de type tropical, générées dans chacun des deux hémisphères, qui se combinent en amont de Brazzaville.

La complémentarité des régimes du Kasaï, de l'Oubangui et du Congo à Kisangani, transférés à Brazzaville, auxquels viennent se surimposer les apports équatoriaux plus réguliers en provenance de la bande centrale expliquent le régime régulier du fleuve et ses débits soutenus (figure 2.12). Les valeurs hydrologiques caractéristiques de la période 1947-1990 sont les suivantes :

Module interannuel moyen	1947-1990	42 000 $m^3.s^{-1}$
Module maximum	(1962)	55 200 $m^3.s^{-1}$
Module minimum	(1984)	33 300 $m^3.s^{-1}$
Etiage minimum absolu	(1990)	22 800 $m^3.s^{-1}$
Etiage maximum	(1969)	41 300 $m^3.s^{-1}$
Crue maximale absolue	(1961)	77 000 $m^3.s^{-1}$
Crue minimale	(1984)	47 500 $m^3.s^{-1}$

Les apports annuels du Congo à Brazzaville se situent donc sur la période 1947-1990 entre $1\,050.10^9$ m^3 et $1\,740.10^9$ m^3.

Le détournement des eaux du Zaïre vers le bassin du Lac Tchad a fait récemment l'objet de plusieurs propositions, qui sont discutées ci-après en 2.6.

2.4 Les eaux souterraines

2.4.1 Introduction

En Afrique de l'Ouest, les eaux souterraines sont localisées dans deux types de formations géologiques : (1) les terrains sédimentaires, argiles sableuses, sables, grès quartzites ou à ciment calcaire, calcaires ; (2) les terrains cristallins, d'origine ignée, cristallophyllienne ou volcanique.

Les terrains sédimentaires constituent de très vastes bassins et les aquifères qu'ils renferment sont généralement liés à une porosité vacuolaire : l'eau est contenue et circule dans les vides interstitiels existant entre les grains qui constituent la phase solide des roches. Ces vides, très nombreux, et fortement connectés confèrent une bonne continuité à l'aquifère présent, d'où la dénomination d'aquifères continus utilisée récemment (UNESCO, 1988).

Les terrains cristallins et la plupart des terrains sédimentaires anciens (antécambriens, paléozoïques) sont rarement poreux et ne peuvent contenir de l'eau qu'à l'intérieur des fractures ou des fissures d'origine mécanique ou thermique, ou dans les zones altérées. La communication entre fractures, fissures et altérations étant irrégulière, les aquifères qui y sont liés sont dits discontinus.

Les aquifères régionaux sédimentaires sont de plusieurs types :

(a) Les bassins d'effondrement côtiers incluant :

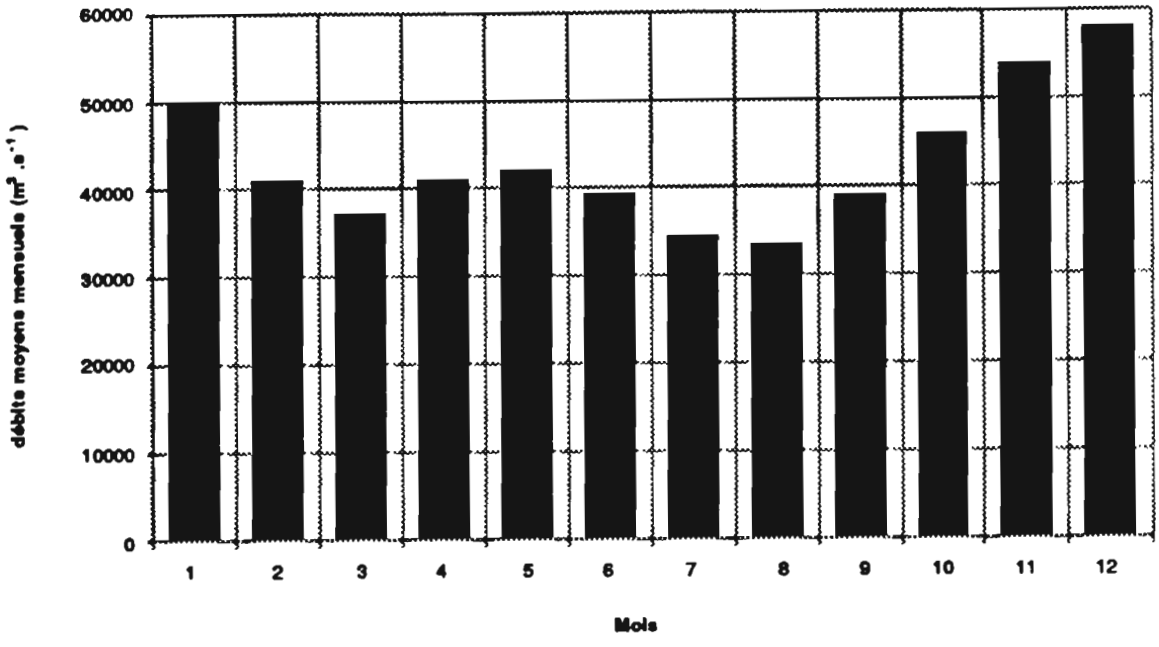
- le bassin sédimentaire côtier ivoirien intéressant le sud de la Côte d'Ivoire et une partie du sud du Ghana ;
- le bassin sédimentaire côtier du golfe du Bénin intéressant la partie sud du Ghana, du Togo, du Bénin et du Nigéria ;
- Guinée, la Sierra Léone et Libéria ;
- Gabon.

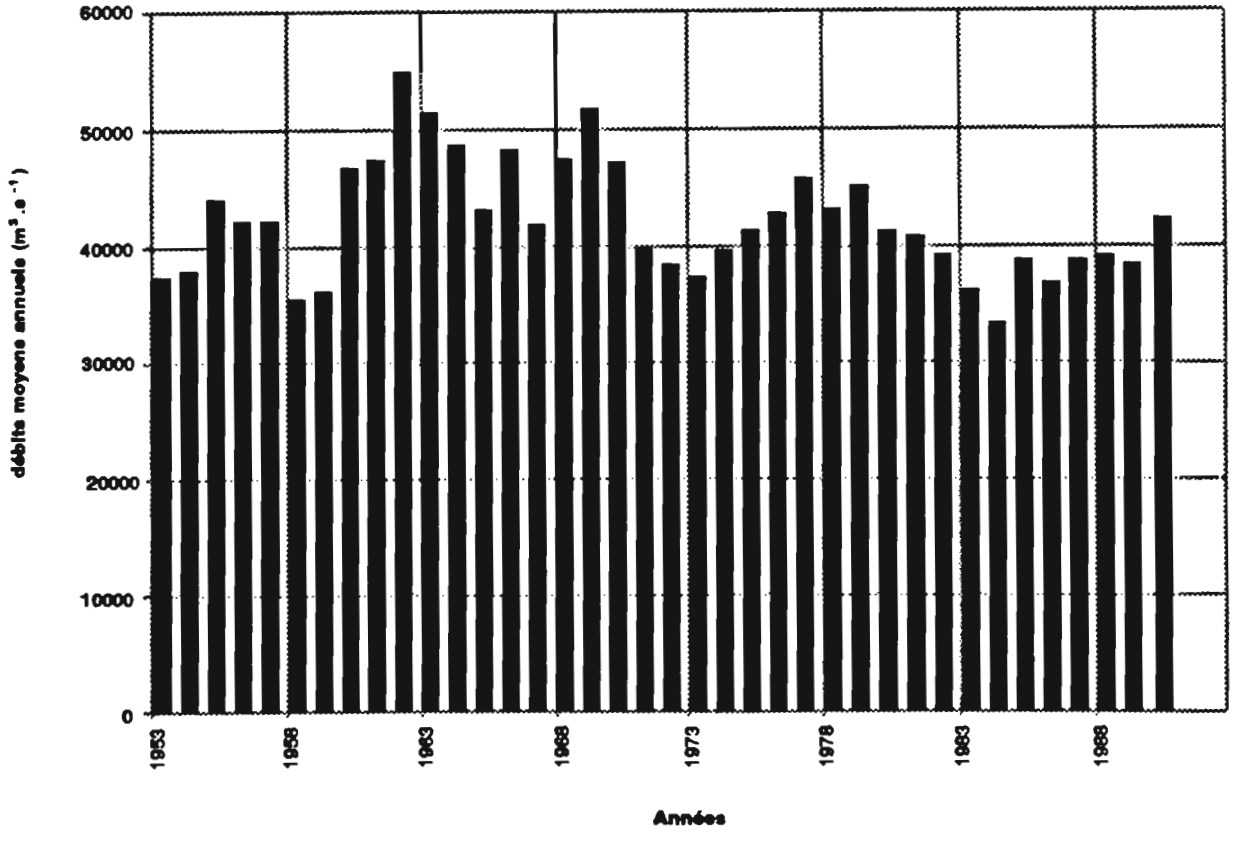
Les formations sédimentaires côtières s'étendent sur une superficie assez restreinte dans chacun des pays, mais elles ont une importance considérable du fait que les forages peuvent produire des débits importants et qu'elles sont localisées près de zones où la demande en eau est élevée : capitales et gros villages.

(b) Les bassins sédimentaires en cuvette dont :

- le bassin Sénégalo-Mauritanien intéressant la Mauritanie, le Sénégal et la Guinée Bissau ;
- le bassin sédimentaire de Taoudennit, intéressant la Mauritanie et le Mali ;
- le bassin de l'Iullemmeden-lac Tchad intéressant le Cameroun, le Tchad, le Niger et le Nigéria.

Caractéristiques du débit du Congo à Brazzaville





Les ressources en eaux souterraines les plus importantes de la région de l'Afrique de l'Ouest se trouvent dans ces bassins. Ils sont immenses et s'étendent de la Mauritanie à l'ouest jusqu'au Tchad, en passant par le Centre du Mali et le Niger, une distance de presque 4 000 km. Le degré d'interconnexion entre ces bassins reste à établir.

Les bassins peuvent être divisés en deux sous-bassins à l'isthme étroit du Détroit Soudanais (large de 120 km) à l'est du Mali. La partie ouest est dominée par les bassins de Taoudenit (El Djouf) et de Azouad et la partie est est dominée par les bassins de l'Iullemmeden et du lac Tchad. Le fleuve Niger draine la zone sud du bassin de Taoudenit et le bassin de l'Iullemmeden. Plusieurs fleuves, dont le Chari, s'écoulent dans le bassin du Tchad. Les bassins sont couverts de dunes de sable et de dépôts éoliens associés qui rendent l'accès difficile.

Les aquifères discontinus représentent une ressource globalement peu importante par rapport aux formations sédimentaires, mais du fait qu'ils sont fréquents, constituent une source d'eau potable non négligeable pour les petits villages.

Dans les paragraphes suivants, nous décrivons les ressources des aquifères sédimentaires continus ainsi que celles des aquifères discontinus. La distribution de ces aquifères est indiquée à la figure 2.17.

2.4.2 Les aquifères des bassins d'effondrement côtiers

(a) Géologie et structure

Les divisions géologiques importantes sont :

- le Quaternaire avec les formations sableuses des cordons littoraux, les alluvions argilo-sableuses des fonds de vallées.
- le Tertiaire Paléocène, Eocène et Oligo-Miocène, avec entre autres les formations du Continental Terminal ;
- le Secondaire avec des formations du Crétacé continental et du Crétacé marin appelé Maëstrichtien ;

Le faciès lithologique de ces terrains est le suivant :

Formation	Lithologies
Quaternaire	Sables des cordons littoraux Les formations alluviales argilo-sableuses, à niveaux graveleux du Quaternaire correspondant aux zones d'effondrement et au positionnement des grandes vallées qui traversent ces bassins sédimentaires
Continental Terminal	Formations sablo-argileuses, constituant l'aquifère généralisé le plus aisément exploitable et de ce fait fréquemment exploité
Paléocène	Calcaires regroupés et indifférenciés du Bénin ; calcaires phosphatés, marneux de l'Eocène au Togo; calcaires blancs zoogènes associés à des sables du Paléocène au Togo Les variations de faciès sont importantes, à dominante argileuse au nord des bassins
Crétacé-Supérieur Continental	Altérations argilo-sablo-gréseuses rouges
Maëstrichtien	Crétacé marin formé de sables argileux, marneux et calcaires, d'argiles brunes et beige-verdâtres, de sables fins à grossiers

La présence de ces bassins sédimentaires côtiers est le résultat d'une subsidence tectonique, plus ou moins parallèle à la côte actuelle et effondrant le substratum cristallin par gradins successifs grâce à des failles d'orientation N50° à N70°.

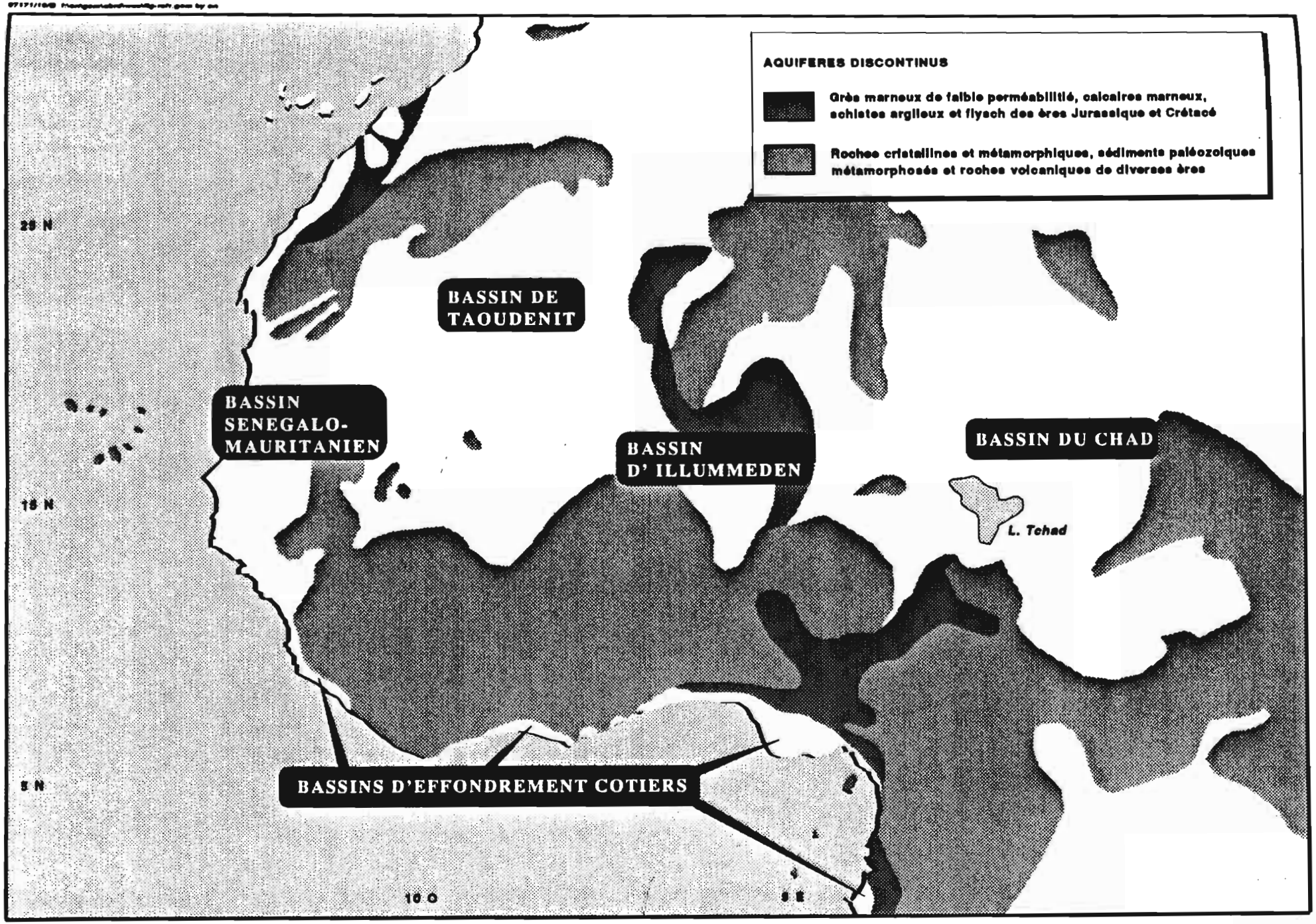
Cet affaissement entraîne un rejet total du substratum :

- de 3 000 m sur une distance de 50 km au Togo (pente moyenne 6%) ;
- de 2 500 m sur une distance de 100 km au Bénin (pente moyenne 2,5%) ;
- de plus de 3 500 m en Côte d'Ivoire grâce à un accident passant en bordure nord des lagunes côtières.

Une série de failles NS à N20° et N30° compartimente ces terrains et délimite des zones d'effondrement occupées par les vallées alluviales et les zones marécageuses.

Les formations sédimentaires côtières occupent des superficies relativement faibles (voir figure 2.17). Elles sont importantes à cause de la proximité des centres de population dense et à cause de leurs potentialités. Les forages d'exploitation peuvent fournir des débits très importants de 100 à 200 $m^3.h^{-1}$.

Les caractéristiques les plus importantes des aquifères majeurs sont les suivantes :



Aquifères régionaux

Figure 2.17

Sables des cordons littoraux

Ces cordons s'étendent tout le long du littoral côtier, sur une largeur de 1 à 2 km. Leur épaisseur peut varier de 10 à 35 m. Ils sont généralement exploités par des puits fournissant 1 à 15 $m^3.h^{-1}$, exploitant de l'eau douce superposée à de l'eau salée par différence de densité. Cette exploitation par des ouvrages de faible profondeur et à faible débit est la seule conseillée pour éviter l'invasion des eaux salines. Le risque de pollution est élevé par suite de la bonne perméabilité de ces sables.

Alluvions argilo-sableuses du Quaternaire

Leur épaisseur peut être de 10 à 50 m, parfois 90 m (exemple du Bénin) ; les puits ou les forages peuvent atteindre une profondeur de 60 à 90 m. Les débits obtenus peuvent parfois atteindre 50 à 100 $m^3.h^{-1}$. L'eau est généralement légèrement minéralisée et le pH varie entre 6 et 7. L'eau est bicarbonatée calcique à sodique au contact des eaux salines du littoral. La salinité totale peut atteindre 15 600 mg/l à 33 m de profondeur en bordure de la côte. La transmissivité peut varier de 10^{-3} à 3.10^{-2} $m^2.s^{-1}$. Les risques de pollution sont élevés.

Continental Terminal

Cette formation peut avoir 30 à 70 m d'épaisseur au Togo, à proximité de Lomé. La base atteint une profondeur de 100 à 150 m au Bénin. Cet aquifère est intensément exploité par puits et forages pour alimenter en eau les capitales d'Abidjan, de Lomé et de Cotonou. Les forages peuvent atteindre des débits de 150 à 250 $m^3.h^{-1}$. Les débits spécifiques par mètre de rabattement sont très variables, (entre 0,7 et 33 $m^3.h.m^{-1}$) et dépendent de l'épaisseur du Continental Terminal, de son pourcentage d'argiles ou de sables argileux. Cet aquifère est très vulnérable à l'invasion saline. La transmissivité varie entre $2.\ 10^{-4}$ et 3.10^{-1} $m^2.s^{-1}$ et les coefficients d'emmagasinement entre 1.10^{-2} et 3.10^{-1} en Côte d'Ivoire, où la nappe est libre à semi-captive. Au Togo, où la nappe est libre, la transmissivité varie entre 5.10^{-3} à 10^{-2} $m^2.s^{-1}$ et le coefficient d'emmagasinement est de 5.10^{-2} .

Les eaux sont légèrement agressives avec un pH inférieur à 7. Les eaux sont bicarbonatées calciques à sodiques vers le sud au contact des eaux salées. La contamination des eaux du Continental Terminal est fréquente.

Eo-Paléocène calcaire

Cet aquifère est assez peu connu et donc relativement peu exploité. Son épaisseur peut varier entre 25 et 35 m. Sa base est atteinte aux profondeurs de 140 à 240 m au nord de Lomé et de 225 à 250 m dans le sud du Bénin et au sud de Lomé (Togo). Les débits peuvent atteindre 40 à 100 $m^3.h^{-1}$ et même 150 $m^3.h^{-1}$ pour un débit spécifique de 8,8 $m^3.h.m^{-1}$. La transmissivité est très variable : de 2,5 10^{-5} à 1,7 10^{-2} $m^2.s^{-1}$. Les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont de 1,5 10^{-4} à 6.10^5 et caractérisent une nappe captive.

Les eaux sont bicarbonatées calciques, le pH voisin de 7 bien que plus légèrement alcalin au Togo (7,4). Dans certaines zones, au Bénin par exemple, l'eau dégage une odeur fétide. Les eaux salées ou amères sont associées aux argiles de l'Eocène.

Maëstrichtien (Crétacé)

C'est l'aquifère le plus profond du bassin sédimentaire et le plus mal connu. Au Bénin par exemple, il peut être exploité par des forages de 200 à 700 m (dépression de la Lama au sud du bassin). Son hétérogénéité (présence de zones argileuses) et sa profondeur sont des facteurs limitants pour son exploitation. Au Togo, il peut être atteint à 50 m de profondeur au nord du bassin et à 400 m au sud. Là aussi, il est hétérogène, morcelé par de nombreuses failles, parfois en communication hydraulique avec le Continental Terminal. Son épaisseur peut être de 5 à 25 m pour les couches sableuses au Togo.

Cet aquifère ne peut être exploité que par des forages profonds, ce qui limite son exploitation. Les débits peuvent atteindre 100 $m^3.h^{-1}$ pour des débits spécifiques variant entre 1 et 8 $m^3.h.m^{-1}$. Au Togo il est assez bien connu et présente de bonnes potentialités à l'est de Tabligbo. L'aquifère présente des transmissivités variables d'entre 2 10^{-2} et 6.10^{-3} $m^2.s^{-1}$ et parfois 4.10^{-4} $m^3.s^{-1}$. Le coefficient d'emmagasinement de 10^{-2} à 2.10^{-4} montre une nappe libre, semi-captive à captive selon les endroits. les eaux sont bicarbonatées calciques, faiblement minéralisées et légèrement acides.

(b) Alimentation et ressources en eau des aquifères

Seule une fraction très faible des précipitations alimente les aquifères par infiltration directe. Le reste des eaux de pluies est perdu en raison de l'importance de l'évapotranspiration et de la présence de couches argileuses sur les affleurements de terrain.

Le Continental Terminal est alimenté sur toute sa surface. Les aquifères sous-jacents sont alimentés sur leur zone d'affleurement au voisinage du contact avec le substratum ancien au nord des bassins.

Les horizons argileux séparant ces aquifères, bien qu'imperméables, contiennent des réserves d'eau importantes du fait de leur grande porosité. Un phénomène de drainage vers les aquifères sous-jacents peut même exister grâce aux variations piézométriques induites par les pompages d'exploitation.

Les niveaux piézométriques de ces différents aquifères sont voisins. Les coefficients d'emmagasinement obtenus par pompage sur ces aquifères montrent des nappes libres ou captives à semi-captives mais jamais artésiennes. Le Continental Terminal est une nappe libre.

Les bilans de recharge sont résumés ci-dessous. Il est à noter que ces bilans sont incomplets.

Pays	Formation	Surface (km^2)	Recharge (10^6 m^3 par an)
Bénin	Crétacé	800	96 à 160
	Continental Terminal	6 000	642 à 834
Total			738 à 994
Côte d'Ivoire	Continental Terminal	6 000	2 100
	Quaternaire	1 800	640
	Aquifères profonds		pas déterminée
Total			2 740
Togo	Maëstrichtien		25
	Eo-Paléocène		1 à 2
	Continental Terminal		35,5 à 36
Total			

Le bilan des eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier a été estimé ; celui-ci indique que, chaque année, 2,6% de la recharge moyenne annuelle sont prélevés en Côte d'Ivoire, 2,4% au Bénin et 28% au Togo où l'exploitation des eaux souterraines est beaucoup plus développée.

2.4.3 Aquifères des bassins sédimentaires

(a) Géologie

Les roches éruptives et métamorphiques du socle constituent le substratum des bassins. Les bassins contiennent plus de 1 000 m de sédiments qui se sont déposés progressivement de l'ouest à l'est. Dans le bassin de Taoudenit, les affleurements datent en général de l'ère paléozoïque, tandis que les formations mésozoïques et tertiaires dominent le bassin de l'Iullemmeden. Généralement, les sédiments du bassin du Tchad datent de l'ère quaternaire.

La limite entre le socle et les sédiments sus-jacents n'est pas régulière et le socle affleure sous forme d'"îles" dans les bassins.

Les divisions les plus importantes des formations sédimentaires sont les suivantes :

Ere	Description
Quaternaire et Néogène	Formation du Tchad : alluvions, sables, argiles
Crétacé Supérieur à Paléogène	Continental Terminal : sédiments lacustres et deltaïques
Crétacé Supérieur	Schistes marins et grès continentaux
Permien à Paléozoïque Supérieur	Continental Intercalaire : grès et sédiments crétacés deltaïques; grès cambriens/ordoviciens et dévoniens; schistes siluriens et carbonifères

En général, les terrains paléozoïques sont consolidés et ont subi des plissements à grande échelle. Ces formations sont recouvertes de sédiments crétacés ou postérieurs au centre des bassins et affleurent sur les bordures.

L'âge crétacé ou postérieur des terrains sédimentaires constituant ces bassins est encore en discussion. Dans les pays francophones, on distingue :

- Continental Intercalaire : une série de sables continentaux mal consolidés et d'argiles déposés pendant la période continentale entre les périodes marines du Carbonifère et du Crétacé Supérieur ;

- Le Crétacé Marin Supérieur ou Continental Hamadien : les conditions marines régnaient généralement pendant la période du Crétacé Supérieur avec les dépôts schisteux ; les sédiments continentaux étaient déposés sur les bordures ;

- le Continental Terminal, série complexe de la fin de l'ère Crétacé ou post-Crétacé (Néogène), incluant grès, argiles et sables argileux déposés pendant la période continentale qui a suivi la transgression marine du Crétacé Supérieur.

En général il est difficile de déterminer la limite entre le Continental Intercalaire et le Continental Terminal sauf dans le cas où les marnes et les grès lagunaires du Crétacé Supérieur/Eocène Inférieur forment une séparation, comme à l'ouest du Mali et à l'est du Niger par exemple.

(b) Bassin Sénégalo-Mauritanien

Les formations géologiques successivement déposées sont datées :

- du Quaternaire (dépôts marins et continentaux);
- de l'Eocène, Oligocène et Miocène;
- du Turonien au Maëstrichtien (Crétacé supérieur);
- de l'Aptien terminal au Cénomanien (Crétacé moyen);
- du Néocomienne (Crétacé inférieur);
- du Jurassique.

Les faciès lithologiques de ces terrains peuvent être schématisés de la manière suivante :

Formation	Lithologies
Quaternaire	formations marines, lagunaires, lacustres, éoliennes et volcaniques
Oligocène au Miocène	marno-calcaires, argiles et sables
Eocène	marno-calcaires et sables
Paléocène	calcaires et marnes
Crétacé Supérieur	argiles noires du Turonien, dépôts argilo-sableux du Sénonien, grès et sables du Maëstrichtien passant à des faciès argileux à l'ouest
Crétacé moyen	gréseux à l'ouest, passage à des calcaires argiles, argiles et silt dans le centre du bassin
Néocomien	grès et argiles silteuses dans le centre du bassin, carbonatés à l'ouest du bassin, argiles et grès quartzites sous Dakar
Jurassique	calcaires et dolomies atteints entre 3 000 et 4 000 m de profondeur

Les formations mentionnées ci-dessus se sont déposées au-dessus du socle et des terrains paléozoïques, qui affleurent en bordure du bassin : est de la Guinée-Bissau, haut-cours de la Gambie et du Sénégal et arc des Mauritanides.

La formation de failles dans le bassin a produit une série de horsts et de dépressions. Les zones hautes incluent les horsts de Kounkane et de Ndiass et la région de Dagana. Le fleuve Gambie suit l'un des couloirs effondrés.

Le bassin sédimentaire couvre 270 000 km^2, soit la quasi-totalité du Sénégal, la moitié de la Guinée-Bissau et un sixième de la Mauritanie.

Les principales caractéristiques des plus grands aquifères sont les suivantes :

Maëstrichtien

C'est la principale formation aquifère du Sénégal et de la Guinée-Bissau. Cet aquifère comprend le Maëstrichtien et les séries sous-jacentes du Crétacé. Seuls les 200 m supérieurs de cet ensemble contiennent généralement de l'eau douce ; l'aquifère est salé dans le secteur aval du fleuve Sénégal.

Eocène-Paléocène

Le paléocène constitue un bon aquifère calcaire de part et d'autre du horst de Ndiass où il possède une centaine de mètres d'épaisseur. Il est exploité le long du littoral au nord de Dakar et en Guinée-Bissau.

Aquifère continental terminal

L'épaisseur des formations correspondantes peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres. Les formations sont franchement marneuses dans le Ferlo ainsi que de part et d'autre de la frontière Sénégal-Bissau Guinéenne.

Aquifères quaternaires

Ils sont localement importants. Parmi ceux-ci l'on peut citer : la nappe des sables littoraux au nord de Dakar, les lentilles d'eau douce des îles du Saloum et de la Basse Casamance, les aquifères littoraux Bissau Guinéens, et par ailleurs les nappes infra-basaltiques et des sables de la Péniasule du Cap Vert qui sont exploitées pour l'alimentation de Dakar.

Les valeurs moyennes des débits unitaires et les estimations disponibles des ressources renouvelables sont rassemblées ci-dessous :

Aquifère		Débit unitaire ($m^3.h^{-1}$)	Ressource renouvelable ($10^6\ m^3.a^{-1}$)
Mauritanie			
Quaternaire			
Continental terminal			
	Boulanouar	4	
	Bénichab	3	
Eocène			
	Maëstrichtien+Eocène	1.5	
Paléocène			
Maëstrichtien			
Sénégal			
Quaternaire			
	littoral Nord	4-17	42
	nappe infra-basaltique	8	7
	sables Cap Vert		17
	vallée du Fleuve	<4	51
	Basse Casamance	2	
Continental terminal			
	Sénégal occidental	<0.8	
	Miocène		170
	Casamance	2	38
Eocène			
Paléocène			
	Sébikotane	13	33
	Pout-Mbour	6	14
Maëstrichtien			
	Pout-Mbour	10	162
	Taïba	7	

Aquifère		Débit unitaire ($m^3.h^{-1}$)	Ressource renouvelable ($10^6\ m^3.a^{-1}$)
Guinée Bissau			
Quaternaire	Rio Geba	0.25	plusieurs centaines
Continental terminal			
	Miocène moyen	0.4	<5
	Oligocène	0.4	3-9
	Cachou	4	
Eocène			probablement limitée
Paléocène		0.4	probablement limitée
Maëstrichtien		2-3	5-15

En Mauritanie, on ne dispose pas de valeurs pour la ressource renouvelable des différents horizons aquifères. En raison des conditions climatiques, la recharge des formations correspondantes doit être considérée comme étant très modeste. De fait, les aménageurs se sont généralement appuyés sur les réserves en eau souterraines.

C'est au Sénégal que les valeurs de transmissivité sont les mieux connues. Elles sont de très élevées à élevées dans les aquifères paléocènes et quaternaires et modérées dans les aquifères du Maëstrichtien et du Continental terminal. Les valeurs de transmissivité sont généralement faibles dans les aquifères éocènes.

Moins de données sont disponibles en ce qui concerne la Mauritanie et la Guinée Bissau. L'on sait cependant que les valeurs de transmissivité dans les aquifères quaternaires et maëstrichtiens vont de modérées à élevées (de $5\ 10^{-4}$ à $5\ 10^{-2}\ m^3.s^{-1}$).

Le bassin est largement ouvert sur l'Atlantique. Les formations côtières superficielles ou insulaires contiennent un biseau salé. Il s'agit en particulier des alluvions quaternaires, du Continental terminal de Mauritanie et de la Casamance et du Néogène de Guinée Bissau. Dans certains secteurs, comme par exemple dans celui de la presqu'île du Cap Vert, une diminution de la perméabilité due à l'augmentation des matériaux marneux et argileux assure la protection qualitative des aquifères.

On sait par ailleurs que les horizons profonds de l'aquifère maëstrichtien sont salés. De plus ce dernier est saumâtre sur toute son épaisseur dans un secteur allongé nord sud de Louga à Kaolack. Enfin au nord de Louga, et dans la région aval du fleuve Sénégal, l'ensemble des formations aquifères est salé.

(c) Bassin de Taoudenit

Les formations géologiques suivantes se trouvent dans le bassin de Taoudenit :

- Quaternaire ;
- Eocène Inférieur ;
- Crétacé et Tertiaire avec des formations du Continental Terminal ;
- Jurassique avec des formations du Continental Intercalaire.

Les faciès lithologiques de ces terrains peuvent être schématisés de la manière suivante :

Formation	Lithologie
Continental Terminal et Quaternaire	Argiles, argiles sableuses, sables et formations dunaires
Crétacé Supérieur et Eocène Inférieur	Calcaires et marnes
Continental Intercalaire et Terminal	Sables, argiles sableuses et argiles
Continental Intercalaire	Sables et grès

Le socle métamorphique et les formations paléozoïques affleurent à la périphérie du bassin : Chaîne des Mauritanides à l'ouest, grès infracambriens d'Ayoun, pélites cambro-ordoviciennes du Hodh, séries infracambriennes du Gourma, socle précambrien de l'Adrar des Iforas, de Taoudenit et dans le delta intérieur du Niger.

Le bassin est subdivisé de la manière suivante :

- le bassin nord de l'Azaouad, limité au sud par la dorsale d'Azaouad ;
- le fossé de Nara et le bassin sud de l'Azaouad ;
- le delta intérieur du Niger.

Le bassin sédimentaire couvre une superficie de 650 000 km^2, soit près de 40% de la surface du Mali et plus de 15% de celle de Mauritanie.

Les épaisseurs d'aquifères et les prélèvements de forages dans les formations les plus importantes sont résumés dans le tableau suivant :

Aquifère	Bassin	Epaisseur d'aquifère (m)	Prélèvement moyen de forages ($m^3.h^{-1}$)
Continental Terminal/ Quaternaire	Delta intérieur	30 à 80 m à l'ouest et au sud, 100 à 400 m au centre	8
	Azaouad sud	300 m	15 à 25
	Gourma nord ouest	20 m	15 à 25
Crétacé Supérieur/ Eocène inférieur	Bords d'Adrar des Iforas	100 à 400 m	7
Aquifère indifférencié, Continental Intercalaire, Continental Terminal	Azaouad du nord	150 à 200 m, plus réduite au nord et augmenté jusqu'à 500 m à l'ouest	10
	Fossé de Nara	500 m le long de l'axe du fossé, 50 m sur les bords	

Les mécanismes de recharge dérivent de l'infiltration des précipitations et de l'infiltration des eaux de surface. En fait, ces recharges sont très irrégulièrement réparties et concentrées sur la frange sud du bassin. La recharge a lieu presque totalement dans le Continental Intercalaire et dans les formations quaternaires. Le bilan d'eau pour le bassin est résumé dans le tableau suivant :

Description	Volume (10^6 $m^3.an^{-1}$)
Débits entrants :	
Infiltration de précipitations	7 712
Infiltration d'eau de surface	1 600
Apports aux limites	25
Total	9 337
Débits sortants :	
Drainage aux fleuves	16
Evapotranspiration	9 319
Pertes aux limites	3
Total	9 338

Les transmissivités des aquifères ont été calculées à partir de plus de 540 essais de pompage. Pour la plupart, les essais ont été exécutés dans les aquifères du Continental Intercalaire et du Quaternaire, en particulier dans le secteur du delta intérieur.

Les transmissivités des aquifères du Continental Intercalaire et du Quaternaire vont de 1,4 10^{-7} à 9,9 $10^{-3}.s^{-1}$, 1,2 $10^{-3}.s^{-1}$ en moyenne. La transmissivité des aquifères du Crétacé Supérieur et Eocène inférieur sont du même ordre de grandeur, 1,9 $10^{-3}.s^{-1}$ en moyenne. Les valeurs pour les aquifères du

Continental Terminal et du Continental Intercalaire dans la dépression de Nara et à Azaouad sont légèrement plus élevées, à 7,4 $10^{-3}.s^{-1}$ en moyenne.

En général la qualité chimique de l'eau souterraine dans le bassin de Taoudenit est bonne, avec un total de matières solides dissoutes de moins de 600 mg/l. La qualité chimique dans le delta intérieur semble s'améliorer de l'ouest à l'est. La salinité dans la dépression de Gao et dans le bassin d'Azaouad sud est comprise entre 2 000 et 5 000 mg/l.

(d) Le Bassin d'Iullemmeden

La limite entre les bassins de l'Iullemmeden et du Tchad correspond à une ligne d'affleurements du socle d'Agadès à Zinder. La plus grande partie du bassin de l'Iullemmeden se situe au Niger, bien que l'extrémité ouest (isthme du Détroit Soudanais) soit au Mali et la partie sud au Nigéria où il est connu sous le nom de Bassin de Sokoto. Le bassin a été subdivisé en une série de sous-bassins.

Les formations paléozoïques affleurent le long de la bordure nord du bassin dans les sous-bassins de Tin Seririne et Djado. Ces terrains qui comprennent des grès aquifères du Cambrien et du Dévonien se présentent sous forme synclinale. Cette région s'est trouvée de nouveau soumise à des conditions marines à la période crétacé, ce qui a permis aux sédiments depuis le Continental Intercalaire jusqu'au Continental Hamadien et au Continental Terminal de se déposer directement sur le socle métamorphique sur la plus grande partie du bassin.

Le Continental Intercalaire et le Continental Terminal contiennent des sables et des grès qui sont aquifères ; certaines formations comme les grès de Tagoma sont très répandus dans la région. Le Continental Hamadien est principalement argileux avec peu de potentiel d'eau souterraine ; il affleure en suivant un arc depuis l'Adras des Iforas jusqu'à Sokoto.

Les principaux aquifères du bassin de l'Iullemmeden sont les suivants :

- grès Cambriens-Ordoviciens ;
- grès du Dévonien Supérieur ;
- grès carbonifères (dont Tagora et Farazekat) ;
- grès Triassiques/Jurassiques (groupe Agades) ;
- Continental Intercalaire y compris les grès de Tegama ;
- sables du Continental Terminal qui comprennent les grès de Bilma et de Termit à l'est.

Les débits aux forages sont de l'ordre de 1 à 10 litres par seconde, la plus grande partie étant de 5 litres par seconde. Les débits plus élevés proviennent des grès paléozoïques.

Les sédiments rencontrés autour du bassin forment un biseau sec, non saturé ; ce biseau atteint jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres de large.

La profondeur des nappes souterraines varie de 5 à 50 m en dessous du niveau du sol, et peut devenir plus importante lorsque les aquifères sont captifs. Par exemple, plus de la moitié de l'aquifère ordovicien s'étend à des profondeurs supérieures à 800 m et les grès de Tegama (Continental Intercalaire) sont sous-jacents à une couche d'argiles de 500 à 600 m d'épaisseur.

La qualité de l'eau est généralement acceptable, bien que des zones d'eau salée existent au sein des formations dévonienne et carbonifère.

Le processus d'écoulement des eaux souterraines dans le bassin de l'Iullemmeden est mal connu. Il est supposé que la réalimentation de la nappe se fait principalement à travers les lits des fleuves dont le débit est intermittent, bien que certaines données observées indiquent que dans les zones les plus arides la nappe n'est pas réalimentée.

Une perte se produit sous forme de drainance ascendante et produit des sédiments salins évaporitiques.

Les ressources totales ont été estimées pour certaines des formations les plus importantes. Les valeurs en 10^9 m^3 sont résumées ci-dessous :

Formation	Superficie d'affleurement (km^2)	Ressources exploitables	Recharge annuelle
Terminal Continental	100 000	de 40 à 100	1,20
Intercalaire Continental	200 000	de 100 à 20?	0,65
Grès Agades	30 000	de 15 à 25	
Bassin de Koramas	105 000		2,00

(e) Bassin du Tchad

Le bassin du Lac Tchad est une dépression tectonique qui date du début de l'ère Tertiaire, et qui a été le siège d'une sédimentation subsidente plutôt que d'une érosion.

Il existe deux larges axes synclinaux : l'axe synclinal Tibetsi-Cameroun d'une direction générale NE/SO et celui d'Aïr-Tchad d'une direction générale NO/SE. Ces deux axes se croisent au Lac Tchad (Furon, 1960).

Bien que de nombreux forages aient été exécutés dans la région dans le cadre de l'alimentation en eau urbaine et rurale ainsi que dans le cadre d'études de faisabilité, les données disponibles ne sont pas toujours suffisantes pour permettre de résoudre plusieurs controverses soulevées par l'hydrogéologie du bassin.

Le bassin comprend plus de 3 600 m d'épaisseur de sédiments. On trouve le socle éruptif sur les bords est, sud-est, sud-ouest et nord du bassin. De plus, le socle remonte à la surface à plusieurs endroits dont Bol, Logone Birni et Gudumbali. La configuration du bassin en dessous des sédiments autour du lac est une série de horsts et de fossés, avec une accumulation plus épaisse de sédiments dans ces derniers.

Les plus anciennes formations du bassin sont les sédiments Crétacés de faible perméabilité qui contiennent probablement de l'eau salée chaude. Les sédiments successifs sont connus génériquement sous le nom de Formation du Tchad. Cette formation comprend trois aquifères importants : les Zones Aquifères Supérieure, Moyenne et Inférieure. La Zone Supérieure est phréatique et libre alors que les deux zones plus basses sont captives et artésiennes.

On admet généralement (Hanidu et al., 1989) que ces zones sont géologiquement différentes et qu'elles devraient être considérées comme étant respectivement Quaternaire, Pliocène Inférieur et Continental Terminal. En fait, ces datations relatives ont déjà été utilisées lors de l'enquête menée par la FAO (1973).

L'épaisseur des sédiments quaternaires varie de 30 à 100 m, mais peut atteindre 180 m par endroits. Ils s'étendent sur plus de 1 400 000 km^2. L'aquifère phréatique n'est pas continu sur l'ensemble du bassin et les conditions de réalimentation ne sont pas bonnes. Les cartes de niveaux d'eau (par exemple : FAO, 1973) montrent qu'il se produit quelques infiltrations du Lac Tchad vers l'aquifère phréatique.

La réalimentation naturelle de l'aquifère n'est pas due à l'infiltration directe des eaux de pluies mais plutôt à une infiltration à partir des cours d'eau saisonniers et des fleuves pérennes qui traversent cette région. La nappe phréatique est généralement proche du niveau du sol dans les secteurs où le réseau fluvial est dense. Il y a également une corrélation évidente entre le débit des cours d'eau et la fluctuation du niveau des nappes d'eau souterraine.

Les sédiments du Pliocène Inférieur ont au moins 200 m d'épaisseur et renferment l'un des aquifères les plus importants du bassin. La profondeur jusqu'au toit de l'aquifère varie entre 150 et 400 m en dessous du niveau du sol. Sa superficie totale n'est pas connue, son étendue au nord restant indéterminée, et il subsiste des doutes quant à la position de sa limite sud-est. La superficie de la zone de pression artésienne peut être estimée à 87 000 km^2, dont 25 000 km^2 sont occupés par le Lac Tchad (FAO, 1973). Son fonctionnement est encore en grande partie inexpliqué (BRGM, 1986). Le fait que sa recharge soit discutable (aucun affleurement visible) a été souligné au tout début de son exploitation (par exemple Miller et al., 1968). Mais jusqu'à la fin des années 60, les taux de prélèvement étaient si bas qu'aucune baisse significative de la pression artésienne n'a été observée dans la région.

L'étude effectuée par le BRGM (1986) illustre l'ordre d'amplitude des ressources en eau souterraines des sédiments Quaternaire et Pliocène Inférieur. Pour la partie Tchadienne du bassin géographique uniquement, la recharge moyenne annuelle est estimée à 3,6.10^9 m^3 par an, alors que le volume des réserves exploitables est compris entre 94 600 et 206 010.10^9 m^3. Si l'on compare

chiffres au volume d'écoulement en surface (par exemple, le fleuve Chari qui achemine en moyenne environ 36.10^9 m^3 par an d'eau à travers le profil de N'Djamena), il est clair que la recharge naturelle de ces aquifères est plutôt limitée. Cette même étude estime également la recharge moyenne annuelle totale de tous les aquifères d'eau souterraine au Tchad à $20,6.10^9$ m^3 par an.

La recharge des sédiments du Quaternaire et du Pliocène Inférieur au Niger a été estimée à $0,3.10^9$ m^3 par an pour l'aquifère libre. Le stockage d'eau total exploitable à la fois pour l'aquifère captif et pour les aquifères moyens est compris entre 30 et 70.10^9 m^3.

Les sédiments du Continental Terminal, que l'on rencontre généralement entre 450 et 620 m sous la surface du sol, s'étendent du Niger au Nigéria et pénètrent profondément à l'intérieur du Cameroun et du Tchad. Des essais restreints effectués sur les aquifères montrent que la gamme des transmissivités va de 32,5 à 105 m^2 par jour au Nigéria et de 0,3 à 129 m^2 par jour au Tchad et au Niger. Les débits des forages au Tchad et au Niger ne sont malheureusement pas élevés, par contraste avec le Nigéria où l'aquifère est fortement exploité et où des baisses sérieuses de la charge ont été observées (jusqu'à 6 m par an). Cet aquifère est cependant mal connu (BRGM, 1986).

La communication verticale entre ces trois aquifères semble très limitée. La qualité de l'eau est généralement acceptable à la fois pour l'eau potable et pour le bétail. Les aquifères artésiens contiennent de l'eau tiède agressive avec une teneur élevée en fer et en carbonate de soude résiduel, ce qui la rend difficile à utiliser pour l'irrigation.

Les sédiments du Continental Terminal sont sus-jacents à cinq formations crétacées importantes (Kerri-Kerri, Grès de Combe, Schistes Argileux de Fika, Grès de Congila et Bima) découvertes, lors de récentes explorations pétrolières à des profondeurs de 2 700 à 4 500 m. Ces couches sédimentaires successives reposent sur la plate-forme du socle métamorphique. Les données disponibles ne sont pas suffisantes pour permettre la quantification des caractéristiques de l'aquifère (Hanidu et al., 1989).

La formation Kerri-Kerri a une épaisseur d'environ 200 m et affleure près de Potiskum au Nigéria. Selon une hypothèse, l'aquifère migre verticalement en direction ascendante vers les aquifères Continental Terminal et Pliocène Inférieur. Les grès de Combe ont une épaisseur minimum de 350 m qui diminue progressivement en direction du Lac Tchad. Ils constituent de bons aquifères dans les zones d'affleurement.

Bien que le volume d'eau emmagasiné dans les aquifères du bassin du Tchad soit très important, dépassant probablement $300\,000.10^9$ m^3, la recharge annuelle n'est pas bien quantifiée, mais parait faible. La recharge est également sensible aux variations de la pluviométrie. Les principales préoccupations pour l'exploitation des eaux souterraines incluent :

- le maintien du débit dans les fleuves afin de permettre la recharge de la nappe phréatique ;
- l'évaluation de l'étendue de l'eau fossile par rapport à l'eau renouvelable ;
- la réserve en eau souterraine pour les années sèches, afin d'empêcher un rabattement excessif de la nappe ;

- l'augmentation des coûts de pompage de l'eau souterraine plus profonde et l'utilisation d'une eau souterraine à hautes concentrations de fer sur les terres agricoles ;
- les risques de pollution pour les importantes zones urbaines.

2.4.4 Aquifères discontinus

(a) Introduction

En dehors des bassins sédimentaires, la plupart de la région repose sur des couches fortement consolidées, souvent cristallines du socle métamorphique précambrien, sur des sédiments paléozoïques métamorphisés et des couches volcaniques de divers âges, du Paléozoïque au Tertiaire. L'absence de porosité et de perméabilité primaires est une caractéristique générale de ces roches. L'eau souterraine est présente en petites quantités qui sont toutefois exploitables mais de façon irrégulière, dans des structures secondaires, telles que fissures, fractures et zones d'altération. Les couches carbonatées métamorphisées sont rares. Elles peuvent toutefois être très perméables et produire de l'eau en grande quantité lorsqu'elles sont karstifiées.

En dehors des roches cristallines, les aquifères discontinus sont présents dans les sédiments de basse perméabilité qui affleurent dans les bassins du Niger et du Nigéria, en bordure du Tchad et de la Mauritanie, et dans les bassins du Sénégal, du Mali et du Niger. Ces sédiments sont principalement constitués de grès marneux, de calcaires marneux, de schistes argileux et de flysch jurassique et crétacé.

L'eau contenue dans les aquifères appartenant à ces deux types de terrains, bien que présentant de nombreuses difficultés d'exploration et d'exploitation, est extrêmement importante en tant que source potentielle d'alimentation en eau potable des petits villages. Ces dernières années, on a également tenté avec succès d'utiliser de l'eau souterraine de cette origine pour une irrigation à petite échelle, quelquefois au moyen de technologies novatrices de forage et de pompage.

(b) Répartition géographique

La répartition géographique des affleurements de formations cristallines (auxquelles on rattache les aquifères du socle) et de sédiments crétacés/jurassiques est montrée à la figure 2.17. Les premières constituent le substratum de la plus grande partie de la région (tel que le montre le tableau 2.8), y compris le Cap Vert ainsi que Sao Tomé et Principe, qui sont des îles essentiellement volcaniques. Les seuls affleurements significatifs de calcaires se trouvent au Congo, au Gabon et en République Centrafricaine. Les affleurements principaux de flysch jurassique et crétacé se trouvent au Nigéria, au Mali et au Niger, mais de petits affleurements se trouvent également au Cameroun, en Guinée Equatoriale et au Gabon.

TABLEAU 2.8

Présence d'aquifères discontinus dans la région - par pays

Pays	Superficie (km^2)	Superficie des affleurements (en % de la surface totale du pays)	
		Crétacé/Jurassique	Aquifère du socle
Bénin	112 600	0	env.80
Burkina Faso	274 200	0	100
Cameroun	475 400	7	85
Cap Vert	4 000	0	env.100
Congo	341 800	6	49
Côte d'Ivoire	322 500	0	97
Gabon	267 700	15	80
Gambie	11 300	0	0
Ghana	238 000	0	99
Guinée	245 900	0	98
Guinée Bissau	36 100	0	85
Guinée Equatoriale	28 000	env.15	env.85
Libéria	111 400	0	96
Mali	1 240 000	11	49
Mauritanie	1 240 000	4	48
Niger	1 267 000	43	36
Nigéria	923 800	30	43
République Centrafricaine	623 000	25	63
Sao Tomé & Principe	1 000	0	env.100
Sénégal	196 200	48	31
Sierra Leone	71 700	15	env.85
Tchad	1 284 000	9	48
Togo	56 000	7	93

(c) Propriétés aquifères

Les principaux faciès lithologiques présents dans les formations du socle sont ceux des roches métamorphiques cristallines archéennes telles que gneiss, schistes et migmatites pénétrées par des granites, des grabbos et autres roches plutoniques. Les autres faciès significatifs sont ceux des roches sédimentaires anciennes (principalement précambriennes et paléozoïques), qui comprennent des grès (ou quartzites), des argilites et des schistes argileux ainsi que des roches volcaniques, en particulier des laves basaltiques, de divers âges. Des gisements de moindre importance de roches carbonatées (marbres, calcaires et dolomites) ont déjà été mentionnés. Tous ces affleurements sont recoupés localement par des groupes de filons intrusifs basiques.

La porosité et la perméabilité secondaires de ces couches sont des phénomènes de surface et sont déterminées par plusieurs facteurs qui peuvent inclure :

- lithologie originale de la formation ;
- passé tectonique, en particulier incidence des failles ;
- passé géomorphologique ;
- formations d'intrusions, dykes et sills ;
- climat.

La perméabilité secondaire résultant de ces facteurs sous forme de joints, de fissures et d'altération (arènes) est fortement variable, mais se concentre sur les premiers 30 à 60 m de la formation. Il existe des caractéristiques superficielles qui correspondent à une perméabilité améliorée en sous-surface. Dans les sols carbonatés, le développement de karst en surface et la présence de sources peuvent déterminer les chemins d'écoulement des eaux souterraines en sous-surface. Dans les lithologies plus typiques, moins solubles, les linéations qui sont visibles sur les photographies aériennes peuvent correspondre à des failles et des fissures, qui pourraient fournir des chenaux favorables au mouvement des eaux souterraines. Les anciennes surfaces d'érosion peuvent reposer sur des profils altérés, qui incluent normalement des couches transmissives, plus profondes que les surfaces plus récentes. De même, l'on peut s'attendre à ce que les climats plus humides favorisent une altération profonde. Les filons intrusifs et autres intrusions peuvent fragmenter la roche minéralisée et peuvent eux-mêmes révéler des systèmes de fissures au cours du refroidissement.

L'évaluation quantitative des paramètres de transmissivité et d'emmagasinement de ce type de aquifère est difficile à effectuer. Les essais de pompage dans les forages et les puits sont normalement réalisés à ces fins, mais les calculs reposent sur les hypothèses d'une symétrie radiale, d'un écoulement obéissant aux conditions de la loi de Darcy, d'une homogénéité dans l'espace et dans le temps des propriétés hydrauliques et d'un grand rayon (théoriquement infini) d'influence en ce qui concerne le puits pompé. Ces hypothèses ne peuvent généralement pas s'appliquer à des systèmes d'écoulement dans les fissures. Par conséquent, il est plus sûr d'utiliser le débit, en particulier la capacité spécifique, comme indice de la qualité de l'aquifère ; malheureusement, les rabattements ne sont souvent pas mesurés, ou du moins, ils n'ont pas été relevés.

En termes absolus, les débits des puits conventionnels et des forages dans les aquifères du socle sont principalement compris entre 0,2 et 2,0 $m^3.h^{-1}$, mais il n'est pas rare de trouver des puits totalement improductifs ou à l'inverse des débits allant jusqu'à 10 $m^3.h^{-1}$. Dans la plupart des pays de la région, des critères locaux ont été élaborés pour établir un lien probable entre débits, localisation et formation géologique. Dans les aquifères karstiques, on obtient parfois des débits très élevés (supérieurs à 200 $m^3.h^{-1}$) à partir de puits correctement localisés et construits.

Les sédiments marneux contenant du schiste calcaire d'âge Crétacé/Jurassique incluent normalement des couches sableuses productrices dans les 100 premiers mètres des profils. La gamme des rendements de forages est généralement comprise entre 3 et 30 $m^3.h^{-1}$.

(d) Qualité des eaux souterraines

Il est difficile de généraliser en ce qui concerne la qualité de l'eau souterraine dans une région si étendue où le climat varie d'une aridité extrême (pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 100 mm) à des conditions tropicales humides (pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 2 000 mm). Néanmoins, certaines observations générales sur ce sujet peuvent être utiles.

En termes de minéralisation globale, la qualité de l'eau souterraine dans les aquifères discontinus de la région est généralement bonne ou acceptable sur l'ensemble de la région, y compris le nord aride. Les principaux problèmes du point de vue de l'eau potable sont soulevés par des composants chimiques particuliers.

Dans les zones où la pluviométrie est élevée et la couverture végétale dense, l'infiltration à travers la végétation en décomposition (acide carbonique élevé) produit des eaux souterraines de pH bas (descendant parfois jusqu'à 4,5), leur permettant ainsi de maintenir des concentrations élevées de métaux dissous. Par conséquent, les eaux souterraines peuvent être très riches en fer et en manganèse ou autres métaux lourds. Un grand nombre des formations du socle sont particulièrement pauvres en calcium et, la teneur en calcaire des eaux souterraines étant très faible, des concentrations élevées en fluor peuvent être observées. Pour ces raisons, les eaux souterraines peuvent présenter un goût désagréable et/ou être dangereuses pour la santé.

Un problème récent concernant la qualité de l'eau est la pollution des eaux souterraines par les résidus de produits agrochimiques et les effluents domestiques et industriels. L'indice de pollution agricole le plus fréquemment mesuré est le nitrate ; les rapports d'enquêtes indiquent que cette pollution pourrait être assez répandue dans les aquifères sous-jacents à des zones de cultures. Les eaux usées urbaines des villes de l'Afrique de l'Ouest sont rarement traitées, mais elles sont principalement rejetées dans les fleuves ou dans la mer, ce qui n'affectent pas beaucoup les eaux souterraines. Les principales sources de pollution industrielle sont les entreprises minières, courantes sur les affleurements du socle, qui déchargent parfois des produits chimiques extrêmement toxiques tels que le cyanure provenant des mines d'or.

En dernier lieu, des teneurs élevées en bactéries ont été identifiées dans divers pays sur certaines sources d'eau souterraine. Cependant ceci est considéré davantage comme un problème de protection des puits plutôt que celui d'une contamination de l'aquifère.

Dans un grand nombre de pays de la région, le problème de la qualité de l'eau souterraine n'est pas pris en considération de façon adéquate, principalement à cause du manque de bons laboratoires. Ceci peut aboutir à l'adduction à certains secteurs de la population d'une eau qui présente un risque pour la santé.

(e) Recharge

L'une des caractéristiques importantes de la faible perméabilité des aquifères du socle, est que l'écoulement naturel des eaux souterraines est surtout vertical. La composante principale de la recharge est l'infiltration des eaux de pluies et les principaux mécanismes de perte sont l'évaporation et l'évapotranspiration, bien que la perte relative au débit de base des fleuves et aux petites sources puisse être également significative.

Compte tenu de l'énorme variation des précipitations dans la région du nord au sud, il n'est pas possible d'établir une relation avec la quantification de la recharge. Cependant, sur une grande partie de la région, il n'est pas très important d'avoir des estimations précises. En raison de la très faible productivité des aquifères du socle, seules de faibles quantités d'eau souterraine peuvent être prélevées à partir des puits conventionnels en un endroit donné et l'épuisement de l'aquifère régional n'est pas un risque grave. La situation est similaire dans les sédiments crétacé/jurassique de faible perméabilité, bien qu'il soit normalement possible d'y obtenir des débits plus élevés et que, par conséquent, les risques d'une surexploitation y soient plus grands.

(f) Potentiel d'aménagement

Bien que la plupart des aquifères discontinus de la région aient une perméabilité faible ou très faible ils sont néanmoins très importants. Bien que la pluviométrie annuelle globale soit élevée dans certaines zones, la plus grande partie de la région connaît une saison sèche marquée, où les eaux superficielles deviennent très rares sauf à proximité des fleuves les plus importants. De plus, même lorsque des eaux superficielles pérennes sont disponibles, leur consommation présente des risques sérieux pour la santé si elles ne sont pas traitées. Il est beaucoup plus facile de protéger les sources d'eau souterraine des germes pathogènes et des parasites responsables des maladies les plus graves d'Afrique.

Par conséquent, les puits creusés et les forages équipés de pompes à bras sont devenus le source principal de l'alimentation en eau potable des populations rurales sur l'ensemble de l'Afrique sub-saharienne. Puisqu'une grande partie de la région de l'Afrique de l'Ouest repose sur des affleurements du socle, ceux-ci sont devenus les aquifères les plus importants de la région. Un effort technique considérable a été fait afin d'identifier des sites optimaux de puits, d'améliorer

méthodes de construction, de perfectionner les études et d'assurer une exploitation et un entretien corrects de tels systèmes. L'installation à grande échelle de puits avec pompes à bras a commencé dans les années 1960 dans de nombreux pays, mais s'est beaucoup accélérée lors de la Décennie d'Assainissement et d'Alimentation en Eau de l'ONU entre 1981 et 1990. A l'heure actuelle, il y a quelques centaines de milliers de pompes à bras installées dans les puits et les forages dans la région, la plupart étant dans des aquifères du socle. Un rendement d'environ 1 $m^3.h^{-1}$ est nécessaire si l'on veut maintenir l'utilisation continue d'une pompe à motricité humaine typique, mais en terrain difficile, des rendements aussi bas que 0,3 $m^3.h^{-1}$ peuvent être acceptables pour un prélèvement intermittent par de telles pompes. De nombreux rapports ont été rédigés sur le taux de succès de divers programmes d'installation de puits et de forages, défini comme le pourcentage de nouveaux puits et forages construits convertis pour usage permanent, (bien que le débit critique des eaux souterraines varie d'un pays à l'autre et d'un programme d'installation à l'autre). Les taux de succès rapportés varient de plus de 90% à moins de 50%, mais le chiffre global pour l'ensemble de la région sur les 10 dernières années est probablement d'environ 75%, ce qui veut dire que les trois quarts des puits et forages installés au cours de la dernière décennie ont été une réussite.

Occasionnellement, les sources conventionnelles de l'aquifère du socle peuvent produire des débits beaucoup plus élevés, de l'ordre de 20 à 30 $m^3.h^{-1}$. Cependant, en règle générale, des technologies spéciales ont été utilisées, afin d'assurer une probabilité raisonnable d'obtenir de telles quantités d'eau souterraine ; des essais effectués sur des puits en galerie dans les aquifères du socle en Afrique ont été assez concluants pour suggérer qu'un aménagement mineur des eaux souterraines pour l'irrigation pourrait être, à l'avenir, une option viable dans la région. Vu la rareté et le coût élevé de l'énergie dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, ceci pourrait être particulièrement intéressant si ce projet était mis en oeuvre à l'aide de pompes solaires ou éoliennes.

Le potentiel d'aménagement du socle et des autres aquifères de faible productivité dans la région reste important sur une grande partie de la région. Une proportion considérable de la population d'un grand nombre des pays concernés par la présente évaluation n'a pas accès à de l'eau sans risque pour la santé et les puits ou les forages munis de pompes manuelles restent les moyens les plus rapides et les plus économiques d'améliorer la situation. De plus, l'élaboration de techniques innovatrices pourrait rendre le prélèvement d'eaux souterraines à partir de tels aquifères viable pour une irrigation à petite échelle. En dernier point, il est également probable que le développement industriel croissant dans la région ait de plus en plus recours aux ressources en eau souterraine, puisque ceci permet aux diverses entreprises de contrôler totalement leurs alimentations.

2.5 Les ressources en eau confrontées aux besoins futurs

2.5.1 Estimations des besoins

La demande en eau dans la région va fortement augmenter, principalement à cause de l'augmentation de la population et aussi à terme, par suite de l'élévation du niveau de développement économique. Par suite des difficultés économiques auxquelles ont été confrontés les pays d'Afrique de l'Ouest cette dernière décennie, les demandes en eau de l'agriculture et de l'industrie n'ont pas augmenté

aussi vite qu'on l'avait escompté. Cependant, l'accroissement de la population restant élevé (3% par an), il est certain que la demande en eau continuera de croître. Dans tous les pays de la région, les gouvernements sont fortement préoccupés par l'amélioration des conditions de distribution d'eau "saine" aux populations, ce qui aura pour effet d'augmenter la demande pour des ressources en eaux non polluées - c'est-à-dire généralement les eaux souterraines. Les dernières décennies ont vu une urbanisation très rapide, tendance qui va probablement se maintenir. Les citadins étant normalement mieux placés pour bénéficier d'une alimentation en eau que les populations rurales, cette évolution plaide en faveur d'une augmentation rapide des besoins en eau. Le tableau 2.9 présente des éléments chiffrés à ce propos.

Partout où cela était possible, nous avons cherché à obtenir les estimations les plus récentes des besoins actuels et futurs pour chacun des pays et ces chiffres sont présentés dans les rapports nationaux correspondants. Mais le suivi continu et attentif de l'utilisation de la ressource s'impose partout comme une nécessité urgente dans toute la zone sahélienne.

2.5.2 Satisfaction des besoins en eau en Afrique de l'Ouest

L'importance de la collecte de données sur le climat, ainsi que sur les eaux de surface et les eaux souterraines est inextricablement liée aux prévisions de demande en eau. L'amplitude des ressources qu'un pays a à sa disposition et le débit d'eau fiable à long terme sont également des facteurs clés à considérer lors de la détermination du niveau d'intérêt que présente l'hydrométrie. La région de l'Afrique de l'Ouest inclut aussi bien des pays du Sahel touchés par la sécheresse que la zone équatoriale bien arrosée, et à l'évidence l'état des ressources en eau et la problématique de leur utilisation dans ces deux situations extrêmes sont bien différentes. Des pays de la zone équatoriale comme le Congo et le Gabon, ne peuvent pas être considérés comme manquant d'eau, mais même dans cet environnement, il peut y avoir une pénurie d'eau ou pour le moins un manque d'eau "saine" à certains périodes de l'année. Les effets désastreux de la sécheresse qui a touché les pays du nord de la région ont montré qu'il était indispensable de savoir évaluer les ressources en eau de façon fiable pour un développement planifié, particulièrement dans la bande sahélienne.

Des éléments chiffrés permettant de comparer les ressources en eau disponibles avec les besoins futurs sont rares et n'existent que sur des bases nationales. Pourtant, un sentiment général dans la région est que l'eau doit être prise en compte dans les analyses économiques comme une ressource limitée qui, dans certaines conditions défavorables, telles que la dernière période de sécheresse, peut sérieusement affecter les programmes de développement, compromettre les résultats économiques ou même créer des conflits entre les pays.

TABLEAU 2.9

Statistiques de population

Pays	Surface (km^2)	Population 1991 (millions)	Taux de fertilité	Revenu par habitant US$	% urbanisation	Espérance de vie (années)
Mauritanie	1 120 000	2,03	6,0	490	25	46
Mali	1 202 000	8,40	6,5	260	19	45
Niger	1 267 000	8,08	7,0	290	14	45
Tchad	1 284 000	5,67	5,5	190	20	43
Sénégal	196 000	7,50	6,6	650	34	46
Gambie	11 000	0,86	9,5	230	30	36
Guinée Bissau	36 000	1,00	6,0	180	26	38
Guinée	246 000	7,04	6,0	430	26	37
Sierra Leone	72 000	4,25	6,5	200	23	38
Libéria	111 000	2,26	6,9	450	38	49
Côte d'Ivoire	322 000	12,60	6,6	790	44	52
Burkina Faso	274 000	9,24	6,5	310	11	44
Ghana	239 000	16,70	7,0	380	38	59
Togo	57 000	3,57	6,5	390	22	49
Bénin	113 000	4,89	6,5	380	16	48
Nigéria	924 000	117,00	6,9	250	22	49
Cameroun	475 000	11,26	6,5	1 010	39	54
RCA	623 000	2,98	5,5	390	44	48
Guinée Equatoriale	28 000	0,45	5,0	430	57	44
Gabon	268 000	1,21	4,5	2 770	39	50
Congo	342 000	1,99	6,0	930	55	63
Cap Vert	4 000	0,39	5,8	760	27	64
Sao Tomé & Principe	960	0,12		360	32	65

Sources : Banque Mondiale 1986 Croissance et politique en matière de population en Afrique subsaharienne
FAO 1991 Situation des ressources alimentaires et projets de récolte en Afrique subsaharienne

Une comparaison entre les ressources disponibles et les besoins futures a été menée pour définir un niveau de satisfaction propre à chaque pays. Bien que cette estimation repose sur un certain nombre de conditions qui restent discutables, elle constitue néanmoins un moyen commode pour les hydrologues d'exprimer leurs préoccupations en termes compréhensibles par les politiciens et les technocrates d'autres disciplines.

Gustafsson (1977) a suggéré que dans une perspective strictement hydrologique, le niveau d'auto-suffisance nationale pour la production alimentaire, serait de 1 250 m^3 d'eau par personne et par an pour couvrir les besoins des populations et des cultures de subsistance. La limite inférieure d'auto-suffisance de Gustafsson correspond à 800 habitants par million de m^3 et par an, mais il faut noter que rien n'est prévu pour des besoins industriels et pour l'irrigation.

Falenmark (1989) a tenté d'introduire un niveau variable de développement agricole et tenir compte de la demande plus élevée en eau dans les climats arides. Il a élaboré une "Matrice de pénurie d'eau" (voir Tableau 2.10) en supposant qu'un niveau de demande de 500 habitants par million de m^3/an reflète de façon adéquate la rareté de l'eau en Afrique, et qu'une utilisation à 100% représentait une "limite de l'approvisionnement en eau".

TABLEAU 2.10

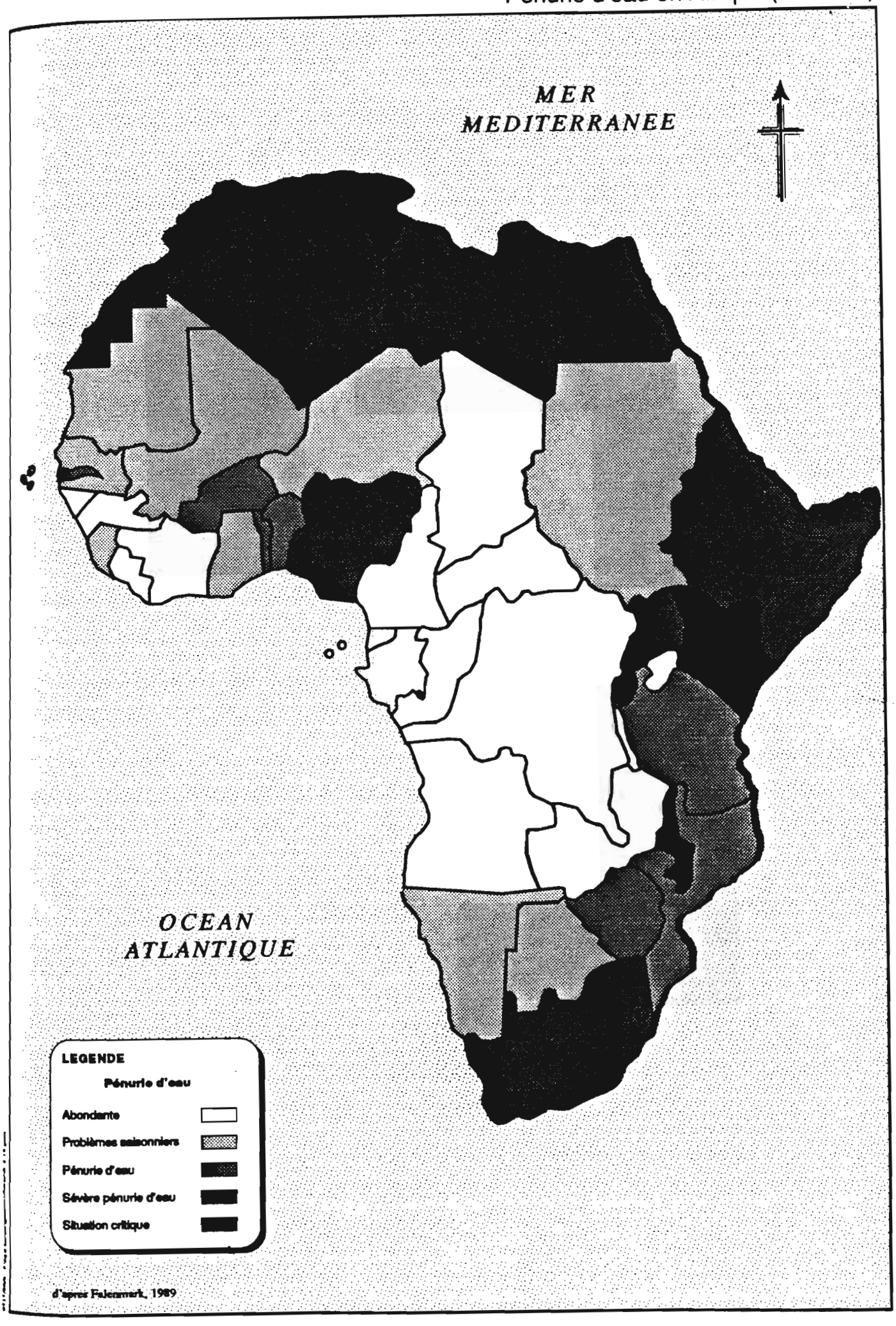
Matrice de pénurie d'eau

<table>
<tr><td rowspan="2">Niveau de technologie agricole pour l'auto-suffisance</td><td colspan="5">Pression humaine sur la demande en eau (nombre d'individus par million de m^3 par an)</td></tr>
<tr><td>< 100</td><td>100-600</td><td>600-1000</td><td>1000-2000</td><td>> 2000</td></tr>
<tr><td>Bas</td><td colspan="2">Abondance</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Intermédiaire</td><td colspan="2" rowspan="2">Problèmes saisonniers</td><td>Pénurie</td><td colspan="2" rowspan="3">En dessous de la limite d'approvisionnement en eau</td></tr>
<tr><td>Elevé</td><td rowspan="2">restrictions très sévères</td></tr>
<tr><td>Irrigation</td><td></td><td>Pénurie</td></tr>
</table>

Source : Falenmark, 1989

La figure 2.18 est extraite de cette étude. Comme on pouvait s'y attendre, les pays équatoriaux du bassin du Zaïre sont classés comme ayant des ressources suffisantes pour satisfaire leurs besoins prévisibles jusqu'à l'année de référence retenus, en l'occurrence 2025. Que le Tchad et la République Centrafricaine se situent dans cette même catégorie est plus surprenant si l'on considère les diminutions sévères des débits du Chari et des volumes stockés dans le Lac Tchad. Le Nigéria, avec

Pénurie d'eau en Afrique (en 2025)



d'après Falkenmark, 1989

sa très importante population et ses objectifs de développement agricole très ambitieux, est classé dans la catégorie des pays susceptibles de souffrir de pénuries très sévères à la même date. Il apparaît clairement que cette analyse reste très grossière et ne permet pas de différencier le sud du Nigéria bien alimenté en eau du nord où cette ressource fait défaut. Ces quelques réserves étant faites, cette approche permet de justifier la théorie selon laquelle le facteur eau doit être sérieusement pris en considération dans les plans de développement.

Une telle approche peut aussi mettre en évidence les possibilités de transferts d'eau entre pays et/ou entre bassins. Parmi les bassins versants de surface présentés précédemment, seuls les pays riverains du Zaïre sont dotés de ressources suffisantes pour satisfaire à l'évolution prévisible de la demande.

2.6 Transferts inter-bassins à partir du Zaïre

2.6.1 Introduction

Les conséquences désastreuses de la sécheresse au Sahel sur le bassin du lac Tchad on amené un foisonnement d'idées pour trouver des solutions capables de diminuer les effets des sévères pénuries d'eau dont souffre cette région. Certains projets font appel aux possibilités des transferts hydrologiques inter-bassins, en utilisant comme source le bassin du Zaïre. Deux de ces idées ont été amenées jusqu'au stade de la formulation de projet (Umolu et Oké, 1986).

Un tel transfert entre bassins serait une entreprise majeure qui nécessiterait au préalable des études d'impact extrêmement attentives et minutieuses, dès la phase initiale de conception du projet, de façon à s'assurer que tous les avantages et les inconvénients du projet aient effectivement été identifiés et chiffrés. En particulier les impacts sur l'environnement devraient faire l'objet d'une attention toute particulière. Sept pays étant potentiellement impliqués (Zaïre, Congo, République Centrafricaine, Tchad, Cameroun, Nigéria et Niger), il faudra aussi évaluer l'ampleur des accords internationaux qui seraient requis et prévoir les conditions d'intéressement des pays fournisseurs d'eau.

2.6.2 Transfert des eaux du Zaïre : le projet Bonifica

La première proposition lancée par un bureau d'études italien (Bonifica) se place dans un contexte de développement économique général, dans lequel le transfert d'eau ne constitue qu'un élément d'un énorme projet de renforcement de toutes les infrastructures.

Le projet Bonifica prévoit la réalisation d'un canal navigable de 2 400 km de long, dans lequel l'écoulement se fait par gravité et qui suit la bordure nord-est du bassin versant du Zaïre (voir figure 2.19). Par un système de barrages et de seuils déversants, ce canal collecte, tout au long de son tracé, les eaux des sous-bassins qu'il recoupe. L'idée de base est que ce canal doit être considéré comme un aménagement à buts multiples tels que :

- une infrastructure de transport pour l'acheminement de marchandises de l'est vers l'ouest de l'Afrique (le canal relierait la grande voie routière Pan-Africaine venant de Mombasa (Kénya) et les voies d'eau de la Bénoué et du Niger jusqu'à Port Harcourt) ;

- un moyen de développer la production hydroélectrique qui permettrait l'essor d'une industrialisation basée sur l'activité minière au Zaïre et en République Centrafricaine ;

- un collecteur d'eau pour l'irrigation et le développement d'une agro-industrie sur des bases commerciales au Tchad, au nord-est du Nigéria, au Nord du Cameroun et au Niger.

Les chiffres avancés dans le projet prévoient un transfert de 3 200 $m^3.s^{-1}$, l'irrigation de 7 000 000 ha et une production hydroélectrique de l'ordre de 30 à 35 GW.h par an. Des terminaux portuaires, des ports francs et des zones industrielles sont également prévus.

Le rapport tombe dans un "sensationnalisme" facile lorsqu'il traite de la sécheresse, des catastrophes qu'elle provoque sur l'environnement dans la région et des perspectives de développement offertes le projet. Le projet Bonifica est une illustration de l'approche de type "méga-projet" qui s'est avérée si désastreuse par le passé et qui rencontre aujourd'hui une opposition bien compréhensible.

Un projet majeur de cette envergure soulève un grand nombre de questions, dont la faisabilité technique n'est pas la moindre. Le chiffre de 10 milliards de m^3 a été avancé pour la quantité d'eau à transférer chaque année pour stabiliser le niveau du Lac Tchad, mais la capacité du canal est de 100 milliards de m^3 par an. Sur le tracé choisi, la topographie est très accidentée et le canal devra traverser un grand nombre de vallées encaissées. Le tracé devra soit remonter à l'amont des vallées en suivant les lignes de niveau, soit les enjamber en empruntant de gigantesques aqueducs. Il faudra déplacer des quantités de terre considérables. Le choix du site de la prise d'eau semble avoir été guidé par la volonté de se raccorder à la voie routière Pan-Africaine, ce qui a déterminé un tracé dans les parties situées très en amont des sous-bassins recoupés.

Bien que le rapport considère que 5% seulement des écoulements totaux du bassin du Zaïre seraient dérivés, les taux de prélèvement dans les sous-bassins le long du tracé seraient très certainement bien plus élevés et il est prévisible que les effets de ces prélèvements intermédiaires seraient fortement ressentis, en aval du canal dans beaucoup de ces sous-bassins, surtout si l'on considère les énormes quantités d'eau qu'il est prévu de transférer. L'option retenue de la liaison avec la route Pan-Africaine élimine la possibilité d'un canal beaucoup plus court, qui s'alimenterait dans les zones plus à l'aval des bassins recoupés.

2.6.3 Transfert des eaux du Zaïre : les propositions de la NEPA

Un second schéma a été avancé par la Nigerian Electric Power Authority (NEPA). L'idée de base est très simple et exposée à la figure 2.20. L'objectif est de résoudre le problème de la réduction des apports au lac Tchad en utilisant les eaux de l'Oubangui, l'affluent principal situé le plus au nord du Zaïre. Le point de prélèvement serait situé immédiatement en amont de Bangui. Les eaux seraient

Figure 2.19

Projet Bonifica

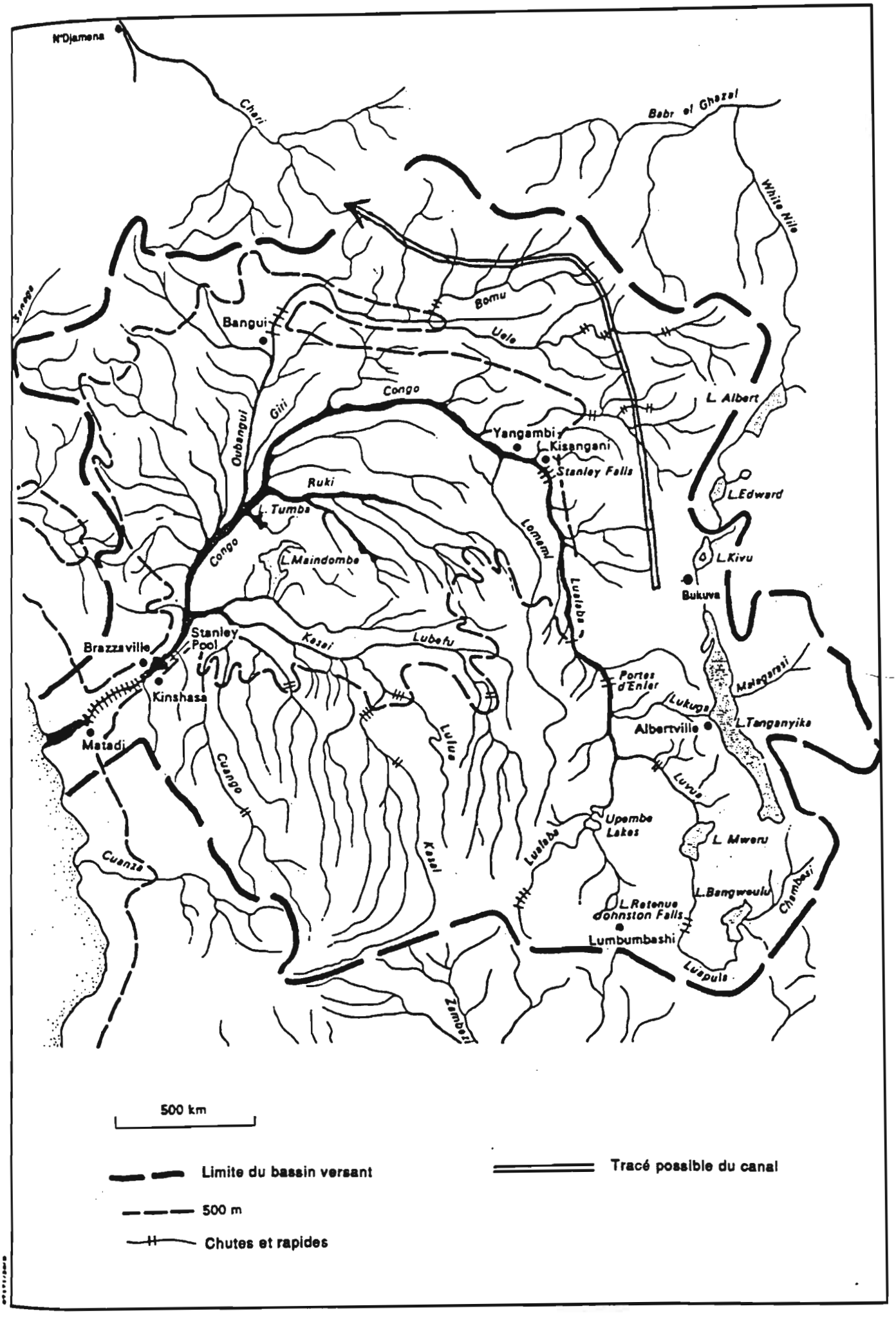
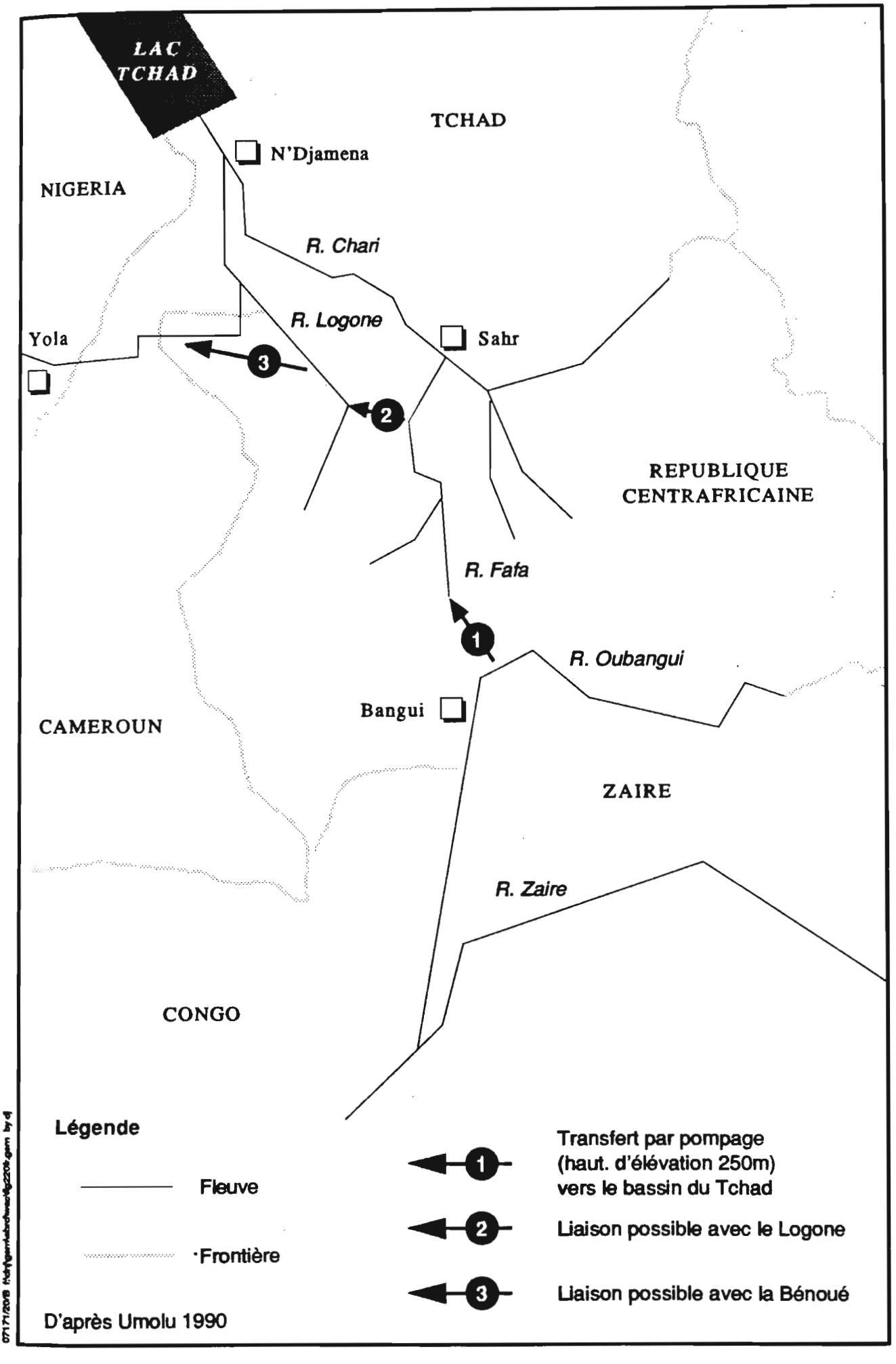


Figure 2.20

Le Projet NEPA



élevées par pompage sur une dénivelée de 250 m et transportées sur une distance de 100 km jusqu'à la rivière Fafa où elles rejoindraient par gravité le système hydrographique du Chari et le lac Tchad. Le projet prévoit la construction d'un barrage juste en amont de Bangui, qui stockerait un volume suffisant pour s'affranchir des fluctuations saisonnières de l'Oubangui et où serait produite l'énergie hydroélectrique nécessaire au pompage (ceci pourrait être une option ou une partie essentielle du projet, en fonction des volumes d'eau à transférer, et donc des besoins en énergie requises pour le pompage).

A terme, d'autres aménagements sont prévus comme l'augmentation du débit de l'Oubangui par une liaison de 170 km de long avec le cours principal du Zaïre (ce qui solutionnent le problème de la baisse des débits dans le cours inférieur de l'Oubangui). Une possibilité supplémentaire prévoit de transférer de l'eau dans les systèmes de la Bénoué et du Niger, par un canal allant du Chari au Logone et dans le Mayo Kebbi et le lac Léré.

Aucune précision n'est donnée quant aux quantités d'eau susceptibles d'être transférées.

Le projet NEPA se caractérise par des ambitions plus modestes et peut être réalisé par phases successives. Par là-même, ce projet est celui qui mériterait de faire l'objet d'études plus approfondies.

CHAPITRE 3

ORGANISATIONS ET PROGRAMMES A VOCATION REGIONALE

3.1 Introduction

Le caractère international des problèmes de ressources en eau en Afrique de l'Ouest est un fait bien connu, mais les effets de la sécheresse qui sévit au Sahel depuis le début des années 70 ont montré que la mise en oeuvre d'une coopération internationale et régionale était nécessaire pour traiter ce problème. En conséquence il existe aujourd'hui plusieurs organisations, programmes régionaux et projets d'aide, qui se déclarent compétents et parties prenantes en matière d'acquisition de données hydrologiques, de gestion de ces données et de conception des projets d'aménagement (figure 3.1). Dans beaucoup de pays de la région, l'évaluation hydrologique serait incomplète si elle ne faisait pas référence aux activités de ces Organisations Internationales et de leurs Projets régionaux.

Il a été tenu le plus grand compte des activités de ces Organisations Internationales, en cours et en projet, dans l'établissement des recommandations aux services météorologiques, hydrologiques et hydrogéologiques nationaux. Dans certaines zones, des projets relevant de plusieurs pays ont été identifiés, et les Organisations Internationales existantes ont été considérées comme des agences d'exécution potentielles.

3.2 Les Organisations régionales pour les ressources en eau

3.2.1 L'Autorité du Bassin du Niger (ABN)

La Commission du Bassin du Niger a été fondée en 1964. Le siège de l'organisation est situé à Niamey (République du Niger). En 1980, les pouvoirs de la Commission ont été étendus et elle a été transformée en Autorité du Bassin du Niger (ABN). L'organisation est dirigée par les Chefs d'Etats des pays membres qui se réunissent en un sommet quadriennal et par des ministres délégués des états qui tiennent un congrès annuel. Les pays membres de l'ABN sont le Bénin, le Burkina Faso, le Cameroun, le Tchad, la Côte d'Ivoire, la Guinée, le Mali, le Niger et le Nigéria. L'ABN a reçu des aides d'un grand nombre de donateurs dont le PNUD, la CEE, l'USAID et le Fond Spécial de l'OPEC. Parmi les réalisations notables de l'ABN on peut citer la création d'un centre de documentation, l'exécution d'activités hydrométriques et le Projet HYDRONIGER. Les principales activités réalisées sous les auspices de l'ABN dans le cadre de ce projet sont présentées dans la partie 3.3.2.

En 1988, à l'occasion du cinquième sommet des Chefs d'Etats, une restructuration du personnel de l'Autorité a été décidée pour améliorer l'équilibre budgétaire entre les dépenses et les recettes. Dans cette restructuration, le nombre des départements et le nombre total des personnels ont été réduits. Trois départements ont été conservés : Planification, Documentation et Information et Administration.

De surcroît, pour remplir ses engagements au titre de structure de contrepartie au projet HYDRONIGER, un système nouveau a été institué par lequel la part des cotisations des pays membres destinée à ce projet était versée sur un fond spécial géré par le PNUD. Les effets à long terme de cette restructuration sur l'amélioration de l'efficacité de l'Autorité restent à évaluer.

3.2.2 Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT)

La Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT) a été fondée en 1964 et est basée au Tchad, à N'Djamena ; les états membres en sont le Cameroun, le Tchad, le Niger et le Nigéria. La fonction de l'organisation est de coordonner les activités pour le développement social et économique du "bassin conventionnel" entourant le lac (figure 3.2). Cette surface représente 19% seulement du bassin hydrographique total et, fait plus important, elle inclut seulement 10% du bassin du Chari et 25% de celui du Logone qui sont les principales sources d'alimentation du Lac (cf. 2.3.7). A la réunion des Chefs d'Etats de 1985, où la sécheresse était la préoccupation dominante, il a été admis que la Commission devait concevoir la gestion de l'environnement et des ressources en eau au niveau des grands bassins versants. Il a également été recommandé que la République Centrafricaine rejoigne la Commission pour arriver à une gestion satisfaisante du Chari/Logone.

Un certain nombre de projets sur financements internationaux ont été exécutés sous les auspices de la CBLT au cours de 2 phases d'activités : jusqu'à 1979-80 où il y avait de grands projets régionaux d'étude des ressources en eau financés par le PNUD, et depuis 1985-86 où se sont combinés un projet d'assistance technique à long terme et trois grandes études :

- Planification et Gestion des Ressources en Eau du Bassin du Lac Tchad, projet RAF/88/029. Programme de 4 ans, financé par le PNUD, démarré en 1989 ;

- Bassin Conventionnel du Lac Tchad - Diagnostic sur la Dégradation de l'Environnement. UNEP et UNSO, 1989 ;

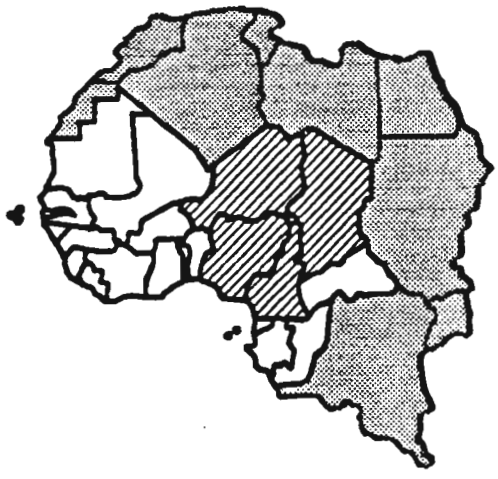
- Plan Directeur pour le Développement et la Gestion des Ressources Naturelles du Lac Tchad dans une Optique Environnementaliste. LCBC avec l'assistance de l'UNEP et de l'UNSO. 1991 ;

- Plan d'Action pour la Gestion des Ressources en Eau du Bassin Conventionnel pour un Développement Agricole Durable. FAO TCP/RAF/9162, 1991.

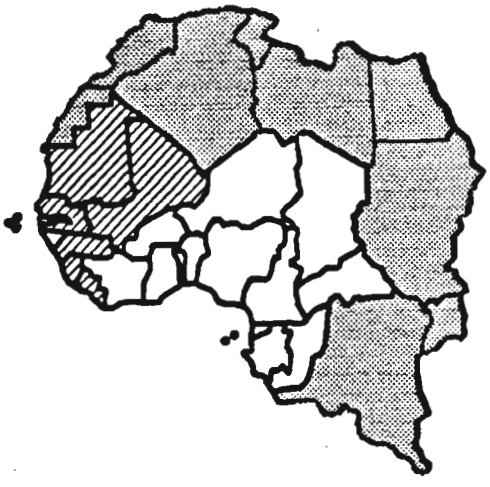
Les études ci-dessus ont recommandé que le rôle de la CBLT soit de coordonner au niveau du grand bassin les projets à financement international, en laissant aux services nationaux la mise en oeuvre des projets de coopération bilatérale. Pour que la CBLT ait un rôle efficace dans le règlement des conflits entre pays membres, la Commission devrait être investie de pouvoirs étendus.

Autorité du Bassin du Niger

Commission du Bassin du Lac Tchad

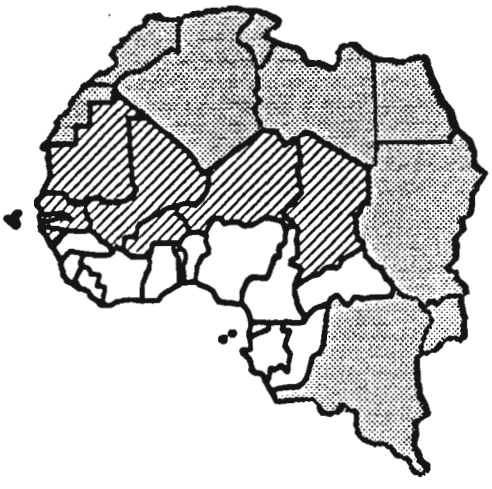


OMVS et Union de la Mano River



OMVG

CILSS



CIEH

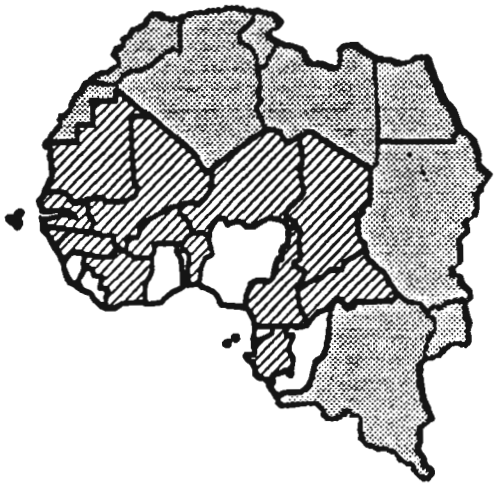
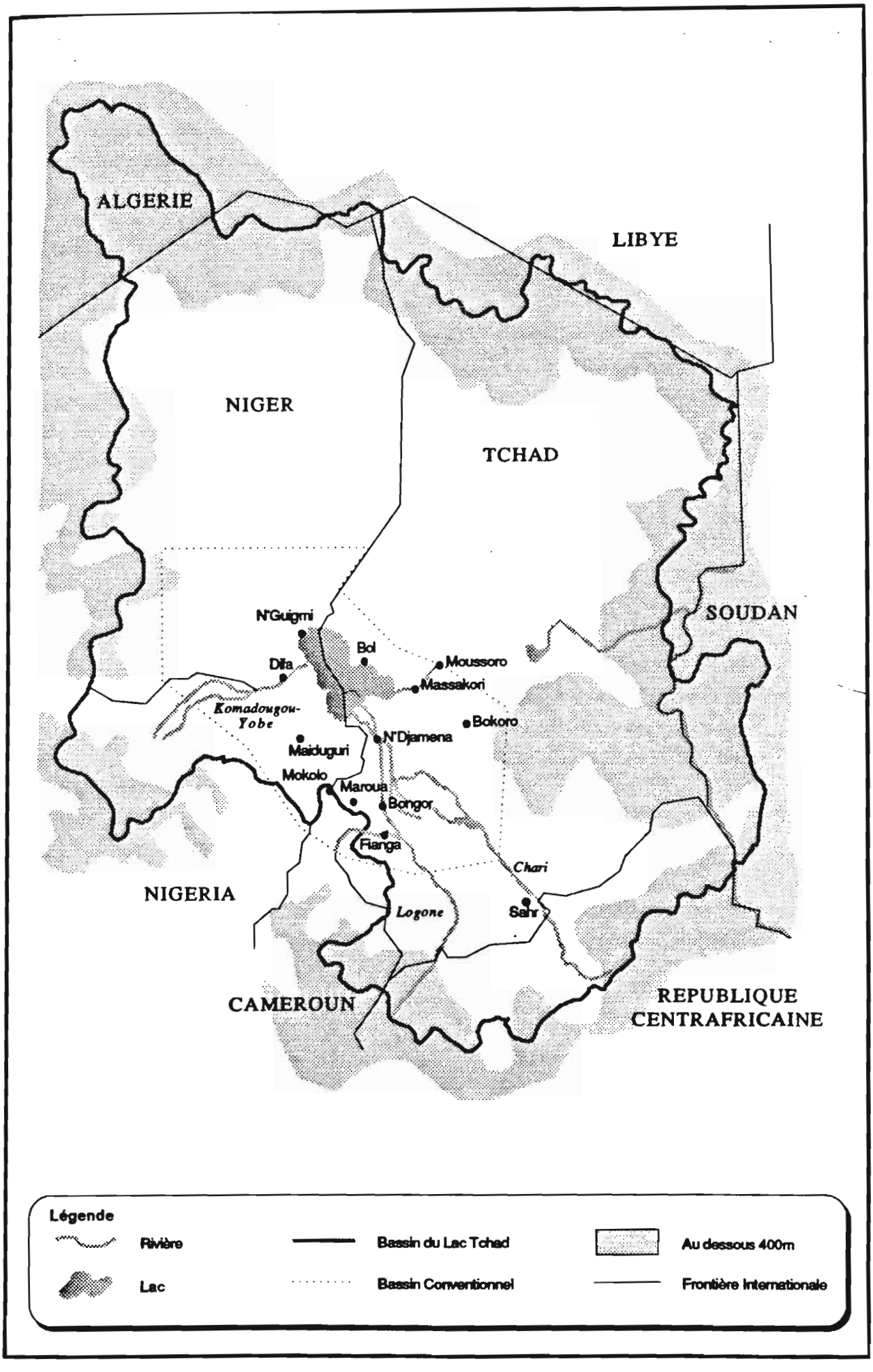


Figure 3.2

Bassin Conventionnel du Lac Tchad



17171/2/98 P:\HYD-TEC\SAC\DEMAB\RDW\ACVP\03-2F.DEM By C.D.H.

3.2.3 Organisation de Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS)

L'Organisation de Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) qui regroupe les Etats du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal a été fondée en 1972 et fait suite à 2 précédentes tentatives d'association des états riverains du fleuve pour le développement et la gestion commune des eaux de ce bassin, à savoir le Comité Inter-Etats fondé en 1963 et l'Organisation des Etats Riverains du Sénégal (OERS) fondée en 1968.

Pour satisfaire aux objectifs de développement (agriculture, hydroélectricité, navigation), le programme de l'OMVS prévoyait d'assurer un débit minimum de 300 $m^3.s^{-1}$ pour le Sénégal à Bakel. Cela s'est traduit par la construction de deux barrages sur le bassin (Manantali sur le Bafing au Mali et Diama dans l'estuaire - voir 2.3.5). Les investissements mobilisés pour ces projets par l'Organisation sont évalués à 196 milliards de francs CFA, dont près de 160 milliards pour le seul ouvrage de Manantali (Source : OMVS Magazine, valeur mars 1989 ; US$ 1 = 316,175 francs CFA).

L'exécutif de l'Organisation est constitué par un Haut Commissariat assisté d'un Secrétariat Général. Elle comporte trois départements respectivement dits "Infrastructure Régionale", "Développement et Coordination" et département "Investissement et Dette".

L'Organisation dispose d'un Centre de Documentation à Saint-Louis, qui collecte toutes les informations concernant le fleuve depuis 1970.

Les activités opérationnelles sont assurées par une Cellule Provisoire de Gestion, directement rattachée au Haut Commissariat. Il est prévu que cette structure évolue vers une Agence de Gestion qui serait une société d'Economie Mixte. Les principales attributions de l'Agence seraient :

- la gestion de l'eau ;
- la gestion technique des ouvrages communs ;
- la gestion des usagers de l'eau.

L'avenir de l'Organisation est intimement dépendant de celui des relations politiques entre les pays qui la composent, en particulier entre la Mauritanie et le Sénégal. La situation des derniers mois et les perspectives à court terme ne sont pas particulièrement encourageantes à cet égard.

3.2.4 Organisation de Mise en Valeur du fleuve Gambie (OMVG)

L'Organisation de Mise en Valeur du fleuve Gambie (OMVG) a été créée par le Sénégal et la Gambie en 1978 à Dakar. La Guinée a rejoint l'Organisation en 1980 et la Guinée Bissau en 1983.

L'Organisation est actuellement (début 1992) en phase de restructuration. Les postes de Haut Commissaire et de Secrétaire Exécutif ont été fusionnés et le nombre des Directions a été réduit à trois :

- Direction des Infrastructures, des Etudes et de la Planification ;
- Direction de l'Agriculture ;
- Direction Administrative et Financière.

Les projets d'aménagements et les études prévus sous les auspices de l'OMVG, comprennent :

- le barrage de Krékéti sur le fleuve Gambie, qui permettrait l'irrigation de 70 000 ha (55 000 en Gambie et 15 000 au Sénégal) et le fonctionnement d'une centrale électrique produisant 157 GWh par an. Cette étude sera incluse dans un programme de schéma directeur du fleuve Gambie, pour lequel un financement du PNUD est pressenti ;

- un pont routier dans le cadre de l'axe côtier Nouadhibou-Legos ;

- une étude du marché de l'énergie dans les pays membres afin d'échelonner les études et les réalisations des barrages de Krékéti, de Kouya et de Saltinho (sur le Corubal en Guinée Bissau) ;

- le renforcement des études de base sur la ressource et les problèmes d'environnement pour la définition de schémas directeurs du Koliba-Korugal et du Kayanga-Geba. Le Fond Africain de Développement (FAD) pourrait financer ces projets à hauteur de 2 400 000 US$.

- le pont-barrage de Balingho sur le Fleuve Gambie, ne semble plus prioritaire compte tenu des conséquences écologiques et des effets négatifs sur les cultures traditionnelles par submersion pratiquées en amont, qui utilisent les apports d'eau provoqués par l'onde de marée dans les bas-fonds.

3.2.5 Union de la Mano River

L'Union de la Mano River a été fondée en 1973 par le Libéria et la Sierra Leone et la Guinée a rejoint l'organisation en 1980. Le siège est à Freetown.

En matière de gestion de bassin versant, les principales réalisations de l'organisation sont le Projet de Développement du Bassin de la Mano River, dont les rapports ont été publiés en 1981 et l'inventaire de sites de minicentrales hydroélectriques réalisé en 1987 dans chacun des trois pays de l'organisation. Un comité inter-états a été mis en place pour coordonner les projets de développement, plus particulièrement la proposition d'un développement de la production d'énergie hydroélectrique sur la Mano.

Actuellement, l'Organisation a de gros problèmes financiers. En plus des arriérés de paiement ordinaires de certains des pays membres, les conditions particulières du Libéria ont entraîné la suspension totale du paiement des cotisations de ce pays.

3.2.6 Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS)

A la suite de la sécheresse persistante en Afrique sahélienne depuis 1969 qui fut particulièrement sévère pendant les saisons des pluies très déficitaires de 1972 et 1973, six pays, le Burkina Faso, le Tchad, le Mali, la Mauritanie, le Niger et le Sénégal, ont décidé de créer en 1973 un Comité Permanent pour combattre les effets de la sécheresse dans la région. Depuis, d'autres pays ont rejoint le Comité : la Gambie (1974), les Iles du Cap Vert (1975) et la Guinée Bissau (1986). Le siège de l'Organisation est situé à Ouagadougou, au Burkina Faso.

L'instance supérieure de direction de l'Organisation est la Conférence des Chefs d'Etats. Sous cette autorité, on trouve le Conseil des Ministres, qui travaille en coopération avec le Club du Sahel, puis d'autres organes spécifiques qui comprennent le Comité Consultatif de Coordination, les Agences d'Exécution, le Secrétariat, le Comité Exécutif et le Conseil pour la Formation et la Science.

Le fonctionnement est assuré par des contributions des pays membres, et des études et des activités spéciales sont financées par un grand nombre de donateurs, tels que le PNUD et les gouvernements de Belgique, de France, des Pays-Bas, de Suisse et des Etats-Unis d'Amérique. Les actions des donateurs ont été placées sous la coordination de l'OMM.

Un projet initial du CILSS a été de lancer des études touchant à l'hydrométéorologie, l'agroclimatologie et la météorologie. Le Comité a également proposé de créer un centre régional de formation, a réalisé des études en agroclimatologie pour réduire le risque en agriculture et a procédé à des expériences pour augmenter les précipitations par des pluies provoquées artificiellement.

Ceci a conduit à la création du programme et du centre AGRHYMET (AGRiculture, HYdrologie et METéorologie) décrit en section 3.3.1. En dehors des activités menées au centre régional de Niamey, d'autres projets sont conduits dans les pays dans le cadre d'AGRHYMET.

3.2.7 Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH)

Cette organisation a été fondée en mars 1960 à Niamey au Niger. Quatorze pays sont aujourd'hui membres du Comité : le Bénin, le Burkina Faso, le Cameroun, la R.C.A., le Tchad, la Côte d'Ivoire, le Gabon, la Guinée, la Guinée Bissau, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Sénégal et le Togo. Le siège du CIEH est à Ouagadougou au Burkina Faso. L'objectif du Comité est de promouvoir la coopération régionale en matière de ressources en eau, en effectuant des études et en diffusant largement les résultats. Pour aboutir à l'amélioration de la recherche et des techniques de gestion dans le domaine des ressources en eau, les activités du Comité comportent :

- des études d'intérêt général et des recherches méthodologiques particulières ;
- le conseil technique aux états membres qui ont font la demande ;
- la mise à disposition de savoir-faire et d'expérience ;
- la formation et la diffusion de l'information.

Le CIEH est dirigé par un Conseil des Ministres, qui se tient tous les deux ans. La réunion a lieu par alternance dans chacun des états membres. Le Conseil passe en revue les activités des deux années précédentes et adopte le programme d'activités et le budget des deux années suivantes. Le budget de fonctionnement est fourni par les contributions des pays membres. Les investissements sont assurés pour partie par les états membres et par l'aide internationale.

Les principaux domaines de compétence du CIEH sont l'hydrologie, l'hydrogéologie, l'agroclimatologie, la distribution de l'eau en milieux urbains et ruraux, l'irrigation, le traitement des eaux, les énergies renouvelables, la législation et la réglementation des eaux et le traitement des données. Le CIEH possède un centre de documentation, a réalisé plus de 200 études, et publie un bulletin d'information trimestriel tiré à 1000 exemplaires.

Le Comité a reçu le soutien de plusieurs donateurs bilatéraux et multilatéraux et a collaboré avec un certain nombre d'organisations régionales et internationales en rapport avec ses domaines de compétence.

3.2.8 L'ORSTOM

L'ORSTOM (L'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) a eu un rôle très important pour le développement de l'hydrologie dans les pays francophones de la région et doit être pris en considération dans les perspectives de coopération régionale. Les services hydrologiques de ces pays ont des similitudes structurelles marquées et des standards de collecte et de traitement très voisins, qui sont l'héritage de la coopération avec l'ORSTOM. Cette homogénéité a facilité les collaborations dans les domaines hydrologiques au sein du groupe des pays francophones.

Cet Institut a assuré l'implantation et la gestion directe des réseaux nationaux, parfois depuis 1946. A partir de la fin des années 70, l'ORSTOM a cessé d'être le gestionnaire direct de ces réseaux, dont l'exploitation a progressivement été confiée aux services nationaux. Les pays les plus récemment entrés dans le processus sont le Togo et le Bénin en 1990. Aujourd'hui, tous les pays sont directement gestionnaires de leurs réseaux respectifs, mais l'ORSTOM reste très présent dans la région (tableau 3.1).

La micro-informatique a été introduite à partir du milieu des années 80, avec le système HYDROM qui permet le traitement de base de toutes les données hydrologiques sur ordinateur PC compatible (dépouillement automatisé des enregistrements graphiques par table à numériser, dépouillement des jaugeages, saisie manuelle et contrôle des hauteurs d'eau à des pas de temps quelconques, calcul de débits, édition de l'annuaire, inventaire des données disponibles). Les données hydrologiques existent dans ce format HYDROM depuis l'origine des stations jusqu'au début des années 80 dans tous les pays francophones d'Afrique de l'Ouest, et jusqu'à nos jours pour certains d'entre-eux (Sénégal, Congo...).

TABLEAU 3.1

Présence des hydrologues de l'ORSTOM en Afrique de l'Ouest
(situation mars 1992)

Pays	Chercheurs/ Ingénieurs	Hydrométristes
Mali	2	1
Niger	9	4
Sénégal	5	4
Guinée	1	
Côte d'Ivoire	2	1
Burkina Faso	1	1
Cameroun	1	
R.C.A.	2	1
Congo	1	2
	24	14

produit est en évolution constante pour s'adapter aux nouvelles technologies de collecte. Il permet particulier de traiter les informations enregistrées sur les mémoires électroniques des stations matiques et de gérer les données hydrologiques reçues par les stations de réception des systèmes GOS et METEOSAT. Le logiciel HYDROM V2 existe également en versions anglaise, portugaise espagnole.

Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM à Montpellier (France) assure des cycles de formation utilisation du logiciel, en France et dans les pays en développement et une assistance aux utilisateurs, grâce à des financements bilatéraux (FAC) ou internationaux (OMM, PNUD).

3.3 Projets et programmes régionaux d'aide et de coopération

3.3.1 AGRHYMET

Programme et le Centre AGRHYMET de Niamey ont été créés pour réaliser un certain nombre objectifs fixés par le CILSS, et en particulier de développer une méthodologie selon laquelle la prise en compte des interactions de la climatologie et de l'hydrologie avec l'agriculture pouvait apporter une amélioration de la production agricole dans les conditions climatiques actuelles des pays du Sahel.

Une mission menée conjointement par le PNUD, l'OMM et la FAO en 1974 avait déterminé de manière détaillée les besoins des sept pays membres et un programme de renforcement des services

agroclimatologiques et hydrologiques nationaux avait été défini à cette occasion. La création du centre AGRHYMET de Niamey avait également été recommandé par cette mission.

Un bâtiment a été construit pour le programme AGRHYMET à Niamey, sur terrain propre. Les installations comprennent un centre informatique, une bibliothèque, des salles de cours, des bureaux et des logements pour les étudiants. L'enseignement dispensé par le centre donne accès à des diplômes de qualification reconnus. Le centre possède sa propre ferme expérimentale.

L'historique du programme compte plusieurs phases dont la troisième s'est terminée en 1991. Les objectifs principaux de cette troisième étape consistaient à :

- développer et mettre en pratique les méthodes et techniques de mesure et de collecte de données concernant l'agrométéorologie et l'hydrologie qui sont nécessaires pour le suivi du climat, des eaux de surface, des cultures et du cheptel. Ces objectifs incluent l'analyse et le stockage de ces données au Centre de Niamey et dans chaque pays du Projet et la mise à disposition de ces données à tout utilisateur qui en fait la demande ;

- contribuer au fonctionnement d'un système d'alerte avancée aux différents niveaux national régional et global (le GIEWS de la FAO, voir figure 3.3), en fournissant les informations et des prévisions météorologiques, agrométéorologiques et hydrologiques ;

- contribuer aux efforts nationaux et régionaux visant à l'augmentation de la production agricole, par l'évaluation et l'amélioration des procédures et des méthodes permettant de combiner les informations de l'agrométéorologie et de l'hydrologie avec les caractéristiques du système de production agricole en usage ;

- assurer le suivi du renforcement des centres nationaux impliqués avec AGRHYMET, en favorisant une prise de responsabilité progressive et croissante du personnel national dans le cadre d'un programme sur 10 ans.

Le programme est placé sous l'autorité du Conseil des Ministres du CILSS. Il comprend deux comités principaux (le Comité Exécutif et le Comité Consultatif de Coordination) qui supervisent de très près les activités du programme, en particulier pour assurer une coopération effective entre les différentes agences de financement.

Le Comité Exécutif est composé de trois représentants de chacun des pays membres (habituellement les responsables des services météorologiques et hydrologiques et un responsable de la production agricole) et des représentants des Organisations Internationales particulièrement impliquées dans le programme. Le Comité se réunit au moins une fois par an. Ses principales fonctions sont :

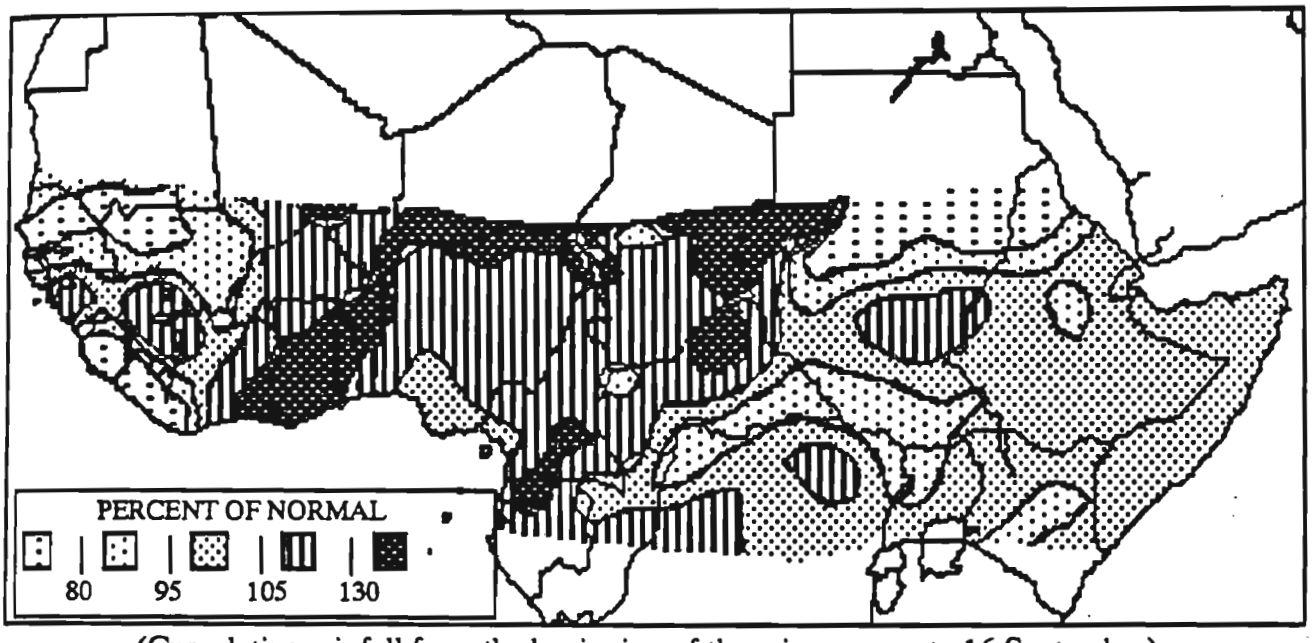
i) définir la participation des pays membres dans l'exécution du programme ;

ii) assurer une coordination générale ;

GROWING CONDITIONS BASED ON AGROMETEOROLOGICAL ASSESSMENT AS OF 16 SEPTEMBER 1991

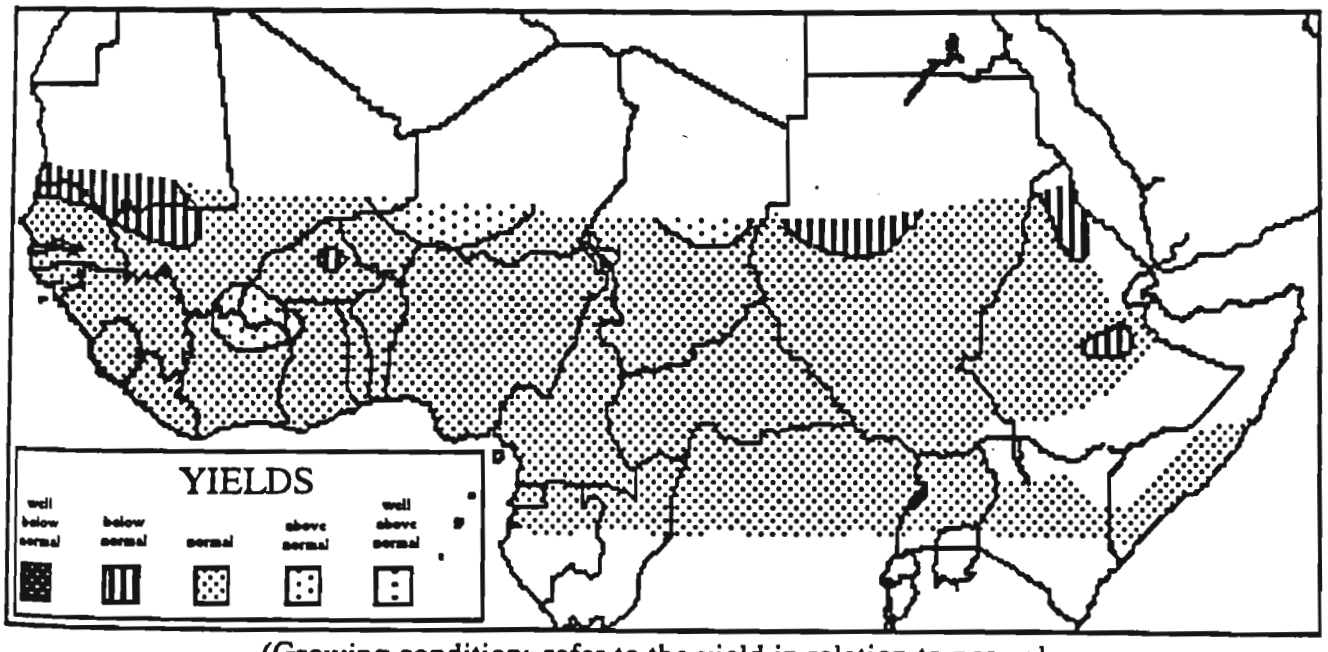
WESTERN AFRICA

CUMULATIVE RAINFALL



(Cumulative rainfall from the beginning of the rainy season to 16 September)

GROWING CONDITIONS *



(Growing conditions refer to the yield in relation to normal, assuming normal weather for the remainder of the season when the latter is not over)

* Using millet and sorghum as reference crops

FAO/GIEWS: Special Africa Report, October 1991

iii) étudier toutes propositions scientifiques et techniques et définir les objectifs, les orientations et les extensions futures du programme ;

iv) s'assurer que les contributions financières et autres contributions de contrepartie comme les personnels, les équipements et les bâtiments sont bien fournies comme cela était prévu et satisfont aux besoins du programme ;

v) examiner les ressources supplémentaires requises par le programme et émettre des propositions pour le Comité Consultatif de coordination.

D'autres tâches du Comité Exécutif comprennent l'examen des rapports d'activité du programme, l'examen du budget, la proposition de modifications du budget et toute prestation en avis et conseils jugée appropriée.

Le Comité Consultatif de Coordination comprend des représentants du PNUD et des agences d'exécution des Nations Unies impliquées dans le programme ainsi que des représentants des pays donateurs. Le comité se réunit une fois par an. Ses fonctions sont :

i) agir comme structure de coordination vis-à-vis de toutes les contributions internationales au programme ;

ii) expertiser les conditions de la gestion financière du programme ;

iii) examiner les rapports relatifs aux activités du programme ;

iv) examiner les rapports relatifs à la situation financière du programme ;

v) examiner les rapports de l'OMM sur l'exécution du programme ;

vi) examiner le plan d'action et les budgets préparés par l'OMM ;

vii) considérer tous les autres aspects relevant de l'exécution et du financement du programme ;

viii) examiner les propositions de financements complémentaires.

Pendant la troisième phase, hormis la contribution des pays membres du CILSS, les principaux apports au programme ont été assurés par le PNUD et par la Belgique, la France, l'Italie, les Pays-Bas, la Suisse et les USA.

Au niveau régional, les activités suivantes ont été réalisées :

- le microfichage, la saisie et le contrôle de la qualité des données hydrologiques et climatologiques (séries historiques) ; le développement de logiciels de traitement des

données ; la collecte et le traitement de données décadaires ; la publication de rapports décadaires, mensuels et annuels caractérisant la saison agricole ; l'achèvement d'un atlas climatique ;

- la fourniture aux organisations compétentes de données provenant du système de prévision pour améliorer les rendements de la production agricole ; l'amélioration du système de suivi des cultures à l'échelle nationale ; les tests et les adaptations de modèles agrométéorologiques ;

- le conseil pour les activités agricoles, dans le cadre des bulletins décadaires ; la préparation de manuels techniques ; le conseil pour la conception et la mise en oeuvre de projets pilotes ;

- la formation complète de 10 ingénieurs hydrologues, 9 ingénieurs agrométéorologistes, 15 techniciens supérieurs en hydrologie, 15 techniciens supérieurs en agrométéorologie et 15 techniciens supérieurs en instrumentation ; la formation en cours de 12 ingénieurs hydrologues (classe 2) et de 8 ingénieurs agrométéorologistes (classe 2) ; l'organisation de 7 séminaires.

Au niveau national, les principales activités qui ont été entreprises sont détaillées dans le tableau 3.2

TABLEAU 3.2

Activités nationales du Programme AGRHYMET - Phase 3

Pays	Activités
Burkina Faso	formation du personnel, organisation de deux séminaires, traitement de données, publication de bulletins nationaux, assistance aux paysans.
Cap Vert	formation de personnel, installation de 7 stations climatologiques, 4 stations hydrologiques et 100 pluviomètres.
Tchad	formation du personnel, installation de 9 nouvelles stations agrométéorologiques, 2 stations climatologiques, 9 pluviomètres et 5 stations hydrologiques, entretien du réseau existant, traitement des données, publication de bulletins, fourniture d'informations aux utilisateurs.
Gambie	formation du personnel, maintenance et fonctionnement du réseau de stations hydrologiques et agrométéorologiques, publication de bulletins, fourniture d'informations aux utilisateurs.
Guinée Bissau	formation du personnel, installation d'un réseau d'observation agrométéorologique.
Mali	formation du personnel, installation de 2 nouvelles stations agrométéorologiques, traitement des données, publication de bulletins, fourniture d'informations aux utilisateurs.
Mauritanie	formation du personnel, gestion du réseau existant, traitement des données, publication de bulletins, fourniture d'informations aux utilisateurs.
Niger	formation du personnel, installation de 2 nouvelles stations agrométéorologiques, 5 stations climatologiques, 15 pluviomètres, 70 stations de surveillance agricoles et 8 stations hydrologiques, utilisation du réseau existant, traitement des données, publications de bulletins, fourniture d'informations aux utilisateurs.
Sénégal	formation du personnel, installation de 3 nouvelles stations agrométéorologiques, utilisation du réseau existant, publication de bulletins, fourniture d'informations aux utilisateurs.

Des projets pilotes au Burkina Faso, au Mali, au Niger et au Sénégal ont permis des augmentations de rendement très significatives, comprises entre 12% et 300 % avec des différences très importantes selon le type de culture et le pays considéré.

Il est prévu d'engager le programme dans une quatrième phase, avec une participation et une responsabilisation accrues des personnels des pays du Sahel et une réduction correspondante pour les personnels et les financements en provenance des pays extérieurs à cette zone.

3.3.2 HYDRONIGER

HYDRONIGER est un projet de l'Autorité du Bassin du Niger. Il fait suite à un projet plus ancien, qui avait établi un réseau d'annonce de crues en Guinée et au Mali à la suite des inondations de 1967. Ce projet exécuté par l'OMM avait démontré la faisabilité d'un tel réseau, bien que la technologie utilisée (communication par radio, en mode vocal et en ondes courtes) ne permettait pas un suivi suffisamment rapide pour faire une prévision de crues.

Le projet HYDRONIGER a débuté en 1979 avec des financements du PNUD, du Fond Européen de Développement (FED) et du Fond Spécial de Développement de l'OPEC. Une évaluation préalable de l'importance du réseau qui serait nécessaire pour la prévision des crues sur la totalité du bassin du Niger avait proposé l'installation de 98 stations. Mais pour des raisons financières, ce nombre a dû être réduit à 65 stations. L'installation de ces stations a commencé en 1983 avec la visite de deux équipes du centre de Niamey dans les pays membres et des travaux conjoints avec les instances nationales. Pour mener à bien les installations pendant la durée impartie du programme, les services d'une société d'ingénieurs consultants avaient été utilisés pour implanter les stations au Nigéria. Les installations ont été terminées en 1986. En 1987, le projet utilisait des modèles de prévision provenant de trois sources distinctes : un modèle développé par un cabinet d'ingénieurs consultants dans le cadre d'un contrat avec l'OMM, un modèle de l'ORSTOM et un modèle développé par l'équipe du Projet. L'utilisation de ces trois modèles a permis de faire des prévisions sur l'ensemble du bassin du Niger.

La transmission des données est basée sur le système ARGOS. Ce système utilise deux satellites, placés en orbite polaire dont les plans sont décalés d'environ 60°. Ce système permet à une station proche de l'équateur de transmettre des données avec une périodicité maximum de l'ordre de 8 heures. Ce délai diminue au fur et à mesure que l'on monte en latitude. Des bâtiments ont été construits à Niamey pour abriter le Centre International de Prévision, et dans chacun des pays participants pour un Centre National de Prévision. Chaque Centre National est équipé d'une station de réception.

En 1988, une seconde phase, qui devait consolider le travail de la première phase, a commencé. Les activités prévues durant cette phase étaient l'amélioration du calage des modèles sur tout le bassin et une diffusion périodique régulière des prévisions. En partie à cause de retards dans la mise en place des financements, la plupart de ces objectifs n'ont pas été atteints.

Actuellement, l'avenir du projet est incertain. On peut espérer que les bénéfices induits par la prévision hydrologique finissent par susciter des contributions volontaires de certains organismes intéressés, comme par exemple l'Autorité pour la Navigation au Mali, ou bien que d'autres donateurs se montrent désireux de participer à de futurs financements.

3.3.3 Le Programme OMS/OCP (Projet de Contrôle de l'Onchocercose)

Le Programme OCP - Onchocerciasis Control Project, ou Programme de Contrôle de l'Onchocercose est un programme de l'OMS opérationnel dans la région depuis 1974. Le siège du programme est à Ouagadougou.

L'onchocercose ou "cécité des rivières" est une maladie endémique en Afrique de l'Ouest. Les fortes pentes et les rapides, qui caractérisent le profil en long des rivières de la région constituent un environnement idéal pour les larves de simuliidés (mouches noires ou simulies) parmi lesquelles certaines espèces sont les vecteurs du ver de l'onchocercose. La maladie affecte 15 à 20 millions de personnes dans la région.

Le contrôle du vecteur de la simulie s'effectue par un programme hebdomadaire régulier de traitement chimique des sites infestés. Les équipes se déplacent de site en site en hélicoptère, en transportant les produits chimiques nécessaires. La plupart des traitements sont appliqués par voie aérienne. Le dosage requis est fonction du débit du cours d'eau à l'instant du traitement, ce qui explique l'implication du programme OCP en hydrométrie.

Comme les services hydrologiques nationaux n'étaient pas toujours en mesure de fournir à OCP les données hydrologiques aux sites intéressants (les gîtes de simulies), le programme a dû consacrer des ressources humaines et financières aux activités hydrologiques. Le programme dispose aujourd'hui d'un réseau hydrologique télétransmis et d'équipes de terrain couvrant 9 pays. Cet effort a été accompli en collaboration avec l'ORSTOM. La plupart des stations sont constituées par des stations automatiques de dernière génération avec stockage des données sur mémoires mortes et télétransmission par le système ARGOS, et cette technologie intéresse fortement les hydrologues des services nationaux. Deux centres opérationnels, situés à Lama-Kara (Togo) et à Odiénné (Côte d'Ivoire) reçoivent les données transmises par satellite. Les étalonnages des stations sont tenus à jour par des équipes d'hydrométristes des services nationaux, financées par le programme OCP ou par des équipes d'OCP encadrées par l'ORSTOM. Le degré d'implication d'OCP dans les activités hydrologiques nationales est variable selon les pays : dans le cas extrême du Sierra Leone, les seules stations hydrométriques en activité dans le pays sont celles d'OCP.

Une caractéristique importante des activités hydrométriques d'OCP est qu'elles sont un moyen d'aboutir à une fin (en l'occurrence optimiser le dosage des insecticides) et non une fin en elles mêmes. L'OMS a prévu de poursuivre le programme OCP jusqu'à l'an 2000. Toutefois, si l'on considère que de nouvelles méthodes d'éradication de la maladie sont constamment à l'étude et que le traitement prophylactique a déjà été testé au Ghana, l'avenir des activités hydrologiques du programme pourrait être compromis avant l'échéance prévue.

3.3.4 CLICOM

Le projet CLICOM a été mis en oeuvre par le Programme de Données Climatiques Mondiales de l'OMM. Il est le résultat d'un effort concerté pour améliorer les standards de gestion des données climatiques et la qualité du service fourni par les départements de météorologie. Le projet était destiné initialement aux pays en voie de développement dans lesquels les services météorologiques disposaient de moyens informatiques limités, voire inexistants. Pour de tels pays, l'ensemble "CLICOM" standard comprend un micro-ordinateur, le logiciel et la formation. Le logiciel développé aux Etats-Unis est considéré comme une contribution de ce pays aux activités de l'OMM, par l'intermédiaire de son Programme de Coopération Volontaire. Il fournit un ensemble de possibilités pour la saisie et la gestion des données climatologiques.

Le logiciel CLICOM est composé d'ensembles intégrés, comportant des programmes dédiés aux applications météorologiques. Le principal composant du commerce est une base de données appelée DataEase. Bien que puissant, cet ensemble est facile à utiliser et peut aisément faire l'objet d'adaptations pour des applications spécifiques. Le logiciel dédié comporte une structure de base de données climatiques couplée avec des menus spécifiques à l'application CLICOM et intégrés avec DataEase, ainsi qu'un grand nombre de programmes écrits en FORTRAN. Les programmes FORTRAN sont, pour partie destinés à la saisie et au contrôle de la saisie, et pour le reste utilisés pour l'édition des inventaires de données. Le logiciel CLICOM comporte aussi des programmes d'interface qui permettent de connecter d'autres logiciels avec CLICOM. Le logiciel tourne sur un ordinateur PC compatible. Il requiert une machine de performances moyennes dotée d'un disque dur de bonne capacité. Le logiciel est disponible en versions anglaise, espagnole et française.

La base de données permet de gérer sept types distincts de données climatologiques, c'est-à-dire des données aux pas de temps mensuel, décadaire, journalier, synoptique (intervalle de 3 heures), horaire et de 15 minutes ainsi que les données des radiosondages. La base de données permet également de gérer un historique détaillé des stations. Le logiciel offre un choix de possibilités pour le contrôle de la qualité des données et pour l'édition des résultats.

CLICOM est un programme de l'OMM en évolution constante. Le logiciel est aujourd'hui implanté dans 95 pays, dont 10 en Afrique de l'Ouest. Il est clair que CLICOM constitue le standard le plus crédible pour le traitement et la gestion des données climatologiques et que toutes les mesures devront être prises pour que ce système soit effectivement mis en oeuvre en Afrique de l'Ouest. Les consultants ont pu constater au cours de leurs visites que le système était loin d'être utilisé à 100% de ses possibilités pour un grand nombre de raisons. Les capacités opérationnelles de CLICOM seront discutées dans le chapitre 6.

3.3.5 Le projet DARE de récupération de données (DAta REscue)

Le projet DARE a connu deux phases distinctes. La première, appelée "Banque de Données", concernait exclusivement les pays du CILSS (c'est-à-dire les pays associés au programme AGRHYMET). L'objectif de ce projet était de recueillir toutes les données météorologiques et

hydrologiques existantes dans chacun des pays membres. Suite à l'intérêt suscité par le projet, ce même type d'inventaire a été généralisé à l'ensemble du continent africain. Cette deuxième phase, appelée DARE, a commencé en 1988.

Le projet travaille en concertation étroite avec l'OMM, qui prend les contacts avec les pays participants et qui assure un suivi partout où cela est possible. Le budget annuel total du projet est de l'ordre de 14 millions de francs belges. Ces financements couvrent les frais d'administration et les frais généraux du projet, la gestion des micro-films et micro-fiches et la saisie de données. Ils permettent également de financer les visites de collecte de données dans les pays. Le projet est rattaché à un organe du Service Météorologique du Royaume de Belgique, appelé le Centre International de Collecte de Données. Une contribution de 14 % est versée à l'OMM pour l'assistance fournie et au titre des frais administratifs de l'Organisation. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) a financé un équipement de microfichage dans chaque pays du projet.

La méthode de travail habituelle consiste à programmer une visite de reconnaissance dans chaque pays pour évaluer le volume des données à traiter. En général, seules les données manuscrites détenues par les services météorologiques sont traitées. Une seconde mission est faite pour microfilmer le maximum de données possibles. Pendant cette mission, l'équipe DARE possède ses équipements propres et les travaux de microfilmage sont faits conjointement - dans la même pièce si possible - avec le service local, qui possède le même type de matériel. La politique du projet prévoit de ne pas microfilmer toutes les informations pendant cette mission, mais de laisser au service local la responsabilité de compléter ou de mettre à jour le fichier. Une ultime mission est généralement prévue pour s'assurer que toutes les données existantes ont bien été collectées.

Au moment des visites de l'équipe dans les pays, toutes les données sont microfilmées en séquence, dans l'ordre qui convient le mieux au service météorologique national. Les microfilms sont ramenés et développés en Belgique. Une copie des films sert de base pour faire des microfiches qui sont classées dans un ordre plus logique et une copie de ces microfiches est envoyée à chaque pays. Toutes les données des pays du CILSS, sauf celles des postes pluviométriques, ont été saisies sur ordinateur de type PC compatible. Les données de pluie ont été saisies pour les stations météorologiques ou climatologiques, mais pas pour les postes pluviométriques simples. Pour les pays n'appartenant pas au CILSS, le microfilmage a été limité aux données d'une station représentative pour 250 000 km². Dans les pays de superficie inférieure à ce seuil, les données d'au moins une station ont été filmées. Le choix de ces stations représentatives a parfois posé quelques problèmes.

La qualité des données est contrôlée. En fin de traitement, toutes les données sont stockées sur bandes magnétiques en format ASCII. Ce choix du type de codage a fait l'objet de longues discussions, tant à l'intérieur de l'Organisation qu'à l'extérieur de celle-ci avec tous ceux qui étaient intéressés par ce système. Les responsables du projet ont résisté aux pressions qui proposaient d'organiser le stockage de toutes ces données dans le format d'un logiciel de gestion de base de données (SGBD). L'argument invoqué est que l'objectif du projet est de constituer une base de connaissance pour la postérité et ses responsables considèrent qu'il y a un risque que des données stockées dans ce qui est aujourd'hui le standard *up-to-date* des bases de données, ne soient plus récupérables dans quelques années.

CHAPITRE 4

METHODES POUR L'EVALUATION DES SYSTEMES DE COLLECTE DE DONNEES

4.1 Principe de l'évaluation

4.1.1 Introduction

La définition des critères permettant une évaluation actualisée de la situation des réseaux de collecte et des systèmes de traitement de données constitue à l'évidence un point clé dans une étude de ce type portant sur un grand nombre de pays. La situation de ces systèmes d'informations résulte d'une évolution ancienne, progressive et propre à chaque pays et est directement proportionnelle à l'importance des budgets consacrés au développement et à l'évolution des conditions socio-économiques du pays considéré. L'utilisation d'une grille d'évaluation commune pour juger des cas individuels constitue un procédé sommaire plutôt qu'une méthode bien adaptée à l'amélioration des performances de ces systèmes de collecte et de traitement. Toutefois, l'utilisation d'un ensemble de critères objectifs n'en constitue pas moins une base acceptable pour une analyse complémentaire, moins systématique permettant d'identifier les imperfections du système actuel et la meilleure façon d'y remédier.

La méthode la plus générale et objective pour l'évaluation des systèmes de données hydrologiques est décrite dans une publication conjointe de l'UNESCO et de l'OMM, "*Travaux d'Evaluation des Ressources en Eau : Guide pour une Evaluation Nationale*" *(1988)*. Ce document fournit une référence qui permet d'évaluer les réseaux de collecte et les systèmes de traitement par comparaison avec des normes mondiales, et par là même de mettre en évidence des zones géographiques où ces systèmes sont déficients ou redondants.

Cependant, si l'on considère que l'objectif de la présente étude est de s'assurer que les données adéquates seront bien disponibles pour la gestion des ressources en eau dans le futur, l'évaluation des systèmes de collecte et de traitement devrait être guidée par les besoins spécifiques, actuels et futurs, de chaque pays et par la capacité des Etats à supporter les coûts humains et financiers de ces systèmes. Il est des cas où une évaluation globalisée à l'échelle nationale peut s'avérer inadaptée. Par exemple, il peut y avoir dans un pays, des zones où les besoins en données hydrologiques sont plus importants que dans d'autres, ce qui peut se traduire par une répartition non homogène des moyens de collecte et de traitement des données. Lorsque les ressources en eau sont partagées entre plusieurs pays, il serait souhaitable que l'évaluation des réseaux et des donnnées disponibles soit faite à l'échelle du grand bassin hydrographique. En conséquence, en plus des critères et des méthodes d'évaluation suggérés dans la publication UNESCO-OMM, il a été procédé à une évaluation moins systématique et plus détaillée pour identifier les besoins futurs dans le domaine de l'information hydrologique, en accordant un intérêt particulier à l'identification des données requises dans l'avenir pour le développement des ressources en eau. Lorsque les informations étaient disponibles, d'autres comparaisons, comme celle des budgets des services hydrologiques mis en rapport avec les coûts

probables des aménagements, ont également été tentées pour affiner l'analyse. Les objectifs de ces analyses détaillées étaient de préciser les modalités d'un développement raisonnable des services hydrologiques au cours des dix à quinze prochaines années.

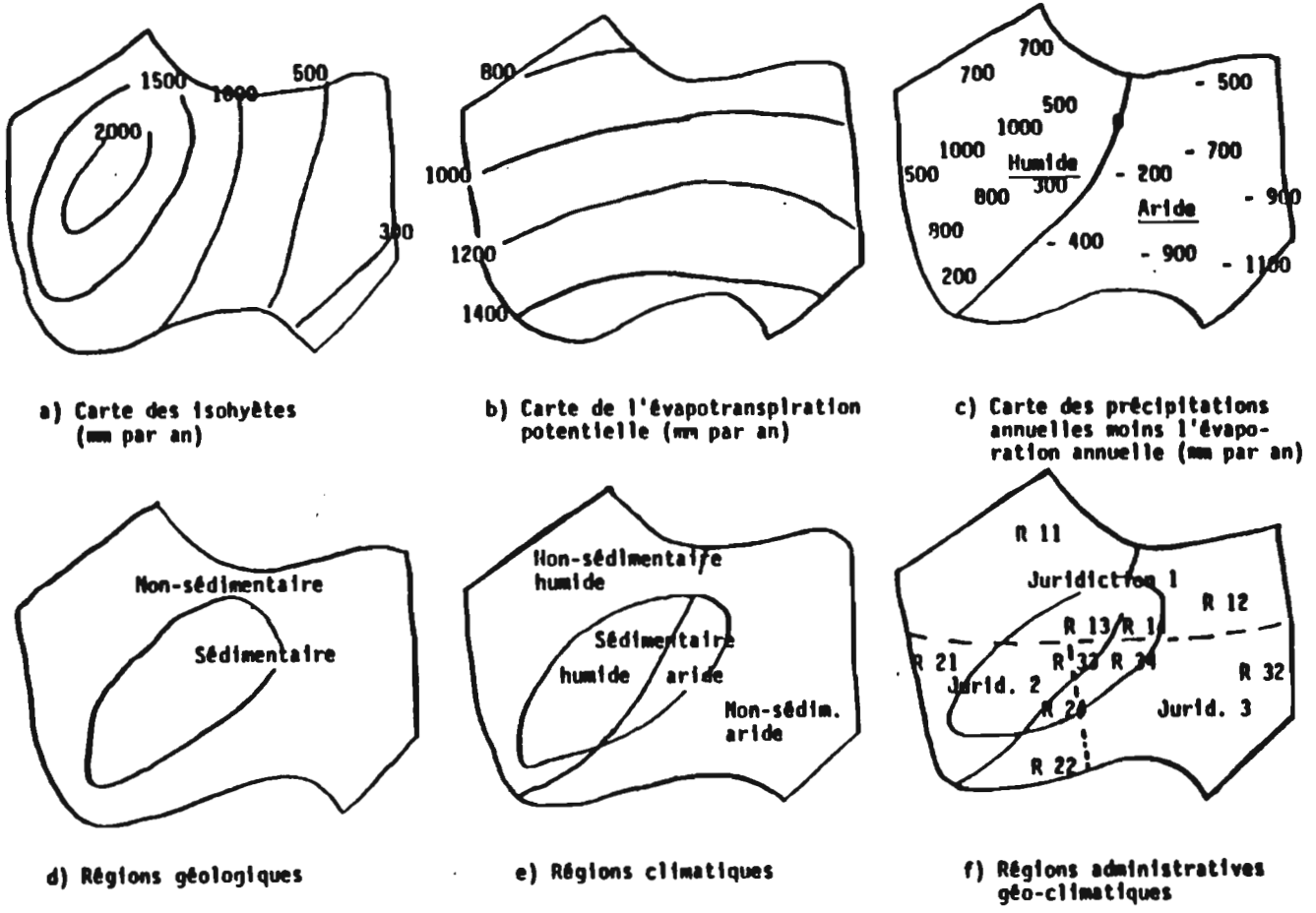
4.1.2 Les recommandations de l'UNESCO-OMM

Ces recommandations avaient été élaborées à l'origine pour évaluer la capacité des réseaux hydrométriques à fournir les informations pour l'évaluation des ressources en eau, ce qui ne constitue qu'un aspect des nombreuses utilisations possibles pour des données hydrologiques. Néanmoins, c'est en général la connaissance des ressources en eau au niveau régional qui justifie la constitution d'une banque de données hydrologiques. Par conséquent, dans l'objectif d'une fourniture de données de ce type, l'évaluation des systèmes de collecte, de traitement et de stockage des données constitue un exercice qui reste recevable. Néanmoins, il faut considérer qu'il existe bien d'autres utilisations pour les données hydrologiques, comme par exemple l'évaluation des mesures de protection et de contrôle des crues, qui peuvent aboutir à des systèmes de collecte et de traitement conçus de manière très différente de celle recommandée par le guide UNESCO-OMM.

Néanmoins, cette méthode fournit une évaluation commode et objective des valeurs minimums acceptables dans les domaines suivants :

- activités à entreprendre ;
- densités des réseaux ;
- équipements existants ;
- ateliers de maintenance des équipements ;
- personnel ;
- traitement et stockage des données.

Les seuils qui sont recommandés dans les domaines ci-dessus sont fonction du type climatique (aride ou humide), de la couverture géologique et du caractère tempéré ou tropical de la zone. Le système de classification adopté est élémentaire : deux types climatiques ont été définis, en fonction de la valeur du bilan entre l'évaporation potentielle (EP) et la pluviométrie (P), calculé sur une base moyenne interannuelle. La terminologie n'est sans doute pas très heureuse, les 2 types étant identifiés comme "aride" et comme "humide", la catégorie "aride" caractérisant les régions où la pluviométrie est inférieure à l'évaporation. Ainsi, le Ghana, qui n'est généralement pas considéré comme un pays aride, voit 79% de sa surface classée en "aride". Le paramètre "géologie" différencie les régions "sédimentaires" des régions "non sédimentaires". Si le bouclier cristallin ancien est la formation géologique la plus répandue en Afrique de l'Ouest, les épaisses couvertures d'altérites qui recouvrent ces roches-mères confèrent à ces terrains des comportements hydrologiques bien différents de ceux que l'on prête habituellement aux "roches non sédimentaires", et par exemple, on peut observer des réserves en eaux souterraines significatives dans des zones qui sont géologiquement sur socle. La figure 4.1 présente un exemple de mise en oeuvre de ce procédé de régionalisation préalable à l'évaluation hydrologique, et le tableau 4.1 donne les seuils limites inférieurs recommandés, pour les éléments les plus importants de l'évaluation.



a) Carte des isohyètes (mm par an)

b) Carte de l'évapotranspiration potentielle (mm par an)

c) Carte des précipitations annuelles moins l'évaporation annuelle (mm par an)

d) Régions géologiques

e) Régions climatiques

f) Régions administratives géo-climatiques

Source : UNESCO/OMM, 1988

Etapes de la régionalisation pour l'évaluation hydrologique

Figure 4.1

TABLEAU 4.1

Niveaux d'activité minimum recommandés pour la collecte de données hydrologiques
(d'après document UNESCO-OMM, 1988)

Climat Tropical				
Elément	Aride		Humide	
	S	N	S	N
Stations pluviométriques sans enregistrement (nombre pour 10^4 km²)	6	4.6	20	40
Station pluviométrique avec enregistrement (nombre pour 10^4 km²)	1.5	1	2	2
Station d'évaporation (nombre pour 10^5 km²)	3	3	3	2
Station hydrométrique surface sans enregistrement (nombre pour 10^4 km²)	1.2	2.4	12	24
Station hydrométrique surface avec enregistrement (nombre pour 10^4 km²)	0.6	1	1	1
Station de jaugeage (nombre pour 10^4 km²)	1	2	10	20
Stations de débits solides (nombre pour 10^4 km²)	0.7	0.4	5	3
Station de qualité d'eau de surface (nombre pour 10^4 km²)	0.7	0.4	5	3
Station hydrométrique souterraine sans enregistrement (nombre pour 10^4 km²)	5	2	2	0.5
Station hydrométrique souterraine avec enregistrement (nombre pour 10^5 km²)	2	1	2	1
Station de qualité d'eau souterraine (nombre pour 10^5 km²)	5	3	5	3
Atelier d'entretien et de réparation de l'équipement météorologique (nombre pour 200 stations pluviomètres)	2	2	1	1
Moulinet (nombre pour 10 stations hydrométriques)	2	2	1	1
Installation pour l'étalonnage des moulinets (nombre pour 200 moulinets)	2	2	1	1
Atelier d'entretien et réparation de l'équipement hydrologique (nombre pour 200 stations pluviomètres)	2	2	1	1
Laboratoire de sédimentométrie (nombre pour 100 stations de mesure des sédiments)	5	5	3	3
Laboratoire pour la qualité de l'eau (nombre pour 100 stations de qualité de l'eau)	5	5	3	3
Inspecteur des stations météorologiques (nombre pour 100 stations pluviométriques)	10	10	5	5
Equipe d'hydrologie de terrain (2 à 3 personnes) (nombre pour 10 stations de jaugeage)	2	2	1	1
Equipe spéciale - eaux de surface (3 à 4 personnes) (nombre pour 10^5 km²)	2	2	1	1
Equipe spéciale - eaux souterraines (3 à 4 personnes) (nombre pour 10^5 km²)	6	3	4	2
Personnel d'encadrement - météorologie (nombre pour 100 stations pluviométriques)	3	3	3	3
Personnel d'encadrement - eaux de surface (nombre pour 100 stations de jaugeage)	4	4	4	4
Personnel d'encadrement - eaux souterraines (nombre pour 100 stations)	4	4	4	4

Note : S = sédimentaire ; N = Non sédimentaire

Pour en revenir à l'exemple du Ghana, l'acceptation stricte du système de classification aurait conduit à identifier dans ce pays les quatre catégories existantes, et à subdiviser certaines d'entre elles en sous-catégories. Ce découpage n'aurait pas permis de procéder à l'évaluation de l'adéquation des ressources humaines, car le personnel est basé au siège et dans quelques bureaux régionaux, et les limites administratives ne suivent en aucun cas celles qui sont déterminées par la classification UNESCO-OMM.

Les recommandations sont également d'une portée limitée, pour l'évaluation de la situation dans les petits pays, plus particulièrement dans ceux qui sont constitués par des îles, comme la République du Cap Vert, la Guinée Equatoriale et Sao Tomé & Principe.

4.2 Compilation des inventaires

4.2.1 Inventaires des stations et des données

L'inventaire des données existantes a été réalisé pour les paramètres suivants :

- pluviométrie journalière ;
- données climatiques, y compris les données d'évaporation ;
- hauteurs d'eau et débits ;
- jaugeages ;
- débits solides (si existence d'un suivi régulier) ;
- qualité des eaux (si existence d'un suivi régulier) ;
- niveaux piézométriques (si existence d'un suivi régulier).

Il était prévu que les données d'inventaire devaient comporter des informations sur la localisation de la station (rivière, bassin, latitude, longitude, altitude), sur le type d'équipement, sur les caractéristiques opérationnelles et sur la période pour laquelle des données étaient disponibles. Il n'a pas toujours été possible d'inclure toutes ces informations comme cela avait été prévu, soit qu'il ait été impossible de les obtenir dans le temps imparti, ou tout simplement parce que ces informations n'étaient pas disponibles dans les services nationaux visités. Les données ont été recherchées dans les bases de données sur ordinateur compatible partout où cela était possible, mais cela n'a pu être fait que dans quelques services seulement. Les inventaires "officiels" des stations étaient de valeur discutable, le plus souvent incomplets ou mis à jour trop rarement. La méthode la plus sûre pour obtenir les informations, plus particulièrement des indications sur la qualité des données, a consisté à compulser les dossiers de stations dans les salles d'archives, une tâche qui exigeait beaucoup de temps et qui n'a pu être menée à bien que lorsque le personnel de contrepartie était présent en quantité suffisante pour réaliser ce travail laborieux. Dans les autres cas, les informations ont été collationnées à partir de sorties informatiques imprimées et de publications, puis mises à jour et confrontées avec celles provenant d'autres sources commes des annuaires, des rapports d'ingénieurs, des schémas de plans directeurs et divers dossiers détenus par les services nationaux.

Les inventaires des stations sont édités dans les rapports de pays et le nombre total de stations par catégorie est présenté dans les tableaux 4.2 et 4.3.

TABLEAU 4.2

Nombre de stations climatiques actuellement opérationnelles

Pays	Pluviomètres journaliers	Pluvio-graphes	Stations téléméétriques	Stations synop-tiques	Stations agrométéo-rologiques	Stations climato-logiques
Mauritanie	79	0	0	13	13	0
Mali	201	?	0	22	9	41
Niger	282	12	0	14	7	22
Tchad	227	>16	0	16	19	16
Sénégal	180	>12	?	12	7	11
Gambie	33	1	0	11	16	0
Guinée Bissau	81	10	0	10	5	5
Guinée	150	27	0	12	15	0
Sierra Léone	24	7	0	7	10	1
Libéria						
Côte d'Ivoire	200	43	0	14	29	6
Burkina Faso	> 137	27	0	9	>18	12
Ghana	222	20	0	22	36	56
Togo	91	25	0	9	0	18
Bénin	54	10	0	6	15	0
Nigéria	> 368	?	0	47	46	0
Cameroun	300	?	0	20	1	21
R.C.A.	105	>15	0	14	5	5
Guinée Equatoriale	2	0	0	2	0	0
Gabon	109	>14	0	14	5	5
Congo	217	>14	0	13	4	7
Cap vert	248	12	0	3	11	0
Sao Tomé & Principe	31	0	0	2	0	21

Note : Nombre de stations opérationnelles au moment de la visite des consultants.

Le décompte des pluviomètres inclut ceux des trois types de stations météorologiques (synoptiques, agrométéorologiques et climatologiques).

Les stations agrométéorologiques sont celles qui mesurent les paramètres permettant de calculer l'évaporation Penman.

TABLEAU 4.3

Nombre de stations hydrométriques actuellement opérationnelles

Pays	Echelles	Limni-graphes	Stations de débits solides	Stations télémé-triques	Stations de jaugeage	Stations de barrage
Mauritanie	0	0	1	1	0	?
Mali	69	0	20	20	49	?
Niger	42	0	9	9	28	0
Tchad	44	11	0	0	35	?
Sénégal	25	31	3	3	36	3?
Gambie	17	8	0	0	3	0
Guinée Bissau	14	0	0	0	5	0
Guinée	39	0	29	29	0	1
Sierra Léone	24	0	0	0	24	1
Libéria						
Côte d'Ivoire	108	28	22	22	?	84
Burkina Faso	105	60	6	5	60	11?
Ghana	73	35	0	0	94	1?
Togo	26	10	11?	11	42	2
Bénin	2	8	?	23	28	0
Nigéria	> 500	?	?	18	?	?
Cameroun	42	19	?	5	?	?
R.C.A.	45	11	0	0	33	1?
Guinée Equatoriale	0	0	0	0	0	0
Gabon	10	0	0	0	10	3
Congo	51	4	?	1	?	?
Cap vert	0	8	0	0	6	0
Sao Tomé & Principe	9	9	0	0	9	0

Note : Nombre de stations opérationnelles au moment de la visite des consultants.

Le nombre des échelles n'inclut pas celles installées à côté des limnigraphes.

4.2.2 Listes bibliographiques

Des listes bibliographiques ont été préparées pour chaque pays. Elles comportent deux catégories de documents : ceux qui avaient été collectés au cours des missions sur le terrain et qui ont été utilisés pour réaliser cette étude, et ceux dont la pertinence et l'utilité dans le domaine des ressources en eau de cette région sont généralement reconnues. Tous les documents de la seconde catégorie n'ont pas

été retrouvés et analysés : certains étaient cités dans des documents qui ont effectivement été consultés et utilisés et ces références ont été reprises dans les listes bibliographiques. Un grand nombre de titres étaient communs aux deux catégories, mais d'une façon générale, les documents du premier groupe comportaient plutôt des informations d'ordre général sur les pays (projets de développement, statistiques économiques, etc.), alors que la deuxième catégorie était largement constituée par des documents en rapport plus direct avec les ressources en eau.

Le recouvrement entre les deux listes étant très large, il a été convenu qu'une seule et unique liste bibliographique serait annexée à chaque rapport national.

4.3 Identification des besoins en données

Le préalable à l'évaluation d'un réseau de collecte de données hydrologiques est d'identifier les utilisations prévues de ces données. La figure 4.2 présente quelques domaines d'utilisation des données hydrologiques et l'importance relative de ces données pour l'objectif considéré. A partir de ces considérations théoriques, le processus qui mène à l'action effective, comme de décider du choix des sites nouveaux pour les stations hydrométriques, est long et complexe et dépend fortement des conditions locales, des budgets, de la situation des services nationaux et du régime hydrologique.

Une approche plus pragmatique pour déterminer les besoins en données revient à considérer les projets de développement des ressources en eau dont la réalisation est la plus probable, et de déterminer le type de données requis pour la réalisation de ces projets. C'est cette approche qui a été adoptée.

Dans beaucoup de cas, les projets de développement des ressources en eau sont de dimension modeste (prélèvements pour l'alimentation en eau en milieu rural, irrigation de petits périmètres) et ne justifient pas la réalisation d'une évaluation spécifique et détaillée de la ressource. Ces cas sont généralement traités par une évaluation régionalisée de la ressource, faisant idéalement appel à une méthode automatisée de spatialisation qui permet d'évaluer les débits sur les cours d'eau non jaugés ou les réserves dans les aquifères non suivis. Les contraintes de la méthode sont rarement satisfaites dans les bases de données hydrologiques, puisqu'elle requiert une densité de données ponctuelles suffisante pour représenter avec précision et fiabilité toute la gamme des types hydrologiques existants dans le pays, en particulier dans les zones de pénurie.

Un autre problème est la nécessité d'évaluer la demande à moyen et à long terme, à partir de plus longues séries de données et par conséquent celui de préciser dès maintenant les bases d'un tel programme de collecte de données. Dans certains cas, les sites névralgiques pour la collecte de données sont faciles à identifier, par exemple les sites majeurs pour la production hydro-électrique susceptibles d'être aménagés dans l'avenir. Il faudra également poursuivre les observations aux stations primaires, pour lesquelles on dispose déjà de séries longues, complètes et de qualité, de manière à disposer de références pour le suivi des irrégularités et des dérives climatiques à long terme. Si les conséquences désastreuses de la sécheresse dans les pays d'Afrique de l'Ouest avaient déjà mis en évidence l'importance des tendances dans les séries climatiques, les thèses les plus

récentes sur les conséquences régionales du phénomène du réchauffement global militent en faveur d'une prise en considération très sérieuse de ce phénomène.

Dans certains pays, les ouvrages de prélèvement et de stockage situés en amont des stations hydrométriques de référence ont une influence déterminante sur le régime des écoulements. Pour disposer de séries de données homogènes, toute modification de ces aménagements ou de leur gestion doit être répertoriée, et prise en compte pour recalculer des séries d'écoulement "naturels reconstitués". Les informations qui sont requises peuvent être très nombreuses et amener à gérer plusieurs points de mesure pour recalculer les débits à une seule station. Cet effort additionnel est souvent négligé, mais devient inévitable au fur et à mesure qu'augmente la pression sur les ressources en eau.

Les données portant sur la qualité de l'eau deviennent de plus en plus importantes si l'on veut pouvoir contrôler que les approvisionnements en eau potable satisfont aux normes de l'OMS et identifier les polluants. De la même manière, les données de transport solide sont requises pour le suivi de l'érosion et l'évaluation des programmes de conservation des sols qui peuvent être réalisés. Actuellement, ces données ne sont pas collectées de manière systématique, et tous les efforts devront être faits pour que ce type de suivi soit réalisé de manière opérationnelle. Mais outre la collecte de données de terrain, ces suivis exigent des équipements de laboratoire adéquats et un personnel qualifié. Il est donc important d'élaborer des programmes de suivi réalistes, éventuellement scindés en plusieurs phases, et qui restent dans les limites budgétaires des services hydrologiques nationaux.

4.4 Identification des lacunes dans les données

4.4.1 Lacunes temporelles

L'identification des lacunes d'observations temporelles dans les données hydrologiques est une tâche très ardue compte tenu des caractéristiques des systèmes de traitement et de stockage des données généralement utilisés dans les agences de collecte de la région. De nombreuses agences ont des difficultés à fournir des inventaires fiables pour un type déterminé de donnée, plus particulièrement l'état des enregistrements complets et l'inventaire précis des lacunes dans les fichiers. Ceci parce que la tendance est de n'avoir que des systèmes d'inventaire rudimentaires - généralement fondés sur des états édités - pour identifier les données disponibles. Il n'est pas rare que ces procédés conduisent à des évaluations trompeuses telles que :

- des données mensuelles ou annuelles peuvent être notées comme "incomplètes" ou "manquantes", alors que seulement une ou deux valeurs journalières sont manquantes ;

- toutes les données ne sont pas publiées, l'accent étant mis sur les stations de premier ordre, alors que les données des stations secondaires et de celles observées sur de courtes périodes sont ignorées.

Besoins en données pour le développement des ressources en eau

LEGENDE

- Impératif
- Important
- Utile
- Pas essentiel

	Climat / Météorologie												Eaux Superficielles										Eaux Souterraines				
													Lacs etc					Débits fluviaux									
	Ensoleillement / radiation	Vent	Pression atmosphérique	Température de l'air	Humidité relative	Température du sol	Humidité du sol	Evaporation	Précipitations d'averse	Précipitations journalières	Neige / Forte des neige	Niveaux d'eau	Qualité de l'eau	Température de l'eau	Evaporation	Géométrie du lac	Niveaux d'eau	Débits	Qualité de l'eau	Charge du lit	Transport solide	Carc. du lit	Niveaux d'eau	Qualité de l'eau	Débit	Caract. hydrauliques	Logs de sondage
Hydro-électricité																											
Retenues																											
Irrigation - eaux superficielles																											
Irrigation - eaux souterraines																											
Drainage en surface																											
Drainage souterrain																											
Contrôle des crues																											
Protection contre les crues																											
Eau potable - superficielle																											
Eau potable - souterraine																											
Alimentation en eau industrielle																											
Pêcheries																											
Navigation																											
Contrôle de la pollution																											
Contrôle de la salinité																											
Gestion du bassin versant																											
Zonage de la plaine d'inondation																											
Système annonce de crue																											

Pour ce qui concerne les données hydrométriques codées dans le système HYDROM, c'est-à-dire celles de la plupart des pays francophones, en général jusqu'à la fin des années 70 et parfois au-delà de cette limite, le logiciel permet un inventaire des lacunes des débits au niveau annuel pour tout un pays et au niveau mensuel pour une station (figure 4.3) en différenciant les mois complets, incomplets (moins de 3 valeurs manquantes), manquants et les cotes hors barème d'étalonnage. Les avantages d'un traitement informatisé de ce type seront discutés plus loin, au chapitre 6.

Quand on a pu examiner en détail les fichiers originaux pour évaluer la quantité de données disponibles, les résultats ont été présentés dans le rapport du pays concerné. Un exemple caractéristique pris sur un des pays du Sahel est figuré en 4.4 : on constate un effondrement complet dans la continuité des données et un accroissement très net des lacunes d'observations au cours de la dernière décennie. Cette situation est loin d'être exceptionnelle et serait plutôt typique des pays de la région.

4.4.2 Densité insuffisante des données

Des lacunes spatiales dans les réseaux d'acquisition de données ont été identifiées selon les critères UNESCO-OMM pour ce qui concerne les densités minimales des réseaux, qui ont pris en compte la projection de la demande en terme de données, l'expérience acquise au cours de récents travaux d'évaluation des ressources en eau, et des contraintes à caractère logistique. Il existe en général des raisons pertinentes pour expliquer les lacunes dans la densité des réseaux d'acquisition de données - manque d'observateurs qualifiés, problèmes logistiques ou financiers ou autres - auxquelles il faudra remédier si des stations doivent à l'avenir être installées dans des zones critiques.

Il a été constaté que les fonctionnaires des agences de collecte de la région sont tout à fait conscients des points faibles dans les réseaux, et qu'ils en connaissent les causes. C'est pourquoi nous avons essayé de trouver des méthodes réalistes pour pallier les insuffisances dans les densités de stations, plutôt que de simplement les identifier.

Quelques pays de la région ont des services hydrologiques qui sont encore à un stade de développement très peu avancé et la densité des stations de ces réseaux est très faible.

4.5 Analyse de la qualité des données

4.5.1 Introduction

Un moyen d'évaluer les performances et la qualité des systèmes de traitement de données utilisés est de procéder à un examen détaillée sur un échantillon de données traitées par ces systèmes. Etant donné le temps très limité qui était réservé pour ce type d'examen dans cette étude, nous avons sélectionné des données de base d'un nombre restreint de stations représentatives dans chaque pays, et ces données ont été analysées pour évaluer leur précision et leur fiabilité à plusieurs niveaux.

Un examen rigoureux de la qualité des données demande beaucoup de temps et, pour cette raison, cette opération n'a pu être réalisée que sur des échantillons de taille réduite, particulièrement dans les pays où les données n'étaient pas disponibles sur un support informatique. Des appréciations complémentaires sur la qualité de données ont été obtenues sous la forme de commentaires exprimés dans des rapports de consultants et dans des projets de plans directeurs, ainsi que par une évaluation des méthodes de contrôle de qualité et des caractéristiques des systèmes de traitement de données utilisés dans les agences de collecte. Finalement, bien que des moyens limités aient été prévus pour l'évaluation de la qualité de données, on peut raisonnablement penser que toutes les zones à problèmes ont été identifiées, et que les recommandations appropriées ont été émises pour résoudre ces problèmes.

4.5.2 Contrôles de qualité élémentaires

Le premier test était une vérification préalable pour contrôler la crédibilité de l'information.

Ce niveau de contrôle peut être utilisé pour vérifier que certains résultats sont conformes au bon sens. Par exemple, dans l'analyse du tracé des courbes d'étalonnage sur les cours d'eau intermittents, on s'est assuré qu'après une sédimentation active au niveau de la station hydrométrique, les écoulements en saison sèche redescendent toujours bien à zéro et qu'il n'y a pas une valeur de débit associée à une cote à l'échelle correspondant au nouveau fond du lit. On a également vérifié les forts débits en corrélant les hauts niveaux d'eau et les forts débits calculés pour s'assurer que les changements d'étalonnages en hautes eaux d'une saison à l'autre étaient crédibles.

Pour les données de pluviométrie, une attention particulière a été portée au nombre de jours de pluie enregistrés à chaque poste et à la "précision apparente" avec laquelle les hauteurs de pluie avaient été lues. Un des défauts bien connu des stations pluviométriques mal observées est la tendance à voir affecter une pluie nulle les jours où il y a effectivement eu une faible pluie (ce qui prouve que le pluviomètre n'était pas en fait relevé systématiquement). Un autre indice de piètre qualité est la fréquence élevée des arrondis au nombre entier de millimètres le plus proche ou même à des multiples de 5 ou de 10 mm dans les relevés de fortes pluies.

Les informations disponibles pour les eaux souterraines sont généralement constitutées par des comptes rendus de fin de travaux (réalisation de forages et de puits), par des résultats d'essais de pompage, et dans quelques cas par un suivi des niveaux piézométriques. En général, les données ne sont pas archivées dans un centre unique, mais conservées par plusieurs services, projets de réalisation de forages ou entreprises de forages, ayant chacun leur propre système d'archivage. Une évaluation standard précise de la qualité est donc particulièrement délicate à mettre en oeuvre. Cependant, des échantillons de données ont été vérifiés quand cela était possible, et des caractéristiques telles que la durée des essais de pompage ou la date des mesures piézométriques dans les puits ou forages ont été relevées. Les essais de pompage sont souvent de durée insuffisante pour être complètement exploitables. Les niveaux piézométriques dans les forages en exploitation reflètent probablement plus souvent un niveau temporaire affecté par un pompage récent que le niveau

Exemple d'inventaire de fichier avec le système HYDROM

INVENTAIRE DES COTES INSTANTANEES

Pays : BURKINA-FASO Edition du 30/05/1991 à 08H44

CAPTEUR	1950	1960	1970	1980	1990
1202700105-1					
1202700107-1					
1202700110-1					
1202700113-1					
1202700116-1					
1202700119-1					
1202700122-1					
1202700205-1					
1202700208-1					
1202700211-1					
1202700214-1					
1202700217-1					
1202700220-1					
CAPTEUR	1950	1960	1970	1980	1990

INVENTAIRE DES DEBITS INSTANTANES 24/05/1991 à 19H37

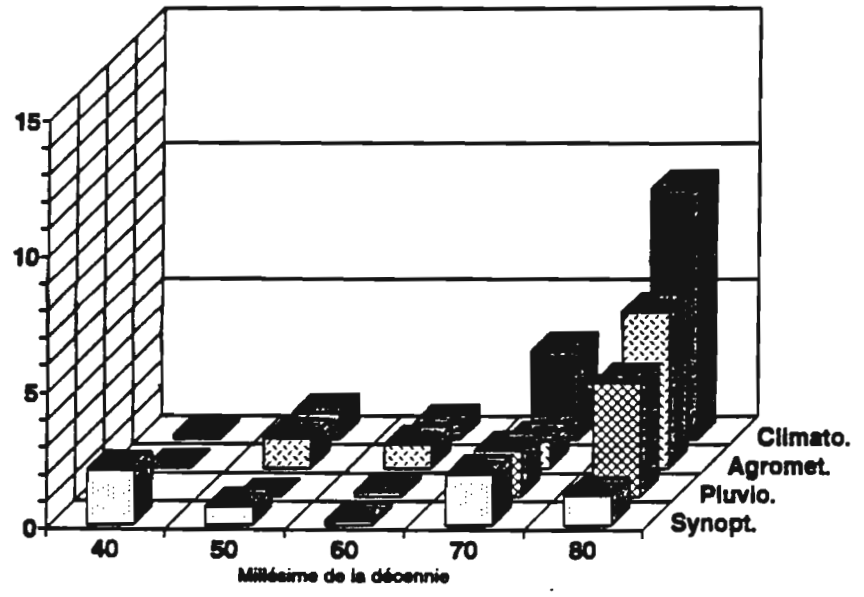
Station : 1202700229-1 NWOKUY Latit. 12.31.00
Rivière : VOLTA NOIRE Longit. -3.33.00
Pays : BURKINA-FASO Altit. 249M
Bassin : VOLTA Aire 14800.0 km2

Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1957	-	-	-	-	+(A)	+(A)	+(A)	+(A)	-	-	-	*(A)
1958	*(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	*(A)	*(A)	*(A)
1960	*(A)	-	-	-	-	*(A)	*(A)	*(A)	*(A)	*(A)	*(A)	*(A)
1961	*(A)	*(A)	*(A)	-	-	-	-	*(A)	+(A)	-	-	*(A)
1962	*(A)	-	-	-	-	-	-	*(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1963	*(A)	-	-	-	-	*(A)	*(A)	-	-	*(A)	*(A)	*(A)
1964	*(A)	*(A)	-	-	*(A)	*(A)	*(A)	*(A)	-	-	-	*(A)
1965	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1966	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	*(A)
1967	C(A)	C(A)	*(A)	*(A)	*(A)	-	*(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1968	C(A)	C(A)	C(A)	*(A)	-	*(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1969	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1970	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1971	C(A)	C(A)	C(A)	*(A)	*(A)	-	*(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1972	C(A)	C(A)	*(A)	*(A)	*(A)	C(A)	*(A)	C(A)	*(A)	*(A)	C(A)	C(A)
1973	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	*(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	+(A)
1974	*(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	*(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1975	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1976	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
1977	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)	C(A)
Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE

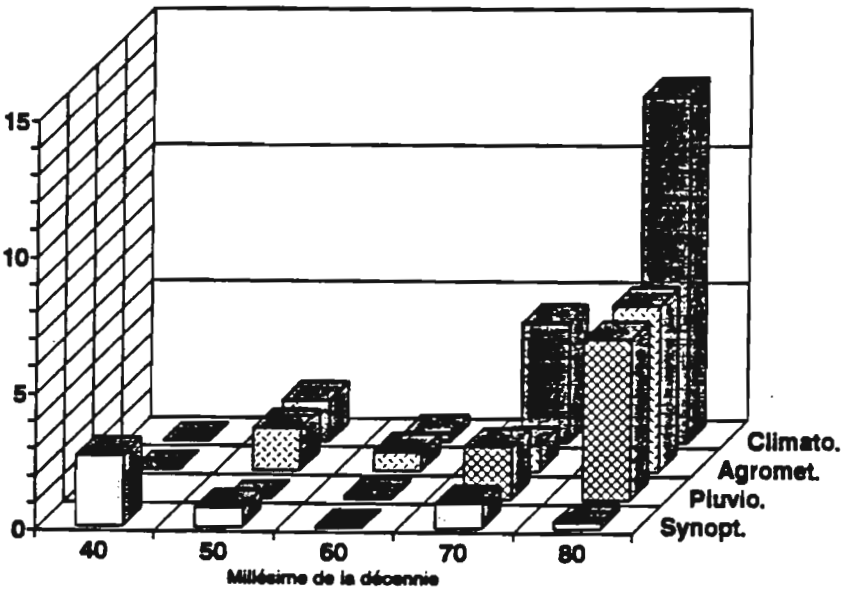
C : mois complet * : mois incomplet - : mois manquant
+ : cote hors barème (?) : valeur maximum du code origine dans le mois

Lacunes temporelles dans les séries pluviométriques

Lacunes en saison des pluies
(en % du temps de saison des pluies)



Lacunes en saison sèche
(en % du temps de saison sèche)



Décennie	40	50	60	70	80	Saison
St. Climatologiques	0,0	1,5	0,3	4,4	12,7	S. Séche
	0,2	1,0	0,6	3,2	9,2	S. Pluies
St. Agrométéorologiques	0,0	1,5	0,7	0,9	6,1	S. Séche
	0,0	1,1	0,9	1,0	5,7	S. Pluies
St. Synoptiques	2,6	0,7	0,0	0,9	0,2	S. Séche
	2,0	0,6	0,2	1,9	1,1	S. Pluies
St. Pluviométriques		0,0	0,1	2,0	5,9	S. Séche
		0,0	0,2	1,7	4,2	S. Pluies

statique de la nappe. A de tels sites, des mesures effectuées à l'aube, avant l'heure de pointe des prélèvements matinaux, seraient bien plus fiables.

4.5.3 Contrôles de qualité approfondis

Des contrôles plus détaillés ont été appliqués sur des échantillons de taille limitée, comportant généralement les données des stations primaires, mais pouvant également inclure des données de stations tirées au hasard.

Pluviométrie

Une analyse plus fine, dite "analyse par la méthode du Vecteur Régional" a été faite sur un échantillon réduit, composé des données des stations principales et de celles de stations secondaires tirées au sort.

Dans cette méthode, on compare la série chronologique de chaque pluviomètre avec celle d'une station régionale fictive, appelée "Vecteur Régional". Cette analyse a l'avantage d'être automatisable et objective et permet de choisir des seuils d'alerte pour détecter et accepter l'existence d'une anomalie affectant une année isolée ou une série d'années consécutives. On a considéré qu'une valeur annuelle isolée qui différait de plus de 25% par rapport au vecteur était anormale et qu'une série de 2 ou plusieurs valeurs consécutives, déviées de plus de 15% par rapport au vecteur constituait une anomalie systématique.

Débits

La précision de la traduction des hauteurs en débits dépend de plusieurs facteurs:

- la stabilité du contrôle hydraulique à la station ;
- la gamme des débits jaugés ;
- la fréquence des jaugeages par rapport à la stabilité du contrôle ;
- la qualité du tracé de la courbe d'étalonnage.

Pour chaque pays, sur un échantillon de 5 à 10 stations, on a comparé les débits jaugés (supposés exacts) et les débits calculés à partir des hauteurs et de la courbe d'étalonnage. Le graphique débits jaugés/débits calculés met en évidence la qualité de l'étalonnage (figure 4.5, haut) et l'erreur relative par rapport au débit jaugé permet d'apprécier la précision du tracé dans les différentes gammes de débits (figure 4.5, bas).

Les problèmes les plus courants concernent les stations où l'étalonnage n'est pas stable et sur lesquelles les services hydrologiques n'ont pas été en mesure d'effectuer des jaugeages en nombre suffisant pour tenir à jour le tarage de la station. La difficulté à réaliser les jaugeages en hautes eaux dans beaucoup de rivières de la région a eu pour conséquence l'utilisation de courbes d'étalonnage largement extrapolées en dehors de la gamme des débits mesurés.

4.6 Formulation des recommandations pour le développement

Un objectif majeur du projet a été d'identifier les moyens pratiques pour améliorer le travail des agences de collecte de données hydrologiques. Ceci ne pouvait être réalisé qu'en identifiant :

- les manques dans les données actuellement collectées ;
- les blocages qui affectent les systèmes de collecte et de traitement des données ;
- une projection réaliste de la demande de données hydrologiques ;
- les domaines à développer de manière prioritaire dans les agences de collecte de données ;
- un ordre de grandeur vraisemblable pour les financements internes et externes.

Une évaluation préliminaire de ces difficultés a été faite pour tous les services de collecte de données de la région et, dans la plupart des cas, les orientations possibles pour un développement ultérieur ont été discutées avec les directeurs (ou les responsables exécutifs) de ces agences.

Ce travail a été ensuite revu en détail par l'équipe d'experts et discuté avec les responsables concernés chaque fois que cette démarche était appropriée. Cette démarche devait permettre de concevoir des projets de développement réalistes et de proposer des mesures capables d'améliorer les conditions de travail des agences de collecte de données, en ayant mis l'accent sur le montage de programmes qui ont de bonnes chances de se réaliser effectivement. Lorsqu'un apport financier extérieur était nécessaire, nous avons identifié des projets comportant les composantes requises et qui sont formulés dans un format compatible avec celui des agences donatrices internationales de manière à faciliter leur évaluation de toute demande d'aide qui leur serait faite. Il a également été procédé à l'identification des conditions requises pour qu'une coopération régionale puisse s'établir et constituer une opportunité pour l'amélioration des systèmes de collecte et de traitement des données, en mettant en oeuvre des moyens qui sont hors de portée de chacun des pays considérés individuellement. Des domaines particulièrement adaptés à ce type de coopération sont :

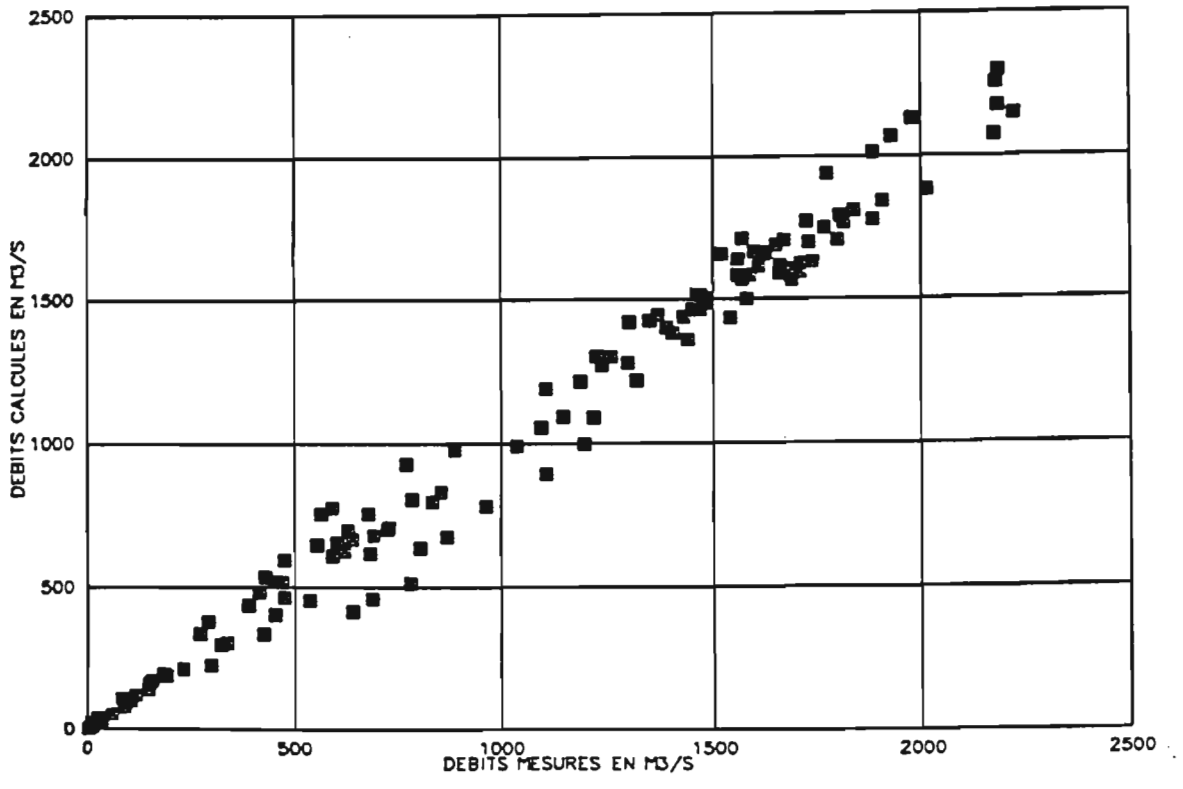
- l'introduction de systèmes de télémesure par satellite ;
- le développement des méthodes de traitement des données ;
- l'entretien des équipements et les ateliers de maintenance ;
- formation de personnel d'exécution et de techniciens.

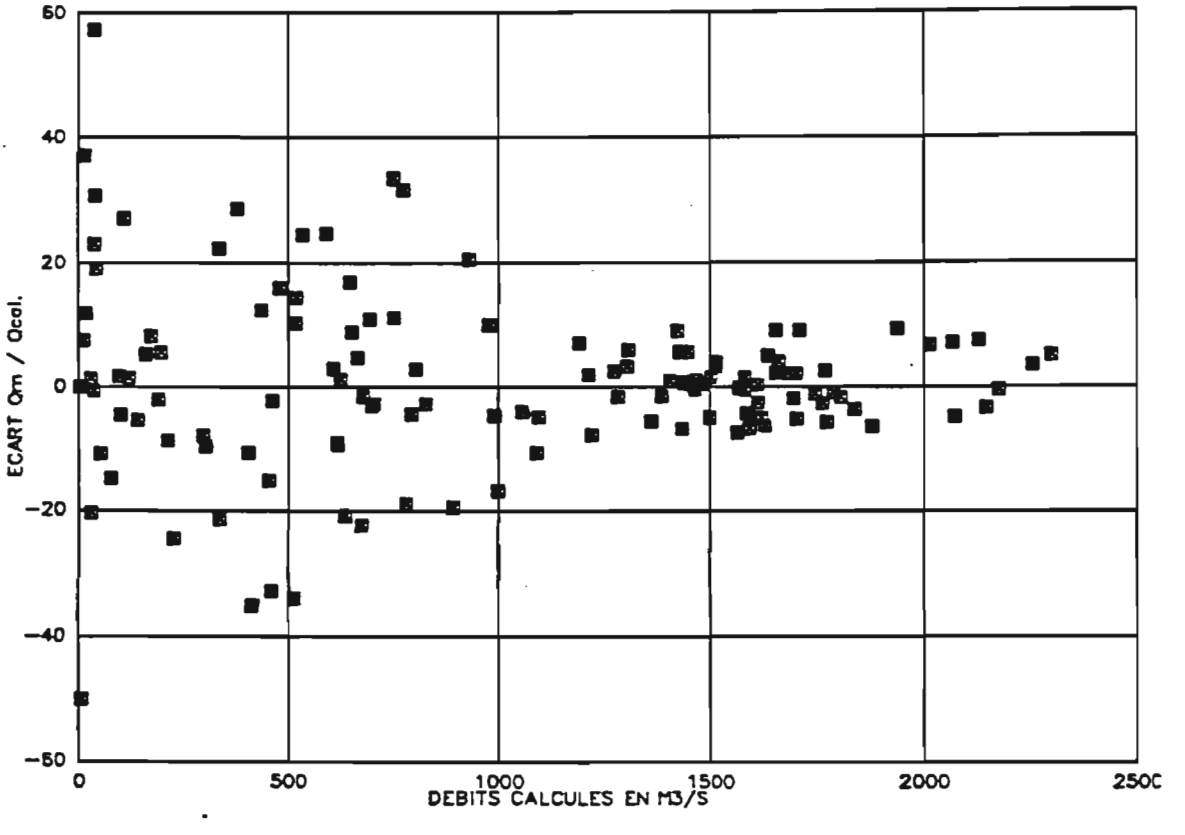
Les recommandations faites couvrent une gamme très large, qui va de la définition des grands projets de développement évoqués ci-dessus jusqu'à des propositions de modification de certains procédés de traitement des données pour améliorer leur qualité. On a constamment cherché à identifier des objectifs réalisables à court et à moyen terme, et à esquisser la stratégie d'un développement à long terme. La plupart des recommandations découlent de la situation telle qu'elle se présente à l'heure actuelle, et des orientations pressenties pour apporter les améliorations souhaitables.

Figure 4.5

Comparaison des débits jaugés et calculés

Le Niger à Dire





CHAPITRE 5

SITUATION DE LA COLLECTE DE DONNEES A L'ECHELLE REGIONALE

5.1 Difficultés rencontrées par les agences de collecte

5.1.1 Situation générale

Les résultats de cette évaluation sont présentés dans trois rubriques, faisant l'objet du présent chapitre et des chapitres suivants : la collecte des données, la gestion des données et les aspects institutionnels. Ces différents points sont interdépendants, à l'évidence pour des raisons budgétaires, mais aussi au vu de considérations techniques puisque, par exemple, le choix entre matériels mécaniques ou matériels électroniques a des conséquences directes aux niveaux du traitement des données et de la formation des personnels. Ces relations doivent constamment être prises en compte dans l'évaluation d'un aspect particulier de l'ensemble collecte-traitement-institutions.

Ce chapitre est consacré aux activités de terrain des services nationaux et de certaines institutions ou projets à compétences régionales. On y trouvera une présentation sommaire des résultats acquis dans la région et de domaines actuellement plus fragiles, qui doivent faire l'objet d'améliorations et qui sont susceptibles d'être traités dans le cadre d'une collaboration régionale.

5.1.2 Difficultés ordinaires des services de collecte de données

En Afrique de l'Ouest, la plupart des difficultés qui compromettent les performances des agences de collecte sont d'ordre institutionnel et administratif, plutôt que de nature strictement hydrologique. Les problèmes hydrologiques existent effectivement, mais de façon générale, ceux-ci apparaissent comme secondaires quand on les compare aux difficultés de structure et d'organisation. Les agences responsables de l'hydrométrie dans la région sont aujourd'hui à des stades de développement très variables selon les pays, et les types d'activités qui sont exécutées de façon routinière diffèrent sensiblement : dans certains pays, comme la Guinée Equatoriale, les activités hydrométriques sont encore balbutiantes et des agences hydrologiques bien identifiées restent à créer ; dans d'autres pays, on trouve des services avec une longue tradition, bénéficiant de l'assistance de programmes internationaux associés avec la lutte contre la sécheresse, et qui ont atteint un niveau de développement acceptable.

Le manque de ressources financières est une contrainte habituellement invoquée à propos des agences de collecte de données. En particulier, une réduction durable des financements s'est traduite par une diminution des personnels et une pénurie dans le domaine des équipements et des moyens de transport. Cette situation ne permet plus de faire fonctionner des réseaux conçus et implantés au

cours de périodes passées moins austères. A l'heure actuelle, les financements ont été réduits au point que la plupart des agences sont à peine capables de fonctionner, et très peu d'entre elles fonctionnent de manière satisfaisante.

Un problème largement répandu concerne l'achat et l'entretien des équipements et la maîtrise des compétences adéquates pour leur utilisation et leur répartition. Ces contraintes concernent les matériels informatiques et tous les composants de haute technologie, et dans une moindre mesure des équipements plus rustiques, pour lesquels l'expérience et les compétences locales sont généralement suffisantes pour maintenir des équipements en service.

La disponibilité des moyens de transport constitue une contrainte sévère pour les activités de terrain. Ces difficultés proviennent d'un nombre insuffisant de véhicules, du manque de crédits pour l'entretien et la réparation des véhicules et des bateaux utilisés pour faire les jaugeages.

Les ressources humaines sont rarement suffisantes - surtout en termes de qualification - pour que les agences de collecte puissent remplir correctement leur mission. En général, les services hydrologiques sont insuffisamment développés et les qualifications des personnels inadéquates en regard des objectifs. Dans la conjoncture économique actuelle le développement des structures administratives n'est pas de mise, et il est parfois difficile d'empêcher les personnels les plus qualifiés de migrer vers le secteur privé, où les conditions de travail et de salaire sont bien meilleures. La formation permanente des personnels techniques est essentielle, mais on doit noter qu'elle s'accompagne généralement d'une pénurie de personnel dans les services hydrologiques pendant les périodes de formation.

Dans certains pays, le recrutement d'observateurs de stations hydrométriques suffisamment consciencieux et le maintien d'un corps de techniciens motivés pour les tournées sur les stations sont encore des objectifs largement inachevés. L'augmentation des indemnités d'observations, l'amélioration des matériels de transport, le réajustement des indemnités de tournées et des salaires constituent des mesures déterminantes pour réduire tous ces problèmes, mais celles-ci ne sont pas toujours suffisantes.

Les projets régionaux, tels AGRHYMET (cf. 3.3.1), OCP (cf.3.3.6) ont créé momentanément des conditions très favorables dans beaucoup de pays, en assumant une part importante des activités hydrométriques sur financements internationaux. Si ce type de support venait à disparaître, la totalité des suivis hydrométriques viendrait à cesser rapidement dans certains pays, tels que le Sierra Léone et beaucoup d'autres.

5.2 Climatologie

5.2.1 Réseaux climatologiques

Les tableaux 5.1 et 5.2 présentent pays par pays les densités des stations météorologiques et des postes pluviométriques comparées aux normes tirées des recommandations UNESCO/OMM. Les chiffres représentent soit le nombre de stations existantes selon les inventaires des services nationaux ou bien le nombre de stations opérationnelles dénombrées à l'occasion de la présente évaluation. Ce résultat est à l'image de la disponibilité des informations au moment des visites sur le terrain. Ces tableaux doivent être considérés en même temps que ceux donnant le nombre total de stations (tableau 4.2). La mise en oeuvre exhaustive de la méthode UNESCO/OMM implique de subdiviser le pays en unités géographiques et de faire des comptages séparés pour chaque unité et chaque type de station en individualisant les personnels d'encadrement pour chacun des groupes. La totalité de ces informations n'étant pas toujours disponible pour tous les pays, la dernière colonne des tableaux reprend la densité globale du type de station considéré dans chaque pays.

Le tableau 5.1 montre qu'il existe une forte variabilité des réseaux pluviométriques dans la région, en taille comme en densité, mais il existe une variabilité additionnelle qui n'apparaît pas toujours sur les tableaux, à l'intérieur même de pays comme la Mauritanie ou le Mali dont une grande partie du territoire national est composée par des déserts. D'autre part, l'exemple de Sao Tomé et Principe illustre la difficulté d'application de cette méthodologie à un très petit pays qui présente des caractéristiques climatiques très diversifiées par suite des conditions topographiques : les densités à Sao Tomé dépassent largement les minimums recommandés, et cela bien qu'une réduction impressionnante du nombre de postes pluviométriques ait été enregistrée depuis 1977.

Une conclusion générale qui se dégage de ces tableaux est que les densités de pluviomètres sont généralement inférieures aux minimums recommandés, plus particulièrement dans les pays humides comportant de grandes zones non-sédimentaires bien que certains pays comme le Nigéria possèdent un très grand nombre de pluviomètres. Il apparaît que la densité minimum recommandée, de 40 pluviomètres pour 10 000 km^2 dans les régions humides non-sédimentaires, correspond à un niveau d'activité très élevé, irréaliste pour les services de collecte de la région.

Le nombre des stations pluviométriques en exploitation a sérieusement diminué au cours de la dernière décennie par suite des restrictions budgétaires, mais il y a plusieurs exemples de projets en cours ou en démarrage visant à la réhabilitation des réseaux. Toutefois, la reprise de l'ensemble des stations fermées du réseau n'étant pas une utilisation très judicieuse de ressources budgétaires limitées, il est éminemment souhaitable que les projets de réhabilitation procèdent à une évaluation de l'ensemble du réseau, en termes de besoins en données et de moyens financiers disponibles.

TABLEAU 5.1

Densités des stations pluviomètriques (sans enregistrement), selon normes UNESCO/OMM, 1988

Pays	Aride Sédimentaire	Aride Non-sédimentaire	Humide Sédimentaire	Humide Non-sédimentaire	Moyenne nationale
Normes OMM	**6,0**	**6,0**	**20,0**	**40,0**	
Mauritanie			-	-	
Mali			-	-	
Niger			-	-	
Tchad			-	-	
Sénégal					
Gambie	29,2	-	-		
Guinée Bissau					
Guinée					
Sierra Leone	-	-		2,0	
Libéria					
Côte d'Ivoire					
Burkina Faso			-	-	
Ghana	5,8	11,4	31,5	12,1	
Togo			-	-	
Bénin			-	-	
Nigéria	1,7	4,1	8,3	1,7	
Cameroun					
R. Centrafricaine					
Guinée Equatoriale	-	-			
Gabon	-	-			
Congo	-	-			
Cap Vert			-	-	
São Tomé & Principe	-	593	-	211	

Notes : Nombre de stations par 10^4 km^2

Les chiffres sont ceux indiqués dans les inventaires

TABLEAU 5.2

Densités des stations météorologiques, selon normes UNESCO/OMM, 1988

Pays	Aride Sédimentaire	Aride Non-sédimentaire	Humide Sédimentaire	Humide Non-sédimentaire	Moyenne nationale
Normes OMM	**3,0**	**3,0**	**3,0**	**2,0**	
Mauritanie			-	-	0,2
Mali			-	-	1,8
Niger			-	-	0,1
Tchad			-	-	0,4
Sénégal					9,1
Gambie	9,7	-	-	-	9,7
Guinée Bissau					2,8
Guinée					6,0
Sierra Leone	-	-	-	1,7	1,7
Libéria					
Côte d'Ivoire					13,3
Burkina Faso			-	-	10,0
Ghana	1,9	8,7	0,0	2,2	4,2
Togo					29,0
Bénin					1,5
Nigéria	4,0	12,0	33,0	5,0	10,0
Cameroun					8,8
R. Centrafricaine					0,3
Guinée Equatoriale	-	-			0,7
Gabon	-	-			0,0
Congo	-	-			0,3
Cap Vert			-	-	7,4
São Tomé & Principe	-	791	-	0,0	198

Notes : Nombre de stations par 10^5 km^2

Les chiffres sont ceux indiqués dans les inventaires

Lorsqu'il y a manifestement matière à rationaliser le réseau, des indications ont été fournies dans le rapport de pays. Le principe serait d'une part de fermer des stations superflues dans les zones à forte densité ainsi que les stations considérées comme impropres par suite des mauvaises caractéristiques du site ou d'une médiocre qualité des séries existantes et d'autre part de concentrer tous les efforts pour assurer le fonctionnement sans failles d'un réseau réduit.

Le tableau 5.2 donne la situation pour les stations météorologiques (sites sur lesquels l'évaporation est mesurée ou peut être calculée à partir des mesures). Les réseaux météorologiques nationaux sont en général beaucoup moins développés que les réseaux pluviométriques et ont été moins touchés par la récession budgétaire. Les réseaux météorologiques ont toujours fait l'objet d'une priorité plus élevée et ont bénéficié du soutien d'organisations régionales comme AGRHYMET et l'ASECNA. Les données des stations météorologiques sont plus fiables et ces stations sont en général exploitées par du personnel qualifié. Les pays arrivent plus facilement à satisfaire les seuils recommandés pour ce type de station et de fait, dans un certain nombre de pays, la densité effective peut dépasser le niveau recommandé selon un facteur 3 ou plus.

5.2.2 Equipements utilisés pour la collecte

La mesure des précipitations nécessite, dans pratiquement tous les cas, l'intervention d'un observateur qui lit des hauteurs d'eau dans des éprouvettes. Des problèmes relatifs à la collecte de données des postes pluviométriques ont été signalés dans la plupart des pays de la région.

Ces difficultés apparaissent fortement dépendantes de contraintes institutionnelles et financières au siège des agences nationales et dans leurs antennes provinciales. Suite à la réduction des sorties sur le terrain imputable au manque de financements et/ou de véhicules, les observateurs n'ont plus de relations suivies avec le service et ne reçoivent plus de consignes de la part des responsables. Plus grave encore, on peut trouver des institutions dans lesquelles les observateurs n'ont pas été payés depuis longtemps, ou bien ceux-ci sont obligés de se rendre dans un lieu fort éloigné de leur domicile pour percevoir leurs indemnités. Dans ces conditions, il n'est pas surprenant qu'une forte proportion de ces données du réseau pluviométrique soit de médiocre qualité.

Dans le cas des stations météorologiques synoptiques et certaines stations agro-météorologiques, les observateurs communiquent régulièrement les résultats (plusieurs fois par jour) par téléphone ou liaison hertzienne au siège national de la météorologie. Mais ceci ne concerne qu'un très petit nombre de sites dans la région. On doit noter toutefois que les stations automatiques du projet HYDRONIGER comportent des capteurs de pluie dont les données sont retransmises en temps réel aux centres nationaux au moment du passage du satellite du système ARGOS. Les performances opérationnelles de ce système de télémesures et, en particulier, sa capacité à remplacer au niveau régional les systèmes de collecte actuellement utilisés sont discutées et décrites en détail à l'annexe C.

5.2.3 Qualité des données

Les moyens qui permettraient aux services météorologiques de faire des visites régulières aux stations pluviométriques sont insuffisants et ce point est très préoccupant. De telles inspections devraient avoir lieu au mois une fois par an : elles matérialisent une relation indispensable avec les observateurs et sont une garantie contre les modifications intempestives des caractéristiques du site (exposition, etc.). Les informations recueillies au cours de ces visites sont souvent très utiles pour expliquer des anomalies dans les données et les corriger.

Les stations du réseau synoptique sont généralement suivies par des personnels employés à plein temps qui ont été formés aux procédures reconnues au plan international et conformes au standard de l'OMM. Ces stations sont prioritaires pour l'entretien et le renouvellement des équipements. Les standards de qualité élevée doivent également beaucoup à l'action de l'ASECNA qui assure la sécurité de la navigation aérienne. La qualité des données en provenance de ces stations est généralement satisfaisante.

5.3 Hydrométrie

5.3.1 Réseaux

Les tableaux 5.3 à 5.5 présentent pays par pays les densités des stations hydrométriques ainsi que les normes tirées des recommandations UNESCO/OMM. Ces tableaux doivent être considérés en même temps que ceux donnant le nombre total de stations dans le pays (tableau 4.3).

De façon générale, les réseaux hydrométriques opérationnels nationaux voient leur taille se réduire et les densités satisfont rarement aux normes. Les institutions responsables ont pourtant bien du mal à gérer ces réseaux réduits, et dans la plupart des pays la situation est critique et proche d'une cessation complète des activités. La situation spécifique à chaque pays est décrite dans le rapport national correspondant. Les problèmes les plus fréquents pour la gestion des réseaux sont dus à des manques ou à des insuffisances dans les domaines suivants :

- financements ;
- moyens de transport ;
- personnel qualifié ;
- équipements.

Comme on peut le constater dans les tableaux, très peu de pays ont des réseaux conformes aux recommandations. La pertinence des normes est discutable pour un certain nombre de pays de la région. Par exemple, pour la Guinée Equatoriale qui n'a pas une seule station hydrologique à l'heure actuelle, la norme prévoit un minimum de 52 stations de jaugeages. Il serait évidemment irréaliste de fixer un tel objectif à un service hydrologique naissant, bien qu'à long terme cette densité puisse être intéressante. Il y a des stations en Sierra Léone mais elles sont entièrement gérées et financées

TABLEAU 5.3

Densités des stations hydrométriques (sans enregistrement), selon normes UNESCO/OMM, 1988

Pays	Aride Sédimentaire	Aride Non-sédimentaire	Humide Sédimentaire	Humide Non-sédimentaire	Moyenne nationale
Normes OMM	**1,2**	**2,4**	**12,0**	**24,0**	
Mauritanie			-	-	0,1
Mali			-	-	1,4
Niger			-	-	0,4
Tchad			-	-	0,8
Sénégal					1,7
Gambie	5,3	-	-	-	5,1
Guinée Bissau					1,9
Guinée					1,2
Sierra Leone	-	-	-	3,4	3,4
Libéria					
Côte d'Ivoire					4,9
Burkina Faso			-	-	1,3
Ghana	2,3	1,9	13,1	5,7	1,9
Togo					4,9
Bénin	4,8	1,9	-	-	2,9
Nigéria					> 1
Cameroun	0,0	6,2	-	1,7	0,9
R. Centrafricaine					0,9
Guinée Equatoriale	-	-			0,9
Gabon	-	-	0,36	-	0,4
Congo	-	-			1,9
Cap Vert			-	-	0
São Tomé & Principe	-				19

Notes : Nombre de stations par 10^4 km^2

Les chiffres sont ceux indiqués dans les inventaires

TABLEAU 5.4

Densités des stations hydrométriques (avec enregistrement), selon normes UNESCO/OMM, 1988

Pays	Aride Sédimentaire	Aride Non-sédimentaire	Humide Sédimentaire	Humide Non-sédimentaire	Moyenne nationale
Normes OMM	0,6	1,0	1,0	1,0	
Mauritanie			-	-	0,45
Mali			-	-	0,4
Niger			-	-	0,07
Tchad			-	-	0,16
Sénégal					2,4
Gambie	11,5	-	-	-	11,5
Guinée Bissau					0,0
Guinée					1,6
Sierra Leone	-	-	-	0,0	0,0
Liberia					
Côte d'Ivoire					1,5
Burkina Faso			-	-	2,2
Ghana	0,6	1,5	0,0	3,7	1,5
Togo					3,7
Benin	4,8	1,9	-	-	2,75
Nigeria					?
Cameroun	0,9	0,8	-	0,4	0,4
R. Centrafricaine					0,19
Guinée Equatoriale	-	-			0,0
Gabon	-	-	0,0	-	0,0
Congo	-	-			0,35
Cap Vert			-	-	20
Sao Tomé & Principe	-		-		89

Notes : Nombre de stations par 10^4 km^2

Les chiffres sont ceux indiqués dans les inventaires

TABLEAU 5.5

Densités des stations de mesure des débits, selon normes UNESCO/OMM, 1988

Pays	Aride Sédimentaire	Aride Non-sédimentaire	Humide Sédimentaire	Humide Non-sédimentaire	Moyenne nationale
Normes OMM	**1,0**	**2,0**	**10,0**	**20,0**	
Mauritanie			-	-	0,45
Mali			-	-	0,76
Niger			-	-	0,2
Tchad			-	-	0,6
Sénégal					1,9
Gambie	2,7	-	-	-	2,7
Guinée Bissau					1,4
Guinée					2,7
Sierra Leone	-	-	-	3,4	3,4
Libéria					
Côte d'Ivoire					0,9
Burkina Faso			-	-	2,2
Ghana	0,8	2,3	0,0	5,7	2,6
Togo					7,6
Bénin	2,2	2,0	-	-	2,0
Nigéria					9
Cameroun	0,9	0,9	-	1,3	
R. Centrafricaine					0,2
Guinée Equatoriale	-	-			0,0
Gabon	-	-	0,3	-	0,3
Congo	-	-			1,5
Cap Vert			-	-	15
São Tomé & Principe	-		-		99

Notes : Nombre de stations par 10^4 km^2

Les chiffres sont ceux indiqués dans les inventaires

par le Projet OCP (cf. 3.3.3) et les données collectées ne sont pas disponibles dans le pays. La diminution du nombre de stations ces dernières années est attestée par les faibles densités comparées aux normes, les seuils minimaux n'étant atteints que dans un ou deux pays.

L'évaluation et la modification de la structure des réseaux hydrométriques est un processus qui préoccupe tous les services nationaux de la région, mais récemment deux éléments nouveaux, les restrictions budgétaires et l'avènement de technologies plus modernes pour la collecte de données, ont rendu cette démarche nécessaire et urgente.

Dans la plupart des agences de collecte, les restrictions budgétaires ont entraîné une impressionnante réduction des réseaux opérationnels, mais dans la plupart des pays, il n'y a pas eu de réduction programmée des activités, certaines stations ayant simplement cessé d'être opérationnelles parce qu'elles n'étaient plus visitées lors des tournées sur le terrain ou parce que les équipements de mesure se sont détériorés et n'ont pas été remis en état de marche par manque de crédits. Ce refus de prendre des mesures effectives pour affecter les maigres ressources disponibles sur un réseau réduit à ses stations principales, mais qui continuerait de fournir des données de qualité, a eu pour conséquence une dégradation générale de la qualité des données, particulièrement pour les sites où les campagnes périodiques de jaugeages ne sont plus assurées.

Il faut que les services de collecte de données de la région considèrent leur mission à long terme et donnent à leurs activités des priorités qui permettent d'identifier les domaines dans lesquels celles-ci pourraient être réduites ou temporairement suspendues si la rigueur budgétaire l'exige, ce que traduit la différenciation en activités "primaires" et "secondaires". A partir du moment où le réseau de stations limnimétriques primaires et toutes les interventions de terrain requises pour gérer ce réseau sont bien définies (campagnes de jaugeages, tournées d'entretien, renouvellement des équipements, etc), le service sera en mesure de déterminer la nature et l'ampleur possible de ses programmes secondaires. Le réseau primaire ainsi défini représente le meilleur compromis entre l'obligation de rester dans les limites budgétaires et celle de fournir des informations de qualité qui soient de la nature la plus probable à satisfaire les besoins du développement des ressources en eau dans le futur. Dans le temps qui était imparti à la présente évaluation, il n'y avait pas place pour faire des recommandations détaillées et propres à chaque pays à propos de la restructuration des réseaux, mais chaque rapport national comporte des recommandations pour agir sur ce point, généralement dans le cadre de projets d'assistance externe.

Hormis les réseaux nationaux, il existe plusieurs grands réseaux à la dimension régionale. Il y a plus de 10 ans, le Projet HYDRONIGER a été pionnier en Afrique de l'Ouest en utilisant la collecte de données par stations automatiques et la télétransmission par satellite pour un suivi hydrologique dans 8 pays. Ce système comporte un centre de réception principal à Niamey et des centres de réception secondaires dans chaque pays membre du projet. Le programme OCP dispose d'un réseau de près de 100 stations télémétriques qui transmettent leurs données via le système ARGOS aux deux centres récepteurs d'Odienné (Côte d'Ivoire) et de Lama-Kara (Togo). Sous les auspices de l'OMVS un petit réseau télémétrique utilisant les technologies les plus récentes a été installé en 1988 pour suivre la

gestion du barrage de Manantali qui permet de générer une crue artificielle dans la basse vallée du fleuve Sénégal.

Ces projets constituent une illustration convaincante des possibilités de la télémesure. Certains éléments de ces projets, concernant le montage institutionnel, la logistique et la gestion du personnel peuvent servir de modèle ou de contre-exemple aux services hydrologiques dans la conception de projets futurs. Ces aspects seront abordés plus en détail dans le chapitre 7.

5.3.2 Equipements utilisés pour la collecte

Les stations hydrologiques automatiques sont encore très largement constituées par des limnimètres à enregistrement graphique. Les capteurs de niveau sont généralement à flotteur et l'inscription graphique se fait sur un tambour entraîné par un mouvement d'horlogerie ou sur des bandes déroulantes, ce qui assure une plus grande autonomie mais augmente les risques de panne. Mais des changements profonds ont récemment affecté les méthodes utilisées pour la collecte de données, ce qui aura des conséquences au niveau de la structure des réseaux. Une description succincte des nouvelles technologies et de leurs implications au niveau des réseaux dans la région est présentée ci-après et une description plus détaillée fait l'objet de l'annexe C, qui concerne plus précisément le domaine de la télémesure.

Les capteurs

Les capteurs hydrométriques sont l'élément le plus vulnérable d'une station automatique car ils sont généralement en contact direct avec la rivière, et sensibles à des aléas comme les fortes vitesses et le transport de sédiments ou de débris lors des fortes crues.

- Les capteurs à flotteurs, qui sont de loin les plus répandus sont simples et en général fiables et robustes. Dans certains sites, la construction de la gaine peut être difficile ou coûteuse mais beaucoup de sites sont déjà équipés. Les systèmes à flotteurs peuvent être facilement reliés avec un codeur numérique qui transforme l'information dans une forme acceptable par une station d'acquisition électronique.

- Les capteurs à débit de bulles sont assez faciles à installer dans la rivière, mais par contre la station d'acquisition est coûteuse et sa mise en oeuvre est complexe et lourde (en général alimentation avec des bouteilles d'air comprimé). Cette filière technologique est ancienne et avait été retenue pour le projet HYDRONIGER.

- Les capteurs piézo-résistifs. Il s'agit de capteurs "intelligents" qui transmettent les informations sous forme numérique (et non plus analogique) ce qui réduit considérablement les problèmes de "dérive électronique" et permet d'interchanger les capteurs avec les stations d'acquisition sans faire d'étalonnage particulier.

Quel que soit le choix technologique, le capteur restera sans aucun doute l'élément le plus fragile d'une station hydrométrique automatique.

Les stations d'acquisition électroniques

Depuis l'apparition de stations automatiques électroniques, les données ne sont plus inscrites sur un support papier, mais sur des mémoires électroniques qui peuvent être lues directement par des ordinateurs. Cette filière élimine le problème du traitement des enregistrements graphiques qui est toujours une cause importante de retard dans la mise à disposition des résultats et souvent une source d'erreurs introduites au cours du dépouillement manuel des graphiques. Cette évolution technologique est inéluctable car la fabrication d'enregistreurs graphiques fonctionnant à base de mécanique et d'horlogerie sera de plus en plus coûteuse, alors que le prix des stations électroniques qui sont encore à des prix comparables ne pourra que diminuer très sensiblement. La fiabilité de ces stations électroniques (module d'acquisition et de mémorisation *stricto-sensu*) est meilleure que celle d'une station mécanique graphique et on peut envisager de se passer d'un observateur permanent pour de telles stations.

La télétransmission

C'est une technologie qui permet de transmettre les informations numériques mise en forme et éventuellement stockées dans les stations automatiques, vers des utilisateurs pouvant être fort éloignés des sites de mesure. La transmission par ondes hertziennes relayées par satellite est à couverture mondiale dans certaines configurations. Comme son nom l'indique, la spécificité de cette technologie est sa capacité à communiquer très rapidement des données collectées sur des sites dispersés vers un ou plusieurs sites de concentration des informations. Jusqu'à présent la transmission de données hydrologiques dans la région s'est faite sur des systèmes satellitaires dédiés au suivi de l'environnement : ARGOS embarqué sur les satellites à défilement de la NOAA (HYDRONIGER, OMS/OCP, OMVS, réseau Guinée, réseau Bénin) et METEOSAT du système mondial des satellites GOES (projet fleuve Congo-Oubangui, Réseau ENERCA Sanaga du Cameroun). Cette technologie est évidemment la mieux adaptée pour un contrôle et un accès rapide et général à toute l'information hydrologique qui est collectée au niveau régional. Une auto-surveillance effective des conditions de fonctionnement du réseau est ainsi assurée, qui permet d'envoyer une équipe de terrain pour pallier ces problèmes. En éliminant l'obligation des visites de terrain fréquentes pour changer les bandes et contrôler le fonctionnement des enregistreurs graphiques, la télémesure permet d'alléger certaines contraintes logistiques qui déterminent directement la structure et l'extension géographique des réseaux. Les coûts de tels systèmes sont présentés en annexe C.

Implications pour la structure des réseaux

La plupart des services souhaitent avoir des stations automatiques dans le réseau qu'ils exploitent, mais, dans la plupart des cas, il serait difficilement justifiable d'avoir un réseau entièrement télétransmis. Sur les très grands fleuves où les variations de niveau sont très lentes et lorsque les stations sont proches des centres de traitement, l'enregistrement sur site sans télétransmission peut rester une option tout à fait acceptable. Le traitement des données mémorisées par ces stations automatiques à mémoire ne devrait pas poser de difficultés aux services hydrologiques, car, comme on le verra dans le chapitre 6, la plupart d'entre eux disposent déjà d'un équipement informatique. La conséquence directe la plus immédiate pour un service passant à la limnimétrie électronique est la possibilité de réduire le personnel (observateurs, personnel de dépouillement et de saisie) et surtout d'être à jour dans le traitement et la mise à disposition des données. Dans un premier temps, l'importance du support logistique ne serait que faiblement diminué.

La télétransmission peut être considérée comme un appoint à la collecte sur mémoires électroniques ou être mise en oeuvre dans un stade ultérieur. La télétransmission est bien évidemment nécessaire quand il faut disposer des données en temps réel ou dans des délais très rapides pour une utilisation opérationnelle comme la prévision des crues. Toutefois, comme cela vient d'être mentionné, des avantages très significatifs, comme le contrôle à distance du bon fonctionnement des stations, peuvent être retirés de cette technique même dans les cas où une collecte à périodicité mensuelle serait suffisante.

5.3.3 Techniques de mesures de débits

Les débits sont généralement mesurés par la méthode traditionnelle de jaugeage au moulinet. Sur la plupart des rivières les jaugeages sont faits depuis des ponts ou en bateau ; les téléphériques sont rares. Dans certains pays, l'influence de la marée se faisant sentir loin à l'intérieur des terres, sur plus de 500 km dans le cas de la Gambie, la mesure du débit propre est particulièrement délicate. En régions arides sahéliennes, les cours d'eau sont souvent intermittents, avec des temps de réponse très courts et des lits instables. La mesure des débits de crue est difficile dans tous les cas.

Ces mesures doivent être fréquentes, et cette option est bien la position officielle des services hydrologiques. Mais, avec la compression récente des financements et ses répercussions sur l'état des véhicules et le versement des indemnités de tournée, les sorties sont généralement plus espacées que ce qui serait souhaitable, particulièrement sur les sites les plus éloignés de la base des hydrométristes. Dans ces conditions, il y a une acceptation implicite de la stabilité des étalonnages qui n'est pas toujours fondée au vu du comportement antérieur de la station.

Nous n'avons trouvé nulle part de mise en application explicite d'une politique consistant à concentrer les jaugeages sur les sites où les activités seraient le plus nécessaires, c'est-à-dire identifier les stations stables dans le passé - et s'assurer qu'elles le soient restées -, de manière à pouvoir concentrer les moyens sur les stations instables.

L'entretien des sites de mesures et des équipements hydrométriques est un autre domaine dans lequel de sérieux problèmes ont été identifiés. Beaucoup d'organisations possèdent des limnigraphes et des moulinets exigeant une remise à neuf avant utilisation. Le ré-étalonnage périodique des moulinets n'est pas une préoccupation sérieusement prise en compte, mais il est de fait qu'il n'y a pas de possibilité d'étalonnage dans la région et les moulinets doivent être renvoyés chez le constructeur. Cet entretien doit être payé en devises fortes et l'équipement fait défaut au service national pendant de longues périodes. La généralisation des hélices en plastique moulé devrait améliorer sensiblement cette situation dans l'avenir. En admettant qu'ils puissent être réparés, des problèmes du même type ont été identifiés à propos des embarcations, des treuils et des téléphériques de jaugeage.

A l'heure actuelle, il n'y a pratiquement pas d'autre méthode qui soit utilisée pour la mesure des débits de crue. De même, l'estimation des débits de pointe à partir des laisses de crue n'est pas d'usage courant. Comme c'est souvent en très hautes eaux que les conditions de jaugeage au moulinet sont les plus difficiles, des solutions alternatives comme les jaugeages aux flotteurs ou des calculs hydrauliques sur laisses de crue peuvent apporter des informations complémentaires susceptibles d'améliorer la précision des étalonnages et des débits calculés à la station correspondante.

5.3.4 Qualité des données

Des banques de données fiables résultent d'un bon travail de collecte sur le terrain, associé à des traitements performants. L'évaluation de la qualité des données hydrologiques de base constitue un préalable à toute étude des ressources. Mais si, par exemple, il n'y a plus de jaugeages effectués depuis un certain temps sur un fleuve ou si le nombre en est insuffisant, il n'est plus possible d'estimer la précision des débits calculés sur ce fleuve pendant cette même période. Ce cas est celui du Nigéria pour l'année en cours ou encore du Niger et du Gabon avec un nombre de jaugeages réalisés en réduction importante ; mais ces exemples pourraient s'appliquer indifféremment à la plupart des pays de la région (voir les rapports de pays). Dans le contexte actuel, il est donc parfois impossible de procéder à une analyse sérieuse et objective de la qualité des données.

Des évaluations de la qualité des données fondées sur des critères subjectifs ont mis en évidence des résultats douteux, mais ce caractère est parfois tout aussi bien imputable à la phase de traitement qu'à celle de la collecte. De surcroît, des réserves doivent être émises sur la capacité des agences de collecte de maintenir ces actuels piètres niveaux de qualité, compte tenu de l'amenuisement constant de leurs moyens.

Le *traitement* des données à l'intérieur des agences de collecte est en phase de transition, car avec la baisse des coûts des systèmes informatiques, les matériels et les méthodes sont en évolution constante. Les changements sont progressifs en fonction de la disponibilité d'ordinateurs fournis par les programmes d'assistance et de coopération. Un traitement adéquat des données hydrologiques ne peut être réalisé sans la participation active et le contrôle permanent exercés par des hydrologues chevronnés et cette condition n'est pas toujours satisfaite dans les implantations existantes.

5.4 Eaux souterraines

5.4.1 Introduction

Alors que le suivi régulier d'un réseau de stations bien identifiées correspond à une norme reconnue en météorologie et en hydrologie, la situation est sensiblement différente dans le domaine des eaux souterraines. Si la nécessité d'une collecte des données pour évaluer la ressource en eaux souterraines et permettre une bonne gestion de cette ressource est un fait admis, ces activités n'ont généralement pas constitué une priorité dans les pays de la région. Des tentatives ont été faites pour regrouper les informations techniques et hydrogéologiques des forages, des puits et, dans certains cas, des sources, mais avec l'utilisation intensive des eaux souterraines qui se développe, un suivi régulier devient indispensable pour identifier les surexploitations et contrôler la qualité de l'eau.

5.4.2 Inventaire des sources, puits et forages

Dans la région, le creusement de puits et la réalisation de forages pour l'alimentation en eau ont été les activités dominantes dans le domaine des eaux souterraines. Ces travaux ont généralement été réalisés sur financements exogènes dans le cadre de projets de développement, et le nombre importants de donateurs qui sont intervenus dans un même pays constitue une caractéristique générale de ces activités. Ces projets ont permis de recueillir des données hydrogéologiques de grande valeur, mais la coordination de la collecte entre différents projets était généralement peu développée. Peu de pays ont des standards de collecte bien définis et ces travaux ont généralement été faits par les réalisateurs de projets eux-mêmes, selon des techniques et des méthodes qui différaient d'un projet à l'autre. En conséquence, il existe aujourd'hui dans beaucoup de pays des ensembles de données de taille respectable, qui ne sont pas directement comparables entre eux. Ces données de projet ne sont pas toujours récupérées par le service national et le stockage centralisé au niveau national de ces informations est à un stade encore embryonnaire. Les conditions de gestion de ces données sont présentées et discutées au chapitre 6.

5.4.3 Suivi régulier

Les eaux souterraines faisant partie intégrante de l'évaluation des ressources en eaux d'une région, diverses tentatives ont été faites pour définir les densités souhaitables des points de mesures et de suivi. Malheureusement, les eaux souterraines se prêtent mal à un tel exercice. Le phénomène est trop complexe et trop hétérogène pour être abordé d'une manière aussi simpliste et chaque situation constitue un cas d'espèce. Les normes UNESCO/OMM (1988) définissant les densités minimum requises pour le suivi des eaux souterraines font l'objet du tableau 4.1. Ces seuils visent à fournir des données pour l'évaluation sommaire des ressources plutôt que pour la gestion ou l'utilisation de cette ressource. Par exemple, les densités recommandées en zones arides sédimentaires sont de cinq stations pour 10^4 km^2 pour le suivi des niveaux et de cinq stations pour 10^5 km^2 pour le suivi de la qualité des eaux. Les normes prévoient également l'intervention d'équipes spécialisées pour la

collecte, un encadrement technique de haut niveau et l'existence de laboratoires et d'équipements de mesures.

Le suivi des ressources en eaux souterraines comporte des mesures régulières du niveau des nappes, de la qualité de l'eau et un suivi des prélèvements. Les caractéristiques d'un suivi de la qualité de l'eau sont discutées au paragraphe 5.6.

Le tableau 5.6 présente la situation effective des réseaux piézométriques de la région. Cette information représente soit le nombre total de stations existantes dans les inventaires des services nationaux, soit le nombre de points de mesures en activité tel qu'on a pu l'établir au cours de la présente étude. Ces chiffres représentent l'information la plus plausible qu'il ait été possible d'obtenir au moment de la visite dans le pays. En plus des réseaux nationaux, il existe un réseau régional implanté par l'OMVS en 1985 pour suivre les variations du niveau des nappes dans la vallée du fleuve Sénégal. Ce réseau régional comporte 1 150 points de mesures, dont 569 piézomètres spécialement dédiés à cette fin. Les informations sont centralisées à Saint-Louis du Sénégal.

Certains pays s'étaient dotés de réseaux bien développés dans le passé, mais ceux-ci peuvent ne plus être opérationnels actuellement. Ces réseaux, souvent implantés sur financements de projets, se sont révélés non durables lorsque le projet arrivait à son terme et que la gestion de ce réseau était confiée à un service national. La figure 5.1 est une illustration de ce type de fonctionnement intermittent du suivi des eaux souterraines dans un pays sahélien.

Par suite des coûts élevés, la réalisation de forages à des fins exclusives de suivi hydrogéologique est peu fréquente. Lorsque des piézomètres sont inclus dans un programme de suivi - et ils sont rares dans la région - ce sont soit des forages d'alimentation en eau en service, soit des forages réalisés à cette fin qui se sont avérés improductifs. Dans le premier cas, les niveaux mesurés qui sont influencés par les pompages, ne sont pas représentatifs du niveau phréatique général et, même si les mesures sont faites à l'aube, il n'est pas certain qu'un temps suffisant se soit écoulé depuis les derniers prélèvements pour obtenir un résultat significatif. L'intérêt de telles données se trouve diminué et des analyses complémentaires sont requises, ce qui alourdit et complique le processus de collecte des données de base. Dans le deuxième cas, un forage non utilisé parce que non productif est *a fortiori* non représentatif des conditions hydrogéologiques.

Comme cela a été discuté en 5.3.1 et compte tenu des conditions financières actuelles, il y a un besoin évident de concevoir des réseaux de suivi et de définir des procédures de collecte et de traitement de données qui satisfassent à long terme aux possibilités budgétaires ainsi qu'au nombre et à la capacité des personnels. Si dans beaucoup de services nationaux le suivi risque de bénéficier d'une moindre priorité que la réalisation de nouveaux forages, il n'en est pas moins nécessaire de préciser les conditions d'un suivi hydrogéologique. Par exemple les mesures pourraient être faites chaque jour, voire même de manière continue sur un nombre limité de sites primaires, choisis dans des zones particulièrement intéressantes et représentatives au plan hydrogéologique et une ou deux

TABLEAU 5.6

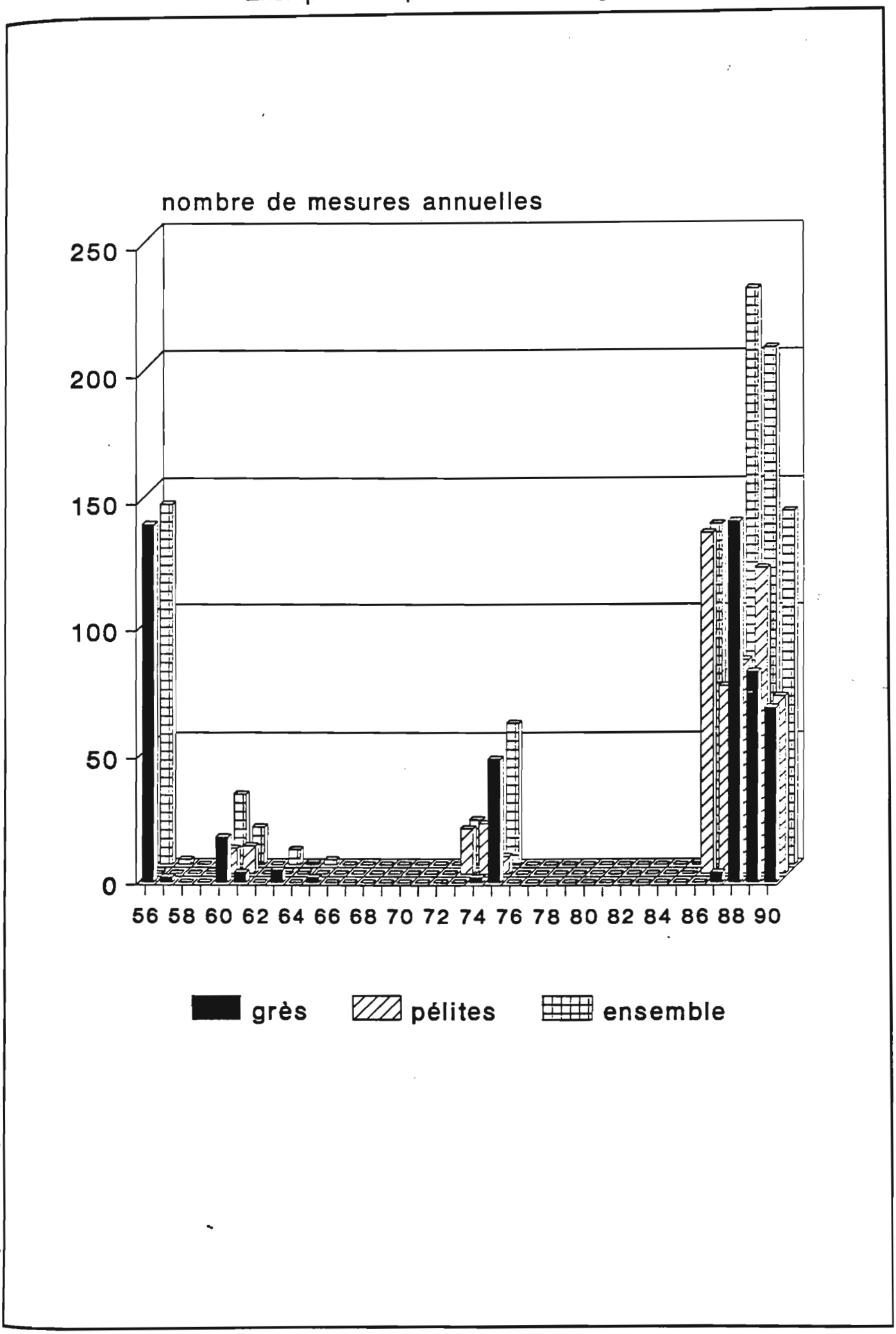
Situation du réseau piézométrique

Pays	Sites équipés	Commentaires
Mauritanie	0	Environ 400 ont existé, dont 275 installés par l'OMVS
Mali	2 107	Informations postérieures à 1990 non disponibles
Niger	0	400 prévus
Tchad	66	Mesures deux fois par an, tous utilisés pour l'alimentation en eau
Sénégal	> 471	Liés à des projets, difficultés à l'arrêt des financements
Gambie	155	16% observés mensuellement, le reste trimestriellement, tous utilisés pour l'alimentation en eau
Guinée-Bissau	0	Projets anciens
Sierra Leone	1	Réseau recommandé dans cette évaluation
Libéria	-	
Côte d'Ivoire	4	Uniquement dans le bassin sédimentaire côtier
Burkina Faso	422	143 dédiés au suivi hydrogéologique, dont 47% observés chaque semaine, 41% chaque jour et 2 enregistreurs
Ghana	12	Uniquement dans la plaine d'Accra, réseau national en projet
Guinée	27	Zone de Kamsar seulement
Togo	0	3 réseaux liés à des projets ont existé, maintenant arrêtés
Bénin	56	Liés à des projets, en plus 17 en cours de réalisation
Nigéria	?	Pas de surveillance systématique, nombreuses organisations sans coordination du recueil des données
Cameroun	0	Dans le nord, liés à des projets, aucun n'a duré plus de 5 ans
R. Centrafricaine	?	Utilisés pour l'exhaure, observés tous les 2-3 mois
Guinée Equatoriale	0	Pas de Service Hydrogéologique
Gabon	0	
Congo	65	2 zones, tous utilisés pour l'exhaure, le plus souvent journalier
Cap Vert	Beaucoup	Limités aux îles de Santiago, San Antao et Sao Nicolau
Sao Tomé & Principe	0	Pas de Service Hydrogéologique

Notes : Nombre de piézomètres opérationnels lors du passage du Consultant

Figure 5.1

Exemple de disponibilité des enregistrements piézométriques



fois par an sur un certain nombre de sites secondaires. La conception des réseaux devrait également prendre en compte les contraintes imposées par la collecte des données sur les sites d'alimentation en eau (traitements complémentaires requis, fiabilité réduite de ces données) et comparer ces inconvénients avec les coûts de réalisation de forages ou de puits exclusivement dédiés au suivi des eaux souterraines.

Ces zones hydrogéologiquement sensibles, à suivre de près, incluent les aquifères présentant un risque d'intrusion saline et ceux pour lesquels la demande est importante ou va probablement fortement augmenter. Les aquifères sollicités pour l'alimentation des villes côtières de Lomé et de Cotonou ou de la ville de Maiduguri dans le bassin du Lac Tchad au Nigéria sont des exemples de telles zones où l'accroissement rapide de la population a entraîné un rabattement très important du niveau de la nappe. Ailleurs, dans des conditions moins sévères, la densité des points de mesures pourrait être définie à partir des normes UNESCO/OMM, sur la base du type d'aquifère et de l'importance des prélèvements.

Dans la plupart des pays, les quantités d'eau prélevées dans les réserves souterraines ne sont connues que de manière très approximative. Le nombre total des points de prélèvement existants et celui des points effectivement en service à un moment donné sont des informations rarement disponibles. Le suivi des conditions de fonctionnement et d'entretien des pompes permettrait non seulement d'augmenter la fiabilité des informations concernant les prélèvements mais aussi d'améliorer très sensiblement les performances des différents projets d'alimentation en eau, tant en milieu rural que dans les villes, sous réserve d'un suivi par des équipes d'entretien, de la disponibilité de pièces de rechange et de l'existence d'ateliers de réparation.

Dans la plupart des pays, il est probablement peu réaliste d'espérer que des financements importants puissent être affectés à l'implantation de réseaux utilisant les technologies les plus modernes, sauf si des contraintes légales venaient à imposer aux utilisateurs d'assurer eux-mêmes un suivi minimum des quantités d'eau pompée. Cette option n'est plausible que pour les sites où l'utilisation de l'eau souterraine est payante.

5.5 Transports solides

Le suivi des transports solides dans les cours d'eau présente des difficultés techniques très importantes, surtout dans des régimes pluviométriques très contrastés, comme ceux de la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest.

Ces difficultés sont liées à :

- l'obligation de disposer de laboratoires pour traiter les échantillons d'eau ;

- la variabilité dans le temps de la charge solide, ce qui implique une période de prélèvement intensive au début de la saison des pluies, dans des sites souvent éloignés et difficiles d'accès ;

- la nécessité de mesurer le transport de fond, en plus des transports par suspension ;

- la complexité de l'interprétation qui est nécessaire pour aboutir à des résultats utilisables par les aménageurs, comme le taux moyen d'érosion sur un bassin ou le volume de la sédimentation annuelle dans un réservoir.

Les réseaux existants dans la région prennent faiblement en compte ce problème, en partie à cause des difficultés précédemment citées. En fait, très peu de pays essaient de maintenir un réseau permanent pour le suivi des transports solides et les données existantes ont été collectées à l'occasion d'études ponctuelles réalisées pour des objectifs spécifiques et localisés.

5.6 Qualité de l'eau

Les réseaux destinés au suivi de la qualité des eaux de surface sont peu développés dans la région. La plupart des pays ne sont pas en mesure d'assurer un suivi de la qualité de l'eau dans l'environnement pour limiter les prélèvements abusifs ou pour surveiller les sources potentielles de pollution et esquisser des programmes pour remédier à la situation. A ce jour, les sites où sont effectués des suivis réguliers de la qualité de l'eau correspondent à des installations d'alimentation en eau potable et ont pour objectif le contrôle de la qualité de l'eau fournie aux usagers.

Les difficultés à monter des laboratoires d'analyse de la qualité de l'eau et à assurer leur bon fonctionnement sont comparables à celles évoquées à propos des transports solides, avec des contraintes encore plus fortes quant à la qualité du service que doit fournir ce type de laboratoire.

Le suivi de la qualité de l'eau est une tâche qui est parfois mal perçue dans la région et ressentie comme un luxe que seuls les pays développés pourraient s'offrir. Mais il peut aussi exister des pressions économiques ou commerciales pour éviter que des industries polluantes ne fassent l'objet d'un suivi sérieux.

La nécessité d'un réseau pour la connaissance et la surveillance de l'évolution générale de l'environnement n'est pas une idée totalement acceptée, bien que l'intérêt de ce type de données collectées en quelques points-clés de chaque pays puisse facilement se justifier. Hormis ce réseau réduit, il faut maintenir des stations d'intérêts ponctuels, par exemple pour surveiller la qualité des eaux prélevées et définir les traitements pour rendre l'eau potable (on a trouvé des pollutions organiques élevées, dépassant les normes OMS, dans l'eau distribuée dans de petites bourgades) ou pour surveiller les sources de pollution effectives ou potentielles.

5.7 Domaines pour une coopération régionale

5.7.1 Climat

Les masses d'air ne s'arrêtent pas aux limites frontalières des pays et l'existence de l'OMM est une illustration du caractère international de l'eau et du climat. Des collaborations étroites dans les domaines climatologiques et hydrologiques ont été développées depuis très longtemps dans la région. L'impulsion est venue de la sécheresse dramatique au Sahel, qui a amené les services nationaux et les agences internationales à un effort concerté pour collecter des données permettant de planifier la distribution de l'aide alimentaire et la mise en oeuvre d'autres formes d'assistance. Le Projet AGRHYMET est l'exemple d'une collaboration active entre un grand nombre de pays et a contribué au projet GIWES de la FAO. On doit aussi mentionner l'action de l'ASECNA en météorologie aéronautique et celle du CIEH.

La formation est à l'évidence un domaine privilégié pour la collaboration régionale entre services nationaux. Le centre AGRHYMET de Niamey, l'ASECNA à Dakar et le CIEH à Ouagadougou illustrent cette proposition. Mais il y a aussi dans la région des exemples de centres nationaux réputés qui offrent des possibilités de formation aux ressortissants des pays voisins, comme la Meteorological Training School à Lagos.

L'OMM favorise l'émergence de centres régionaux, comme ceux de Niamey ou de Nairobi ou l'ACMAD (African Centre for Meteorological Applications and Development) qui devrait être basé à Niamey. De telles structures régionales ont le double avantage d'être un point de convergence et d'attraction pour des moyens supplémentaires et d'être un carrefour d'idées. Comme dans toute collaboration à l'échelle de la région, des mesures appropriées devront être prises pour que tous les groupes linguistiques puissent être impliqués.

5.7.2 Hydrologie de surface

Comme cela a été décrit au chapitre 3, il existe un grand nombre de collaborations régionales pour la collecte de données, le plus souvent à l'échelle d'un grand bassin de rivière ou de lac. Tous ces projets collectent des données pour des objectifs immédiats et à caractère opérationnel : gestion de réservoir pour l'OMS, prévision de crue pour HYDRONIGER, épandage d'insecticide pour OCP, etc. Tous ces projets ont en commun l'utilisation de la télémétrie et les équipements de collecte sont standardisés à l'intérieur de chaque projet.

Il y a plus de 10 ans, HYDRONIGER a été un projet pionnier en introduisant la télétransmission par satellite des hauteurs d'eau collectées par 65 stations automatiques dans 8 pays d'Afrique de l'Ouest. Les leçons tirées de certaines difficultés techniques de ce projet, concernant plus particulièrement les capteurs et les stations d'acquisition, ont été précieuses pour la conception des systèmes plus modernes qui sont aujourd'hui en service dans d'autres parties de la région. Des leçons ont également pu être tirées du mode de fonctionnement et du montage institutionnel de ce programme.

Comme cela a été évoqué pour le climat, la formation est également un domaine qui se prête bien a collaborations internationales. Le CIEH a favorisé l'implantation de deux écoles de formation Ouagadougou, l'EIER pour les ingénieurs et l'ETSHER pour les techniciens. Des formations s également accessibles au centre AGRHYMET de Niamey. Des centres nationaux au Ghana (WR et au Nigéria (NIWR) ont offert des places à des étudiants d'autres pays de la région. Ces approc communes dans le cadre de programmes de formation partagés, ouvrent des perspectives t intéressantes pour la définition de procédures dont l'application permettrait d'harmoniser méthodes de collecte, ce qui faciliterait grandement les échanges de données si des projet développement intéressant plusieurs pays et nécessitant des données en conséquence, venaient à le jour.

5.7.3 Eaux souterraines

Jusqu'à maintenant, les collaborations ont été plus limitées dans le domaine des eaux souterra bien qu'il existe de vastes possibilités de développer des relations entre services nationaux dépasseraient les limites nationales et les barrières linguistiques.

Les domaines les plus prometteurs sont la formation et la définition de procédures de tra communes. Les centres de formation inités par le CIEH et la section Eaux Souterraines du NIWR. Nigéria seraient susceptibles d'offrir une large gamme de formations. Un besoin identifi l'existence d'un cycle de formation pratique pour les techniciens et les assistants foreurs.

CHAPITRE 6

GESTION DES DONNEES

6.1 Systèmes utilisés pour la gestion des données

6.1.1 Revue générale

Les agences de collecte de la Région sont, pour la plupart, dans une période de transition en matière de gestion de données, passant de systèmes de traitement essentiellement manuels à des systèmes informatisés. Les services sont aujourd'hui parvenus à des stades différents dans ce processus selon les pays et on peut considérer qu'aucune agence n'est totalement dépourvue d'ordinateurs mais qu'aucune ne gère un système complètement informatisé qui soit réellement satisfaisant et opérationnel. La plupart des services nationaux étaient en train de mettre à jour leurs systèmes informatisés au moment du passage des experts du projet.

La gestion des données comprend un ensemble d'activités très diverses qui vont au-delà du simple concept de traitement de données. Cette chaîne va de la tenue des bordereaux par les observateurs sur le terrain jusqu'à la gestion des données par le système central, en incluant la saisie, le stockage et l'accès aux informations, la publication des données et de résultats plus élaborés. Dans certains cas, le système peut être complètement automatisé lorsque la télétransmission est utilisée pour alimenter directement les fichiers magnétiques, comme c'est le cas au Bénin ou pour les données du fleuve Sénégal à l'OMVS.

Une bonne gestion des données est un élément essentiel pour l'efficacité d'un service hydrologique, et de façon générale, cette gestion doit s'améliorer avec l'utilisation des ordinateurs. Mais cette condition est loin d'être suffisante, comme le prouvent de nombreux contre-exemples dans la région.

Ces dernières années, les services nationaux ont été lourdement handicapés pour la gestion de leurs données par des contraintes financières. Les problèmes sont légion et peuvent être attribués à un certain nombre de causes telles que:

- l'inadaption et la lourdeur des structures administratives ;
- le développement non coordonné de différents systèmes de gestion, qui introduit des domaines d'incompatibilité ou de redondance ;
- l'inadéquation des qualifications des personnels et l'insuffisance des moyens ;
- l'insuffisance des réflexions préalables aboutissant à des systèmes de stockage de l'information inadaptés ;
- des installations matérielles très médiocres ;
- une animation et des contrôles de travaux inadéquats ;
- le manque de suivi et de maintenance des logiciels.

L'implantation d'une chaîne de traitement informatisée constitue une opportunité pour évaluer et améliorer l'ensemble des procédures utilisées, qui n'a pas toujours été saisie par le passé.

Ces dernières années, des avancées majeures dans la gestion des données météorologiques et hydrologiques dans la région ont été faites avec l'introduction du système CLICOM de l'OMM pour les données météorologiques et climatologiques et du système HYDROM pour les données hydrologiques. Concernant les eaux souterraines, des systèmes de gestion de bases de données utilisant des logiciels de type dBase sont largement utilisés. Le tableau 6.1 donne l'état des systèmes de traitement de données utilisés par les services nationaux. Ces similitudes constituent une condition favorable pour créer une plate-forme inter-états pour un traitement unifié des données, améliorer le stockage et les accès aux données et être le support d'une diffusion des données plus efficace. Toutefois, pour CLICOM comme pour HYDROM, les systèmes logiciels sont mal utilisés dans certains pays, pour des raisons aussi diverses que la non-compatibilité du matériel, le manque de formation des techniciens ou l'absence de motivation des responsables. Ces aspects sont repris plus en détail en 6.3.

Dans les pays anglophones, les méthodes de gestion des données hydrométriques sont largement inspirées par des conseils et des normes émises dans les années 60 par l'USGS, avec des aménagements mineurs pour s'adapter aux contextes locaux. Ces procédures ont généralement été développées pour être gérées par des "initiés" très qualifiés et peu nombreux, avec pour résultat une gestion des données très centralisée. Dans les pays francophones, les principes de base pour les mesures de terrain et le traitement des données ont été établis par l'ORSTOM (cf 3.2.8). Si la conception et les mesures de terrain étaient parfois déconcentrées (système de la Côte d'Ivoire avec 6 brigades hydrologiques basées en province), les traitements étaient toujours centralisés dans la capitale au début parce que c'était là que se trouvait la logistique indispensable (dessinateurs, dactylos, système de reproduction "Ronéo", etc.), puis plus tard, parce que les traitements étaient faits sur des ordinateurs qui n'existaient que dans la capitale. La décentralisation des saisies et des traitements de base a commencé à être mise en oeuvre dans certains pays (cas de la Côte d'Ivoire, dans le cadre d'un projet OMM). L'arrivée sur le marché de micro-ordinateurs robustes et bon marché a été le facteur déterminant de ce changement.

6.1.2 Traitement des données brutes

Le plus souvent les données sont envoyées par la voie postale aux centres de traitement sous la forme de formulaires mensuels à partir desquels les données sont recopiées pour utilisation ultérieure. Sur le site, les observateurs conservent généralement une copie au carbone des données expédiées dans un carnet à souches et qui peuvent être utilisées pour des contrôles croisés ou pour remplacer l'original si celui-ci venait à s'égarer. Les tournées sur le terrain sont faites pour changer les diagrammes des enregistreurs graphiques, et dans certains pays pour collecter les bulletins d'observateurs. A l'arrivée au centre de traitement, l'existence de chaque bulletin est notée dans un registre, ce qui permet de détecter rapidement les stations pour lesquelles l'information n'a pas été reçue.

TABLEAU 6.1

Etat actuel du traitement informatique des données

Pays	Météorologie	Eaux du surface	Eaux souterraines
Mauritanie	CLICOM, PLUVIOM	HYDROM	FILING ASSISTANT, GES/ EAUX SOUTERRAINES HYDRO (dBase 3) PROSPER (dBase 3) SAPHYP (dBase 3)
Mali	CLICOM, SAISOL	HYDROM	ATLAS, HVPRO (dBase 3) SIGMA (dBase 3), Lotus
Niger	CLICOM	HYDROM	dBase 4
Tchad	CLICOM, SUIVI (dBase 3) AGROM (dBase 3)	HYDROM, DIXLOIS	PROGRES, SUPER (dBase 4) SOLAIRE (dBase 4)
Sénégal	CLICOM	HYDROM	SURNAP, GOREE-BOCAR
Gambie	CLICOM	HYDROM	dBase 4, PARADOX 3
Guinée Bissau	CLICOM, PLUVIOM CLIMAT	HYDROM	GRICEL, BADGE (dBase 3) Symphony
Guinée	CLICOM	Aucun	PROSPER (dBase 3)
Sierra Léone	CLICOM	Aucun	Aucun
Libéria	-	-	-
Côte d'Ivoire	CLICOM	HYDROM, logiciels spécialisés Wang, IBM mini	dBase 3, base de données sur Wang
Burkina Faso	CLICOM	BILTU, HYDROM dBase 3, dBase 4	BEWACO (Dataflex), dBase
Ghana	CLICOM	non encore choisi certainement G06 HOMS	Bases de données
Togo	CLICOM	HYDROM (ORSTOM Lomé)	AQUABASE, GDM
Bénin	CLICOM, PLUVIOM	HYDROM, DIXLOIS	HYDROBASE, PROGRES
Nigéria	CLICOM	HYDATA, HYMOS	
Cameroun	CLICOM?	HYDROM, TIDHYP	dBase 3
R. Centrafricaine	CLICOM	HYDROM (à peine installé) Lotus	SIRECAF (dBase 4)
G. Equatoriale	CLICOM (bureau ASECNA)	-	-
Gabon	CLICOM (bureau ASECNA)	Aucun	Aucun
Congo	CLICOM, MENUARGO	HYDROM	Aucun
Cap Vert	CLICOM, GS06 RIS (dBase 3)	HYDROM, GS06	BIRCA, dBase JACQBFIT, Lotus
Sao Tomé & Principe	Aucun	Aucun	-

D'autres méthodes de collecte incluent la transmission des informations par postes radios ou, quand les conditions le permettent, par téléphone et très récemment par fax, ce qui permet de réduire considérablement les délais entre les observations et les traitements. Ces méthodes sont plus particulièrement utilisées pour la prévision à partir des informations des stations synoptiques et contribuent à l'établissement des bulletins du projet AGRHYMET. Les systèmes de télémesure qui permettent de transférer directement les informations dans des fichiers informatiques fonctionnent sur les bassins du Sénégal et du Niger, au Bénin, dans les pays membres du programme OCP et à plus petite échelle en Guinée, en Centrafrique et au Congo.

6.1.3 Gestion des données

De manière générale, l'organisation du traitement peut être largement améliorée. Beaucoup de pays ont des données anciennes accumulées en attente de traitement et il y a des retards très importants entre la réception des données et la fin des traitements. Ces problèmes ne disparaissent pas automatiquement avec l'utilisation de l'ordinateur et peuvent se maintenir à cause de procédures de saisie inadéquates.

Un changement pour de nouveaux systèmes matériels ou logiciels requiert parfois de ressaisir les données dans un format compatible ; ceci prend beaucoup de temps et comporte le risque d'introduire des erreurs au moment de cette saisie. La plupart des services sont absorbés par le traitement des données nouvelles et sont dans l'incapacité de traiter les données historiques sans assistance externe. L'aide bilatérale française avait lancé le projet d'un inventaire exhaustif des données pluviométriques des pays francophones d'Afrique de l'Ouest. Le projet a commencé en 1973, sous la coordination du CIEH et de l'ASECNA et a été réalisé par l'ORSTOM. Une première phase s'est déroulée de 1973 à 1981 et a porté sur la publication des données de toutes les stations depuis l'origine des observations jusqu'en 1965. Une deuxième tranche, résultat d'une collaboration CIEH-ASECNA-ORSTOM, s'est terminée en 1989 avec l'édition des données de la période 1966-1980. Ces deux études ont donné lieu à la collecte microfilmée des originaux, puis à la saisie et à la critique minutieuse de toutes les données de pluie journalière à toutes les stations, depuis leur origine jusqu'à 1980. Cette étude a été concrétisée par l'édition d'un annuaire pour chaque pays, par l'élaboration d'un jeu de microfiches de données originales et par la constitution d'une base de données informatique utilisable avec le logiciel PLUVIOM.

Il est de plus en plus admis que le traitement de données hydrologiques requiert la participation active d'hydrologues connaissant les sites de mesures. Ceci revient à dire que les bureaux hydrologiques de province, où les techniciens hydrologues sont affectés, doivent être complètement impliqués dans le traitement des données. A l'origine, l'arrivée de l'ordinateur s'est traduite par une centralisation des traitements dans un service informatique spécialisé où les personnels n'avaient pas d'expérience pratique d'hydrologie. L'avènement d'ordinateurs bon marché et robustes devrait permettre une décentralisation de ces activités, et une implication plus entière des hommes de terrain.

6.1.4 Procédures de contrôle de qualité

Le contrôle de qualité des données hydrologiques devrait commencer par des visites régulières des sites de mesure, le ré-étalonnage des instruments et tous contrôles du même type. Ces pratiques sont rares dans la région, plus souvent par manque de moyens que par défaut de perception de l'importance de telles procédures. La formation des observateurs et le contrôle de leurs méthodes de travail étant des domaines non pris en considération, cela revient à dire qu'en fait les contrôles de qualité ne commencent effectivement qu'au moment de l'arrivée des données au siège des services hydrologiques.

A la réception des données il est en général procédé à un contrôle visuel sommaire pour déceler les valeurs aberrantes, les erreurs de codification ou similaires. Dans de rares cas, il y a un contrôle croisé avec les données d'une station voisine ou une comparaison avec des normes saisonnières. En cas de doutes, la procédure habituelle est de demander à l'observateur des compléments d'information, par courrier ou directement à l'occasion de la prochaine visite sur le terrain. Mais la plupart des services ne disposent pas en quantités suffisantes des personnels pour contrôler les données au moment de leur arrivée au bureau, ni des véhicules pour faire ces tournées de contrôle sur le terrain.

Après leur acceptation, les données sont recopiées sur des formulaires standards, sur un livre-journal ou saisies à l'ordinateur. Cette étape donne souvent lieu à des traitements élémentaires : calcul de moyennes arithmétiques, sélection de valeurs extrêmes (maximum, minimum) ou autres analyses du même type. Il est manifeste que dans certains services, il n'y a aucun contrôle de cette opération de copie. Les traitements ultérieurs, comme la conversion des hauteurs d'eau en débits, sont différés jusqu'à ce qu'on dispose des données d'une année entière. Les contrôles de qualité effectués à ce stade sont variables, et dépendent du soin avec lequel ces procédures ont été définies et sont appliquées. Le plus généralement, il s'agit d'un examen sommaire des sorties. Plus rarement, des procédures de contrôle objectives sont utilisées, comme les doubles cumuls ou des régressions avec des données de stations voisines.

Même lorsque la majeure partie du traitement est faite par ordinateur, les logiciels ne permettent pas de faire des contrôles de qualité sur l'information générée, ou les modules de contrôle ne sont pas maîtrisés par les utilisateurs.

6.1.5 Stockage et extraction des données

La diversité des modes de stockage des données historiques ou actuelles est à l'image de celle des traitements informatiques passés ou existants dans la région. Pour cette évaluation, il a fallu disposer d'échantillons de données, d'informations sur la structure et sur le format des fichiers. Ces informations, lorsqu'elles ont pu être fournies, constituent un indicateur de la réalité des procédures qui sont actuellement utilisées dans les services.

Si dans certains pays, des données sur disquettes ont pu être récupérées au cours des missions sur le terrain (par exemple Congo et Bénin), le support le plus fréquent des données détenues par la plupart des agences de collecte visitées étaient des documents sur papier, registres manuscrits ou feuilles volantes dans des chemises, selon le cas. Dans les agences ayant plusieurs années d'expérience en informatique, les listings récents constituaient la manière la plus aisée pour récupérer des données. Cette option n'a pas été possible dans les services récemment informatisés, qui n'avaient pas suffisamment de données dans leurs fichiers magnétiques. Dans un certain nombre de cas, la photocopie de listings produits par des gros systèmes informatiques, aujourd'hui disparus, restait la seule option possible pour récupérer des informations.

Un des aspects les plus décevants des conditions de stockage et de recherche des données dans les systèmes utilisés est apparu lorsqu'on désirait avoir un inventaire des données disponibles et qu'il s'est avéré qu'il n'y avait pas de moyen simple d'éditer un état des informations existantes pour une station donnée. De façon générale, les utilisateurs sont beaucoup mieux familiarisés avec les modules de traitement des logiciels (par exemple, calcul des débits), plutôt qu'avec les modules de gestion (inventaire, organisation des répertoires, sauvegardes, etc.). Là où des logiciels dédiés étaient utilisés, comme dans la plupart des pays francophones (cf. 6.1.3) et où les utilisateurs avaient les compétences requises, de tels inventaires ont effectivement pu être produits (figure 4.3).

Actuellement, les méthodes de diffusion des données généralement utilisées sont la photocopie ou des annuaires imprimés de périodicités annuelle, mensuelle ou décadaire. Ces annuaires ayant une propension à être épuisés, surtout pour les années anciennes, la diffusion des données est parfois faite sous forme de photocopies de pages d'annuaires.

Un point très préoccupant est la vulnérabilité des données à des destructions accidentelles comme le feu, les dégâts des eaux, les termites, la vente des originaux comme vieux papiers ou autres risques du même type. En ce sens, les activités du projet DARE sont très importantes (cf. 3.3.5), mais le projet ne concerne que les données météorologiques et ne s'applique pas à tous les pays de la région. Le projet CIEH de saisie, contrôle et édition des données pluviométriques de 13 pays, depuis l'origine des observations jusqu'à 1980, avec sauvegarde des fichiers magnétiques générés, est également un résultat remarquable dans la sauvegarde et la mise à disposition du patrimoine de données pluviométriques de la région. Avec l'avènement des ordinateurs, les données peuvent être sauvegardées en plusieurs endroits différents, mais en soi, ceci n'est pas une garantie absolue de survie. Les expériences du Nigéria avec la banque de données hydrologiques de Kaduna et du Ghana avec des millions des cartes perforées de données climatologiques aujourd'hui inutilisables témoignent de la faillibilité potentielle des systèmes informatiques.

6.2 Stockage et traitement dans l'avenir

6.2.1 Contraintes de base

Dans l'avenir, les systèmes de traitement devraient satisfaire à un certain nombre de contraintes. Les caractéristiques principales que l'on est en droit d'exiger de la part de tels systèmes sont les suivantes:

- **Fiabilité** : il doit y avoir des systèmes de sauvegarde tels qu'un accident grave (panne d'unité centrale, feu, etc.) ne puisse détruire complètement les données, et que les fonctions de base du système puissent continuer à fonctionner dans un environnement diminué.

- **Vitesse** : les données doivent pouvoir être traitées sans délais et être disponibles dans des délais ne dépassant pas quelques mois après la mesure.

- **Souplesse de mise en oeuvre** : le système doit pouvoir s'adapter aux structures administratives et institutionnelles locales et être bien accepté pour favoriser des développements ultérieurs.

- **Facilité d'utilisation** : le système doit pouvoir fonctionner avec un petit nombre de personnes et être facile à prendre en main pour pouvoir être utilisé par un personnel fréquemment renouvelé.

- **Implication des hommes de terrain** : le système doit être conçu de telle façon que les hydrométristes et les hydrologues n'appartenant pas à l'unité informatique puissent s'impliquer dans le processus en y apportant leur connaissance et en exerçant le contrôle.

- **Contrôle de qualité** : un ensemble puissant de procédures de contrôle doit être inclus dans la chaîne de traitement.

- **Recherche facile des données** : l'information doit être organisée de manière à faciliter la recherche et l'extraction de données en fonction de critères variés, par exemple toutes les données d'une station, toutes les stations d'une année, le catalogue des données disponibles pour une région, etc.

- **Suivi et maintenance** : le système doit s'accompagner d'une assistance aux utilisateurs efficace, durable et facile à obtenir. Le logiciel doit être régulièrement mis à jour, pour corriger les défauts qui apparaissent à l'utilisation, développer des modules compatibles avec les nouveaux matériels (par exemple les imprimantes laser remplacent les traceurs à plumes, la résolution graphique des écrans s'améliore, les données sur mémoires électroniques remplacent les enregistrements graphiques, etc.), écrire des versions multilingues, éditer des supports de formation et des notes techniques.

6.2.2 Evolution future

L'apparition de nouveaux systèmes de traitement dans les services hydrométriques sera immanquablement liée à l'achat de matériels de traitement et de logiciels et cette introduction se fera dans le contexte d'un projet sur financements extérieurs. Mais une banque de données et son système d'exploitation sont plus que la simple juxtaposition d'un ordinateur et d'un logiciel et toutes les procédures de contrôle, la gestion des entrées-sorties du système, celle des fichiers de sauvegarde et toutes les fonctionnalités du même type doivent être prises en considération.

Le changement de matériel et de système de traitement constitue une opportunité intéressante pour une redéfinition du système de gestion des données, particulièrement si cette expertise préalable des matériels et logiciels est considérée comme une composante du projet. Mais il faut rester conscient qu'il y a des risques majeurs à introduire des modifications brutales aux systèmes de traitement et qu'il faut soigneusement tenir compte des capacités limitées des observateurs et des hydrométristes pour maîtriser rapidement les nouvelles procédures. Une formation à long terme et une mise en application progressive des nouvelles méthodes sont des conditions indispensables. Dans la mesure du possible, il est également souhaitable que le nouveau système ressemble à l'ancien pour tous ceux qui ne sont pas impliqués directement et de très près dans le traitement de données.

6.3 Gestion informatisée des données

6.3.1 Introduction

La gestion informatisée des données existe déjà dans beaucoup de services de la région (tableau 6.1) mais l'informatisation totale est un objectif qui n'est encore atteint nulle part. Les caractéristiques attendues d'un système de gestion de données hydrologiques sont :

- la facilité d'accès aux données ;
- la souplesse pour l'extraction d'un échantillon particulier ;
- la rapidité des traitements.

Pour que la reconversion d'une gestion manuelle des données vers une gestion informatisée soit perçue comme un succès, elle doit aboutir à une amélioration de la situation préexistante. Un service bien dirigé et bien géré et du personnel bien formé sont des conditions préalables indispensables à cette réussite, que les traitements soient faits à la main ou par ordinateur. Lorsque les structures de traitements manuels sont débordées ou mal administrées, une simple introduction de machines ne résout pas les problèmes. Pire encore, dans certains cas la situation peut s'aggraver avec l'arrivée des ordinateurs, particulièrement si l'on se préoccupe des conditions de la sauvegarde des données à long terme.

Il faut convenir que l'utilisation des ordinateurs n'est pas complètement banalisée dans beaucoup de pays d'Afrique de l'Ouest et de ce fait, on doit s'attendre à certaines difficultés lorsqu'on introduit l'informatique dans des services de l'administration de ces états, difficultés qui ne sont

habituellement pas prises en compte dans des pays où l'ordinateur est devenu un élément ordinaire du cadre de travail. Un utilisateur d'ordinateur en Afrique de l'Ouest est obligé de résoudre par lui-même tous les incidents imputables aux matériels et aux logiciels. L'assistance téléphonique des constructeurs et les services après vente sont rares dans la région et les traitements peuvent être complètement stoppés dans un service par suite d'incidents techniques mineurs. Avec l'augmentation du nombre des ordinateurs, les supports techniques et les possibilités de maintenance vont se développer, ce qui améliorera beaucoup les conditions de la gestion informatisée des données.

6.3.2 Gestion des données météorologiques

Comme on peut le constater (tableau 6.1), une caractéristique de la gestion informatisée des données météorologiques est l'utilisation quasi-exclusive du logiciel CLICOM. CLICOM a été développé aux USA au Centre de Données Climatiques de la NOAA comme une composante du Programme Mondial sur le Climat de l'OMM (cf. 3.3.4). Ce système, qui fait l'objet d'une promotion active de la part de l'OMM, sous forme de mise à disposition du logiciel et de séminaires de formation, est devenu de fait un standard international pour le traitement de ce type de données. L'expérience de l'OMM, qui a pourvu 70% des services météorologiques de la région avec ce logiciel, est bien évidemment d'un très grand intérêt lorsqu'on envisage l'introduction du traitement de données du même type dans les services hydrologiques et hydrogéologiques.

Au cours des visites dans les services météorologiques, les consultants de la présente évaluation ont pu juger des conditions d'utilisation effectives de ce système (le vocable "système" désignant ici le matériel, le logiciel CLICOM et le personnel formé). La conclusion générale est que l'ensemble était loin d'être complètement opérationnel et qu'un support technique solide faisait défaut. Le programme de l'OMM n'a pas bénéficié d'une composante en formation et d'un suivi suffisamment importants compte tenu du manque d'expérience en informatique des utilisateurs de la région.

Les problèmes rencontrés incluent des "bogues" du logiciel (particulièrement dans la version française) tels que masques d'écrans dans une langue inadaptée, perte de données apparemment non sauvegardées après une saisie, et des problèmes matériels liés à l'utilisation de disques optiques pour la sauvegarde des données. Des insuffisances en formation sont clairement à l'origine de beaucoup de problèmes, qui peuvent réduire à néant les efforts consentis, même en l'absence de tout défaut du logiciel ou du matériel.

6.3.3 Gestion des données hydrologiques

Alors que le secteur de la météorologie a bénéficié du support de l'OMM, le services d'hydrologie de surface ont souvent été encadrés par la coopération bilatérale. On constate sur le tableau 6.1 qu'un système, HYDROM, est utilisé dans un grand nombre de pays. Cette répartition correspond à la zone d'application de l'aide française et il n'est pas certain que ce logiciel soit adopté par les pays non francophones, bien que la Gambie, qui participe au projet AGRHYMET dispose de ce système. HYDROM est un logiciel parmi d'autres, qui ont été développés en général par des organismes de

recherche en Europe (par exemple, HYDATA par l'Institut d'Hydrologie - UK). L'utilisation de plusieurs systèmes différents dans la région ne devrait pas compromettre les échanges de données entre pays et entre projets, car des modules d'échanges de données en ASCII sont généralement inclus dans tous ces logiciels.

Dans la région il existe des agences nationales et des projets régionaux qui pratiquent la collecte sur stations automatiques couplées avec la transmission de données par satellite (cf. 5.3) et qui peuvent par conséquent importer directement les données dans le logiciel. Ceci a l'avantage d'éliminer la phase manuelle du traitement des données (saisie, dépouillement des enregistrements graphiques etc.), ce qui réduit considérablement les retards de traitement et supprime un risque potentiel d'erreur.

Avec l'existence d'ordinateurs robustes et bon marché et de logiciels conviviaux comme HYDROM qui possèdent toutes les fonctionnalités de base comme la saisie, les contrôles, le dépouillement des jaugeages, l'établissement des étalonnages, le stockage des données, etc., il devient possible de décentraliser certains éléments de la gestion des données, qui peuvent maintenant être assurés dans les services provinciaux.

6.3.4 Gestion des données hydrogéologiques

Une caractéristique des données d'eau souterraine est le très grand nombre de sites de mesure, surtout si on compare, par exemple, avec le nombre de stations de jaugeages. Ce type de données se gère bien avec l'un des nombreux systèmes de base de données du commerce, comme le standard Ashton Tate bien connu, dBase.

DBase est directement utilisable pour la conception d'une base de données d'eau souterraine : il permet d'inclure un grand nombre de paramètres à chaque site selon les besoins particuliers à chaque agence. Par ailleurs, le logiciel est relativement bien adapté pour définir une grande variété de formats d'entrée/sortie. Une conséquence possible de cette facilité d'utilisation est qu'on peut trouver dans un même pays plusieurs bases de données différentes, comme le montre le tableau 6, chacune d'elles étant associée à un projet particulier. Il y a peu d'exemples de liaisons entre ces différentes bases et les données restent fragmentées entre les différents projets ou services et il est difficile de fusionner ces données pour une exploitation plus avancée. Comme la plupart de ces bases ont été préparées avec des logiciels du commerce, il devrait être possible pour un programmeur expérimenté d'écrire les passerelles entre les différentes bases existantes. Ces compétences ne sont pas forcément courantes dans la plupart des services de la région. Heureusement le CIEH a récemment élaboré, avec l'aide d'un bureau de consultants un logiciel de communication/transfert entre les bases de données concernant les eaux souterraines.

6.3.5 Commentaires

La situation de la gestion informatisée des données dans la région appelle un certain nombre de commentaires :

- l'assistance pour le matériel est à un niveau très bas et constitue un véritable problème, malgré la robustesse des équipements récents ;

- les matériels sont en général choisis par les donateurs et ne tiennent pas forcément compte des équipements déjà existants et des possibilités limitées d'entretien dans la région ;

- les traitements sont en général très centralisés et assurés au siège national des services par un petit nombre d'agents qualifiés ;

- le taux de renouvellement du personnel est trop élevé dans certains services (les compétences informatiques sont très recherchées) et des personnels nouveaux doivent être formés fréquemment ;

- les contrôles de qualité sont des pratiques très variables et il y a des bases de données sur lesquelles aucun contrôle post-saisie n'a jamais été fait, ce qui constitue une lacune grave car il y a tendance à considérer comme bonne n'importe quelle donnée imprimée par un ordinateur ;

- lorsque l'assistance technique a été maintenue à long terme ou que la base de données a été exploitée dans le cadre d'un projet particulier, les résultats ont été relativement acceptables. Mais lorsque ce soutien n'était pas assuré, toutes les potentialités de ces systèmes étaient loin d'être utilisées, comme c'est le cas de beaucoup d'installations de CLICOM ;

- certains services qui avaient commencé le traitement de leurs données à l'époque des gros ordinateurs (*"mainframe"*) n'ont pas été capables de transférer ces données sur des systèmes à base de micro-ordinateurs et se sont vu contraints de refaire une saisie, avec tous les risques d'erreurs que cela comporte ;

- si le traitement informatisé des données qui sont collectées à l'heure actuelle est en général satisfaisant (il y a de notables exceptions), le traitement des données anciennes est une tâche généralement au-dessus des moyens existants dans les services (agents et équipements) et pour les pays du CIEH, la saisie et le traitement des données pluviométriques anciennes ont été réalisés par un programme d'assistance extérieure ;

- il n'est pas certain que l'importance vitale de la sauvegarde à long terme des données ait été perçue et que les mesures appropriées aient été prises pour cela. Les technologies évoluent, certains médias deviennent obsolètes, les supports magnétiques se dégradent avec le temps, etc.

Par dessus tout, les traitements informatisés exigent le respect d'une gestion scrupuleuse ; plus scrupuleuse que les procédures manuelles qu'ils remplacent. Les activités fondamentales de cette gestion incluent la sauvegarde routinière des données, l'inventaire périodique des fichiers pour s'assurer qu'il n'y a pas de perte de données, l'approvisionnement permanent en fournitures consommables, la planification d'une maintenance préventive, l'amélioration continue des matériels et des logiciels tout en maintenant la continuité et la compatibilité, une gestion du personnel permettant d'avoir un nombre suffisant d'opérateurs compétents pour faire tourner le système, et faire superviser leur travail par des ingénieurs pour être certain que les contrôles de qualité aient bien été faits. Le non respect de l'une quelconque de ces contraintes met en danger la sauvegarde des données à long terme.

6.4 Publication et diffusion des données

6.4.1 Politiques actuelles

Le système traditionnel de publication et de diffusion des données se faisait au moyen d'annuaires, dans lesquels on pouvait trouver un récapitulatif annuel de données journalières pour la plupart des stations fiables et des compilations d'autres données avec des périodicités variables. Cette méthode est toujours en vogue dans la région, particulièrement dans les services hydrologiques, mais la charge de travail pour confectionner de tels documents est lourde, ce qui entraîne des retards considérables dans les publications.

Cette solution présente l'avantage d'une distribution assez large et les informations peuvent être consultées facilement, avec pour conséquence des demandes aux services moins fréquentes et l'obligation d'avoir terminé le traitement de l'ensemble des données avant publication. Mais la méthode requiert un effort soutenu pour la réalisation de l'annuaire et amène les utilisateurs à considérer que les données publiées sont forcément justes et précises et ne peuvent plus être remises en question. Ce dernier aspect peut avoir des conséquences graves : les données sont facilement accessibles pour des utilisateurs sans connaissances hydrologiques particulières, qui peuvent les utiliser sans avoir discuté de leurs limitations avec les services hydrologiques et sans avoir la moindre notion de l'incertitude énorme avec laquelle les débits peuvent être calculés.

Ces dernières années, des données météorologiques, portant sur un échantillon restreint, ont été publiées avec une périodicité plus courte, en général décadaire. Ceci est un des résultats du Projet AGRHYMET, en appui au Projet FAO "Connaissance Climatologique Globale et Système d'Alerte Avancée (GIWES)", qui exige un suivi régulier de la situation agrométéorologique qui doit être publié sans délais tous les 10 jours.

Dans les autres cas, les données sont diffusées en réponse à des demandes ponctuelles, le plus souvent sous la forme de photocopies de documents précédemment édités ou de documents manuscrits. Les demandes externes sont peu nombreuses car les utilisateurs de données appartiennent généralement au même ministère ou au même département que la structure qui réalise la collecte. Les

sorties informatiques sont de plus en plus utilisées, soit sous forme d'états imprimés, soit sous forme de disquette, mais ceci est loin d'être une règle générale.

6.4.2 Développements futurs

L'ordinateur va bien évidemment jouer un rôle essentiel pour la diffusion des données, avec la possibilité d'extraire facilement les informations d'une banque et de les éditer rapidement. Pour peu que le système de gestion soit conçu correctement et que les équipements soient disponibles en quantité suffisante, les sorties sur papier seront probablement pour quelque temps encore une forme de présentation des données satisfaisante pour beaucoup d'utilisateurs. L'utilisation d'autres médias comme la disquette permettant une fourniture dans une forme directement utilisable pour des traitements ultérieurs va se développer. Mais ceci pourrait s'accompagner de difficultés au niveau de la compatibilité si les mesures de coordination appropriées ne sont pas prises entre les différents projets.

Ceci ne veut pas dire que la publication de données imprimées doive être stoppée et on admet généralement que la publication sur papier assure une bonne promotion des données disponibles, elle permet d'informer des conditions de leur obtention et de donner à un large public les éléments clés pour la connaissance hydrologique. On peut prévoir que le format de ces publications "new-look" se présentera sous la forme d'un rapport annuel, où l'on pourra trouver des éléments tels que:

- des compilations limitées aux données de base les plus importantes, dans une présentation semblable à celle des annuaires de la période actuelle ;

- des sommaires de données d'autres stations, non publiées mais disponibles ;

- des informations sur les conditions de diffusion des données non publiées ;

- la présentation de résultats de recherches appliquées, d'analyses de données et de toutes études réalisées durant l'année écoulée.

Ces publications devront être disponibles aussi vite que possible après la fin de l'année, dans des délais toujours inférieurs à 12 mois.

Cette formule permet de conserver le caractère promotionnel avantageux de l'annuaire, le document serait plus rapide à réaliser et serait plus informatif. On peut être assuré que les utilisateurs souhaitant disposer d'informations plus détaillées viendront consulter le service hydrologique, ce qui permettra aux responsables de la collecte et du traitement de faire part de toute incertitude ou réserve qu'ils ont sur la qualité des données et de donner un avis sur la valeur de celles-ci en fonction de l'utilisation prévue.

CHAPITRE 7

ASPECTS INSTITUTIONNELLS

7.1 Introduction

Deux types de structures institutionnelles seront examinées dans ce chapitre : les services nationaux chargés de la collecte des données dans les domaines de la météorologie, des eaux superficielles et des eaux souterraines et les institutions et les projets régionaux les plus significatifs, en l'occurence AGRHYMET, le CIEH, le Projet OMS/OCP, l'OMVS et HYDRONIGER. Alors que les examens et recommandations concernant l'évolution future des services nationaux sont le résultat d'une évaluation détaillée faite au niveau de chaque pays, l'examen des organisations et projets régionaux a été mené à un niveau moins détaillé.

L'examen des structures régionales (organisations ou projets) a été conduit avec la préoccupation constante d'arriver à concevoir les structures les mieux adaptées pour de nouveaux projets régionaux identifiés à l'occasion de la présente évaluation.

L'état de santé actuel des organisations du secteur eau, considéré aux niveaux national ou régional, est directement lié à la conjoncture économique défavorable qui prévaut en Afrique de l'Ouest depuis la dernière décennie. En ces temps de restriction économique, alors que les financements disponibles sont limités, la collecte de données hydrologiques bénéficie souvent d'une priorité très faible. Si ces structures doivent être développées, il est indispensable que les financements soient augmentés et assurés régulièrement. Sachant que l'importance des services rendus par les organisations hydrologiques à la planification nationale et régionale est partout sous-estimée, nous avons inclus un paragraphe pour présenter et discuter des justifications financières de ces activités.

7.2 Justification financière de la collecte de données hydrologiques

L'expérience récente a montré que les services de collecte de données sont une cible habituelle lors des exercices de restriction budgétaire périodiquement imposés aux gouvernements. Ceci introduit des incertitudes considérables pour savoir si les financements nécessaires pour l'achat, l'entretien et la réparation des équipements et le fonctionnement des services seront réellement disponibles. En conséquence, les organisations sont réticentes pour engager des dépenses de ce type en monnaie locale, et le dynamisme et le moral des personnels du service sont affectés. Des problèmes économiques récents dans toute la région ont amené des coupes sombres dans les budgets, en valeurs absolues, condamnant la plupart des agences à la récession et se traduisant par des dégradations importantes dans les réseaux de collecte. Une renaissance véritable ne pourra s'envisager sans une augmentation préalable des budgets permettant de remettre à niveau **l'équipement** (instruments de mesures, équipements de collecte, véhicules, matériels de traitement des données). Cet effort initial serait vain s'il n'était pas accompagné d'une assurance très sérieuse de la pérennité des financements

à un horizon de 10 ans pour le **fonctionnement** des services (entretien, réparation et remplacement progressif des matériels, carburants, indemnités des observateurs et per-diem des techniciens).

Pour pouvoir exercer une pression efficace et obtenir des budgets plus importants, les retours économiques induits par l'existence de données de bonne qualité doivent être connus, de façon à ce que les décideurs soient informés des risques à concevoir des projets sans données hydrologiques ou sur la base de données inadéquates.

Ces dernières années, un certain nombre d'études ont été faites (OMM, 1990) pour évaluer le prix et conférer une valeur à la collecte des données en hydrologie de surface, ou pour établir des normes fixant le nombre de stations nécessaires.

L'ouvrage de l'UNESCO/OMM "Evaluation des ressources en eau - Evaluation au niveau national" représente une de ces tentatives d'évaluation comparée des réseaux nationaux à partir de normes pertinentes à l'échelle mondiale. Ceci a été discuté au chapitre 4.

Cependant ces critères restent très généraux, et comme il a été presque impossible de faire la différence entre les stations fournissant des données de bonne qualité et les autres, il est peu probable que cette méthode soit susceptible d'être d'un intérêt significatif pour les Autorités Nationales et qu'elle puisse constituer un outil indiscutable pour justifier le financement des services de collecte de données. Toutefois les tableaux 5.1 à 5.5 mettent en évidence la grande variabilité des densités de stations dans la région. Bien que dans la plupart des cas des éléments tels que la densité de population, la dimension du pays ou les contraintes économiques soient des facteurs dominants, la méthode met effectivement en évidence des zones dans lesquelles les Autorités Nationales sont totalement défaillantes dans des secteurs d'activité comme par exemple le suivi des transports solides ou celui de la qualité de l'eau.

Des analyses coûts-bénéfices ont été entreprises ces dernières années pour évaluer les retombées positives de la collecte de données. Une étude de ce type a été menée par l'*Australian Water Resources Council* (AWRC, 1988). L'objectif était de montrer la valeur des données relatives aux ressources en eaux en identifiant les domaines d'utilisation de ces données. La figure 4.1 présente l'ensemble de ces domaines. Le rapport traite aussi des coûts de la collecte des données et de ceux des projets de mise en valeur des ressources en eau et comporte une compilation des études de coûts-bénéfices antérieurement réalisées.

La première étape pour justifier financièrement la collecte des données est l'évaluation de l'investissement initial et des dépenses d'entretien et de fonctionnement qui sont requises pour les réalisations concernant le développement des ressources en eau, pour lesquelles les données sont une composante essentielle (voir figure 4.1). La deuxième étape est l'évaluation des économies réalisées grâce à ces données et les coûts additionnels qui auraient dû être engagés si l'information avait fait défaut ou n'avait pas été disponible avec une précision et une fiabilité suffisantes. Par exemple, si les données de débits ou de pluie sont inexistantes, des coefficients majorateurs de sécurité doivent être utilisés pour le dimensionnement de l'évacuateur de crue d'un barrage, ce qui se traduit par un accroissement des coûts. Une évaluation chiffrée de ce type a été faite au Canada (Acres, 1977).

Le tableau 7.1, tiré de l'étude AWRC citée, présente la répartition des dépenses annuelles en Australie pour les réalisations dans lesquelles les données hydrologiques sont utilisées au stade de la conception. Le rapport bénéfices/coûts ou *facteur d'économie* (rapport entre les économies réalisées et le coût du projet), calculé pour chaque type de projet, montre clairement l'importance des données hydrologiques. Le bénéfice moyen a été estimé à 6,3% des coûts totaux. Il est certain que lorsque la méthode est transposée à d'autres pays dans des conditions climatiques et économiques différentes et dans lesquels la pondération entre les divers types de projets est modifiée, le facteur d'économie peut changer. Par exemple le *facteur d'économie* dans le domaine de la prévision des crues est deux fois plus élevé dans l'étude canadienne que dans l'étude australienne.

TABLEAU 7.1

Dépenses relatives aux projets et aux réalisations conditionnés par l'hydrologie en Australie (d'après AWRC, 1988)

Domaine	Coût estimé (millions A$)	Facteur d'Economie %	Economie estimée (millions A$)	Coût des services hydrologiques (millions A$)
Drainage du réseau routier (sauf drainage urbain)	330	10	33	
Drainage urbain	70	5	3,5	
Drainage des voies ferrées	40	10	4	
Alimentation en eau	600	5	30	
Irrigation	200	10	20	
Evacuateurs de crue	100	10	10	
Petits barrages	20	10	2	
Protection contre les crues	20	5	1	
Prévision de crues	150	5	7,5	
Energie hydroélectrique	30	5	2	
TOTAL	1 560		113	18

Dans l'étude parallèle de l'évaluation hydrologique des pays SADDC, une version simplifiée de la méthode utilisée dans les travaux australiens et canadiens cités, a été utilisée pour estimer les rapports bénéfices/coûts des activités hydrométriques dans chaque pays. La méthode a été mise en

oeuvre de manière simplifiée et les résultats doivent être considérés comme donnant seulement de ordres de grandeur. Les rapports bénéfices/coûts des pays africains étaient en [illegible] significativement plus élevés que ceux de l'Australie (6,3) ou du Canada (9,3). Ceci était prévisible car dans les pays SADDC les budgets actuellement consacrés à l'hydrométrie sont faibles, par suite de la récession économique qui sévit comme dans les pays d'Afrique de l'Ouest et parce que les réalisations prévues de projets dans le secteur eau sont limitées dans ces pays où le développement des infrastructures est déjà bien avancé. Ces facteurs sont compris entre 4 et 69 dans les pays SADDC, ce qui montre clairement que des bénéfices substantiels pourraient être dégagés si ces pays consacraient davantage de moyens à la collecte de données.

Les résultats fournis par ce type d'analyse confirment le point de vue général des personnes bien au fait des problèmes de ressources en eau en Afrique de l'Ouest, à savoir que les financements consacrés à l'hydrométrie devraient être augmentés. Tous les éléments concordent pour conclure que les rapports bénéfices/côuts dans les pays d'Afrique de l'Ouest sont compris dans une gamme du même ordre de grandeur que celle des pays SADDC.

L'exemple du Ghana est significatif et mérite d'être cité. L'Autorité de la Volta (Volta River Authorithy - VRA), qui bénéficie de ressources financières stables provenant de la vente de l'énergie électrique générée aux barrages d'Akosombo et de Kpong, a été convaincue de collaborer avec le service hydrologique national, grâce à quoi ce service, qui ne disposait que d'un budget propre très limité, a été à même de remettre en état et d'exploiter les stations du réseau du bassin de la Volta. Dans ce cas, un utilisateur de données (la VRA) a admis que la collecte et le traitement des données assurés par les services hydrométriques nationaux ont un intérêt et une valeur et que les contributions versées à ces services pour leur permettre d'assurer une fourniture de données fiables, sans lacune et à long terme constituent un investissement rentable.

Dans les pays d'Afrique de l'Ouest, une part significative des efforts de collecte des données est liée à l'occasion d'études de projets. Cette situation a des conséquences importantes au niveau de la [illegible] des services hydrologiques nationaux et du budget alloué à la collecte de données : pendant la durée du projet, les services peuvent trouver des avantages sous forme d'assistance technique et de programmes de formation, mais à plus long terme ces projets peuvent également avoir des effets pervers. Par exemple, lorsqu'une étude de faisabilité se termine, il est généralement recommandé de continuer les observations sur les sites du projet pour recueillir des données supplémentaires. Bien que des moyens additionnels soient rarement donnés au service chargé de cette mission et ceci, disposant de moyens limités, peut être amené à diminuer ses activités dans un autre domaine afin de pouvoir s'acquitter de ce surcroît de travail. Effet plus insidieux, les cadres des services de collecte et les concepteurs de projets accordent généralement une attention soutenue à ces études spécifiques au détriment de la mission fondamentale d'une collecte continue à long terme, sur un réseau de stations bien représentatives de l'ensemble des conditions hydrologiques du pays. De telles données sont indispensables pour :

- inclure les événements extrêmes de pluie, crues et sécheresse ;
- estimer les effets provoqués par un changement de la couverture végétale ou l'utilisation des sols ;

- améliorer la connaissance statistique des lois de distributions (moyennes et autres paramètres de ces fonctions de distribution) ;

- suivre et évaluer les changements climatiques à long terme ;

- étudier à long terme les mécanismes de la recharge des aquifères à partir des précipitations.

On doit insister très lourdement sur le fait que des données collectées à l'occasion d'études spécifiques (à l'heure actuelle, ces études de faisabilité dépassent rarement un an) ne peuvent en aucun cas remplacer celles fournies par un réseau de base et ces données à court terme ne doivent être considérées que comme des compléments à celles fournies par ces réseaux.

7.3 Services nationaux

7.3.1 Le "parfait" service de collecte de données

Le développement des agences de collecte de la région devrait être considéré comme une opportunité pour améliorer les services et progresser vers la structure de l'agence "idéale". Parmi les qualités d'une telle organisation on doit trouver :

- un système de fonctionnement dynamique, capable d'assurer son propre rajeunissement, et selon lequel les jeunes éléments nouvellement recrutés bénéficieraient d'une formation interne et de l'expérience acquise par les anciens qu'ils seront amenés à remplacer ;

- la production de données fiables et précises sur un réseau suffisamment dense pour permettre une estimation du comportement hydrologique en un point quelconque du pays avec une précision acceptable ;

- des données facilement accessibles pour les utilisateurs extérieurs au service ;

- un noyau permanent d'hydrologues et d'hydrogéologues de l'organisation impliqués dans la recherche appliquée, ayant des liens permanents avec les universités et les organisations internationales, capable de constituer un pôle d'hydrologie reconnu au niveau national.

Même si le chemin est long avant l'accomplissement de ces objectifs, des choix préalables doivent être clairement faits par les services nationaux et le développement de ces services doit être planifié en cohérence avec ces choix.

7.3.2 Structures institutionnelles

La plupart des agences de collecte relèvent de structures gouvernementales placées sous le contrôle direct des ministères et régies par les règlements et les usages de la fonction publique. Cette situation est en général un facteur limitant pour le développement de l'agence et condamne toute possibilité d'évolution dynamique. Une configuration plus souple reviendrait à créer des agences ayant un statut de société d'économie mixte avec, à leur tête, une direction puissante mais qui resteraient toutefois soumises à l'évaluation et au contrôle indirect par le gouvernement. Une telle agence serait en mesure

de trouver sur le marché national des personnels compétents et de proposer des évolutions de carrière plus motivantes. De part son caractère indirect, les financements seraient plus sûrs à court terme (mais resteraient tout de même aléatoires et vulnérables aux difficultés économiques à moyen et à long terme).

Selon un sentiment général, la plupart des agences de la région ont une structure de gestion fondée sur une hiérarchie pesante et rigide, qui se traduit par le manque de motivation et d'enthousiasme du personnel junior et ne permet pas le développement du sens des responsabilités. On peut penser que les méthodes modernes de gestion, qui seraient plus faciles à appliquer dans une société d'économie mixte, auraient pour effets d'accroître très largement la productivité des personnels débutants.

Une clarification des rôles et des attributions des différentes organisations est également un élément essentiel pour éviter la redondance des activités. Dans plusieurs pays, on trouve deux ou trois organisations différentes dédiées à la gestion des réseaux pluviométriques, avec des concertations réduites et de fortes réticences à l'échange des données. La question de savoir qui gère les réseaux pluviométriques sur le terrain est relativement secondaire mais, par contre, il est vital qu'une seule et unique organisation soit responsable de la gestion de ces données et que tous les résultats de terrain lui soient directement transmis pour réduire au minimum les retards dans le traitement des données.

Dans plusieurs pays, on a observé une tendance à modifier périodiquement les montages institutionnels dans le secteur des ressources en eau, mais ces réorganisations ont généralement été très perturbantes et des exemples de pertes de données anciennes pendant les déménagements sont connus. Au moment des visites des membres de la mission, la réorganisation du secteur eau venait d'être faite, était en cours ou en projet dans plusieurs pays. Cette situation a rendu l'évaluation hydrologique très complexe et en particulier a entraîné des difficultés dans l'identification et la formulation des propositions de projets destinés à améliorer ou à renforcer les activités hydrologiques.

7.3.3 Equipements

Les instruments de mesure et le matériel informatique ont généralement été fournis aux agences de collecte de la région dans le cadre de projets d'assistance, cette fourniture étant le plus souvent réalisée dans le cadre d'une aide bilatérale et sous la forme de dons. Ces pratiques présentent un certain nombre d'inconvénients :

- différentes marques de matériels sont utilisées dans le service, avec pour conséquence la multiplication des compétences requises pour leur utilisation et leur entretien ;
- les conditions pour l'entretien, la réparation et la fourniture de pièces de rechange sont précaires ou inexistantes ;
- peu de latitude pour choisir les caractéristiques des matériels, avec parfois fourniture de matériels impropres à l'utilisation prévue dans le contexte local.

Dans le futur, une plus grande attention devra être accordée à la prise en compte des conditions d'entretien sur place de telle sorte que les équipements fournis, même s'il s'agit de dons, puissent être maintenus en état de marche. Les agences d'aide bilatérale se doivent de devenir plus sensibles

à ces aspects et de prendre toutes dispositions pour garantir la fourniture des composants matériels indispensables. Ces options supposent de :

- définir les spécifications pour l'entretien des matériels et les compétences qui sont requises pour satisfaire sur place à ces spécifications et réserver une place plus importante aux procédures selon lesquelles les équipements hydrologiques et informatiques sont retenus ;

- inciter les fournisseurs, dont les matériels ont été éprouvés sur le terrain dans des conditions d'environnement comparables, à établir des ateliers d'assemblage dans la région, au moyen de commandes incitatives, de manière à favoriser les conditions d'une représentation locale complète et efficace de ces produits ;

- prévoir dans les commandes que soit assurée une véritable formation à l'utilisation des matériels ;

- s'assurer de la disponibilité des pièces de rechange et réserver des financements pour leur achat et pour l'intervention sur site des techniciens de maintenance chargés du dépannage des équipements défectueux.

7.3.4 Moyens de déplacement

Les moyens de transport sont une composante déterminante des activités hydrologiques, et des problèmes ont été identifiés pratiquement dans chaque service hydrologique visité. Dans le passé, le véhicule de terrain traditionnel était de type 4x4 "Land Rover", coûteux à l'achat et à l'utilisation. L'existence de pick-up meilleur marché constitue aujourd'hui une solution de remplacement aux véhicules 4x4 et une amélioration générale du réseau routier permet d'envisager dans l'avenir une baisse des coûts des déplacements.

En conséquence, des économies potentielles très importantes peuvent être faites au niveau des moyens de transport. Les options suivantes peuvent être envisagées :

- l'utilisation plus fréquente des véhicules de type pick-up pour les sorties sur le terrain ;

- l'utilisation de motocyclettes pour des activités telles que le contrôle des stations, le changement des feuilles d'enregistrement et toutes opérations du même type qui ne demandent pas le transport de matériel lourd ;

Lorsque les conditions locales le permettent des solutions généralement utilisées dans les pays développés peuvent être envisagées, comme par exemple :

- la location de véhicules supplémentaires lorsque la demande est la plus forte (en général la saison des pluies) ;

- inciter à l'utilisation des véhicules personnels en proposant aux agents des prêts pour l'achat des véhicules et des indemnités kilométriques raisonnables pour l'utilisation en service.

Mais il est clair que des aménagements de ce type sont irréalistes dans un certain nombre de pays et n'aboutiraient pas au but visé qui est l'amélioration de la qualité du service.

Certains services envisagent d'utiliser la télémétrie sur les sites éloignés parce que cette option permet de connaître à distance l'état de la station de mesure et de récupérer les données sans visites sur le terrain. Toutefois, les visites restent indispensables pour effectuer les jaugeages et procéder aux réparations nécessaires, signalées par télétransmission, mais en fin de compte, seules les sorties motivées sont réalisées et au total le nombre de km parcourus dans l'année sur un réseau télétransmis est bien inférieur à celui d'un réseau conventionnel.

7.3.5 Ressources humaines

Les problèmes de personnel constituent un autre point préoccupant pour le fonctionnement des services de collecte de données, plus particulièrement pour ce qui concerne le recrutement, la formation et le maintien en poste des techniciens et ingénieurs de haut niveau qui sont indispensables pour gérer et développer ces services. Pour aboutir à des services rajeunis et dynamiques, des changements importants devront être apportés dans le mode de recrutement, de manière à engager des personnels possédant les qualifications requises, tels que :

- modification des matières enseignées et des programmes de premier cycle ;
- élargissement des profils de recrutement en incluant des spécialistes des sciences de la terre, des physiciens et des mathématiciens ;
- amélioration des salaires, des avantages accessoires et des conditions de travail ;
- amélioration de l'image des agences de collecte de données et de l'importance de leur rôle dans le développement.

En plus des changements cités, une plus grande priorité doit être donnée à la formation permanente des personnels, sous forme de cours professionnels intensifs, de formations universitaires supérieures, de participation à des séminaires nationaux et internationaux. L'instauration d'une mobilité régionale inter-états des personnels, susceptible de motiver les agents à titre individuel et de constituer un moyen pour l'échange de méthodes de mesures et d'analyse de données, devrait s'avérer fructueux. Un changement d'attitude est un préalable fondamental, à savoir que les dirigeants doivent prendre conscience que le personnel d'une agence de collecte constitue sa richesse principale, et qu'il doit être traité en conséquence.

7.4 Organisations régionales et projets régionaux

7.4.1 Introduction

Dans la présentation de proposition de projets régionaux (qui impliquent au moins deux pays), nous avons analysé en détails les structures régionales existantes et leur projets associés, en essayant de mettre en valeur les résultats positifs obtenus par ces organismes et d'identifier les points qui se sont avérés moins performants pour un certain nombre de raisons. Les paragraphes suivants traitent globalement le cas des agences internationales de bassins (ABN, OMVG, OMVS, LCBC) et de la

plus détaillée les réalisations régionales les plus remarquables, constituées par les Projets AGRHYMET, OMS/OCP, HYDRONIGER et par le CIEH.

L'analyse utilise un procédé testé en économie, connu sous l'acronyme de SWOT et qui examine l'état actuel de l'organisation et ses activités en termes de Strengths (points forts) et Weaknesses (faiblesses) et les prospectives en termes d'Opportunities (conditions favorables) et de Threats (menaces ou risques). Cette approche permet d'identifier les éléments positifs qui peuvent servir de base pour une future expansion et ceux qui sont défavorables et avec lesquels il faudra composer pour améliorer les performances de l'organisation.

7.4.2 Evaluation SWOT des agences ou autorités internationales de bassin

Les agences internationales de bassins peuvent avoir une aire de compétence géographique qui dépasse le territoire du bassin hydrographique sensu stricto, avec souvent une responsabilité étendue sur tout le territoire national des états membres. Ainsi l'OMVG peut être concerné par le développement du secteur eau en dehors du bassin versant du fleuve Gambie dans certaines parties de Guinée Bissau qui est un pays membre de l'organisation par le fait d'avoir une certaine partie de son territoire dans le bassin versant du fleuve Gambie. Ces organismes peuvent aussi jouer un rôle important en dehors du secteur eau, dans leur aire géographique. L'évaluation SWOT sera limitée aux aspects concernant la collecte de données hydrologiques et les projets de mise en valeur des ressources en eau. L'analyse n'a pas été faite individuellement pour chacune des organisations, mais sur une base globale prenant en compte leurs caractéristiques communes.

STRENGTHS - points forts	WEAKNESSES - points faibles
· Incitation à la collaboration entre services nationaux. · Circulation de l'information et formation des nationaux affectés au projet. · Bonne plate-forme pour obtenir l'appui des donateurs pour la réalisation d'études ou de projets. · Possibilité de coordonner les intrants de ces études (consultants, logiciels).	- Accords financiers : les donateurs financent les études et les membres doivent contribuer au fonctionnement (apports financiers ou en personnel). - Désengagement des membres à cause de difficultés économiques. - Désengagement des membres pour des raisons politiques. Détournement de mission possible. - Rapports avantages/coûts très variables selon les pays membres de l'organisation. - Passé riche d'exemples de mauvaise gestion financière.

OPPORTUNITIES - les chances	THREATS - les risques
- Avec la raréfaction de l'eau, la concurrence entre les usages et les conflits entre utilisateurs, aux niveaux national et international, rendent la coopération inter-états de plus en plus inévitable. - Beaucoup de pays sont actuellement engagés dans des programmes d'ajustement structurel ce qui permet d'espérer une amélioration de leur situation économique ; des projets de mise en valeur qui avaient été différés sont en train d'être réexaminés.	- Rupture de financement, les états membres étant peu disposés à financer certains secteurs de l'activité de l'organisation. - Réticences des donateurs d'engager des ressources dans une organisation qui n'est pas soutenue à fond par les pays membres.

L'évaluation SWOT met en évidence l'ampleur de la coopération internationale qui est requise pour assurer la planification des ressources dans un bassin partagé entre plusieurs pays, plus particulièrement lorsque la demande est en croissance générale et que s'intensifie la concurrence pour une ressource limitée. Mais selon cette analyse, il n'est pas prouvé que le type d'organisation dont il est question, qui doit supporter des charges de fonctionnement très substantielles pour les installations et le personnel, soit forcément la meilleure formule pour réaliser le niveau de coopération désiré. L'expérience a montré que le mécontentement à propos de la participation financière des différents membres pouvait générer des conflits et amener le désengagement financier de certains états.

7.4.3 Evaluation SWOT - Le Projet AGRHYMET

STRENGTHS - points forts	WEAKNESSES - points faibles
- Réussite dans l'implication des pays membres dans le programme. - Importance donnée à la formation des personnels des pays membres. - Réussite pour la mise en oeuvre du bulletin agrométéorologique décadaire destiné au projet FAO GIWES.	- Après 20 ans d'existence, projet demandant encore une très forte assistance technique extérieure.
OPPORTUNITIES - les chances	**THREATS - les risques**
- Capacité du centre de Niamey pour effectuer des analyses ou entreprendre des recherches sur la base des données nouvelles qui continuent d'être collectées.	- Danger de concentrer les efforts sur le centre aux dépens des composantes nationales du projet, et de perdre l'appui déterminant des pays.

Dans ce cas l'évaluation SWOT présente un certain nombre de caractéristiques positives qui pourraient être transposées dans le montage de nouveaux projets régionaux.

7.4.4 Evaluation SWOT - Le Projet OMS/OCP

Le Projet de Contrôle de l'Onchocercose (OCP) de l'OMS a été présenté en 3.3.6. Cette partie traite de la gestion du réseau hydrométrique associé à ce programme du secteur santé.

STRENGTHS - points forts	WEAKNESSES- points faibles
- Projet régional exemplaire au plan logistique, opérationnel sur 9 pays. - Personnel de contrepartie bien géré et bien intégré. - Utilisation opérationnelle de la télétransmission sur une grande échelle. - Parc d'équipements modernes le plus important d'Afrique (environ 100 stations automatiques et 2 stations de réception).	- La gestion du réseau et la constitution d'une banque de données selon les standards habituels de l'hydrologie ne sont pas une préoccupation explicite du projet. - Le réseau de télémesure, les équipes de terrain et le traitement des données sont assurés par des experts expatriés. - Les données hydrologiques télétransmises ne sont pas archivées dans une banque de données hydrologiques.
OPPORTUNITIES - les chances	**THREATS - les risques**
- Projet garanti jusqu'à l'horizon 2000. - Possibilité d'entente entre les agences d'exécution au plus haut niveau (OMS-OMM) pour organiser une sauvegarde institutionnalisée des données télétransmises. - Compatibilité des stations automatiques et des matériels du projet avec ceux utilisés en Afrique dans les autres projets.	- Difficultés d'entente et de coordination entre le secteur EAU et le secteur SANTE, tant au niveau des agences d'exécution internationales que des services nationaux. - De nouvelles méthodes de traitement de la maladie pourraient rendre inutile l'épandage d'insecticides dans les rivières. - Difficultés de maintenir ce réseau en fonctionnement au terme du Programme OCP.

Pour réaliser un programme de traitement insecticide efficace le programme OCP avait des besoins spécifiques en données hydrologiques très récentes et fiables, collectées sur une base géographique régionale. Cette situation a amené le projet à installer un réseau hydrométrique très moderne sur une grande échelle, et le projet est aujourd'hui leader en matière de télémesure par satellite dans la région. En permettant de réduire le nombre des heures d'hélicoptères, cette technologie aura permis d'amortir les investissements en matériel en deux ans.

Dès lors que les financements sont disponibles et qu'une gestion saine du programme est assurée (par des experts expatriés dans le cas d'OCP), le programme OCP aura fait la preuve que les stations hydrologiques automatiques avec transmission des données par satellite sont aujourd'hui des équipements robustes et fiables, et qu'en assurant une présence périodique sur le terrain cette technologie permet une collecte de qualité dans les conditions physiques difficiles de la région.

Toutefois, OCP est avant tout un programme du secteur santé et les données hydrologiques collectées sont si spécifiques aux besoins du projet qu'elles ne sont que peu ou pas du tout utilisables par les gestionnaires de ressources en eau, la première raison étant que les données ne sont pas sauvegardées ou analysées après réception. Les hauteurs d'eau sont transmises à deux centres (Odiénné en Côte

d'Ivoire et Lama Kara au Togo), par satellite pour certaines stations ou par des moyens conventionnels dans le cas des stations non automatiques (comme au Ghana ou en Sierra Léone). Le traitement de la donnée se limite à fournir la valeur du débit aux équipes chargées des épandages d'insecticide, valeur qui est ensuite perdue. Les informations relatives aux courbes d'étalonnages sont archivées mais ne sont pas accessibles aux services hydrologiques nationaux.

Il suffirait que le programme OCP mette en oeuvre d'autres filières d'éradication de l'onchocercose pour que les données hydrologiques en temps réel cessent d'être une nécessité. Le réseau pourrait éventuellement être transféré à une autre entité et les objectifs de son exploitation modifiés pour assurer un suivi effectif des ressources hydrologiques. Dans ce cas, un grand nombre de stations d'OCP pourraient trouver leur place dans un réseau de surveillance des fleuves africains et l'adoption de nouvelles procédures de traitement et de sauvegarde des données télétransmises dans une base de données hydrologiques ne demanderait qu'un minimum d'efforts.

7.4.5 Evaluation SWOT - Le Projet HYDRONIGER

STRENGTHS - points forts	**WEAKNESSES - points faibles**
- Réseau télétransmis de niveaux d'eau sur tout le bassin (65 stations). - Centre de Niamey avec réception des données et installations informatiques. - Centres nationaux de réception de données télétransmises. - Développement et calage de modèles de prévision hydrologique.	- Après plus de 15 ans d'existence, le projet exige des intrants en assistance technique extérieure pour la maintenance du réseau et des centres de calcul. - Equipements aujourd'hui désuets (capteurs et stations de réception des données télétransmises). - Projet soumis à de fortes pressions de l'ABN (qui coiffe le projet), mais l'ABN a souvent été critiquée pour ses médiocres résultats. - Lourd passé de mauvaise gestion financière, impliquant de réviser les procédures de financement du projet.
OPPORTUNITIES - les chances	**THREATS - les risques**
- Domaine d'action très vaste permettant d'entreprendre des projets allant de la prévision des crues à la gestion des ressources en eau.	- Manque de soutien de la part des services hydrologiques nationaux. - Difficultés financières provoquées par le désengagement de pays qui ne trouvaient pas leur compte dans l'organisation. - Existence de pays opposés au principe du partage des ressources en eaux, craignant de livrer à des pays voisins des informations sur l'utilisation de l'eau dans son propre pays, etc. - Risque de ne pas voir s'instaurer des relations plus constructives avec l'ABN

L'évaluation SWOT de ce projet est loin d'être positive, en particulier en ce qui concerne les perspectives d'avenir. On doit s'attendre à des difficultés lorsqu'on voudra donner au projet des compétences plus étendues que l'annonce de crue, telles que le suivi des ressources. Les relations entre le projet et l'ABN ont été peu satisfaisantes et il est difficile de voir un potentiel d'avenir intéressant dans HYDRONIGER, à moins que des relations plus satisfaisantes puissent s'instaurer avec l'ABN dans l'avenir. Les bailleurs de fonds et les pays membres ont été déçus par l'inefficacité du fonctionnement institutionnel du projet, et en particulier par les piètres résultats obtenus par l'ABN. Au niveau du montage institutionnel, il y a un grand nombre de leçons à tirer de ce programme et des mauvais résultats de son avancement au fil des ans.

7.4.6 Evaluation SWOT - Le CIEH

STRENGTHS - points forts	**WEAKNESSES - points faibles**
- Organisation regroupant un grand nombre de pays (14). - Organisation ancienne qui a fait la preuve de sa viabilité. - Organisation crédible chez les bailleurs de fonds (Banque Mondiale, PNUD, Coopérations bilatérales France, Pays Bas, etc). - Siège du CIEH à Ouagadougou (comme ceux du CILLS et EIER/ETSHER). - A réalisé et a publié plus de 200 études. Large diffusion des résultats. - Centre de documentation bien fourni.	- Difficultés financières créées par l'arrêt des cotisations de beaucoup de pays membres. - Pratiquement tous les pays membres sont francophones et les pays sahéliens sont dominants dans l'organisation.
OPPORTUNITIES - les chances	**THREATS - les risques**
- Développer les activités des écoles de formation pour les ingénieurs (EIER) et les techniciens (ETSHER) et leur donner un caractère plus régional. - Développer le rôle du Comité pour la production de recommandations et de manuels de formation en matière de collecte et de traitement de données hydrologiques et hydrogéologiques. - Maintenir et développer la capacité du Comité pour la conception et la gestion des projets de développement.	- Structure perçue par les pays de l'Afrique Humide comme dédiée aux pays secs.

Le CIEH est une organisation qui doit être prise en compte dans un projet de développement des activités hydrologiques en Afrique de l'Ouest. C'est un organisme déjà ancien, dont la capacité de coordination est bien reconnue et acceptée par les pays membres, même si les difficultés économiques ont amené certains d'entre eux à surseoir au paiement de leur cotisation. Cet organisme pourrait

servir de point d'ancrage pour certains aspects des projets régionaux, comme la formation et plus particulièrement pour le secteur des banques de données.

7.4.7 Enseignements pour la conception des projets régionaux

Depuis leur fondation, les agences internationales de bassins ont appelé des consultants pour lancer un certain nombre d'études destinées à identifier les possibilités de développement dans leur zone géographique. Ces études remontent en général aux premières années de fonctionnement de chacune des organisations. Au cours de la dernière décennie les agences internationales de bassins ont souffert de graves difficultés financières, en contrecoup de l'affaiblissement économique des pays membres et les activités, lorsqu'elles étaient financées par les contributions des pays membres, ont virtuellement cessé. Les projets AGRHYMET, OMS/OCP pratiquement totalement financés par les donateurs, ont été moins touchés par les problèmes financiers de la région. Ceci est également le cas dans une moindre mesure pour HYDRONIGER, dont les financements ont été réduits par le manque de confiance des donateurs face à une image assez médiocre donnée par l'ABN.

Les missions dévolues aux agences internationales de bassins concernaient généralement tous les secteurs du développement de la région. Elles ont procédé à des investissements lourds (construction d'immeubles, systèmes informatiques, véhicules, etc.) qui ont entraîné des coûts de fonctionnement élevés. Lorsque ces institutions étaient effectivement très actives et productives, ces coûts de fonctionnement pouvaient être admis, mais aujourd'hui ceux-ci sont considérés comme inacceptables. L'ABN (Autorité du Bassin du Niger) s'est déjà engagée dans un processus de restructuration, et une politique rigoureuse de restriction pour améliorer son efficacité financière. Dans certains bassins en Afrique, la solution a été de mettre sur pied un "Comité Technique Conjoint Permanent" qui se réunit une ou deux fois par an pour discuter des questions relatives au partage de l'eau. Les questions traitées dans ces comités sont très spécifiques, impliquent un nombre limité de techniciens et de responsables politiques et permettent aux responsables de la politique nationale du secteur eau de maintenir le contact pour des coûts d'administration réduits. L'exemple le plus typique de cette évolution au niveau régional est celui des rencontres périodiques du comité national du PHI, pour discuter du partage des eaux du bassin de la Volta.

Une autre particularité importante dans ces organisations internationales est le rôle déterminant du talent et de l'enthousiasme de quelques individualités qui assurent le succès de l'organisation – la renaissance récente du LCBC (Commission du Bassin du Lac Tchad) en constitue une excellente illustration. Les politiques nationales en matière de sélection des candidats aux postes clés de ces organisations régionales sont déterminantes pour mettre à la disposition de ces organisations des individus fortement motivés et pour que ces individus trouvent eux-mêmes à l'occasion de leur passage dans ces organisations une opportunité pour améliorer leur profil de carrière au plan national.

Les contraintes imposées par la sécheresse en 1973 au moment de la mise en place d'AGRHYMET avaient favorisé la pratique de collaborations étroites entre pays membres. Dans cette situation d'urgence, les sentiments nationaux ont pu être surpassés à partir du moment où les pays ont pris conscience que la collaboration inter-états était perçue comme le moyen offrant les meilleures perspectives pour obtenir l'aide internationale. Cette situation mise à part, les informations en rapport avec les ressources en eau sont souvent considérées comme un secret d'état, qui ne peut être diffusé en dehors du pays. Dans les premiers jours d'HYDRONIGER, le projet avait failli capoter par crainte que les données du projet puissent être utilisées par un autre pays pour contester l'allocation des ressources en eau. Ces craintes restent très répandues et fortement ancrées dans les esprits. Dans

cas d'HYDRONIGER, ces considérations peuvent empêcher le projet de dépasser le simple stade actuel de suivi des niveaux d'eau et d'évoluer vers un contrôle de gestion intégré des ressources hydrologiques.

Un point clé dans la réussite d'un programme à long terme est que les personnels des services hydrologiques des pays membres soient effectivement intégrés aux activités du projet. Il apparaît que cette situation est bien celle qui prévaut pour AGRHYMET, mais elle est plutôt imparfaitement réalisée dans HYDRONIGER. Les contributions nationales des pays membres sont plus facilement versées si les crédits sont dépensés dans le pays donateur, et si une portion importante du pays est incluse dans le bassin versant en question.

Le concept de coopération régionale pour la planification des ressources en eau des bassins internationaux dans un contexte de croissance des besoins est largement accepté en Afrique de l'Ouest, bien qu'il subsiste une tendance à considérer que certaines données ont un caractère stratégique et sont incommunicables. En ces temps de restriction financière, le coût des infrastructures de collaboration doit être maintenu aussi bas que possible et rester en rapport avec les bénéfices retirés par chaque participant. Ceci veut dire que les forces en faveur de la décentralisation des activités de coopération sont puissantes et que les institutions et les projets sont d'autant mieux soutenus par les membres qu'une part importante des fonds disponibles est investie dans les pays eux-mêmes ou dans la formation du personnel national et que les coûts de fonctionnement sont réduits au minimum. La réussite de la coopération régionale sera obtenue si les organisations ou projets adoptent avec rigueur et compétence tous les aspects techniques et financiers et plus particulièrement les relations avec les services hydrologiques nationaux qui sont les bénéficiaires cibles.

7.5 Résumé des problèmes institutionnels

Les services nationaux sont généralement incapables de planifier effectivement leurs besoins, qu'il s'agisse d'investissement en capital sur le long terme, de fonctionnement au jour le jour ou de recrutement de personnel, parce qu'ils manquent dans une large mesure de contrôle sur leurs financements, qu'ils soient d'origine locale ou internationale. Les agences internationales de bassins et le CIEH ont aussi l'expérience de ces problèmes financiers. La qualité de la gestion reflète ce manque de contrôle des fonds. Il apparaît très souvent dans cette région que les services hydrologiques se sont engagés dans une spirale descendante. En manque de financements, ils sont de moins en moins capables d'assumer leurs activités et leurs contre-performances sont ensuite prises comme justification de réductions supplémentaires de financements. Le moral des personnels est en conséquence bas.

Dans le but de rompre ce cercle vicieux du sous-financement et des contre-performances, il est nécessaire de s'attaquer aux problèmes de la basse priorité accordée à la collecte de données hydrologiques dans les budgets nationaux et du support international intermittent, basé sur le principe "de coups de freins et d'accélérateur" alternés.

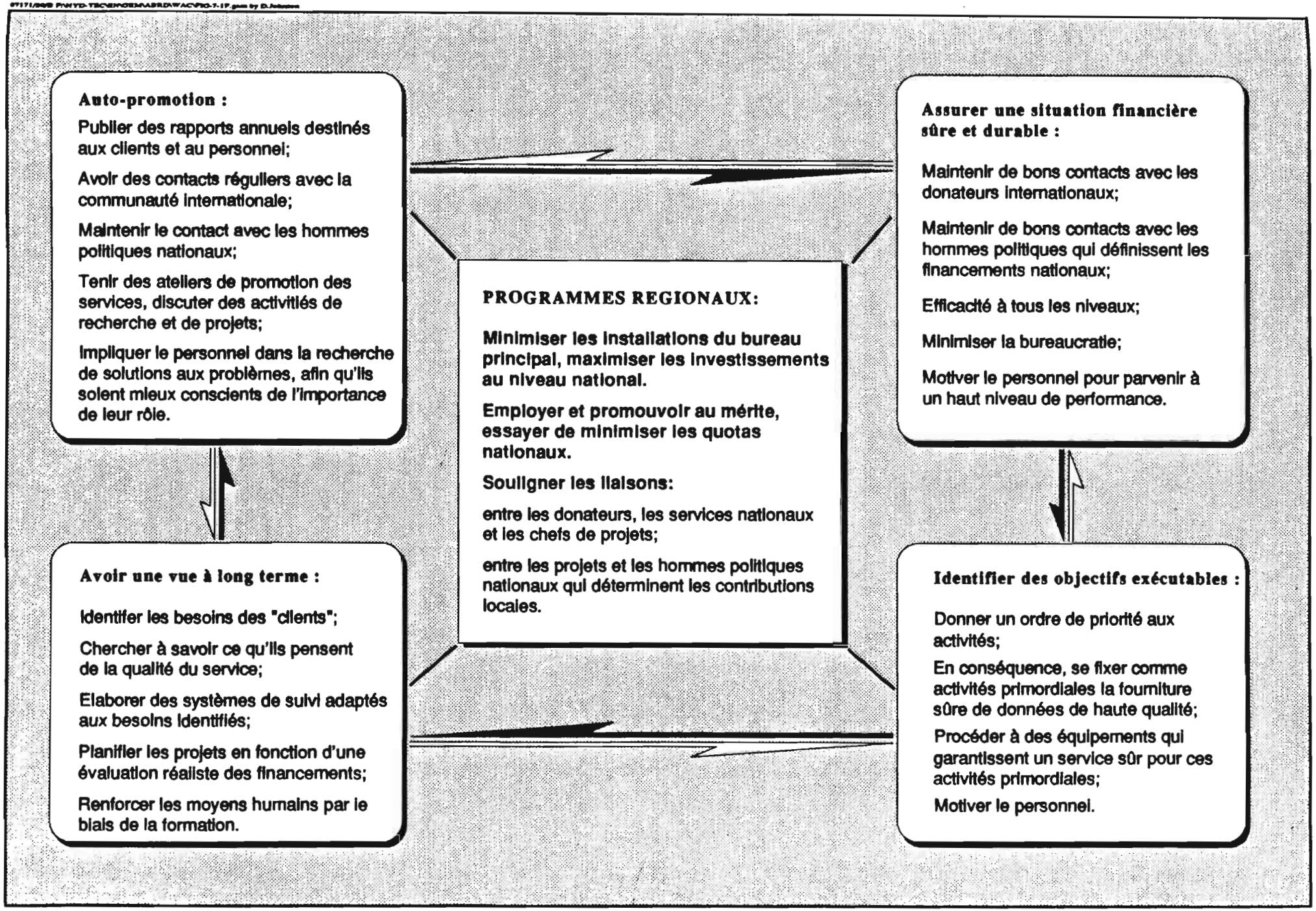
Comme discuté en 7.2, la collecte de données hydrologiques est en général sous-évaluée en dehors du groupe d'initiés dans ce domaine. Ce manque de conscience de la valeur des données hydrométriques, combiné avec les difficultés économiques que la région connaît actuellement, a contraint un grand nombre de services nationaux à restreindre leurs activités au point où la continuité vitale à long terme est mise en péril. Cette évaluation a identifié le besoin d'une vigoureuse auto-

promotion par les hydrologues, non seulement envers leurs collègues dans la profession, mais aussi et c'est le plus important, pour exercer une influence sur les politiques et les décideurs. Afin de prouver de façon convaincante qu'il faut augmenter les financements, il est devenu indispensable de montrer que les météorologues, les hydrologues et les hydrogéologues ont adopté une approche des plus professionnelles pour planifier et gérer leurs services et que les financements alloués à l'hydrométrie sont des financements bien employés. L'objectif doit être de créer une spirale ascendante "méritante" par laquelle des performances de haut niveau résulteront en une mise à disposition de financements plus importants par les agences, ce qui permettra d'améliorer et d'étendre les services offerts aux utilisateurs.

Une approche plus professionnelle en matière de planification et de gestion, à la fois des services hydrométriques nationaux et des entreprises de coopération régionale, peut exiger de considérer entre autres les liaisons tracées sur la figure 7.1. Le concept du "client" et des exigences du client n'est pas forcément aisé à prendre en compte, car dans la plupart des pays les services hydrométriques et les utilisateurs principaux des données sont généralement des ramifications du gouvernement, fréquemment rattachées au même ministère. Cependant, il est essentiel que les administrations se montrent sensibles aux demandes des usagers et ne s'en tiennent pas simplement à poursuivre leurs activités selon les pratiques passées. La rubrique "personnel" apparaît dans chaque cadre de la figure 7.1, étant donné que la qualité du service que peut offrir l'agence est étroitement liée à la motivation du personnel et à son niveau de formation.

La privatisation est déjà devenue une solution dans certains pays, comme par exemple le Nigeria. Ceci peut être envisagé par les hommes politiques locaux comme un moyen d'économie budgétaire pour le gouvernement et il peuvent avoir une vision irréaliste de la capacité des agences hydrométriques à reporter leurs coûts de fonctionnement sur leurs clients. Bien que des statuts d'agences privatisées ou semi-autonomes présentent la possibilité de s'affranchir des règles régissant du service public, en ce qui concerne les indemnités de terrain ou les perspectives de promotion, elles introduisent des incertitudes supplémentaires quant à la pérennité des financements.

Les objectifs, aussi bien des projets par pays que des projets régionaux, ont pris en compte l'importance cruciale de mettre fin à cette spirale descendante. Les projets par pays présentent des voies pour le développement des effectifs, proposent de nouvelles technologies pour la collecte et le traitement des données et précisent le niveau de l'assistance technique approprié à la situation de chaque pays. En examinant les projets régionaux potentiels, nous avons insisté sur le problème du profil à donner aux services hydrologiques et sur le moyen de définir une assistance internationale telle que les agences nationales puissent planifier leurs activités à plus long terme qu'auparavant. Ces deux aspects sont considérés comme fondamentaux pour ce qui concerne les agences hydrométriques de tous les pays de la région.



Objectifs de gestion pour les agences hydrométriques nationales et les programmes régionaux

CHAPITRE 8

RECOMMANDATIONS

8.1 Vers de nouvelles perspectives

Il est de plus en plus admis par la communauté internationale que l'eau est un élément déterminant du développement. La fonction majeure de tout service hydrologique est de fournir des données pour la conception des projets impliquant l'utilisation des ressources en eau. Si ces données sont justes, les projets seront optimisés en fonctionnalité et en rendement financier. Si les données sont de mauvaise qualité, les crédits seront dépensés en pure perte dans des projets où les ressources hydrologiques superficielles ou souterraines seront insuffisantes, à moins que les crédits ne soient dilapidés dans des projets conçus de manière non optimisée. Les résultats de l'Evaluation Hydrologique en Afrique Sub-Saharienne montrent que dans beaucoup de pays d'Afrique de l'Ouest les données requises pour satisfaire aux besoins du développement ne sont pas actuellement collectées et gérées.

Au fur et à mesure que les pays en développement évoluent vers des économies planifiées, souvent fondées sur les mécanismes du crédit international, les considérations budgétaires ont pris une place grandissante, particulièrement dans le secteur public où sont regroupés les services hydrologiques. Dans le domaine de l'hydrométrie, de nombreux projets d'assistance technique ont fourni des contributions louables pour développer les activités hydrologiques, souvent sous la forme de capital (en général produits importés et services), d'intervention d'experts et de formation du personnel de contrepartie. Mais en général, les programmes d'assistance technique n'ont pas complètement pris en compte la capacité d'expansion limitée qui est celle des services hydrologiques nationaux pour intégrer et maintenir les activités lancées dans le cadre d'un projet. Bien que beaucoup de projets à court terme dans les pays de la région aient traité et parfois résolu des problèmes techniques spécifiques, les contraintes ultimes du suivi et de l'évaluation des ressources hydrologiques aux échelles nationales et régionale sont d'ordre financier et d'organisation. En termes simplifiés, la plupart des pays en développement, particulièrement en Afrique, n'ont ni les moyens financiers, ni le personnel qualifié pour assurer un suivi correct de leurs ressources en eau.

Les services hydrologiques de la région ont des niveaux de rendement très bas. Il y a aujourd'hui peu de pays qui ont des services qui peuvent être comparés avantageusement avec ceux qui existaient il y a 10 ou 20 ans. Aucun pays ne possède encore un service qui soit adapté pour étayer le développement prévisible du secteur eau dans la région pour les prochaines décennies. Cette situation serait préoccupante même pour un pays avec une population stable, mais dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest, la population doit doubler tous les 20 ans. Avec le développement économique et l'élévation du niveau de vie et des conditions de santé, la rareté de l'eau deviendra un problème majeur dans le nord de la région. Les effets cumulés de l'explosion démographique en Afrique et des changements climatiques doivent être considérés avec la plus grande attention (que ce soit des

irrégularités aléatoires du type de la séquence sèche des décennies 70 et 80, ou d'une modification continue et à long terme comme celle qui pourrait être induite par le réchauffement global).

L'évaluation a mis en évidence une opposition marquée entre l'état actuel des services d'hydrologie et d'hydrogéologie et l'évolution en général satisfaisante vers plus d'efficacité des services de météorologie synoptique de la région, qui ont été améliorés de manière très significative par l'ASECNA, le Programme AGRHYMET du CILSS/OMM et d'autres projets. Toutefois, le suivi pluviométrique hors réseau synoptique s'est généralement dégradé ces dernières années (voir figure 4.4) et dans certains pays les réseaux agrométéorologiques restent encore très embryonnaires. Cette situation favorable de la météorologie synoptique s'explique par les raisons suivantes :

- la météorologie est essentielle pour la sécurité des transports aériens, qui est un des secteurs ayant eu la plus forte expansion des dernières décennies ;

- la météorologie est plus facilement perçue comme une science non limitée par des frontières politiques ;

- les médias et les agences de financement ont fait passer l'idée que la récente sécheresse des années 70 et 80 n'était rien d'autre qu'une diminution des précipitations. Toutes les conséquences au niveau de la ressource (débits des rivières, réserve en eau souterraine), n'ont pas encore été précisément évaluées ;

- la réduction de la présence de la FAO dans les études et le financement des ressources en eau à partir de 1970, a laissé un vide qui n'a pas encore été totalement comblé par une autre agence telle que le PNUD/DTCD ou l'OMM, et bien que ces agences aient fourni et continuent de fournir un appui considérable et croissant aux services météorologiques, hydrologiques et hydrogéologiques ;

- les services hydrologiques de la région sont généralement situés à un niveau subalterne de ministères tels que les travaux publics ou l'agriculture. Ces services bénéficient de priorités très faibles au plan national en période de restrictions économiques, alors que la météorologie bénéficie d'une image plus favorable, particulièrement en ce qui concerne le transport aérien, l'agriculture, et les catastrophes naturelles.

Un suivi hydrométrique convenable et la gestion des ressources en eau sont des tâches exigeantes qui supposent l'engagement et la compétence des personnels à tous les niveaux. Mais, malheureusement, les conditions actuelles (et probablement futures) de travail dans les services hydrologiques des pays en développement sont peu attractives, particulièrement pour ce qui est des salaires, de la satisfaction du travail fourni, et des possibilités d'avancement. Bien qu'il y ait dans certains pays une légère tendance à la réduction du nombre des fonctionnaires, à la concentration des compétences et la mise en place de récompenses et d'incitations grâce à une meilleure utilisation des deniers publics, la pénurie générale de main d'oeuvre qualifiée et motivée va probablement se maintenir dans un futur proche. Il est certain que l'amélioration significative du suivi et de la gestion des ressources hydrologiques ne pourra être obtenue qu'à travers un ensemble de mesures incluant:

- des programmes de formation soigneusement conçus ;

- la mise en oeuvre de systèmes informatisés pour le traitement, la gestion et l'analyse des données ;

- l'automatisation de la collecte sur le terrain avec des techniques comme le stockage sur mémoires de masses directement lisibles par les ordinateurs et la télétransmission des données en temps réel ou très peu différé ;

- un appui urgent aux programmes de collecte de données sur le terrain et de traitement de ces données, tant au plan financier qu'à celui des ressources humaines.

Le Programme pour le Développement de l'Hydrométrie en Afrique de l'Ouest a été formulé dans ce sens et toutes les recommandations qui suivent visent à donner aux agences hydrologiques de collecte les moyens de remplir efficacement leur mission sur des bases concertées et durables. L'engagement de maintenir une assistance directe pendant une période de 10 à 15 ans est nécessaire, ainsi que d'importants et de systématiques apports en équipements essentiels, en capacité d'expertise et en formation conçus pour satisfaire aux besoins de chacun des pays. Les recommandations qui sont faites concernent tous les aspects touchant au suivi des eaux de surface, depuis les méthodes de mesure sur le terrain, jusqu'au traitement et à la gestion des données, la présentation des résultats et l'utilisation des données. Il a constamment été tenu compte des implications financières et administratives du projet pour chaque pays et par conséquent on insistera fortement sur la nécessité pour les services nationaux d'améliorer les conditions de gestion et d'organisation des activités.

8.2 Le Programme pour le Développement de l'Hydrométrie en Afrique de l'Ouest (PDH)

Le programme englobe un ensemble de pays et de projets régionaux. Les projets nationaux sont soigneusement conçus pour renforcer les points faibles et aboutir à des standards opérationnels reconnus. La standardisation des procédures de traitement et de gestion des données dans la région est un objectif des projets régionaux de telle sorte que les pays membres soient en mesure d'échanger librement des idées, de discuter leurs problèmes en commun, d'échanger des données et des logiciels lorsque les besoins se feront sentir, et de façon générale d'établir les conditions d'une coopération au niveau régional.

Avec un aussi grand nombre de pays et de projets associés, il est recommandable qu'un programme de coordination soit établi au niveau régional, de manière à promouvoir et évaluer l'avancement du projet. Ces éléments d'appui et de coordination ont été introduits dans le projet régional n° 1 (voir figure 8.1), appelé "Umbrella Project ou Projet Parasol" parce qu'il couvre l'ensemble des projets nationaux liés à la collecte et au traitement des données, c'est-à-dire tous les éléments de la gestion des données indispensable pour assurer en mode opérationnel la fourniture de données fiables comme données d'entrée dans les procédures de planification dans le secteur des ressources en eau. Dans un stade initial le Projet Parasol devra rechercher et obtenir un consensus sur les procédures

hydrométriques utilisées, particulièrement pour ce qui concerne leur relation avec le traitement et la gestion des données. A chaque fois que cela sera possible, le projet favorisera l'uniformité des matériels informatiques et des logiciels.

Les objectifs du Programme pour le Développement de l'Hydrométrie (PDH) sont:

(i) participer à l'évaluation, à la réparation, à la réhabilitation et au soutien des réseaux de collecte de données hydrologiques ;

(ii) donner aux services hydrologiques les capacités pour exécuter tous les travaux de terrain selon les standards choisis, pour le moins sur un réseau réduit ;

(iii) mettre en oeuvre aux niveaux nationaux et régional le concept d'un réseau de premier ordre, de dimension limitée, mais dont la gestion pourra se faire sans discontinuer avec les financements nationaux. Les sites devront être sélectionnés selon des critères objectifs, fondés sur une analyse croisée des séries chronologiques existantes (durée, qualité), de la variabilité des régimes hydrologiques (hétérogénéité spatiale) et des besoins du développement (gestion, suivi de l'environnement). Un Projet Régional a été prévu pour réaliser ces objectifs ;

(iv) sauvegarder le fond de données hydrométriques existantes en utilisant et améliorant les capacités de traitement et de stockage informatique dans les pays ;

(v) promouvoir l'utilisation de procédures informatisées et standardisées pour le contrôle de qualité ;

(vi) promouvoir l'utilisation de la gestion informatisée des données et des procédures de traitement permettant d'obtenir périodiquement et à dates fixes des bulletins statistiques ;

(vii) développer une capacité d'étude et d'analyse en hydrologie appliquée dans chaque pays, capable de soutenir un développement planifié et la conception des projets.

L'objectif est d'aboutir à des services hydrologiques nationaux efficaces, qui pourront accéder à l'autonomie grâce à du personnel bien formé et à un réel savoir-faire technique et qui seront capables de fournir les données requises pour la mise en oeuvre du développement des ressources en eau et tout projet en rapport. Ces services auront à gérer des banques de données tenues à jour dans un standard totalement compatible avec tous les pays, ce qui rendra possible et facile l'échange de données hydrologiques à l'échelle des grands bassins versants.

Une fois encore, on insistera sur le fait que le développement réel et efficace des ressources en eau ne pourra pas être réalisé sans un effort de collecte de données, assuré de manière ininterrompue à long terme sur un échantillon de stations représentatives qui soit stable et de taille suffisante. La situation est critique en Afrique. Dans beaucoup de pays, le manque de crédits a entraîné la faillite

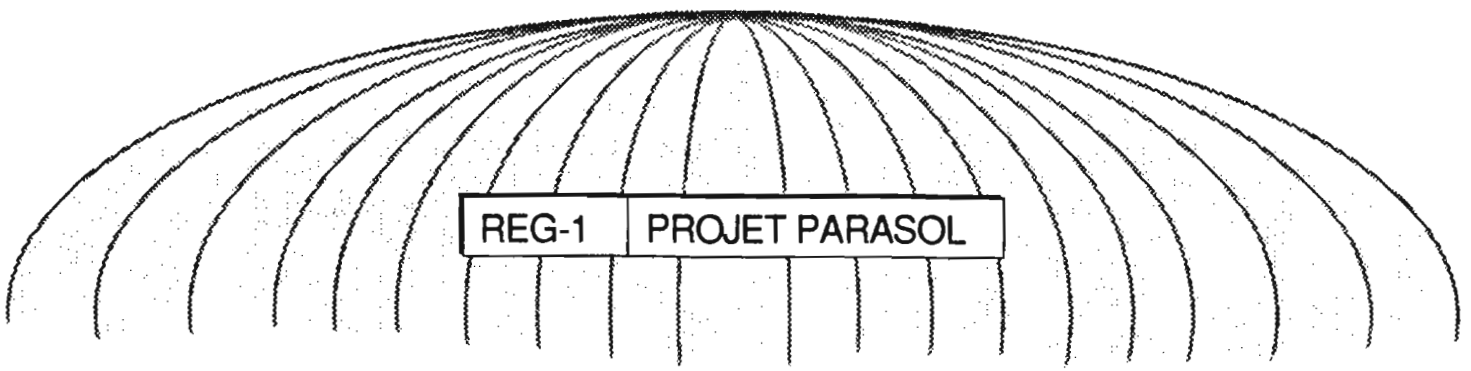
AGENCES DE

AGENCES DE FINANCEMENT

CONSULTANTS DES AGENCES D'EXECUTION

COMITE D'ORGANISATION

PROGRAMME POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'HYDROMETRIE



PROJETS NATIONAUX					
Pays A.....					Pays W
AAA-1		Projets nationaux visant à renforcer la collecte et le traitement des données en météorologie, hydrologie et eaux souterraines.		WWW-1	
AAA-n				WWW-n	

PROJETS REGIONAUX	
REG-2	Formation
REG-3	Surveillance de L'Environnement
REG-4	Récupération de Données
REG-5	Valeur des données de Ressources en Eau

Organisation du Programme de Développement de l'Hydrométrie

complète des services hydrologiques. La population en Afrique connaît une croissance très forte, avec un doublement prévu en 25 à 30 ans. Considérant par ailleurs l'impact négatif possible du réchauffement global sur les ressources en eau, il paraît inévitable que beaucoup de pays d'Afrique devront faire face à une crise d'ampleur alarmante.

Ces propositions sont développées dans les parties suivantes. Le Projet Parasol est discuté en partie 8.3 en même temps que les autres projets régionaux. Les propositions nationales sont résumées en partie 8.4, les détails concernant ces projets pouvant être trouvés dans le rapport de pays correspondant. Les estimations financières pour les projets sont résumées en section 8.5. Les projets régionaux sont présentés en annexe A dans le format standardisé du type PNUD (Mott MacDonald et al., 1990).

8.3 Projets régionaux

8.3.1 Considérations générales

Cinq projets régionaux ont été proposés. Le premier, dit Umbrella Project ou Projet Parasol est conçu autour d'une équipe de taille réduite, chargée de coordonner l'ensemble des activités du Programme de Développement de l'Hydrométrie. La fonction principale de ce projet est le maintien d'une présence continue en matière de savoir-faire et de conseil technique dans la région pendant 5 à 10 ans. Ce projet s'inspire d'un certain nombre d'éléments jugés satisfaisants dans le Programme AGRHYMET (voir 7.7).

Le projet régional n° 2 a pour objectif le renforcement de deux ou trois centres régionaux de formation, en soutenant pour le moins une institution francophone et une anglophone, qui auront pour mission de proposer régulièrement des formations techniques, plus spécialement destinées aux techniciens en hydrométrie superficielle et en hydrogéologie.

Le projet régional n° 3 a été conçu comme une partie d'un programme plus vaste portant sur un suivi hydrologique et environnemental sur l'ensemble du continent africain au sud du Sahara. Le projet général est conçu pour être implanté par phases successives et ce projet régional n° 3 pour les pays d'Afrique de l'Ouest pourrait constituer la phase initiale du grand programme. L'objectif est de créer un réseau de stations de référence, de dimension minimum, mais fournissant des données de haute qualité grâce à l'utilisation de la télémétrie et à partir duquel un flux continu d'informations sur l'environnement, avec une diffusion régionale et internationale, pourra être assurée.

Le projet n° 4 concerne la récupération et la sauvegarde de grands ensembles de données historiques détenues par les différents services hydrologiques de la région. Le projet est fortement orienté vers la sauvegarde des données en eaux de surface et en eaux souterraines, car des projets semblables ont déjà été réalisés ou sont en cours pour la récupération des données météorologiques (Projet DARE, voir 3.3.5, et Programme CIEH sur la pluviométrie des états membres, voir 6.1.3).

Le projet n° 5 concerne la question de la promotion et de l'élaboration d'un profil amélioré des services de collecte des données. C'est une étude qui se propose de donner aux pays les outils pour évaluer le niveau de financement minimum qui doit être consacré aux services de collecte des données hydrologiques par rapport aux besoins actuels et futurs du développement. Le projet étudiera aussi les conséquences probables sur la planification des ressources en eau de l'augmentation de la population, du changement climatique et de la dégradation de l'environnement, tous ces points pouvant être considérés comme contribuant à un plus grand besoin de surveillance hydrologique.

Une présentation sommaire des projets régionaux, désignés par REG-1 à REG-5, et de leurs coûts estimés fait l'objet du tableau 8.1. Une présentation plus détaillée est présentée en annexe A dans laquelle ces projets sont présentés dans le format standard du PNUD.

8.3.2 Programme de Développement de l'Hydrométrie PDH (Projet Parasol)

a) Objectifs

A travers son rôle de coordination, l'objectif principal du Projet Parasol est d'améliorer la collecte et le traitement des données effectués par les services hydrologiques nationaux, de telle sorte que des données fiables soient collectées dans chaque pays, pour le moins sur un nombre restreint de stations de premier ordre, et que la pérennité de ces activités soit assurée à long terme.

Le Programme de Développement de l'Hydrométrie requiert des apports financiers initiaux importants si l'on veut éviter une cessation complète des activités sur les réseaux de collecte. En clair, sachant que l'hydrométrie ne constitue qu'une préoccupation des donateurs parmi beaucoup d'autres, l'augmentation de la part de l'aide destinée au secteur eau, et plus particulièrement à l'hydrométrie, suppose une campagne d'information bien organisée et soutenue pour que les bailleurs de fonds prennent réellement conscience des difficultés spécifiques des services hydrologiques et de l'importance des données pour la conception des aménagements. C'est notre conviction que la mise en place d'une structure au service des agences nationales, ayant pour objectif de rehausser le niveau de cette activité décisive qu'est l'hydrométrie, servirait au mieux la cause de la collecte de données dans la région.

Les conditions de fonctionnement des services hydrologiques ou hydrogéologiques sont très différentes selon les zones climatiques et les pays considérés. On a constaté que la collaboration inter-états dans la région était une pratique ancienne et courante et qu'il y a là matière pour le nécessaire développement futur des échanges d'informations, de données et de savoir-faire entre différents services. Ces collaborations permettent aux services de collecte de dimensions modestes ou qui sont les moins avancés dans leur développement de bénéficier de l'expérience acquise par les plus performants, dans le choix des équipements de mesure (par exemple, OCP a su tirer les leçons des difficultés rencontrées par HYDRONIGER dans la technique de la télémesure).

TABLEAU 8.1

TABLEAU 8.1

Programme de Développement de l'Hydrométrie en Afrique de l'Ouest - Proposition de Projets Régionaux

Réf	Titre	Agence d'exécution	Objectifs	Durée (mois)	Apports (mois)			Coûts (milliers US$)			Total millions US$
					Experts internat-ionaux	Experts régionaux	Volontaires	Personnel	Equipement	Formation	
REG-1	Projet Parasol	Banque Mondiale ou PNUD	Coordination et aide à long terme du programme de développement hydrométrique des projets nationaux et régionaux	120	276	-	120	6 646	945	100	7,69
REG-2	Programmes de formation pour les techniciens et cadres en météorologie, hydrologie et eaux souterraines	CIEH/NIWR/WRRI	Développer les cours, former les intervenants et procurer des formations aux techniciens dans les domaines de l'hydrométrie et des eaux souterraines	60	74	64	-	3 014	500	-	3,51
REG-3	Programme de perfectionnement du suivi hydrologique et de l'environnement : composante Afrique de l'Ouest	OMM	Maintenir un petit réseau pour assurer le flux de données fiables pour le survi de l'environnement à long terme dans la région	120	149	-	-	3 246	1 080	160	4,49
REG-4	Programme de récupération des données pour les données hydrologiques et d'eaux souterraines	PNUD ou OMM	Assurer la conservation des enregistrements originaux et développer des lignes directrices pour un stockage sûr des données informatisées	60	42	-	72	1 167	220	400	1,79
REG-5	Evaluation des bienfaits économiques et sociaux de la collecte des données en Afrique de l'Ouest, comme justification d'un financement accrû des services hydrométriques	Banque Mondiale ou PNUD ou UNESCO/OMM	Procurer un outil pour l'évaluation quantative du minimum des besoins financiers des services de collecte de données	12	33	-	-	541	20	-	0,56

On insistera sur l'intérêt d'avoir une gestion différenciée d'un réseau primaire et de réseaux secondaires dans la région et sur la valeur inestimable que représentent pour la gestion des ressources et le suivi de l'environnement, des données fiables collectées sur un réseau de stations primaires bien représentatives au plan hydrologique. Un service ayant cette approche devra gérer son budget en assurant la gestion de ce réseau primaire, en priorité absolue par rapport aux autres activités. Le Projet Parasol peut apporter son concours en participant à la sélection des stations primaires, en hiérarchisant les activités à entreprendre sur ces réseaux à deux niveaux.

Grâce à ses relations étroites avec les donateurs et sa connaissance de la situation hydrologique régionale, le Projet Parasol sera en situation favorable pour conseiller les services nationaux sur la préparation des documents de projet et l'obtention de fonds par ces donateurs.

Le Projet Parasol sera un pôle d'assistance pour l'entretien des matériels, la formation à l'utilisation d'équipements nouveaux, l'assistance en informatique (matériels et logiciels spécialisés), pour le choix des équipements et des méthodologies, etc.

En fin de compte, le Projet Parasol propose une option à long terme pour des activités qui sont habituellement réalisées dans le cadre de projets d'assistance prévus sur deux ou trois ans seulement.

b) Principales activités

Les activités du projet peuvent être caractérisées comme suit :

Coordination des composantes du Programme de Développement de l'Hydrométrie

Constituer un point de convergence des différents éléments du PDH, particulièrement pour ce qui concerne la compatibilité des chronogrammes des différents projets nationaux et régionaux. Assister les services nationaux dans leurs relations avec les agences des donateurs et avec les projets régionaux prévus dans le cadre du PDH.

Promotion

Maintien de relations étroites avec les principaux donateurs du secteur eau pour assurer, année après année, des dotations financières convenables aux activités hydrométriques considérées dans leur sens le plus large.

Formation

Lorsque des technologies nouvelles comme la télémétrie ou de nouveaux logiciels de traitement de données seront introduits dans un projet national, les experts de Projet Parasol seront à même d'organiser de courtes sessions de formation sur place, en situation réelle, en utilisant des équipements propres du service hydrologique national.

Standardisation

Faire le point sur la situation régionale et internationale dans les domaines de la métrologie, des procédures utilisées sur le terrain et au bureau et définir les méthodes les mieux appropriées aux conditions locales. Par suite d'une longue coopération assurée par l'ORSTOM et le CIEH, on constate en général l'existence d'une plus grande harmonie méthodologique dans les pays francophones. L'expérience acquise, comme celles relatives aux capteurs et aux stations de télémesure, permettra d'éviter des mauvais choix aux plans techniques et financiers.

Entretien

Dans la région, la maintenance d'équipements spécialisés pose un certain nombre de problèmes qui ont été discutés en 7.4 et les possibilités de réparation sur place sont d'autant plus aléatoires que les équipements sont plus complexes. En favorisant l'uniformisation des matériels (voir plus haut) et en regroupant un grand nombre d'utilisateurs, le Projet Parasol pourra négocier avec les fournisseurs pour que des points de maintenance soient implantés sur place ou que des formations au dépannage des équipements soient prévues au moment de l'achat.

Matériels informatiques et logiciels

Bien que certains pays aient déjà utilisé dans le passé les gros ordinateurs des centres de calcul nationaux, les services hydrologiques de la région sont encore à un stade peu avancé dans l'utilisation de l'informatique. Cette inexpérience fait que le plus souvent des problèmes mineurs peuvent amener le blocage de tous les traitements. Jusqu'ici le soutien technique a été limité, même lorsque des ensembles comme CLICOM ont été introduits dans beaucoup de pays. Des experts en matériel et en logiciel de traitement de données seront affectés au Projet Parasol pour apporter ce soutien. Ils devront aussi déterminer comment les bases de données existantes pourront être fusionnées et de quelle manière pourront être récupérées les données codées sur des systèmes ou des supports devenus obsolètes.

Assistance au fonctionnement d'un réseau minimum

Par le fait que certains des objectifs de la collecte des données ont un enjeu international, le Projet Parasol aura des liens étroits avec le Projet REG-3 et cherchera à promouvoir sur un réseau primaire une collecte de données fiables, à effectuer les traitements et à mettre les résultats à disposition des pays et des services qui ne sont pas impliqués dans le Projet REG-3. Le programme aura également pour fonction de donner des conseils pour la sélection des stations adéquates, de définir les activités prioritaires et de coordonner soigneusement les activités des différents projets du PDH. Des périodes transitoires ou d'attente vont inévitablement caractériser la mise en place des projets nationaux. Cette caractéristique a causé bien des difficultés dans le passé, et on pourrait envisager que le Projet Parasol dispose d'une réserve financière lui permettant d'agir comme une agence d'exécution intérimaire pour assurer la continuité pendant ces périodes de transition, ce qui maintiendrait ainsi la pérennité des activités en attendant la mise en place des crédits prévus dans les projets du pays concerné. Un pareil rôle dans la gestion financière présenterait un grand nombre d'avantages pour

l'ensemble du Programme de Développement de l'Hydrométrie et les services nationaux, mais ceci pourrait également être perçu par certains comme un niveau de bureaucratie supplémentaire.

c) Site d'implantation du projet

Compte tenu du grand nombre de pays impliqués dans le PDH, il est essentiel que le siège du Projet Parasol soit implanté en un lieu bénéficiant des meilleures conditions possibles pour des commodités essentielles (destination bien desservie, facilité des télécommunications, etc.). Il y a effectivement une difficulté à décider si le projet doit être situé dans un pays anglophone ou un pays francophone. Le Projet Parasol pourrait être situé à Abidjan (Côte d'Ivoire), qui est un centre important pour les organisations des donateurs, la Banque Mondiale et pour un grand nombre d'agences des Nations Unies avec lesquelles le projet aura des relations très étroites.

Le projet sera initialement prévu pour 10 ans, avec des prolongations possibles de 5 ans, en fonction des résultats des évaluations qui seront conduites périodiquement. Le siège du projet pourra être utilisé comme base régionale par les experts et les consultants impliqués dans les différents projets nationaux.

Le Projet Parasol peut être attaché, ou associé, aux organisations régionales existantes. Cependant, en l'absence d'une organisation régionale représentant l'ensemble des 23 pays, il n'y a pas d'institution candidate évidente, avec laquelle établir ces liens.

d) Personnel

Le Projet Parasol sera composé d'experts chevronnés (seniors) qui consacreront une partie significative de leur temps hors du siège du projet pour contribuer à la réalisation des programmes de pays. Ce serait un avantage supplémentaire si ces experts pouvaient tous appartenir à un seul et même organisme et ainsi mettre en oeuvre les techniques de gestion utilisées dans cette organisation.

Les attributions de ces experts seront les suivantes :

<u>Directeur de projet</u>

- Planification, politique générale, recherche de financements, stratégie, coordination, liaison avec les projets nationaux, achat d'équipements, formations et bourses.

<u>Directeur financier</u>

- Recherche de financements, coordination.

Experts en collecte de données en hydrologie et hydrogéologie (en météorologie si nécessaire)

- Formation, renforcement des réseaux, procédures opérationnelles, contribution aux projets nationaux.

Experts en informatique (matériels et traitements)

- Formation, conseil en matériel et logiciel, programmation, contribution aux projets nationaux.

Du personnel de recrutement local en petit nombre sera utilisé au siège du projet, pour des fonctions telles qu'opérateur d'ordinateur, chauffeur, secrétaire, agent administratif, etc. Le coût du Projet Parasol est discuté en 8.5 et des détails complémentaires sont exposés dans l'annexe A.

8.3.3 Programme de formation des ingénieurs et techniciens hydrologues et hydrogéologues (REG-2)

Le Programme de formation des ingénieurs et techniciens hydrologues et hydrogéologues a pour objectif de renforcer le potentiel de formation technique dans la région, plus particulièrement en ce qui concerne la formation très appliquée et dispensée sur de courtes périodes. On a considéré que la meilleure option pour cela était de renforcer le potentiel de deux ou peut-être trois centres bien reconnus dans le dispositif de formation académique et professionnel de la région. L'un des centres sera dédié aux pays anglophones et situé dans l'un de ces pays et un autre sera spécialisé pour les pays francophones. Les spécificités des trois pays lusophones et de la Guinée Equatoriale d'expression espagnole ont été prises en compte, mais la solution la plus appropriée semble être de dispenser au centre francophone un enseignement dans ces deux langues. Ces centres auraient pour fonction d'offrir aux techniciens différents modules de formation, sous la forme de sessions de un à quatre mois, portant sur différents aspects de l'hydrologie, de la météorologie, de l'hydrogéologie, des transports solides, de la chimie des eaux, du traitement et de l'analyse des données.

Une large palette de programmes est prévue, allant de formations générales en hydrologie et en hydrogéologie opérationnelles jusqu'à des domaines techniques particuliers comme les jaugeages au moulinet, le suivi des transports solides, les procédures d'analyse de laboratoire, etc. La formation en météorologie, à un niveau plus approfondi que celui nécessaire pour l'étude des ressources en eau n'est pas prévue, car cette option est déjà offerte par le centre AGRHYMET. Si une demande à l'utilisation de CLICOM se fait sentir, ce projet REG-2 pourra sous-traiter cette option à l'AGRHYMET.

Les centres n'auront pas nécessairement les mêmes programmes, ceux-ci dépendant des demandes spécifiques exprimées dans chaque centre.

Au début, le personnel des centres sera principalement composé d'experts internationaux, mais la participation d'experts d'Afrique de l'Ouest sera encouragée et recherchée.

8.3.4 Programme de perfectionnement de la surveillance hydrologique et de l'environnement (REG-3)

Il a été proposé de mettre en oeuvre un programme de suivi des paramètres de l'environnement à l'échelle de tout le continent africain, en utilisant les techniques les plus modernes de métrologie (stations automatiques et télétransmission de données). Ces propositions font suite aux préoccupations internationales vis à vis des grands problèmes environnementaux tels que les changements climatiques, la dégradation du milieu, etc. L'utilisation et la gestion des ressources en eau en Afrique soulèvent un certain nombre de questions d'intérêt international. Il y a en Afrique de l'Ouest des expériences éprouvées de télétransmission de données, à commencer par le Projet HYDRONIGER et plusieurs autres réseaux implantés pour des besoins multiples. Le Projet REG-3 portant sur l'Afrique de l'Ouest est conçu comme étant l'étape initiale du projet continental africain, et comme un programme-pilote pour ces futurs développements. L'objectif est de gérer un réseau de taille minimum composé de stations de référence fournissant des informations précises, aisément disponibles aux niveaux régional et international, grâce à l'utilisation de la télétransmission.

Le projet sera centré autour d'un centre régional de réception des données qui pourrait être situé au siège du Projet Parasol. Les stations composant le réseau seront sélectionnées de manière à constituer un échantillon représentatif des régimes hydrologiques existants dans la région. Dans la mesure où des sites seraient représentatifs au plan hydrologique, ce réseau pourra inclure un certain nombre de stations télémétriques existantes, appartenant à des réseaux de projets comme OCP, HYDRONIGER, OMVS ou à des réseaux nationaux (Bénin, Guinée). Des stations nouvelles seront implantées si nécessaire. Il n'est pas prévu que le projet inclut un très grand nombre de stations, l'objectif étant d'avoir une télémesure de qualité sur des stations très bien gérées au niveau des procédures de terrain (exécution périodique de jaugeages et précision des étalonnages).

A leur réception au siège du projet, les données seront analysées et traitées par des logiciels dédiés avec pour double objectif le contrôle de la qualité et la mise à disposition des données dans les plus brefs délais.

Après une première phase de deux ans, le projet sera évalué et des recommandations émises pour extrapoler le système à un programme de dimension continentale.

8.3.5 Data rescue (REG-4)

Les objectifs du projet sont la récupération de toutes les données historiques et la mise en place aux niveaux nationaux de systèmes garantissant la sauvegarde sur papier et sur fichiers informatiques des données qui sont collectées à l'heure actuelle et de celles qui le seront dans le futur. Les réalisateurs du projet devraient établir des relations étroites avec le Projet Parasol dont les activités comportent un soutien aux activités informatiques et la définition de méthodologies et de normes dans les domaines du traitement, du stockage et de la gestion des données.

8.3.6 Evaluation des bienfaits économiques et sociaux de la collecte de données de ressources en eau (REG-5)

A l'heure actuelle, les gouvernements n'ont aucun moyen d'estimer la valeur des activités de collecte de données et sont généralement peu sensibilités à cet égard. Avec l'augmentation rapide de la population et des changements probables du climat par suite du réchauffement global, la demande en eau croissante va exiger une redéfinition du minimum indispensable pour les activités et les données hydrologiques qui sont requises pour la conception des projets de développement des ressources en eau.

Ce projet est conçu comme une étude sur 12 mois, essentiellement réalisée par des consultants au bureau après une période initiale de collecte d'information dans la région. Le projet aura des liens avec le Projet Parasol tout au long de l'étude, durant la phase initiale et surtout à la fin, pour déterminer la meilleure façon de faire passer les résultats auprès des directeurs et des gestionnaires des services nationaux de collecte de la région.

Le projet aura recours à des compétences diversifiées dans les domaines de l'hydrologie, de la modélisation du climat, de la démographie et de l'économie.

8.4 Projets nationaux

8.4.1 Considérations générales

L'Evaluation Hydrologique en Afrique sub-saharienne a mis en évidence certains aspects des activités hydrologiques qui posaient problème dans les pays d'Afrique de l'Ouest et a permis d'identifier un certain nombre de projets potentiels. Des considérations relativement générales quant à la caractérisation des projets sont résumées ci-après, et des descriptions plus détaillées peuvent être trouvées dans les rapports de pays correspondants. Les considérations financières sont abordées en 8.5.

8.4.2 Résumé des projets

153 projets ont été identifiés et proposés. Ceux-ci sont présentés par type d'activité dans le tableau 8.2. Dans certains cas, il y a plus d'un projet par service. Il peut exister un risque que le personnel national ne soit pas en mesure d'apporter tout le soutien requis et de tirer tous les bénéfices des propositions qui ont été faites. C'est pourquoi une gestion attentive et la mise en oeuvre des projets par phases successives, sous l'autorité des directeurs de projets nationaux et avec l'assistance du Projet Parasol, constituent des conditions préalables.

TABLEAU 8.2

Projets nationaux, par type d'activités

Type	Priorité I	Priorité II	Total
Renforcement institutionnel	63 385 000	4 811 000	68 196 000
Collecte de données	31 561 000	1 093 000	32 654 000
Traitement de données	5 606 000	641 000	6 247 000
Etudes	7 244 000	19 938 000	27 182 000
Total US$	107 796 000	26 483 000	134 279 000

Pour être efficaces les projets proposés devront s'intégrer dans les plans de travail des services hydrologiques nationaux et le personnel de contrepartie devra être identifié et désigné dès le début. Des conflits potentiels vis-à-vis des modes de fonctionnement préexistants de ces services devront être identifiés et les accords requis pour la formation du personnel devront être obtenus avant le démarrage des nouveaux projets. Tout ceci n'est pas simple car la préparation de la plupart des projets s'étire généralement sur 2 ou 3 ans, durant lesquels les arrangements qui avaient été trouvés à propos des emplois du temps et des attributions des personnels des services sont amenés à être modifiés.

Il en découle qu'un soin particulier doit être apporté à la coordination des aides fournies aux services nationaux et aux programmes de formation, qui ont des implications directes avec la disponibilité du personnel de contrepartie. Une coordination efficace doit reposer sur des plans de développement des services hydrologiques prévus pour des périodes de l'ordre de 5 ans. Les nouvelles propositions doivent prendre en considération ces projets de développement, et non pas être conçues isolément sans prendre en compte les projets préexistants et les engagements préalables des personnels.

Les objectifs généraux des projets qui ont été proposés sont la garantie d'un suivi de qualité des ressources en eau et de l'efficacité des services chargés de la gestion de ces ressources. Ces projets comportent évidemment des modules de formation très substantiels et des apports considérables en temps d'expert, essentiellement sous forme d'assistance technique avec des durées adaptées à la situation particulière de chaque pays.

Dans chacun des cas, les apports comporteront tout ou partie des éléments suivants :

- achats d'équipements pour la réhabilitation et le renforcement des réseaux de collecte ;
- achats de véhicules, bateaux et matériels de terrain pour renforcer les activités sur le terrain ;

- achats de matériels informatiques ;
- fourniture de logiciels ;
- assistance pour l'implantation des logiciels aux conditions locales, formation à leur utilisation et définition de procédures pour le contrôle de qualité des données ;
- formation aux techniques et aux méthodes de l'hydrologie ;
- formation aux traitements des données hydrologiques ;
- formation des techniciens à l'analyse de données en météorologie, hydrologie et hydrogéologie.

La contribution des pays portera autant que possible sur les éléments suivants :

- les services de secrétariat ;
- la mise à disposition des candidats aux formations prévues ;
- la mise à disposition du personnel de contrepartie pour les experts et les consultants ;
- les carburants et l'entretien des véhicules du projet.

8.4.3 Personnel

Des indications sur les domaines de compétence des experts sont données dans les résumés de projets annexés aux différents rapports de pays. Au stade actuel, il n'est guère possible de s'avancer dans des descriptions plus détaillées de profils de postes, mais les considérations générales suivantes peuvent être énoncées :

- l'expérience est aussi importante que la compétence technique pure ;
- 5 années d'expérience significatives constituent un minimum normalement exigible ;
- une expérience dans la région est fortement souhaitée ;
- dans les projets ayant plus d'un expert, le chef de projet devrait avoir une expérience avérée et positive de 10 ans ou plus ;
- tous les experts devront avoir une bonne connaissance de l'anglais ou du français selon le cas ; pour les projets dans les pays lusophones, la connaissance du portugais représenterait

un avantage, tout comme celle de l'espagnol pour les experts qui seront impliqués en Guinée Equatoriale.

Certaines expertises de courtes durées pourront être assurées par le personnel du Projet Parasol

Dans les propositions du projet, les personnels experts sont identifiés comme "international" pour différencier ceux fournis sur financements externes de ceux fournis au titre de la contrepartie.

8.5 Estimations financières

8.5.1 Bases de calcul

Pour que tous les coûts de tous les projets identifiés au cours de cette évaluation soient estimés de manière comparable, la même base de calcul a été utilisée pour toutes les propositions de projets à la fois nationales et régionales. Les taux retenus peuvent paraître élevés dans certains cas, mais si on considère que certains projets sont prévus pour 10 ans, il faut bien prendre en compte les augmentations liées à ces durées.

L'estimation des coûts des personnels experts internationaux (salaires, charges sociales et frais généraux) a été simplifiée. Pour être prudent, le taux adopté couvre le coût d'experts internationaux : cela ne doit pas être une entrave aux recrutements d'experts africains qui seraient des candidats appropriés et disponibles. Il a été procédé de la manière suivante : les coûts mensuels des experts ayant une expérience de 5 à 10 ans ont été estimés à US$ 16 000, lorsqu'ils étaient en poste dans la région et à US$ 13 000 dans leur pays d'origine. Les mêmes évaluations concernant les experts de rang senior (plus de 10 ans d'expérience) sont respectivement de US$ 20 000 et de US$ 16 000.

Pour les déplacements à court terme, les indemnités per-diem des personnels internationaux ont été alignées sur celles du PNUD. Les taux sont ceux qui étaient pratiqués au moment des missions dans les pays ou ceux de décembre 1991 pour les projets régionaux. Pour des séjours de plus longue durée on a utilisé un taux mensuel uniforme de US$ 2 500. Pour certains des projets régionaux, les taux sont qualifiés de "local" ou de "régional". "Local" est le taux pratiqué au siège du projet et "régional" représente un taux moyen applicable aux participants originaires des pays du projet.

Les voyages ont été calculés sur la base de billets plein tarif en classe Y entre l'Europe et l'Afrique majorés de 25% pour inclure les frais additionnels tel que assurance, supplément de bagages, etc. (il n'y a pas eu d'estimation de majoration pour le cas d'experts basés hors d'Europe). On a pris en compte un billet AR pour chaque mission de courte durée et un billet par an pour les affectations à long terme. Pour certains projets régionaux, les tarifs sont modulés en "international" et en "régional". "International" s'applique à un déplacement du pays d'origine de l'expert jusque dans un pays d'Afrique de l'Ouest et "régional" à un déplacement à l'intérieur des pays du projet.

Un taux mensuel constant de US$ 5 000 (tout compris) a été utilisé pour estimer les coûts des différentes catégories de "volontaires".

Les budgets de projet prennent en compte les exigences pour un financement international. Ils n'incluent aucune allocation pour couvrir les coûts de fonctionnement au jour le jour de l'agence nationale bénéficiaire du projet.

8.5.2 Budget général du PDH

Le coût total des projets nationaux et régionaux identifiés dans le Programme de Développement de l'Hydrométrie pour les 23 pays d'Afrique de l'Ouest est de l'ordre de 150 millions de US$.

Cette valeur apparemment élevée doit être rapportée aux coûts des grands projets de la région dont la conception fait appel aux données hydrologiques. Par exemple, le coût du Projet Volta au Ghana, s'il devait être réalisé maintenant, serait de l'ordre de 5 milliards de dollars US. Cette région éprouvée par la sécheresse prolongée compte un grand nombre de réalisations qui ont complètement failli à leurs objectifs à cause des modifications profondes subies par les régimes hydrologiques. Les projets d'irrigation au Nigéria et au Tchad, conçus pour s'alimenter à partir des eaux du lac Tchad, constituent des exemples notables. Les implications sur les coûts des erreurs d'estimation des apports en eau surpassent de plusieurs ordres de grandeur le coût de la collecte de données.

Les coûts d'une hydrologie répondant aux besoins de chaque pays pour satisfaire aux grands projets d'ingénierie et de développement sont très faibles quand on les compare aux coûts de réalisation de ces projets. Les activités hydrologiques doivent être menées de façon ininterrompue au niveau national, que ce soit sur la base de ressources financières nationales réduites ou avec le support de financements internationaux. Il est impossible d'estimer les paramètres hydrologiques sur la seule base d'observations portant sur des périodes courtes, associées à un projet particulier.

Il y a un enjeu particulier à la collecte de données hydrologiques dans la région, particulièrement pour renseigner les recherches portant sur l'évaluation des effets de l'action de l'homme sur l'environnement et plus particulièrement sur le climat global.

Hormis le Projet Parasol et les 153 projets nationaux prévus, le Programme de Développement de l'Hydrométrie comporte quatre projets régionaux. La première phase du Programme de Développement de l'Hydrométrie pourrait être la mise en place du Projet Parasol avec pour tâches prioritaires la coordination des projets prévus, en collaboration étroite avec les services nationaux, les donateurs et les agences d'exécution. Les années suivantes, le Projet Parasol, tout en conservant son rôle de coordination et de suivi de l'avancement des autres projets du programme, prendra une part plus active et directe dans le soutien et l'exécution des projets nationaux.

Le Projet Parasol maintiendra en permanence un noyau d'experts dans la région qui seront disponibles pour apporter leur concours aux autres projets régionaux et nationaux. C'est pourquoi, particulièrement dans la prévision des apports en personnel des quatre autres projets régionaux, des

collaborations avec les personnels du Projet Parasol ont été prévues. Par exemple, il est prévu que le projet de formation REG-2 puisse bénéficier de collaborations de courtes durées du personnel du Projet Parasol, lorsque ce projet sera en régime de croisière.

Dans le devis du Projet Parasol, il n'a pas été prévu que des experts de ce projet puissent être utilisés dans les projets nationaux, mais la mise en oeuvre de cette disposition se traduira sans aucun doute par des économies, réalisées au niveau de l'enveloppe globale du Programme de Développement de l'Hydrométrie, que ce soit au niveau des projets nationaux ou à celui du Projet Parasol.

REFERENCES

BRGM	1986?	Actualisation des Connaissances sur les Ressources en Eau Souterraine de la Republique du Tchad ; 87 TCD 246 Eau
Falenmark, M	1989	The massive water scarcity now threatening Africa - why is it not being addressed? ; Ambio vol 18 No 2, 1989.
FAO	1973	Survey of the Water Resources of the Chad Basin for Development Purposes, Groundwater Resources in the Lake Chad Basin, Vol 1 Hydrogeological Study, AGL:DP/RAF/66/579, Rome
FAO	1991	Food Supply Situation and Crop Prospects in Sub-Saharan Africa ; Special Report 3, octobre 1991.
Folland C K et al	1991	Prediction of seasonal rainfall in the Sahel region using empirical and dynamical methods ; J. of Forecasting 10,21-56.
Furon R	1960	Géologie de l'Afrique ; Payot, Paris
Hanidu JA, Oteze G E and Maduabuchi C M	1989	A Preliminary Report Submitted to the Commonwealth Science Council
Houghton, J T et al	1990	Climate Change : The IPCC Scientific Assessment ; Cambridge Univ. Press, 364pp.
Hulme, M	1992	African rainfall changes : 1931-60 to 1961-90 ; Int. J. of Climatology.
Kindler J et al	1989	Lake Chad Conventional Basin, A Diagnostic Study of Environmental Degradation.
MacDonald	1990	Regional Report, Sub-Saharan Africa Hydrological Assessment - SADCC Countries
Miller R E, Johnston R H, Olowu J A I and Uzoma J U	1968	Groundwater Hydrology of the Chad Basin in Bornu and Dikwa Emirates, Northeastern Nigeria, with Special Emphasis on the Flow Life of the Artesian System, USGS Water Supply Paper 1757-1
Mott MacDonald/ BCEOM/SOGREAH	1991	Inception Report, Sub-Saharan Africa Hydrological Assessment West African Countries
Nicholson, S E	1978	Climatic variations in the Sahel and other African regions during the past five centuries ; Journal of Arid Environments 1, 3-24.

Nicholson, S E	1986	The nature of rainfall variability in Africa south of the equator ; J. Climatology, 6, 515-530.
ORSTOM	1986	Monographie du Niger Supérieur.
Rowell, D P et al	1991	Causes and predictability of Sahel rainfall variability ; Nature.
Street-Perrot, F A and Street-Perrot, R A	1990	Abrupt climate fluctuations in the tropics : the influence of Atlantic Ocean circulation ; Nature, 343, 607-612.
Umuolu, J C and Oke, V O	1986	Zaire-Chad-Niger Interbasin Water Transfer Scheme - A Proposal for Subregional Water Resources Planning ; International Conference on Water Resources Needs and Planning in Drought Prone Areas.
UNDP	1988	Guidelines for Project Formulation and Project Document Format ; UNDP Programme and Projects Manual, Rev 0, février 1988.
UNESCO	1988	Groundwater Resources in North and West Africa
UNESCO/WMO	1988	Water Resource Assessment Activities : Handbook for National Evaluation.
UNESCO	1990	The Sahel Forum, Seminar on the state of the art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa ; International Hydrological Programme, février 1989, Ougadougou, Burkina Faso.
Wigley, T M L et al	1992	Developing climate scenarios from equilibrium GCM results ; Climate Change.
WMO	1990	Economic and Social Benefits of Meteorological and Hydrological Services, Proceedings of the technical Conference Geneva 26-30 Mars 1990 ; WMO-No 733.
WMO/UNESCO	1991	Water Resources Assessment, Progress in the Implementation of the Mar del Plata Action Plan and a Strategy for the 1990s.
World Bank	1986	Population Growth and Policies in Sub-Saharan Africa.

ANNEXE A

PROJETS REGIONAUX

Pays :	Régional, Afrique de l'Ouest
Date :	Novembre 1991
Numéro du Projet :	REG-1
Nom Proposé :	Programme de Développement de l'Hydrométrie pour le Projet Parasol de l'Afrique de l'Ouest
Agence Responsable de la Mise en Oeuvre :	Banque Mondiale ou PNUD
Durée Estimée :	10 ans
Contribution Internationale Préliminaire:	US$ 7 691 700
Coûts Homologues Estimés :	A déterminer
Source de Financement :	A décider

1. Objectif du développement et son lien par rapport au programme national

L'aménagement des ressources en eau est un problème clé dans chacun des vingt trois pays de l'Afrique de l'Ouest. Etant donné la croissance de la population dans ces pays et la nécessité à la fois de satisfaire leurs besoins fondamentaux et d'élever leur niveau de vie, le développement des ressources en eau sera certainement le premier point à l'agenda dans les années à venir.

Les agences hydrométriques de la région ont toutes bénéficié dans le passé de nombreux projets de soutien dont les objectifs étaient d'améliorer la quantité et la qualité des données collectées. Ceci s'est fait sans vision claire ni politique à long terme de la part des agences internationales de financement, en ce qui concerne la sécurité des agences et de leurs activités de suivi. Les projets réalisés dans le passé semblent avoir souvent été conçus individuellement, sans aucune considération des conséquences que l'interruption et la reprise des activités pourraient avoir sur l'efficacité de l'agence, ceci étant généralement dû aux retards accusés dans le démarrage des programmes de suivi. On observe alors une tendance généralisée selon laquelle la surveillance s'améliore au cours d'une phase de soutien pour ensuite tomber en déclin une fois cette phase terminée. Un objectif fondamental du Programme de Développement de l'Hydrométrie (PDH) pour l'Afrique de l'Ouest est d'assurer une continuité de l'assistance dans un cadre à plus long terme que les projets de renforcement habituels, permettant ainsi aux agences hydrométriques de la région de planifier et de réaliser un développement continu.

Les fonds disponibles pour l'aménagement des ressources en eau et l'hydrométrie en particulier sont limités et risquent de le rester dans un avenir prévisible. Les évaluations effectuées pays par pays ont permis d'identifier de nombreux projets qui pourraient améliorer le niveau de suivi des ressources en eau dans chaque pays individuel et tous ces pays sont en concurrence pour les mêmes fonds. L'intention du PDH est de fixer un objectif central - la vision claire ou la cible à atteindre à l'avenir, élément qui est resté jusqu'alors absent de toute assistance financière dans ce secteur - qui consiste à fournir une assistance soutenue à la collecte et au traitement des données sur l'ensemble de la région.

Le "Projet Parasol" est conçu dans le but d'établir un petite équipe de coordination dans le cadre du Programme de Développement de l'Hydrométrie. Cette équipe assurera la présence permanente d'une expertise technique dans la région sur une période de 10 à 15 ans. Le Projet Parasol aura une durée de vie initiale de 10 ans et pourra être prolongé de 5 ans à la fois, en fonction des résultats des examens périodiques. Cette unité jouera le rôle de base régionale pour les consultants et les spécialistes qui prendront part aux projets nationaux individuels.

Le PDH est basé sur un nombre d'éléments qui se sont révélés positifs dans le cadre du long programme AGRHYMET, en particulier en ce qui concerne la coordination des composantes régionales et nationales du programme. Une attention particulière a été accordée à la structure institutionnelle du programme, d'après les résultats d'une évaluation détaillée d'un certain nombre d'organisations et de projets régionaux et en tenant compte des perspectives différentes des agences nationales et des agences de financement bilatérales ou multilatérales sur un grand nombre de questions telles que l'équilibre entre les projets régionaux et nationaux ou l'étendue des intrants en

expatriés par rapport aux intrants en biens d'équipement. L'unité Parasol est conçue de façon à fournir un lien économique, d'une efficace démontrable, entre toutes les composantes du PDH plutôt que comme un projet prestigieux coûteux.

II. Eléments les plus importants

La petite équipe de spécialistes employés par le projet Parasol sera responsable des activités suivantes :

(a) Rôle Institutionnel

- coordination - entre les agences de financement et les pays, entre les divers projets régionaux, entre les projets nationaux et les projets régionaux. Conformément aux courants de pensée actuels, la plupart des projets nationaux compris dans le PDH durent moins de trois ans ; en revanche, le Projet Parasol s'étendra sur un minimum de 10 ans et il permettra d'assurer un lien sûr entre les agences de financement et les institutions nationales au cas où des "trous" se produiraient dans la mise en oeuvre prévue d'un programme national ;

- apport d'une assistance aux agences de financement et aux pays lors de la programmation de la mise en oeuvre de projets, afin d'assurer une continuité et d'éviter les conflits entre les besoins de formation et celui de maintenir les activités journalières ;

- apport d'une assistance aux pays pour l'identification de besoins supplémentaires en soutien leur formulation sous une forme qui pourra être soumise à l'acceptation des agences de financement ; le personnel du Projet Parasol entretient des contacts avec les agences de financement et est donc bien placé pour apporter ses conseils sur la préparation de projets

- il y aura inévitablement des "trous" dans les programmes de mise en oeuvre de projets dans les pays individuels, caractéristique de l'assistance extérieure qui a causé tant de problèmes aux agences nationales dans le passé ; il est possible d'envisager que le Projet Parasol pourrait, d'une certaine manière, jouer le rôle de gestionnaire de fonds qui consisterait à que le projet Parasol agisse en tant qu'agence d'exécution pour une "période intermédiaire" afin d'assurer la continuité des activités primaires dont le financement est prévu à l'avenir dans le cadre du programme national. Un tel rôle de gestion directe des fonds pourrait présenter plusieurs avantages pour l'ensemble du PDH et pour les agences nationales, mais il pourrait être également considéré par d'autres comme un niveau supplémentaire de bureaucratie.

(b) Rôle technique

- centre d'assistance régionale dans le domaine de la collecte et du traitement des données afin d'élaborer un programme visant à déterminer des directives sur l'achat d'équipement en tenant compte du fait que l'équipement doit être adapté aux usages que l'on veut en faire

de la disponibilité d'installations pour l'entretien, de la possibilité d'actualiser l'équipement existant pour qu'il puisse satisfaire aux nouvelles exigences et afin d'apporter des conseils en ce qui concerne l'expérience au niveau régional de l'utilisation de certains équipements ;

- au fur et à mesure de l'expansion des ordinateurs, les problèmes liés à leur utilisation vont se multiplier. Les agences de la région n'ont souvent pas les moyens de résoudre sur place les problèmes rencontrés lors de l'utilisation de logiciels ou de matériel informatique et à l'heure actuelle, il n'existe aucun mécanisme d'assistance à l'échelle régionale. L'équipe de projet comprendra des spécialistes en informatique auxquels on pourra faire appel pour résoudre les problèmes mineurs qui peuvent causer l'arrêt total du traitement des données, comme par exemple, l'impossibilité d'imprimer CLICOM ;

- il est reconnu que de nombreux pays possèdent des réseaux qui sont bien au-dessus de leurs capacités de financement et de gestion - cette ressource est trop étendue et pas assez intensive pour être efficace. Il est prévu que ce projet, conjointement au Projet REG-3, devrait apporter un soutien aux activités de suivi à un nombre limité de sites dans chaque pays, constituant un réseau "primaire" ou "de premier ordre" qui pourra être maintenu à long terme. Ceci n'empêchera pas aux agences nationales de conserver d'autres stations à partir d'autres sources de financement, mais assurera la continuité à long terme à des sites sélectionnés ;

- l'équipe de spécialistes qui apportera son soutien aux institutions de formation.

III. Stratégie de projet

1. Quelles personnes et/ou quelles institutions bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet?

Les agences nationales responsables de la météorologie, de l'hydrologie et des eaux souterraines dans les 23 pays de l'Afrique de l'Ouest seront les premiers bénéficiaires. Le projet apportera son soutien aux projets nationaux dont l'objectif sera d'améliorer les activités de ces agences dans le domaine de la collecte et du traitement des données et apportera une assistance à l'organisation d'un réseau minimum de points de suivi et d'activités de traitement, afin d'assurer qu'une source continue de données fiables puisse être mise à la disposition des agences nationales et internationales en vue de la planification des ressources en eau.

Le projet, organisé tel qu'il l'est sur une période relativement longue, présentera aux agences l'avantage d'un soutien continu à long terme.

2. Personnes que l'on prévoit comme bénéficiaires

Les bénéficiaires visés par ce projet sont tous les gens de la région dont le niveau de vie se trouve amélioré en conséquence des aménagements futurs dans le secteur eau. Les résultats positifs seront ressentis en particulier dans les domaines de l'alimentation en eau, de l'agriculture et de l'industrie

3. Dispositions de mise en oeuvre du projet

La structure du Programme de Développement de l'Hydrométrie a été basée sur les conclusions de l'étude d'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne après une évaluation des projets nationaux et internationaux existants. Il comporte de nombreuses caractéristiques en commun avec le programme AGRHYMET, en particulier dans la coordination des composantes nationales et régionales du programme. Dans le cadre du Programme de Développement de l'Hydrométrie, cette coordination est assurée par le Projet Parasol.

Afin de limiter les coûts et de conserver un objectif bien précis, l'équipe centrale est délibérément petite et l'équipement des bureaux du projet est minimum. Le PDH couvre 23 pays et il est essentiel pour son fonctionnement efficace, que l'unité Parasol soit basée dans un endroit où l'on dispose de bonnes conditions (alimentation en électricité fiable, bonnes liaisons avec les autres pays de la région que ce soit par télécommunication ou par route/rail, etc...).

Outre le Projet Parasol, le PDH comporte quatre projets régionaux potentiels et jusqu'à 153 projets nationaux éventuels. La première phase du PDH est l'établissement du Projet Parasol et la tâche prioritaire sera de coordonner le programme des projets, en étroite collaboration avec les agences nationales et les agences exécutives/agences de financement identifiées.

Au cours des dernières années, le Projet Parasol, tout en maintenant son rôle de coordination qui consiste à examiner régulièrement l'avancement des autres projets du programme, jouera un rôle plus actif dans le soutien des projets nationaux en fournissant des intrants directs.

Le Projet Parasol maintiendra un noyau de personnel qui pourra fournir des intrants dans d'autres projets régionaux ou nationaux. Ainsi, des liens possibles ont été identifiés avec le personnel du Projet Parasol, en particulier en ce qui concerne la planification d'intrants dans le cadre des quatre autres projets régionaux. Par exemple, le projet régional de formation REG-2 est conçu de façon à faire appel à l'unité Parasol pour les intrants de courte durée, au cours des dernières phases du projet.

Lors de l'établissement du coût du Projet Parasol, il n'a pas été tenu compte de doublements de coûts possibles qui pourraient se produire si un spécialiste du Projet Parasol est employé dans le cadre d'un projet national. Cependant, il est certain que des économies pourront être faites sur l'ensemble du PDH, que ce soit sur le budget du projet national ou celui du Projet Parasol, une fois que la programmation des projets et de leurs besoins en spécialistes aura été achevée.

4. Statégies alternatives de mise en oeuvre

La possibilité de combiner ce projet avec d'autres projets proposés à l'issue de l'évaluation hydrologique a été éxaminée, mais il a été estimé que les activités proposées étaient telles qu'elles pourraient être exécutées indépendamment des autres projets. En vue de réduire les coûts, la possibilité d'employer davantage de spécialistes à temps partiel a été étudiée, mais il a été jugé essentiel, dans le cadre d'un projet de cette envergure, d'avoir un certain nombre de spécialistes à temps plein pour les postes clés de gestion, afin d'assurer la continuité des activités.

IV Engagement du pays récepteur

1. Soutien local

Le niveau de provision de personnel est relativement bon sur l'ensemble de la région, la plupart des agences ont un effectif suffisant pour leur permettre d'assurer des services satisfaisants. Cependant, certains secteurs souffrent déjà de l'absence de personnel qui sont en stages de formation à long terme outre-mer. Il faudra veiller à ce que le projet proposé n'aggrave pas cette situation.

2. Situation légale et allocation future de personnel

La question ne se pose pas dans le cadre de ce projet.

V Risques

1. Facteurs qui pourraient causer un retard au tout début du projet

Ce projet est au centre du PDH, ensemble très important de projets nationaux et régionaux, proposé à l'issue de l'Evaluation Hydrologique des Pays de l'Afrique de l'Ouest. Le démarrage du projet dépend de la décision des agences de financement et des pays d'accepter de mettre en oeuvre l'ensemble ou une partie du PDH.

2. Facteurs qui pourraient, avec le temps, causer des retards importants ou empêcher d'atteindre les résultats et les objectifs du projet

Ce projet est au centre d'un programme de soutien et d'assistance à long terme (10-15 ans) concernant 23 pays de l'Afrique de l'Ouest, sa réussite dépendra du soutien continu des agences de financement et des pays participants.

VI Intrants

1. Budget sommaire

Tel qu'il a été mentionné ci-dessus, les possibilités de faire des économies sur les coûts de l'ensemble du PDH sont énormes si le personnel de l'unité Parasol est employé pour fournir les intrants spécialisés identifiés dans les projets nationaux et régionaux. Comme il n'est pas possible d'identifier un tel partage de ressources en personnel à ce stade, il a été nécessaire pour l'estimation des coûts de considérer le Projet Parasol comme projet indépendant, sans tenir compte des économies potentielles ; ceci résulte en un profil de coûts qui penche fortement en faveur des coûts du personnel expatrié lorsqu'on le compare aux autres projets proposés dans le cadre du PDH qui ont un rapport bien d'équipement/coûts de personnel beaucoup plus élevé.

Au cours de la première phase du Projet Parasol, et par conséquent celle du Programme de Développement de l'Hydrométrie, l'équipe du Projet Parasol participerait à l'élaboration du programme de projets et serait en mesure d'identifier les intrants qu'il serait souhaitable que le Projet Parasol fournisse.

Personnel

	Intants en mois	Coût US$/mois	Total US$
Directeur	108	20 000	2 160 000
Collecte de Données : Hydrologie (2 personnes)	48	16 000	768 000
Collecte de Données : Eaux souterraines (2 personnes)	24	16 000	384 000
Collecte de Données : Météorologie	12	16 000	192 000
Directeur Financier	60	20 000	1 200 000
Consultants à Court Terme	24	20 000	480 000
Bénévoles/Coopérants	120	5 000	600 000
Frais de Subsistance	276	2 500	690 000
Frais de Déplacement Aller/Retour à la station		2 600	122 200
Frais de Déplacement, visites dans les pays			50 000
Sous-total			6 646 200

Formation

Description	Total US$
Préparation de matériel pédagogique et de directives	100 000

Equipement

Description	Total US$
Transport	45 000
Equipement de Bureau	60 500
Frais de Fonctionnement des Bureaux	840 000
Sous-total	945 500

TOTAL	US$ 7 691 700

2. Problèmes d'ordre politique

Ce projet n'est pas considéré poser de problèmes d'ordre politique.

Annexe 1 - Personnel International

1. Qualifications et Responsabilités

Directeur

Le directeur devra avoir une licence en ingénierie ou dans une science naturelle, qu'il aura obtenue d'une université reconnue. Un diplôme d'études universitaires supérieures serait un avantage. Le directeur devra avoir au moins 15 ans d'expérience en hydrologie opérationnelle et en ressources en eau, dont un minimum de 5 ans en tant que gestionnaire. Le directeur devra avoir une bonne maîtrise de l'anglais et du français, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Le rôle principal du directeur sera d'assurer la coordination efficace des activités de l'équipe du projet avec le personnel des agences nationales et avec les agences de financement. Il devra lancer le projet et élaborer dans les premiers mois un programme d'activités, d'approvisionnement et de formation. Tout au long du projet, il devra veiller à ce que l'avancement de celui-ci corresponde au programme ou modifier le programme en vue de son expérience.

Spécialistes en Hydrométrie

Deux postes ont été prévus pour l'hydrométrie et la répartition des responsabilités entre les deux candidats sera agréée par le directeur. Les spécialistes en hydrométrie devront avoir une licence en ingénierie ou dans une science naturelle, qu'ils auront obtenue d'une université reconnue. Un diplôme d'études universitaires supérieure serait un avantage. Ils devront avoir au moins 10 ans d'expérience en hydrologie opérationnelle, et l'un d'eux devra avoir également une expérience pratique des systèmes de télémétrie. Ils devront avoir une bonne maîtrise soit de l'anglais, soit du français, mais de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Les responsabilités des spécialistes en hydrométrie consisteront à apporter une assistance aux agences nationales en ce qui concerne la collecte de données sur les eaux de surface. Ils devront donner des conseils quant à l'adaptabilité de différents types d'instruments aux conditions locales, en vue d'introduire un certain niveau de standardisation. Ils devront également apporter une assistance aux agences nationales en matière de traitement des données pour l'hydrologie. Ils donneront des conseils quant à l'adaptabilité des différents types de logiciels et de matériel informatique aux conditions locales, en vue d'introduire un certain niveau de standardisation. Ils devront organiser des programmes de formation en vue d'aider les agences nationales lors de l'adoption de nouveaux types d'équipements sur le terrain, d'équipement informatique et de logiciels.

Spécialistes en Hydrométrie - Eaux Souterraines

Deux postes ont été prévus pour l'hydrométrie des eaux souterraines et la répartition des responsabilités entre les deux candidats sera agréée par le directeur. Les spécialistes en eaux souterraines devront avoir une licence en géologie ou dans une science naturelle, qu'ils auront obtenue d'une université reconnue. Un diplôme d'études universitaires supérieures serait un avantage

Ils devront avoir au moins 10 ans d'expérience pratique en collecte de données sur les eaux souterraines. Ils devront avoir une bonne maîtrise soit de l'anglais, soit du français, mais de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Les responsabilités des hydrogéologues consisteront à apporter une assistance aux agences nationales en ce qui concerne la collecte de données sur les eaux souterraines. Ils devront donner des conseils quant à l'adaptabilité de différents types d'instruments aux conditions locales, en vue d'introduire un certain niveau de standardisation. Ils devront également apporter une assistance aux agences nationales en matière de traitement des données d'eaux souterraines. Ils donneront des conseils quant à l'adaptabilité des différents types de logiciels et de matériel informatique aux conditions locales, en vue d'introduire un certain niveau de standardisation. Ils devront organiser des programmes de formation en vue d'aider les agences nationales lors de l'adoption de nouveaux types d'équipements sur le terrain, d'équipement informatique et de logiciels.

Météorologue

Le météorologue devra avoir une licence en météorologie ou dans une science naturelle, qu'il aura obtenue d'une université reconnue. Une diplôme d'études universitaires supérieures serait un avantage. Il devra avoir au moins 10 ans d'expérience en météorologie opérationnelle. Il devra avoir une bonne maîtrise soit de l'anglais, soit du français, mais de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Les responsabilités du météorologue consisteront à apporter une assistance aux agences nationales en ce qui concerne la collecte de données météorologiques. Il devra donner des conseils quant à l'adaptabilité de différents types d'instruments aux conditions locales, en vue d'introduire un certain niveau de standardisation. Il devra également apporter une assistance aux agences nationales en matière de traitement des données pour la météorologie. Il donnera des conseils quant à l'adaptabilité des différents types de logiciels et de matériel informatique aux conditions locales, en vue d'introduire un certain niveau de standardisation. Il devra organiser des programmes de formation en vue d'aider les agences nationales lors de l'adoption de nouveaux types d'équipements sur le terrain, d'équipement informatique et de logiciels.

Directeur Financier

Le directeur financier devra avoir une licence en économie ou en comptabilité qu'il aura obtenue d'une université reconnue, ainsi qu'une qualification professionnelle en comptabilité obtenue d'une institution reconnue sur le plan international. Le directeur financier devra avoir au moins 15 ans d'expérience dans le secteur des ressources en eau, dont un minimum de 5 ans en tant que gestionnaire. Il devra avoir une bonne maîtrise de l'anglais et du français, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Le rôle principal du directeur financier est d'assurer la coordination efficace des activités de l'équipe de projet avec le personnel des agences nationales et des agences de financement. Il devra apporter

son assistance aux agences lors de la formulation de propositions de projets et lors de négociations avec les agences de financement, en vue d'éviter des "trous" dans les programmes de projets.

Spécialistes

Un petit nombre d'interventions par des spécialistes sont envisagées au cours de la durée de vie du projet. Bien qu'il ne soit pas possible de déterminer précisément à ce stade en quoi ces intrants consisteront, les candidats devront tous posséder un haut niveau d'expertise dans leur domaine particulier.

Bénévoles/Coopérants

Les bénévoles devront avoir une licence pertinente obtenue d'une université reconnue, ou avoir acquis de l'expérience dans le domaine concerné. Ils devront avoir une bonne maîtrise soit de l'anglais, soit du français, mais de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout. Les bénévoles constitueront un élément essentiel du point de vue de la continuité du projet, puisqu'ils poursuivront les activités de soutien de l'unité pendant les périodes de transition entre les intrants successifs de spécialistes.

Annexe 2 - Formation

Ce projet n'a pas de budget spécifique pour la formation. Une grande partie du temps des spécialistes sera consacré à une formation sur le tas, à l'organisation de cours et à la fourniture de matériel pédagogique dans le cadre des projets nationaux associés au Projet Parasol. Un budget de US$ 100 000 a été prévu pour la préparation de matériel pédagogique ainsi que pour l'édition et la distribution de directives et de normes aux agences nationales.

Annexe 3 - Equipement

Le budget prévu couvre l'équipement nécessaire à la mise en place du bureau du Projet Parasol.

Description	Quantité	Prix Unitaire (US$)	Total US$
Transport			
Véhicule léger + pièces de rechange	3	15 000	45 000
Sous-total			45 000

Description	Quantité	Prix Unitaire (US$)	Total (US$)
Equipement de bureau			
Micro-ordinateur 386/Mémoire 40 MB	6	6 000	36 000
Imprimante Laser	2	1 500	3 000
Imprimante par Points	2	750	1 500
Batterie de secours pour une alimentation continue en électricité en cas de panne	6	1 500	9 000
Logiciel			5 000
Photocopieuse	1	5 000	5 000
Télécopie	1	1 000	1 000
Sous-total			65 000
Frais de Fonctionnement du Bureau			
Personnel de Soutien	120	2 000	240 000
Location et Equipements Techniques	120	5 000	600 000
Sous-total			840 000
TOTAL			945 500

Pays :	Régional, Afrique de l'Ouest
Date :	Novembre 1991
Numéro du Projet :	REG-2
Nom Proposé :	Programmes de formation pour les techniciens et cadres en météorologie, hydrologie et eaux souterraines
Agence Responsable de la Mise en Oeuvre :	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou, Burkina Faso National Institute for Water Resources, Kaduna, Nigéria Water Resources Research Institute, Accra, Ghana
Durée Estimée :	5 ans
Contribution Internationale Préliminaire:	US$ 3 514 000
Coûts Homologues Estimés :	A déterminer
Source de Financement :	A décider

I. Objectif du développement et son lien par rapport au programme national

L'aménagement des ressources en eau est un problème clé dans chacun des vingt trois pays de l'Afrique de l'Ouest. Etant donné la croissance de la population dans ces pays et la nécessité à la fois de satisfaire leurs besoins fondamentaux et d'élever leur niveau de vie, le développement des ressources en eau sera certainement le premier point à l'agenda dans les années à venir.

La situation est très différente dans chaque pays en ce qui concerne la formation aux disciplines associées aux ressources en eau, le type de stages proposés et les besoins en formation. La formation du personnel local aux disciplines spécialisées de météorologie, hydrologie et hydrogéologie a été en grande partie financée et organisée dans le cadre de projets spécifiques et s'est généralement appuyée sur des institutions de formation outre-mer, bien que certains des plus grands programmes régionaux, tel que AGRHYMET, aient été suffisamment importants pour justifier la mise en place de processus de formation qui leur étaient propres. Les pays francophones sont arrivés à un niveau considérable de collaboration en ce qui concerne l'organisation de la formation dans la région, par l'intermédiaire du CIEH, de l'EIER et de l'ESTHER et du centre AGRHYMET. Des centres nationaux se sont ensuite développés au Ghana et au Nigéria, ceux-ci offrant des places à des stagiaires qui viennent des pays voisins. Il n'existe rien pour les stagiaires de langue portugaise ou espagnole. Le niveau technique et la durée des stages de formation varient selon les institutions. La nécessité de proposer des stages de formation de courte durée, particulièrement au niveau des techniciens, a été identifiée.

L'objectif du programme proposé n'est pas de remplacer les institutions existantes mais d'élargir l'éventail de possibilités de formation dans la région, particulièrement pour ceux qui sont désavantagés à cause de la langue. En raison des difficultés au niveau de la langue, nous recommandons que le projet se concentre sur deux centres (voire trois), l'un francophone et l'autre anglophone et, en tenant compte de leurs points forts tels qu'ils sont actuellement, qu'il fournisse des spécialistes chargés d'élaborer de nouveaux stages de formation et d'assurer que l'équipement disponible est suffisant pour la formation pratique spécialisée, par exemple dans des domaines tels que les reconnaissances géophysiques.

En élaborant des cours de formation communs qui sont étudiés en fonction des besoins spécifiques des agences nationales, le projet jouera un rôle important quant à la standardisation des techniques entre les divers pays, ce dont pourront bénéficier les personnels chargés de la planification de l'utilisation des ressources en commun.

II. Eléments les plus importants

Ce projet a pour but d'apporter un soutien aux stages de formation organisés par les deux institutions de mise en oeuvre ainsi que de développer et d'améliorer les cours offerts. Nous avons recommandé le développement de deux/trois centres existants : 1) Francophone, les deux écoles de formation EIER

et ERSHER à Ouagadougou, qui sont étroitement liées au CIEH, 2) Anglophone, le National Institute for Water Resources à Kaduna et/ou le Water Resources Research Institute à Accra. Historiquement, leurs points forts sont légèrement différents : l'Institut de Kaduna par exemple est un centre de formation bien établi qui se spécialise dans l'aménagement des eaux souterraines, tandis que le CIEH est reconnu pour ses capabilités en bases de données (HYDROM en particulier). Les éléments suivants sont communs au projet d'ensemble plutôt que spécifiques à l'une ou l'autre des institutions :

- A l'heure actuelle, les eaux souterraines ne figurent que trop peu souvent dans les stages de formation et on note un manque de techniciens spécialisés et de cadres dans de nombreux pays de la région. Le but est donc d'élaborer toute une gamme de stages, allant d'un mois à un an, qui couvriraient les concepts de base en hydrogéologie, et les aspects plus spécialisés de forage, d'interprétation d'essai de rabattement, etc...

- Les facilités existantes de formation en langue portugaise et espagnole sont extrémement limitées. Les techniciens auront certainement de la difficulté à suivre des cours donnés dans une langue étrangère et il serait nécessaire de prolonger la durée des stages. L'intention est d'organiser des cours dans ces deux langues par l'intermédiaire du centre de Ouagadougou en nommant des professeurs parlant ces langues.

- La continuité à long terme des programmes de formation dépend de la disponibilité de spécialistes de la région possédant l'expertise nécessaire pour maintenir ces stages. Le projet est conçu de façon à introduire progressivement des spécialistes de la région et à leur permettre d'acquérir les techniques pédagogiques nécessaires.

- Dans le passé, la formation a été plutôt dictée par la nécessité de former des cadres. Ce projet, tout en maintenant la formation des cadres, comportera une composante très importante prévue pour les techniciens. Les cours tendront essentiellement à une formation pratique, en particulier dans le cas de l'utilisation de nouvelles techniques ou d'un nouvel équipement. Le programme recommandera des stages de courte durée puisque de nombreuses agences manquent de personnel et ne peuvent pas libérer le personnel clé pour de longues périodes et de cette manière, il est possible d'offrir un plus grand nombre de place par an au personnel.

Le tableau 1 présente une liste des sujets traités lors des stages qui bénéficieraient du soutien du projet régional de formation.

III. Stratégie de projet

1. Quelles personnes et/ou quelles institutions bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet?

Les agences nationales responsables de la météorologie, de l'hydrologie et des eaux souterraines dans

TABLEAU 1

Sujets traités par les centres de formation en hydrométrie

1 Matière de Base

- Mathématiques
- Statistiques
- Introduction à l'informatique
- Levé topographique
- Etude de cartes et de photos aériennes

2 Introduction à l'Hydrologie

- La science qu'est l'hydrologie
- Le cycle et les processus hydrologiques
- Charactéristiques du bassin drainant
- Extrêmes hydrologiques
- Hydraulique des canaux à ciel ouvert
- Modélidation des processus hydrologiques

3 Météorologie

- Introduction à la météorologie
- Circulation de l'air dans les régions tropicales
- Site d'observations météorologiques
- Précipitations
- Autres données climatiques
- Evaporation et Evapotranspiration
- Représentation sur cartes et graphiques

4 Hydrométrie

- Hydraulique de base
- Jaugeage d'un cours d'eau
- Mesure du niveau d'eau
- Sélection de site
- Exploitation et entretien de l'équipement
- Etalonnage de l'équipement hydrométrique
- Courbe des débits jaugés

5 Hydrogéolgie

- Introduction
- Hydrologie de base
- Sols et eau du sol
- Mouvement des eaux souterraines
- Analyse des essais de pompage
- Exploration des eaux souterraines
- Prélèvement des eaux souterraines
- Ressources en eaux souterraines

6 Qualité de l'Eau

- Introduction
- Définitions chimiques fondamentales
- Caractéristiques physiques
- Paramètres de qualité de l'eau
- Classification chimique de l'eau
- Echantillonnage et conservation
- Analyse de base de l'eau

7 Informatique de Gestion de Données

- Introduction aux calques
- Introduction aux bases de données
- Utilisation de CLICOM
- Utilisation de HYDROM
- Utilisation de HYDATA/HYMOS ou autre
- Utilisation des bases de données dBase 3 et 4 élaborées pour les eaux souterraines
- Gestion de l'archivage de données
- Introduction à GIS
- Cartographie assistée par ordinateurs

8 Informatique pour l'Analyse de Données

- Contrôle des donneés transmises
- Traitement des données
- Données manquantes
- Stockage et récupération des données
- Analyse de base
- Inondations et sécheresses

9 Aménagement des Ressources en Eau

- Réseaux de donnés hydrologiques
- Evaluation des ressources en eau
- Crues de projet
- Utilisation des ressources en eau par l'homme
- Alimentation en eau et assainissement
- Gestion des ressources en eau

les 23 pays de l'Afrique de l'Ouest seront les premiers bénéficiaires. Le projet apportera son soutien aux activités de ces agences dans les domaines de la collecte, du traitement et de l'analyse des données en améliorant les compétences de leur personnel à tous les niveaux. A long terme, le rassemblement progressif d'un groupe d'employés bien formés au sein de chaque agence permettra à celle-ci de fournir un meilleur service à ses clients, c'est-à-dire aux personnes chargés de la planification nationale de l'aménagement des ressources en eau.

Les agences bénéficieront de ce projet, qui est en tant que tel un projet d'assez longue haleine, puisqu'il leur apportera un soutien continu à long terme.

2. Bénéficiaires Visés

Les bénéficiaires visés par ce projet sont tous les gens de la région dont le niveau de vie serait amélioré par les aménagements futurs dans le secteur eau. Les résultats positifs seront ressentis dans les domaines de l'alimentation en eau, de l'agriculture et de l'industrie.

3. Dispositions de mise en oeuvre du projet

Il existe dans la région un certain nombre d'institutions qui organisent des cours de formation dans les disciplines associées à l'eau, à divers niveaux. Etant donné les problèmes de langue, il a été décidé que la solution la plus efficace serait de sélectionner deux centres (voire trois) : une institution francophone et une institution anglophone, qui deviendraient des centres régionaux. Bien que des centres supplémentaires de formation en portugais et en espagnol seraient souhaitables, il a été jugé que ceci ne serait pas justifiable. Cependant, des cours seront offerts régulièrement dans ces deux langues au centre francophone.

Le projet est programmé sur trois phases qui se recoupent quelque peu :

- Phase 1 : élaboration de nouveaux stages de formation, commande et installation de l'équipement, dispositions administratives ;

- Phase 2 : stages de formation, dirigés par des spécialistes internationaux, qui consistent largement en une formation technique mais qui comprennent une composante visant à former des spécialistes d'Afrique de l'Ouest à l'enseignement ;

- Phase 3 : stages de formation dirigés par les spécialistes locaux avec, selon les besoins, soutien occasionnel de spécialistes employés pour le Projet "Parasol" (REG-1).

La plupart des projets nationaux proposés dans le cadre de l'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne incluent une allocation budgétaire pour la formation qui permettra de couvrir les frais de formation des étudiants qui participeront aux nouveaux stages.

4. Statégies alternatives de mise en oeuvre

Un grand nombre des projets identifiés pour les pays individuels au cours de l'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne, contiennent une partie formation. On aurait pu accroître le budget destiné à la formation dans le cadre des projets nationaux où les facilités de formation sont limitées afin de permettre à un plus grand nombre d'étudiants de suivre des cours en dehors de la région, mais il a été estimé que la présente proposition qui consiste à améliorer les facilités locales était une solution plus bénéfique à long terme.

La possibilité d'utiliser des spécialistes à temps plein pour toute la durée de vie du projet a été étudiée mais il a été estimé que le coût suppémentaire que ceci entraînerait ne serait pas justifié et qu'il y avait de gros avantages à long terme à ce que des spécialistes locaux soient formés comme enseignants que l'institut emploierait par la suite.

IV Engagement du pays récepteur

1. Soutien local

Les organisations sélectionnées devraient fournir le personnel administratif nécessaire ainsi que le soutien au niveau du secrétariat, afin de pouvoir faire face au nombre accrû d'étudiants.

2. Situation légale et allocation future de personnel

Il y a un risque à ce que les personnes formées comme enseignants dans le cadre de ce projet trouvent un emploi ailleurs et de ce fait ne soit plus disponibles pour le centre de formation. Dans de telles circonstances, il sera peut-être nécessaire de définir des conditions qui seraient imposées aux personnes bénéficiant de cette formation spécifique, afin d'assurer qu'ils restent à la disposition du centre de formation pendant un certain temps, ou bien de contraindre le nouvel employeur à rembourser les frais de formation au cas où la personne formée aurait l'intention de quitter le centre avant la fin d'une période déterminée.

V Risques

1. Facteurs qui pourraient causer un retard au tout début du projet

Ce projet fait partie d'un groupe de projets régionaux et nationaux qui ont été proposés à l'issue de l'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne. Le planning de tous les projets devra être coordonné avec soin de façon à ce que les retards accusés dans le démarrage d'un projet n'entraîne pas le retard du démarrage d'autres projets complémentaires.

Le soutien inconditionné des institutions de formation sélectionnées sera essentiel à la réussite de la mise en oeuvre du projet, en particulier au départ.

2. Facteurs qui pourraient, avec le temps, causer des retards importants ou empêcher d'atteindre les résultats et les objectifs du projet

Comme il a été mentionné ci-dessus, ce projet est l'un des nombreux projets régionaux et nationaux complémentaires. Il sera essentiel de coordonner méticuleusement l'exécution de tous les projets, afin de s'assurer que le personnel employé aux projets nationaux soit libéré pour assister aux stages de formation organisés. Il est également essentiel que les candidats à la formation soient correctement sélectionnés, afin de s'assurer que les stages choisis sont appropriés et de maximiser le profit que chacun pourra tirer de cette formation.

VI Intrants

1. Budget sommaire

Personnel

a) International

Phases I et II	Intrants en Mois	Coût US$/mois	Total US$
Chef d'Equipe	32	20 000	640 000
Spécialistes en Hydrologie	15	20 000	300 000
Spécialistes en Eaux Souterraines	15	20 000	300 000
Spécialistes en Météorologie	6	20 000	120 000
Spécialiste en Informatique	6	20 000	120 000
Frais de Subsistance		2 500	185 000
Frais de Déplacement			120 000
Sous-total			1 785 000

b) Spécialistes d'Afrique de l'Ouest

Phases II et III	Intrants en Mois	Coût US$/mois	Total US$
Chef d'Equipe Phase III	22	16 000	352 000
Spécialistes en Hydrologie	15	16 000	240 000
Spécialistes en Eaux Souterraines	15	16 000	240 000
Spécialistes en Météorologie	6	16 000	96 000
Spécialiste en Informatique	6	16 000	96 000
Frais de Subsistance			160 000
Frais de Déplacement			45 000
Sous-total			1 229 000

Formation

Une formation sur le tas aux méthodes pédagogiques sera également assurée.

Equipement

Le budget consacré à l'équipement permettra aux centres de s'équiper d'un nombre suffisant d'instruments spécialisés, afin qu'ils puissent fournir aux stagiaires une formation pratique concrète. Les centres existants possèdent déjà une certaine quantité d'équipements et ce budget leur permettra d'acquérir l'équipement supplémentaire nécessaire pour satisfaire aux besoins de leurs programmes qui seront élargis.

Un budget de US$ 500 000 a été prévu (ceci est très approximatif).

TOTAL	US$ 3 514 000

2. Problèmes d'ordre politique

Le projet n'est pas considéré soulever de problèmes d'ordre politique.

Annexe 1 - Personnel International

1. Qualifications et Responsabilités

Les qualifications des membres de l'équipe dépendront du type et du niveau des stages de formation dont ils sont chargés. Un grand nombre des stages de courte durée destinés aux techniciens ont pour objectif une formation très pratique et le formateur employé devra alors posséder une expérience chevronnée des activités sur le terrain ou du logiciel/matériel informatique concerné. Lorsque les qualifications académiques importent plus, les membres de l'équipe devront avoir une licence, ou un diplôme d'études universitaires supérieures en météorologie, hydrologie, hydrogéologie, ingénierie, une science naturelle ou informatique qu'ils auront obtenus d'une universtité reconnue.

Ils devront avoir au moins 10 ans d'expérience dans l'exploitation de systèmes de collecte et de traitement de données dans leur domaine d'expertise. Il serait préférable qu'ils aient déjà travaillé comme formateurs et cette condition sera essentielle en ce qui concerne le Chef d'Equipe. Lorsque les spécialistes viendront de l'extérieur de la région, une expérience préalable en Afrique de l'Ouest sera essentielle.

Ils devront avoir une bonne maîtrise d'au moins une des langues suivantes : anglais, français, portugais ou espagnol.

Le Chef d'Equipe devra avoir fait une partie de sa carrière dans un institut de formation reconnu et il serait souhaitable qu'il soit expérimenté en élaboration de programmes de formation.

Annexe 2 - Formation

Le projet ne comporte aucune rubrique spécifique en ce qui concerne le budget consacré à la formation.

Annexe 3 - Equipement

L'équipement requis ne peut pas être déterminé avec précision à ce stade, mais il sera nécessaire d'en acquérir dans les domaines suivants :

- ordinateurs et équipements périphériques ;
- logiciels spécialisés d'usage courant, par ex. : CLICOM, HYDROM, etc... ;
- logiciel commercialisé pertinent, par ex. : base de données, calque, traitement de texte, etc... ;
- équipement météorologique ;
- équipement hydrométrique ;
- équipement de sondage ;
- équipement de suivi des eaux souterraines ;

- équipement d'analyse de la qualité de l'eau ;
- matériel pédagogique.

Pays :	Régional, Afrique de l'Ouest
Date :	Novembre 1991
Numéro du Projet :	REG-3
Nom Proposé :	Programme de Perfectionnement du Suivi Hydrologique et de l'Environnement : Composante Afrique de l'Ouest
Agence Responsable de la Mise en Oeuvre :	Organisation Météorologique Mondiale
Durée Estimée :	10 ans
Contribution Internationale Préliminaire:	US$ 4 486 500
Coûts Homologues Estimés :	A déterminer
Source de Financement :	A décider

I. Objectif du développement et son lien par rapport au programme national

L'aménagement des ressources en eau est un problème clé dans chacun des vingt trois pays de l'Afrique de l'Ouest. Etant donné la croissance de la population dans ces pays et la nécessité à la fois de satisfaire leurs besoins fondamentaux et d'élever leur niveau de vie, le développement des ressources en eau sera certainement le premier point à l'agenda dans les années à venir.

La collecte continue de données hydrométriques de haute qualité est essentielle à la planification de projets d'aménagement de l'eau, mais aussi au suivi à long terme des conditions relatives à l'environnement. L'emphase portant actuellement sur la nécessité de proposer des aménagements "durables" en Afrique, il est plus important que jamais d'avoir une source continue de données sur un large éventail de paramètres relatifs à l'environnement, dont ceux qui appartiennent au domaine de l'hydrométrie (pluviométrie, température, vent, radiation solaire, débits fluviaux, profondeur de la nappe phréatique, qualité de l'eau, etc...)

Les agences de collecte de données ont été victimes de sérieuses restrictions financières et le niveau des activités hydrométriques s'en est trouvé bien réduit, au point qu'elles ne peuvent plus garantir des données continues de haute qualité, même à partir d'un secteur limité de leur réseau. Les conclusions tirées de l'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne ainsi qu'un rapport récent de l'OMM/UNESCO sur l'avancement de la mise en oeuvre du Plan d'Action Mar del Plata indiquent que l'ensemble de l'Afrique connaît le même problème.

Ceci a conduit à l'élaboration d'une proposition pour un programme à l'échelle du continent en vue d'apporter un soutien au suivi des paramètres qui touchent à l'environnment au moyen de technologies de pointe pour l'appareillage des stations et la transmission de données. La mise en place d'un projet de cette envergure pose de gros problèmes de logistique et d'organistion et par conséquent, il a été recommandé d'établir le programme par phases, en commençant au départ par une seul réseau régional. Etant donné l'expérience acquise dans le cadre de plusieurs projets régionaux qui ont utilisé des systèmes de transmission par satellite (HYDRONIGER, Programme de Contrôle de l'Onchocercose, Projet OMVS à Manantali), l'Afrique de l'Ouest semble la région idéale où commencer la première phase du projet qui couvrira l'ensemble du continent. Le projet de suivi de l'environnement en Afrique de l'Ouest a été par conséquent conçu de façon à atteindre les objectifs de la première phase de ce plus grand programme.

II. Eléments les plus importants

Afin d'assurer une source continue et plus fiable de données hydrométriques et sur l'environnement, il est suggéré qu'un réseau réduit de stations clés, à l'échelle régionale, soit sélectionné et soit exploité continuellement, de façon à avoir des stations de référence de haute qualité par rapport auxquelles les données des réseaux existants pourraient être testées et vérifiées. Pour ce faire, il faudra :

- identifier la localisation de ces stations de référence, en incorporant si possible les stations existantes ;

- sélectionner et fournir des appareils de suivi, tout en tenant compte du besoin d'une exploitation fiable dans des conditions souvent difficiles et la nécessité d'assurer un entretien ;

- sélectionner et fournir tout l'équipement nécessaire à la transmission, à la réception et au traitement informatique préliminaire des données ;

- établir un programme sur le terrain en étroite collaboration avec les agences nationales en vue de : (a) installer tout l'équipement et (b) effectuer des visites régulières à chaque site pour l'entretien et pour prendre des mesures au moulinet hydrométrique ;

- établir des systèmes de traitement, d'archivage et de publication de données de telle manière que les données puissent être mises à la disposition des utilisateurs le plus rapidement possible ;

- formation ;

- évaluer le projet à la fin de la première phase expérimentale et faire des recommandations pour le grand programme à l'échelle du continent ;

- établir lors des phases ultérieures des liens d'échanges de données entre les parties qui s'intéressent au domaine des changements de l'environnement à grande échelle.

III. Stratégie de projet

1. Quelles personnes et/ou quelles institutions bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet?

Ce projet permettrait directement de maintenir un réseau restreint de stations de suivi au moyen de technologies de pointe, ainsi que les activités y associées, afin d'assurer une source continue de données fiables qui pourraient être mises à la disposition des agences nationales et internationales pour le suivi de l'environnement. Les agences nationales responsables de la météorologie, de l'hydrologie et des eaux souterraines dans les 23 pays de l'Afrique de l'Ouest pourraient tirer avantage d'une formation et d'un transfert de savoir-faire.

Le projet, organisé tel qu'il l'est, est un projet d'assez longue haleine, qui apportera un soutien à long terme aux agences.

2. Personnes que l'on prévoit comme bénéficiaires

Les résultats positifs du projet seront ressentis à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de la région puisqu'il permettra de fournir régulièrement des données essentielles à la recherche internationale sur les questions d'environnement à l'échelle mondiale.

3. Dispositions de mise en oeuvre du projet

Le projet sera exécuté à partir d'un centre régional qui abritera la station principale de réception et l'équipement informatique nécessaire au traitement des signaux perçus et à la préparation de ces données en vue de les distribuer. L'emplacement idéal sera à proximité/au sein du bureau du Projet Parasol régional proposé (REG-1).

Le projet sera exécuté en deux étapes :

- une première phase qui durera approximativement deux ans et qui permettra la conception du système, la fourniture et l'installation de l'équipement de terrain et de traitement et inclura une période d'exploitation. A la fin de cette phase, l'équipe de projet effectuera une évaluation des aspects technologiques et institutionnels qui conduira à l'établissement de recommandations pour la conception et la mise en oeuvre du système de suivi prévu à l'échelle du continent ;

- une deuxième phase d'exploitation au cours de laquelle les données sur l'environnement de la région de l'Afrique de l'Ouest seront collectées et distribuées. Lorsqu'une série de données suffisamment longue aura été compilée, le projet pourra commencer l'analyse et l'interprétation de ces données. Au cours de cette phase, le projet établira des liens avec les parties qui s'intéressent aux changements de l'environnement, à la fois les institutions de la région et les institutions internationales, afin d'assurer que le point central des activités de suivi reflète les préoccupations du moment et satisfasse aux besoins reconnus. Ces liens constitueront également un modèle à suivre pour le plus grand programme prévu à l'échelle du continent tout entier.

Il serait souhaitable que des liens étroits soient entretenus avec un institut de recherche outre-mer, en particulier dans les premières phases du projet.

4. Statégies alternatives de mise en oeuvre

On pourrait envisager une solution alternative qui consisterait à ce que la surveillance de l'environnement soit organisée par le Projet Parasol régional proposé et que des agences nationales soient sous-traitées pour fournir les prestations requises sur le terrain, mais il faudrait alors renoncer à la participation au système de suivi prévu à l'échelle du continent.

IV Engagement du pays récepteur

1. Soutien local

Les agences nationales devront fournir le personnel suffisant pour permettre la réalisation des programmes sur le terrain. Le projet couvrira les coûts des programmes effectués sur le terrain par les agences (salaires du personnel non compris).

2. Situation légale et allocation future de personnel

Aucune disposition spéciale n'est prévue.

V Risques

1. Facteurs qui pourraient causer un retard au tout début du projet

Ce projet fait à la fois partie d'un programme prévu pour le perfectionnement du suivi de l'environnement qui couvre l'ensemble de l'Afrique Sub-saharienne et qui a été proposé à l'issue de l'étude générale d'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne, et une composante du Programme de Développement de l'Hydrométrie proposé pour l'Afrique de l'Ouest. Le planning de toutes les composantes devra être coordonné avec soin, en particulier avec les projets nationaux, afin de s'assurer que tous les pays impliqués sont en accord et qu'ils sont prêts à engager le personnel homologue nécessaire.

2. Facteurs qui pourraient, avec le temps, causer des retards importants ou empêcher d'atteindre les résultats et les objectifs du projet

La durée prévue du projet est de 10 ans ; l'engagement continu des pays participants à ce projet sera une condition essentielle à sa réussite. Si un important retard est accusé dans le démarrage du reste du programme de suivi à l'échelle du continent, il est possible que des problèmes surviennent après la phase initiale. Cette question ne peut être résolue que par l'OMM, agence chargée de la réalisation de ces deux projets.

VI Intrants

1. Budget sommaire

Personnel

	Intrants en mois	Coût US$/mois	Total US$
Chef de Projet (traitement de données)	108	20 000	2 160 000
Spécialiste en télémétrie et en travaux sur le terrain	24	16 000	384 000
Consultants à court terme	5	20 000	100 000
Frais de Subsistance	137	2 500	342 500
Frais de Déplacement aller/retour à la station			40 000
Frais de Déplacement pour visites aux pays			220 000
Sous-total			3 246 500

Formation

Le budget pour la formation du personnel national à l'utilisation et à l'entretien de l'équipement de télémétrie est fixé à US$ 160 000.

Equipement

Description	Unité	Prix US$	Total US$
Plate-forme de collecte de données + pièces de rechange	20	15 000	30 000
Station de réception + pièces de rechange			80 000
Véhicules - 2 légers	2	40 000	30 000
Ordinateurs	2	15 000	20 000
Coût d'exploitation/entretien par station sur le terrain			450 000
Coût d'exploitation/entretien du centre de réception			100 000
Coût de transmission			100 000
Sous-total			1 080 000

TOTAL	US$ 4 486 500

2. Problèmes d'ordre politique

Ce projet n'est pas considéré soulever de problèmes d'ordre politique.

Annexe 1 - Personnel International

1. Qualifications et Responsabilités

Chef de Projet

Le chef de projet devra avoir une licence en ingénierie ou une science naturelle qu'il aura obtenue d'une université reconnue. Un diplôme d'études universitaires supérieures sera un avantage. Le chef de projet devra avoir au moins 15 ans d'expérience en hydrologie opérationnelle, dont 5 ans minimum en tant que gestionnaire. Le chef de projet devra avoir une bonne maîtrise soit de l'anglais, soit du français, mais de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Le rôle principal du chef de projet sera d'assurer la marche journalière efficace du projet et la coordination des activités avec le personnel des agences nationales. Il devra jouer un rôle important dans la sélection et la fourniture de l'équipement approprié pour le réseau et les installations centrales de traitement. Il sera également responsable de la mise en place d'un programme d'entrerien de routine et de l'inventaire régulier du stock de pièces de rechange, en vue de sauvegarder l'exploitation du réseau.

Spécialistes en Télémétrie et en Activités sur le Terrain

Ces spécialistes devront avoir une licence en ingénierie ou une science naturelle qu'ils auront obtenus d'une université reconnue. Un diplôme d'études universitaires supérieures en hydrologie serait un avantage. Ils devront avoir au moins 5 ans d'expérience en hydrologie opérationnelle, dont au moins 1 an d'expérience en exploitation de systèmes de télémétrie. Ils devront parler couramment soit l'anglais, soit le français et de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Les responsabilités de ces spécialistes seront de surveiller l'installation du nouvel équipement, d'effectuer un programme régulier de mesures de débits, afin que la courbe des niveaux établie à chaque site puisse toujours être à jour.

Personnel de Haute Spécialisation

Un petit nombre d'intrants de personnel de haute spécialisation est envisagé au cours de la durée de vie du projet. Bien qu'il ne soit pas possible à ce stade de définir spécifiquement ce qui sera exigé de ces intrants, les candidats devraient tous posséder un haut niveau d'expertise dans leur domaine particulier.

Annexe 2 - Formation

Vingt stages de formation spécialisée de courte durée ont été prévus. Cette formation sera organisée dans le cadre du projet de formation régional REG-2.

Annexe 3 - Equipement

En ce qui concerne le coût de transmission, le chiffre de US$ 100 000 fixé dans le budget dépendra de la technologie finalement sélectionnée.

Description	Quantité	Coût unitaire (US$)	Total US$
Equipement de bureau			
Micro-ordinateur 386 - Mémoire 40 MB	2	6 000	12 000
Imprimante laser	1	1 500	1 500
Imprimante par points	1	750	750
Batterie de secours pour une alimentation continue en cas de panne d'électricité	2	1 500	3 000
Logiciel			2 750
Sous-total			20 000

Pays :	Régional, Afrique de l'Ouest
Date :	Novembre 1991
Numéro du Projet :	REG-4
Nom Proposé :	Programme de Récupération de Données pour les Données Hydrologiques et d'Eaux Souterraines
Agence Responsable de la Mise en Oeuvre :	PNUD ou OMM
Durée Estimée :	5 ans
Contribution Internationale Préliminaire:	US$ 1 687 000
Coûts Homologues Estimés :	A déterminer
Source de Financement :	A décider

I. Objectif du développement et son lien par rapport au programme national

La disponibilité de données à long terme est un élément d'importance primordiale en ce qui concerne la planification des ressources en eau. Le fait que les données initiales ne soient pas stockées dans des conditions satisfaisantes est source d'une certaine inquiétude et l'on craint que ces données ne soient totalement perdues à l'avenir. L'introduction du traitement informatique des données n'a fait que renforcer cette inquiétude plutôt que de l'assouvir.

Dans le domaine de la météorologie, le projet DARE est actuellement en cours. Ce projet est dirigé par l'Office Météorologique Belge qui, depuis un certain nombre d'années, poursuit un programme qui consiste à faire systématiquement des copies sur microfilm des données météorologiques provenant des stations primaires des pays de l'Afrique de l'Ouest. Ce processus amorcé par les états membres du CILSS a depuis été étendu à d'autres pays. Dans le cadre de ce projet, l'équipement de microfilm a été introduit dans le service météorologique de chaque pays, parallèlement à une formation du personnel et après la visite de l'équipe du projet DARE, le service est censé procéder régulièrement à un stockage sur microfilm.

De même, dans le cadre d'un projet régional organisé sous les auspices du CIEH et de l'ASECNA, les données pluviométriques ont été collectées pour 13 pays francophones et après de longues procédures de vérification de la qualité de ces informations, les données ont été mises à la disposition des utilisateurs potentiels sous formes de microfiches, de fascicules, ou stockées dans une base de données informatisée. Ce projet n'a porté que sur les données pluviométriques et a regroupé tous les enregistrements depuis l'établissement des stations jusqu'en 1980.

Jusqu'à ce jour, aucun effort de ce genre n'a été fait dans le domaine des eaux superficielles ni des eaux souterraines, et l'objectif-même de ce projet est de combler ces lacunes.

II. Eléments les plus importants

Les objectifs de ce projet sont d'assurer la préservation des historiques de données et d'établir, au plan national, des systèmes visant à garantir le stockage sûr des données collectées actuellement et à l'avenir, qu'elles soient sur support papier ou électronique. Ce projet examinera les problèmes spécifiques à l'élaboration de moyens de protection des données qui sont à l'heure actuelle entrées dans des systèmes informatisés. L'équipe de projet établira des liens étroits avec le Projet Parasol régional dont les activités comprennent un soutien aux directeurs de l'informatique, ainsi que la publication de directives et de normes concernant un large éventail de questions se rapportant aux systèmes de traitement et de stockage.

L'objectif du projet est d'apporter une assistance aux agences nationales en ce qui concerne la conservation de leurs données tout en tenant compte des pratiques actuelles lors de la recommandation de nouvelles procédures de mise en oeuvre.

Le projet peut être divisé en deux parties : (a) la conservation des données sur support papier, et (b) la protection des données informatisées.

(a) Originaux sur support papier

- Copier sur microfilm tous les historiques de données à partir des originaux imprimés (livres de données, feuilles détachées dans les *fichiers de classement*, diagrammes, courbes d'étalonnage, etc...) ;

- Renvoyer les données à l'agence nationale sous forme de microfiches classées et cataloguées.

(b) Données informatisées

- Rassembler les fiches perforées obtenues lors de premières opérations d'informatisation et étudier la possibilité de les faire déchifrer ;

- Examiner les sérieux problèmes posés par le stockage permanent des données électroniques ;

- Elaborer des directives à l'intention des responsables de systèmes de traitement de données informatisées sur la durée de vie attendue des différentes formes de stockage (bandes, disquettes, disques optiques, etc...), une procédure systématique pour la vérification régulière de la viabilité des disquettes, etc...., et des systèmes permettant de cataloguer les fichiers, les répertoires, les disquettes, etc... ;

- Rechercher, en collaboration avec l'équipe de soutien informatique du Projet Parasol, des moyens de protéger les données à long terme, en élaborant des spécifications pour les nouveaux systèmes qui pourront assurer la compatibilité de ces derniers avec les systèmes utilisés actuellement (évitant ainsi à l'avenir la perte de données qui s'est produite dans le cas des données stockées sur fiches perforées qui ne peuvent pas être utilisées par le matériel informatique actuel).

III. Stratégie de projet

1. Quelles personnes et/ou quelles institutions bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet?

Les agences nationales responsables de la météorologie, de l'hydrologie et des eaux souterraines dans les 23 pays de l'Afrique de l'Ouest seront les premiers bénéficiaires. Le projet apportera son soutien aux activités de ces agences sur le plan national, dans les domaines du stockage et de l'archivage des données.

2. Personnes que l'on prévoit comme bénéficiaires

Les bénéficiaires visés par le projet sont tous les gens de la région dont le niveau de vie se trouvera amélioré en conséquence des aménagements futurs dans le secteur eau. Les résultats positifs du projet se feront particulièrement sentir dans les domaines de l'alimentation en eau, de l'agriculture et de l'industrie.

3. Dispositions de mise en oeuvre du projet

Il est prévu que le projet durera 5 ans.

Ce projet s'est fortement inspiré des méthodes du projet DARE qui porte sur les données météotologiques et qui est en place depuis maintenant plus de 5 ans, en particulier pour ce qui est de la conservation des originaux sur support papier. La méthodologie adoptée par le projet DARE vise à introduire, par le biais d'une formation sur le tas, des techniques de stockage sur microfilm à l'agence nationale comme méthode permanente de sauvegarder les données. Les agences nationales renvoient au centre DARE les données sur microfilm qui sont ensuite traitées une seconde fois pour les mettre sur microfiches classées et cataloguées avant de les renvoyer au pays concerné. Le présent projet sera organisé sur un principe semblable et prévoira de fournir l'équipement et la formation nécessaire à la mise sur microfilm dans chacun des pays participants et de mettre en place un service centralisé qui sera chargé du traitement secondaire.

Quant aux données informatisées, la méthodologie est plutôt différente. Un grand nombre d'agences possèdent des logiciels spécialisés pour le traitement des données, et ceux-ci incorporent souvent des sous-programmes automatiques permettant de cataloguer et d'archiver les données. Cependant, l'Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-saharienne a révélé que souvent, les opérateurs et les responsables n'avaient pas reçu une formation suffisante pour leur permettre d'utiliser à fond ces systèmes. Par conséquent, une formation complémentaire est un élément clé qui sera organisé dans le cadre du projet régional de formation, REG-2. Au siège du projet, les activités seront centrées sur l'élaboration de directives concernant les systèmes de stockage et de récupération de données, en collaboration avec le Projet Parasol régional REG-1.

4. Statégies alternatives de mise en oeuvre

La possibilité de combiner ce projet avec d'autres proposés à l'issue de l'évaluation hydrologique a été étudiée, mais il a été estimé que la nature des activités proposées était telle, qu'elles pouvaient être réalisées indépendamment des autres projets.

La possibilité d'employer des spécialistes à temps plein pour la durée de vie du projet a également été examinée, mais il a été décidé que les coûts supplémentaires n'étaient pas justifiés.

IV Engagement du pays récepteur

1. Soutien local

Ce projet a pour but d'établir une procédure d'archivage régulier qui puisse être poursuivie au-delà de la durée du vie du projet. Le rôle du personnel homologue sera essentiel à la réussite de ce projet. Dans la plupart des agences, les ressources en main d'oeuvre sont suffisantes pour leur permettre d'assurer un service satisfaisant. Cependant, certains services particuliers souffrent déjà de l'absence de personnel qui suit des cours de formation à long terme à l'étranger. Il faudra veiller à ce que le projet proposé n'aggrave pas cette situation.

2. Situation légale et allocation future de personnel

Il est peu probable que le type de formation nécessaire à ce projet puisse être recherchée en dehors de l'agence et par conséquent, il n'est pas nécessaire de prévoir de dispositions légales spéciales.

V Risques

1. Facteurs qui pourraient causer un retard au tout début du projet

Ce projet est l'un parmi un groupe de projets nationaux et régionaux proposés à l'issue de l'étude d'Evaluation Hydrologique des Pays de l'Afrique de l'Ouest. La planification de tous les projets devra être soigneusement coordonnée de façon à ce que les retards qui pourraient être accusés lors du démarrage d'un projet n'entraînent pas le retard du démarrage d'autres projets complémentaires.

2. Facteurs qui pourraient, avec le temps, causer des retards importants ou empêcher d'atteindre les résultats et les objectifs du projet

Tel qu'il est indiqué ci-dessus, ce projet est l'un parmi un nombre de projets régionaux et nationaux. Il est essentiel que la gestion de l'exécution de tous les projets soit méticuleusement coordonnée si l'on veut éviter que les résultats tardifs d'un projet retardent l'exécution des autres projets.

VI Intrants

1. Budget sommaire

Personnel

	Intrant	Coût US$/mois	Total US$
Chef d'Equipe/Hydrologue	24	16 000	384 000
Bénévole - eaux de surface	36	5 000	180 000
Spécialiste en eaux souterraines	12	16 000	192 000
Bénévole - eaux souterraines	36	5 000	180 000
Météorologue	3	16 000	48 000
Spécialiste en informatique	3	16 000	48 000
Frais de subsistance	42	2 500	105 000
Frais de déplacement			30 000
Sous-total			1 167 000

Formation

	Total US$
Cours de courte durée dans la région - 50	
Formation sur le tas	400 000
Sous-total	400 000

Equipement

Description	Nombre	Coût US$	Total US$
Equipement microfilm et microfiches + pièces de rechange et consommables	25		100 000
Equipement informatique périphérique et consommables	25		100 000
Ordinateur + équipement périphérique pour le projet	2		20 000
Sous-total			120 000

TOTAL	US$ 1 787 000

2. Problèmes d'ordre politique

Le projet n'est pas considéré poser de problèmes d'ordre politique.

Annexe 1 - Personnel International

1. Qualifications et Responsabilités

Les membres de l'équipe devront avoir une licence en météorologie, en ingénierie ou dans une science naturelle ou informatique qu'ils auront obtenue d'une université reconnue. Ils devront également avoir au moins 5 ans d'expérience en hydrologie opérationnelle. L'un d'entre eux devra avoir au moins 5 ans d'expérience dans l'élaboration de logiciels pour la gestion de données. Ils devront avoir une bonne maîtrise soit de l'anglais, soit du français, mais de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Annexe 2 - Formation

Dans le cadre de ce projet, il a été prévu un budget couvrant 50 stages de formation de courte durée. Il est anticipé qu'ils seront organisés par le biais du projet régional de formation, REG-2, qui assurera que les stages répondent aux besoins particuliers de ce projet, particulièrement en ce qui concerne la formation à l'utilisation des logiciels existants pour le stockage sûr et la récupération aisée des données informatisées. Du temps sera également consacré à une formation sur le tas, en particulier à l'utilisation de l'équipement de mise sur microfilm.

Annexe 3 - Equipement

L'équipement comprendra du matériel pour les agences nationales et pour l'équipe de projet : équipement de mise sur microfilm, équipement informatique périphérique tel qu'unité optique de disques et matériel informatique pour l'équipe de projet.

Pays :	Régional, Afrique de l'Ouest
Date :	Novembre 1991
Numéro du Projet :	REG-5
Nom Proposé :	Evaluation des Bienfaits Economiques et Sociaux de la Collecte de Données de Ressources en Eau en Afrique de l'Ouest comme Justification d'un Financement Accrû des Services Hydrométriques
Agence Responsable de la Mise en Oeuvre :	Banque Mondiale ou PNUD ou UNESCO/OMM
Durée Estimée :	12 mois
Contribution Internationale Préliminaire:	US$ 561 500
Coûts Homologues Estimés :	A déterminer
Source de Financement :	A décider

I. Objectif du développement et son lien par rapport au programme national

L'aménagement des ressources en eau est un problème clé dans chacun des vingt trois pays de l'Afrique de l'Ouest. Etant donné la croissance de la population dans ces pays et la nécessité à la fois de satisfaire leurs besoins fondamentaux et d'élever leur niveau de vie, le développement des ressources en eau sera certainement le premier point à l'agenda dans les années à venir.

Au début de l'année 1990, l'OMM a tenu une conférence sur "les bienfaits économiques et sociaux des services météorologiques et hydrologiques" en vue de présenter aux directeurs et gestionnaires des services nationaux des faits et des informations qui pourraient être utilisés pour la promotion du développement de leurs services et pour leur permettre de démontrer efficacement à leurs autorités gouvernementales et au public en général quels avantages ils pouvaient tirer de l'amélioration des services météorologiques et hydrologiques. Sur les soixante-sept pays qui ont assisté à la conférence, sept faisaient partie de la région de l'Afrique de l'Ouest. Cette conférence reflète à la fois la préoccupation de l'OMM en ce qui concerne le maintien du financement de tels services techniques et le fait que les agences hydrologiques et météorologiques de la région sont particulièrement désireures de tirer toutes les leçons possibles de l'expérience d'autres pays en ce qui concerne la promotion de leurs services.

Dans le contexte de la préoccupation mondiale croissante face aux changements climatiques et à la dégradation de l'environnement et des questions qui se posent concernant la promotion, la commercialisation, la gestion et le financement, la conférence OMM a recommandé la réalisation d'études complémentaires en vue d'élaborer des méthodologies pour l'évaluation des bienfaits économiques et sociaux et de les tester dans chacun des pays. L'une des premières composantes du plan OMM/UNESCO de 1991 "Avancement de la mise en oeuvre du plan d'action Mar del Plata et la stratégie à suivre pour les années 1990" a été l'élaboration de moyens d'augmenter les ressources financières disponibles aux agences de ressources en eau.

Les articles présentés à la conférence OMM reflètent les courants de pensée actuels sur plusieurs questions importantes, principalement parmi les météorologues, bien qu'il y ait eu plusieurs contributions concernant les services d'information sur les eaux de surface. La question des services de collecte de données sur les eaux souterraines n'a cependant pas été abordée.

Les directeurs des services nationaux dans les domaines de la météorologie, de l'hydrologie et de l'hydrogéologie ont joué un rôle décisif dans le développement et la promotion du statut de leurs services. Il leur reste à convaincre les hommes politiques du bien-fondé de leur demande de financement sur la base du fait que leurs travaux contribuent au bien du pays tout entier. A l'heure actuelle, les gouvernements n'ont aucun moyen d'estimer, et très peu d'idée, de la valeur des services de collecte de données. Au fur et à mesure de la croissance de la population, des changements affectant l'environnement, et des changements climatiques probables en raison du réchauffement de la terre, l'accroissement des demandes en eau exigeront une nouvelle évaluation des services minimums de collecte de données proportionnellement à la fourniture des données de base minimums nécessaires à la conception de projets d'aménagement des ressources en eau.

Le projet fournira aux pays participants les moyens leur permettant d'évaluer quantitativement les besoins financiers minimum des services de collecte de données de ressources en eau par rapport à l'aménagement actuel et futur des ressources en eau dans ces pays respectifs. Il préparera également des documents promotionnels dont les agences nationales pourront se servir pour tenter d'influencer les décideurs et les détenteurs de fonds.

II. Eléments les plus importants

- Evaluer les frais encourus actuellement par chaque pays participant pour la collecte et le traitement de données de ressources en eau. Ceci devra inclure à la fois le coût de l'exploitation du réseau de base et celui de la collecte de données dans le cadre de projets spécifiques, ainsi que la détermination de la provenance des fonds.

- Examen des documents existants relatifs aux études coûts/bénfices et aux autres méthodes d'évaluation économique pour la collecte des données de ressources en eau en vue d'adapter les facteurs de bénéfices, si besoin est, pour qu'ils correspondent aux conditions de climat et de développement de chaque pays de la région.

- Evaluer la faisabilité d'activités commerciales dans les pays où il semble que la récupération des frais sur les clients puisse devenir nécessaire.

- Evaluer l'impact de la dégradation de l'environnement et des changements de l'occupation des sols sur les ressources en eau.

- Evaluer l'influence des scénarios de réchauffement de la terre sur la température et les précipitations et en évaluer l'impact sur les ressources en eau.

- Evaluer l'impact sur les ressources en eau de la croissance de la population, et de l'augmentation de la demande en eau qui y est associée.

- Evaluer les ressources en eau sur le plan national par rapport aux scénarios de demande future.

- Evaluer les bienfaits économiques et sociaux de la collecte de données de ressources en eau à l'heure actuelle et pour la demande future prévue.

- Faire des recommandations fermes quant à l'investissement que chaque pays devra faire dans la collecte de données pour qu'il puisse fournir les informations nécessaires à l'élaboration de projets d'aménagement des ressources en eau.

- Préparer des documents visant des groupes spécifiques, tels que les hommes politiques, en vue de leur utilisation par les directeurs nationaux pour la promotion de leur agence et pour appuyer leur demande de financement. Apporter des conseils quant aux activités promotionnelles.

III. Stratégie de projet

1. Quelles personnes et/ou quelles institutions bénéficieront en premier lieu des résultats et des activités du projet?

Les personnes qui bénéficieront en premier lieu de ce projet sont celles qui sont chargées de la planification des ressources en eau et des autres aspects de développement dans chaque pays. Les agences hydrométriques nationales pourraient également tirer profit des lignes directrices fermes données pour l'établissement des budgets de leurs services, ce qui conduirait par la suite à une gestion plus efficace de ces services et une meilleure disponibilité de données pour la planification et la mise en place de projets basés sur les ressources en eau.

2. Personnes que l'on prévoit comme bénéficiaires

Les bénéficiaires visés par le projet sont tous les gens de la région dont le niveau de vie se trouvera amélioré en conséquence des aménagements futurs dans le secteur eau. Les résultats positifs du projet se feront particulièrement sentir dans les domaines de l'alimentation en eau, de l'agriculture et de l'industrie.

3. Dispositions de mise en oeuvre du projet

Il est envisagé que ce projet prendra la forme d'une étude sur 12 mois effectuée par des consultants qui travailleront pour la plus grande partie du temps au siège de leur société, mais comprenant une phase initiale de collecte d'informations dans la région. Des liens seront établis entre ce projet et le Projet Parasol du Programme de Développement de l'Hydrométrie tout au long de l'étude, en particulier au cours de la phase initiale et principalement à la fin de l'étude dans le but de déterminer la meilleure méthode de présenter les résultats aux directeurs et aux cadres des agences nationales de la région.

Ce projet emploiera un large éventail de spécialistes dans les domaines de l'hydrométrie, de la modélisation du climat, de la démographie et de l'économie.

4. Statégies alternatives de mise en oeuvre

Une stratégie alternative pour la mise en oeuvre de ce projet serait de prévoir une série de projets nationaux traitant des mêmes questions. Ceci serait plus onéreux et ne fournirait pas la perspective régionale que donne ce projet.

IV Engagement du pays récepteur

1. Soutien local

Au cours du projet d'Evaluation Hydrologique de l'Afrique de l'Ouest, les pays participants ont fourni le soutien et l'accès aux données que l'on attendait d'eux. Il est par conséquent anticipé qu'ils accueilleront favorablement le projet proposé et qu'ils lui apporteront leur soutien.

2. Situation légale et allocation future de personnel

La question ne se pose pas dans le cadre de ce projet.

V Risques

1. Facteurs qui pourraient causer un retard au tout début du projet

Le projet sera réalisé conjointement au Projet Parasol, REG-1, et la date de démarrage devra être coordonnée avec ce projet.

2. Facteurs qui pourraient, avec le temps, causer des retards importants ou empêcher d'atteindre les résultats et les objectifs du projet

Le succès de ce projet dépendra largement de la volonté des pays participants de fournir les informations nécessaires à l'étude qui doit être entreprise.

VI Intrants

1. Budget sommaire

Personnel

	Intrant	Coût/mois US$	Total US$
Siège			
Chef d'Equipe/hydrologue	10	16 000	160 000
Planificateur de ressources en eau	3	13 000	39 000
Spécialiste en eaux souterraines	3	13 000	39 000
Spécialiste en modélisation climatique	3	13 000	39 000
Démographe	1	13 000	13 000
Economiste	4	13 000	52 000
Outre-mer			
Chef d'Equipe/hydrologue	2	20 000	40 000
Planificateur de ressources en eau	2	16 000	32 000
Spécialiste en eaux souterraines	2	16 000	32 000
Démographe	1	16 000	16 000
Economiste	2	16 000	32 000
Frais de Subsistance	9	2 500	22 500
Frais de Déplacement			25 000
Sous-total			541 500

Formation

Aucun budget prévu.

Equipement

Une allocation de US$ 20 000 a été prévue.

TOTAL	US$ 561 500

2. Problèmes d'ordre politique

Le projet n'est pas considéré soulever de problèmes d'ordre politique.

Annexe 1 - Personnel International

1. Qualifications et Responsabilités

Il est considéré essentiel que tous les membres de l'équipe aient déjà travaillé en Afrique de l'Ouest. Les membres de l'équipe devront avoir une licence appropriée qu'ils auront obtenue d'une université reconnue. Un diplôme pertinent d'études universitaires supérieures serait un avantage. Le chef d'équipe devra avoir au moins 10 ans d'expérience en hydrologie opérationnelle. Les autres membres de l'équipe devront avoir au moins 5 ans d'expérience dans le domaine de leur spécialisation. Ils devront avoir une bonne maîtrise soit de l'anglais, soit du français, de préférence les deux, et des connaissances en portugais et en espagnol seraient un atout.

Annexe 2 - Formation

Le projet n'a pas de budget spécifiquement destiné à la formation. Cependant, il est espéré qu'après avoir formulé une méthodologie pour l'analyse coûts/bénéfices appropriée au secteur eau de la région, l'on pourra introduire une formation sous forme de stages de courte durée ou d'ateliers organisés sous les auspices du projet de formation régional REG-2 et conjointement au Projet Parasol régional REG-1.

Annexe 3 - Equipement

Le budget destiné à l'équipement couvre la fourniture/location de véhicules et d'équipement informatique dans la région pour la durée des visites, ainsi que les coûts de fonctionnement au siège pour les ordinateurs, etc...

ANNEXE B

CHANGEMENTS CLIMATIQUES MONDIAUX AU XXI' SIECLE

Dr M Hulme
(Unité de Recherche Climatique, Université d'East Anglia, Royaume Uni)

ANNEXE B

CHANGEMENTS CLIMATIQUES MONDIAUX AU XXI' SIECLE

B.1 Introduction

Les années 80 ont été la décennie la plus chaude depuis le début des mesures météorologiques au XIXe siècle et peut-être même depuis la dernière période interglaciale, il y a 120 000 ans. A l'échelle mondiale, les températures relevées dans les années 80 dépassent de 0,2°C celles des années 1950 et d'environ 0,5°C celles des années 1900, 1990 étant, à elle seule, l'année la plus chaude (Jones et al., 1988a ; Jones et Wigley, 1991).

La cause de ce réchauffement n'est pas encore connue indiscutablement. La raison la plus probable est l'augmentation des concentrations des gaz atmosphériques rares, plus particulièrement le gaz carbonique, le méthane, le péroxyde d'azote, les chlorofluorocarbonés (CFC) et l'ozone troposhérique. Ces gaz sont connus génériquement sous le nom de gaz à effet de serre puisqu'ils laissent pénétrer les radiations à ondes courtes incidentes et absorbent les radiations à grande longueur d'onde qui sont réfléchies. Ceci résulte en une absorption d'énergie dans les basses couches de l'atmosphère qui, à son tour, cause une élévation des températures de l'air près du sol. Ce phénomène est connu sous le nom d'effet de serre.

Cette annexe résume l'état actuel des connaissances et les prévisions du réchauffement de la terre et discute des changements climatiques mondiaux probables qui devront être pris en considération lors de l'évaluation des ressources en eau dans des régions telles que l'Afrique de l'Ouest. La première partie de cette Annexe traite des changements qui affectent les moyennes mondiales de température, de pluviométrie et du niveau des mers et qui ont eu lieu au cours des 100 dernières années ; la deuxième partie présente les prévisions de changement de ces trois paramètres dans les prochaines 5 à 100 années.

B.2 Changements Historiques du Climat à l'Echelle Mondiale

Les changements relatifs à la moyenne mondiale de température peuvent être estimés en rassemblant les observations faites sur les terres et sur les océans du Globe, la plus grande partie ayant été relevées en vue d'établir des prévisions météorologiques. Les données maritimes sont particulièrement importantes, puisque les mers représentent quelque 70% de la surface du globe (bien que la couverture de ces zones soit incomplète, puisque limitée aux routes maritimes). Plusieurs centaines de millions de données observées permettent d'arriver à des estimations moyennes par zone pour les 100 dernières années environ. Avant leur utilisation, ces données doivent être examinées soigneusement, afin d'éliminer tout problème d'homogénéité, comme par exemple les variations dues à des faits non-climatiques tels que le changement de l'emplacement de la station météorologique,

des heures d'observations, des méthodes de mesure et l'effet du réchauffement en zones urbaines[1]. Jones et al. (1986) ont présenté l'analyse la plus complète à ce jour. Ils démontrent que la moyenne mondiale de la température de l'air à proximité de la surface s'est élevée de 0,5°C depuis la fin du XIXe siècle. La Figure B.1 présente des séries chronologiques annuelles de températures moyennes pou chaque hémisphérique et pour l'ensemble du globe qui illustrent ce fait. Il est clair que le réchauffement récent à l'échelle mondiale n'est pas le résultat d'une croissance continue ; il n'est pas non plus homogène dans l'espace et les tendances observées varient considérablement d'une région à l'autre. Au cours des 20 dernières années par exemple, la plus grande partie de l'Altlantique Nord et de l'Europe de l'Ouest a connu un léger refroidissement (Figure B.2 ; Jones et associés, 1988b).

Ce refroidissement, et en fait, le refroidissement que l'on constate dans les séries chronologiques de l'hémisphère nord entre 1940 et 1975, présentées à la Figure B.1, ne semblent pas cohérents avec l'hypothèse de l'effet de serre. Bien que la réalité de ce refroidissement soit incontestable, ce fait ne doit pas être utilisé pour réfuter l'existence de l'effet de serre, ni même pour minimiser son effet. Il s'agit au contraire d'une illustration graphique de l'étendue et de l'amplitude de la variabilité naturelle du climat, le bruit de fond sur lequel l'effet de serre doit être détecté, et sur lequel viendra se superposer le réchauffement dans l'avenir.

Des changements concomittents ont également été observés en ce qui concerne la moyenne mondiale du niveau des mers (Tableau B.1). Des compilations des données de niveaux de marées provenant de plus de 300 sites du monde entier indiquent une montée d'environ 12 cm depuis la fin du XIXe siècle (Barnett, 1984). De même que pour la moyenne mondiale de température, une telle montée n'est pas le résultat d'une croissance continue et elle n'est pas non plus homogène dans l'espace.

TABLEAU B.1

Changements Historiques du Climat Mondial

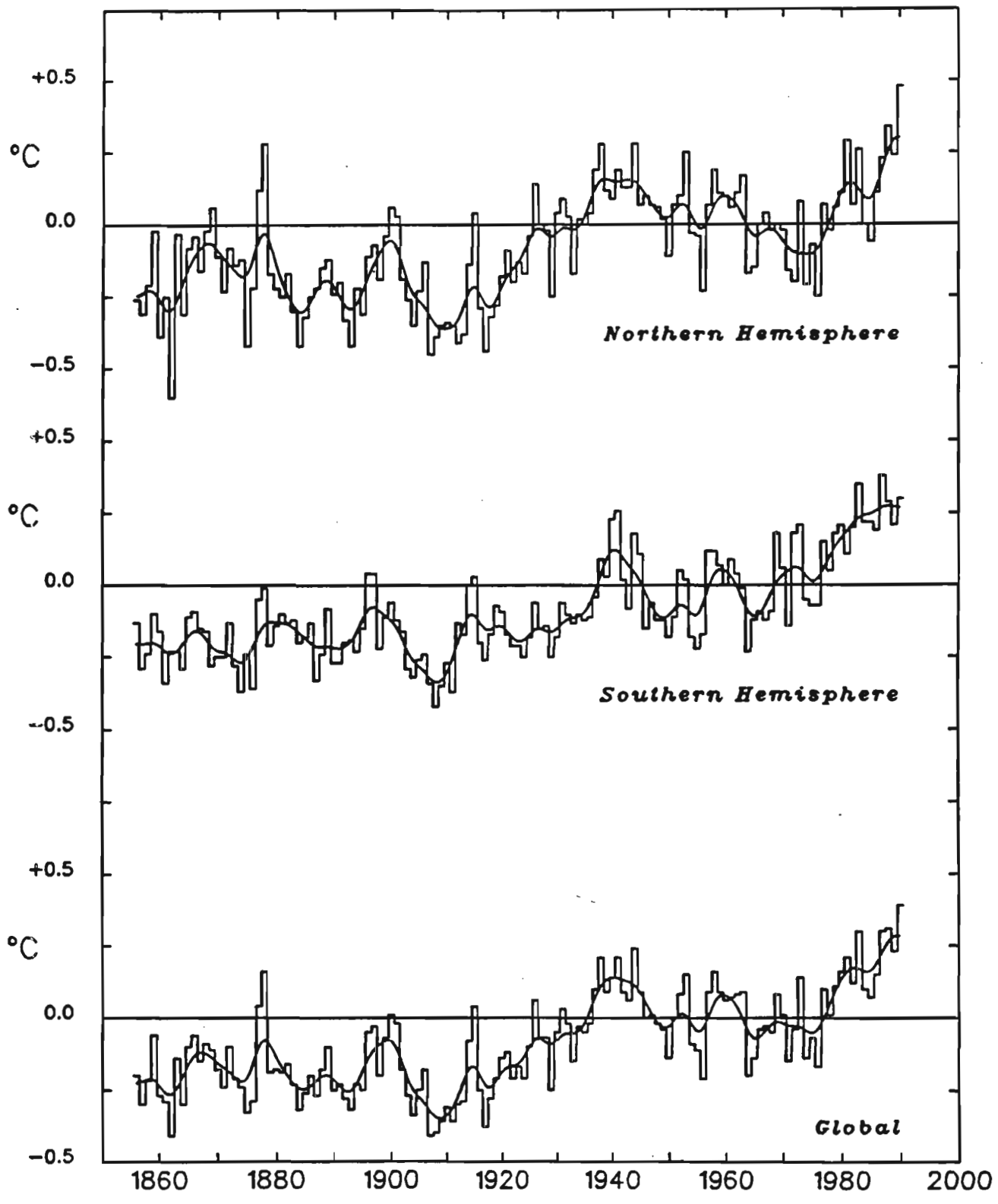
Les contrastes hémisphériques sont indiqués pour la température et la pluviométrie.

	Température de l'air à la surface (1890-1990)	Niveau des mers (1890-1900)	Pluviométrie sur les terres (1951-1980)
Moyenne globale	+0,5°±0,1°C	+12,5cm±2,5cm	-1,2%
Hémisphère nord	+0,4°C		-4,1%
Hémisphère sud	+0,7°C		+3,5%

[1]*Une évaluation de l'ampleur de tels biais et une discussion de leur importance quant à la série chronologique de la température moyenne mondiale sont présentées dans Jones et al., (1991). Il subsiste une incertitude non résolue quant à la cohérence des températures océaniques de la fin du XIXe siècle, et ceci pourrait affecter de ±0,1°C la gamme du réchauffement mondial depuis 1860.*

Figure B.1

Température de l'air moyenne annuelle à la surface 1856-1990 - hémisphères et globe



Les anomalies sont exprimées en °C par rapport à la moyenne pour 1951-1980

Figure B.2

Tendance de la température moyenne annuelle 1967-86 sur l'hémisphère nord

Source: Jones et al 1988b

Les changements de la moyenne mondiale de pluviométrie sont plus difficiles à évaluer, pour deux raisons. Tout d'abord, les longues séries chronologiques de pluviométrie n'existent que pour des stations à terre et par conséquent, entre 60% et 70% du globe échappent, d'emblée, à toute analyse historique. Deuxièmement, le fait que la variabilité de la pluviométrie soit plus grande dans l'espace et dans le temps rend les estimations fiables de la moyenne mondiale difficiles à calculer quantitativement. Les analyses les plus complètes publiées à ce jour sont présentés dans Bradley et al. (1987), Eischeid et al. (1991) et Hulme (1992). Certains résultats sont présentés au Tableau B.1. Ceux-ci suggèrent une différence marquée entre la tendance pluviométrique de l'hémisphère nord (décroissante) et celle de l'hémisphère sud (croissante). Là encore, le rapport signal/bruit élevé de la pluviométrie fait qu'aucun signal indicutable de l'effet de serre ne peut être identifié parmi ces tendances, bien qu'un mécanisme plausible ait été proposé, au moins dans le cas du Sahel Africain, pour établir un rapport entre la diminution de la pluviométrie et le réchauffement des océans (voir Paragraphe 2.2).

B.3 Incertitudes des Prédictions du Climat Mondial

L'ampleur des changements prévus en ce qui concerne la moyenne mondiale climatique au XXIe siècle dépend de quatre facteurs : le taux d'accroissement de l'émission de gaz à effet de serre ; l'estimation de la sensibilité du système climatique mondial au forçage thermique dû aux gaz à effet de serre ; le temps nécessaire pour que ce système climatique atteigne l'équilibre (c'est-à-dire l'amplitude de l'effet d'inertie thermique produit par les océans) ; et l'amplitude de tout forçage climatique non-anthropique, tel que celui causé par les éruptions volcaniques ou la variabilité du rayonnement solaire. Il subsiste des doutes sur tous ces points.

B.3.1 Concentrations Mondiales des Gaz à Effet de Serre

Le gaz carbonique (CO_2) contribue actuellement à environ 55% de l'effet de serre anthropique (Houghton et al., 1990). La concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère a augmenté de 315 parties par millions en volume (ppmv) de CO_2 en 1958 à 355 ppmv en 1991, et progresse à l'heure actuelle à un taux de 0,4% par an. Les taux d'accroissement à l'avenir dépendront de la croissance mondiale de la consommation d'énergie et des mélanges combustibles qui seront utilisés. Bien que les pays industrialisés soient largement responsables des émissions passées et actuelles de CO_2, la consommation future d'énergie ainsi que les politiques énergétiques des Pays en Développement (PED) deviendront de plus en plus déterminantes en ce qui concerne les niveaux de CO_2 à l'avenir. En 1980, les PED n'étaient responsables que de 13% environ de l'émission mondiale de gaz carbonique, mais si l'on calcule les émissions futures en se basant sur les taux d'accroissement de la consommation d'énergie de 1980, d'ici 2010, l'émission de gaz carbonique produite par les PED dépasserait celle des pays industrialisés (Darmstadter, 1986). A l'heure actuelle, la Chine, par exemple, satisfait 76% de sa demande en énergie par la combustion de charbon. La consommation d'énergie n'est actuellement que de 0,8 kw par personne, mais il est anticipé qu'elle augmentera à 2,5 kw par personne d'ici 2030. Même si la Chine parvenait à lancer avec succès un programme d'énergie nucléaire, on arriverait à ce qu'à elle seule, la Chine émette 3 millards de tonnes de gaz

carbonique d'ici 2030, soit 60% de l'émission mondiale actuelle de gaz carbonique provenant de l'utilisation de combutibles fossiles.

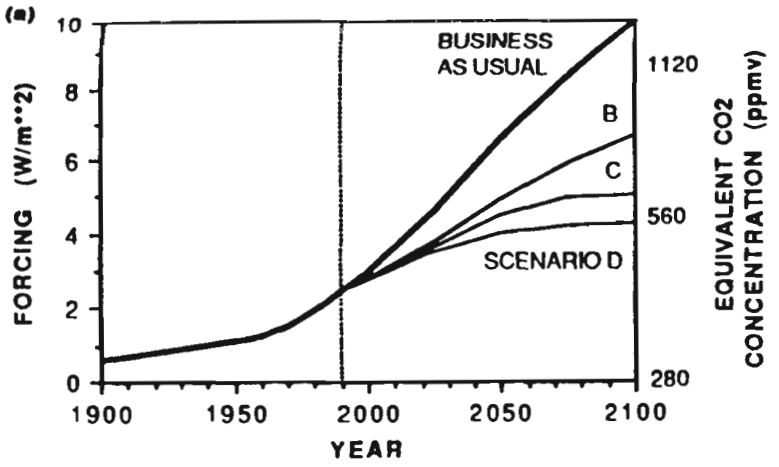
De même, les émissions de méthane et de péroxyde d'azote (NO_2) sont liées aux taux de croissance économique et démographique et aux options choisies pour le développement agricole et économique. Le méthane, en particulier, est lié à la croissance démographique puisqu'il provient largement de processus anaérobiques associés au nombre croissant de ruminants, de l'expansion de la riziculture, et de la combustion de biomasse liée à l'expansion agricole. Les concentrations actuelles et les taux d'augmentation des gaz à effet de serre sont indiqués au Tableau B.2 ; la gamme des prévisions de leur concentration indifférenciée est présentée à la Figure B.3 (en haut à gauche). Quatre scénarios de simulation des émissions futures établis par l'IPCC (Houghton et al., 1990) sont également montrés, ainsi que la concentration (équivalent à ~ 560 ppmv CO_2) correspondant au doublement des niveaux pré-industrialisation d'émission de gaz à effet de serre. Selon le scénario Conditions Inchangées (Business as usual), cet équivalent de CO_2 pré-industrialisation aura doublé en 2020 environ.

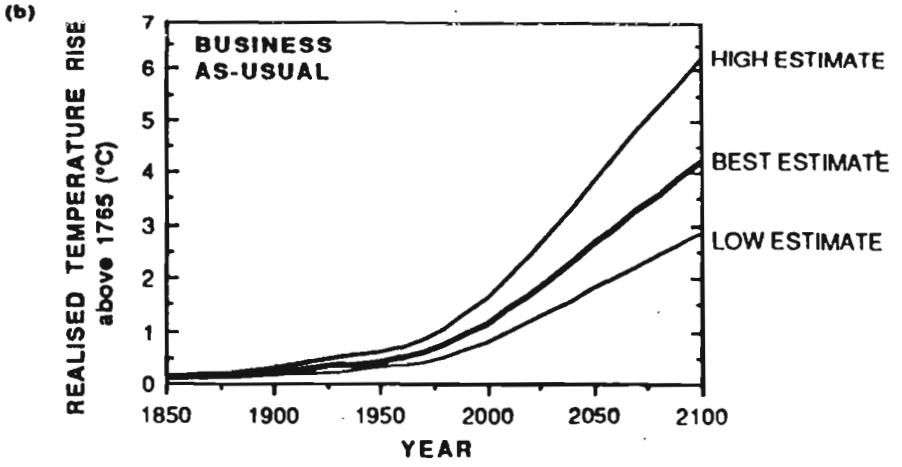
B.3.2 Sensibilité du Climat Mondial

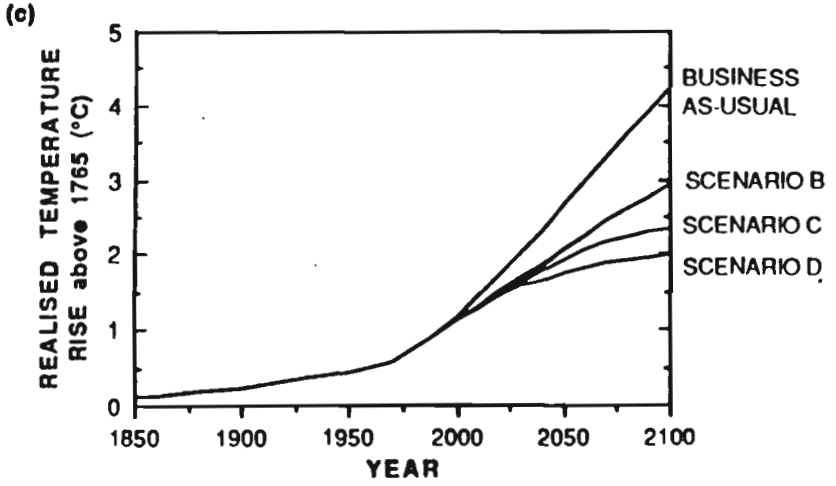
La sensibilité du climat est généralement déterminée par le changement d'équilibre de la moyenne mondiale de température, noté ΔT_{2X}, qui se produirait si la concentration de l'equivalent de CO_2 doublait. Ceci doit être déterminé à partir de modèles climatiques. Sa valeur est extrémement sensible à la variété de rétroactions qui existent au sein du système climatique. La rétroaction de la vapeur d'eau en est un exemple. Si la planète se réchauffe, une plus grande quantité d'eau s'évaporera à partir des océans, ce qui augementera la concentration de vapeur d'eau dans l'atmosphère. La vapeur d'eau étant un gaz à effet de serre, ceci causera un réchauffement plus important. Il existe un grand nombre d'autres mécanismes de rétroactions impliquant les nuages, les glaces marines, les neiges et la circulation océanique, bien que certaines de ces rétroactions puissent être négatives (Mitchell et al., 1990). Comme leurs effets sont difficiles à évaluer quantitativement, l'amplitude de ΔT_{2X} n'est pas non plus connue avec précision. La meilleure estimation à l'heure actuelle indique qu'elle est comprise entre 1,5 et 4,5°C, la meilleure prédiction étant de 2,5°C (Houghton et al., 1990). La Figure B.3 (en haut à droite) montre le réchauffement transitoire réalisé pour trois sensibilités climatiques : basse (1,5°C), meilleure prédiction (2,5°C) et élevée (4,5°C), selon le scénario des émissions en Conditions Inchangées (Business as usual). Ainsi, pour l'année 2020, en supposant un scénario Conditions Inchangées, la gamme de réchauffement atteinte depuis 1850 est comprise entre 1,4°C (sensibilité climatique basse) et 2,8°C (sensibilité climatique élevée), la meilleure prédiction de réchauffement étant de 1,9°C.

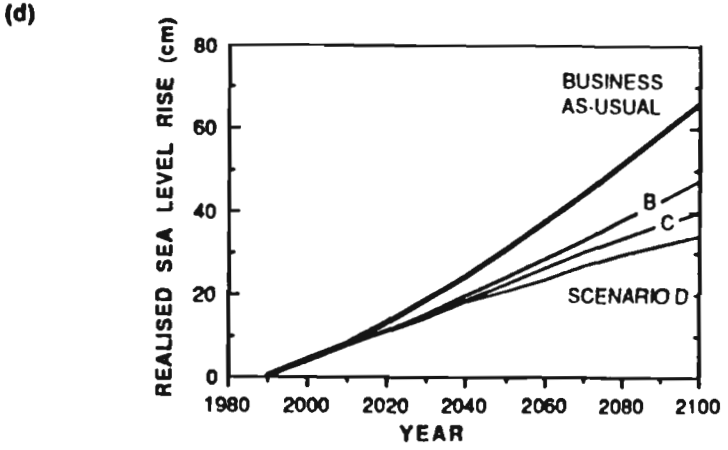
B.3.3 Inertie Climatique Mondiale

Le système climatique mondial ne répond pas immédiatement à un forçage imposé. Une distinction importante doit être faite par conséquent entre l'état final d'équilibre et la période transitoire (variable avec le temps) du système climatique. Alors qu'un doublement de l'équivalent CO_2 puisse









(a) Une augmentation du forçage radiatif depuis 1990 due à l'émission de gaz à effet de serre, et prévision de celle qui résultera des quatres scénarios d'émissions de l'IPCC. Exprimée également en équivalent de concentration de CO_2 ; (b) Simulation de l'augmentation de la température moyenne mondiale de 1850 à 1990 et prévisions de l'accroissement entre 1990 et 2100 résultant des émissions conditions inchangées (BaU) pour trois sensibilités climatiques différentes; (c) comme pour (b), mais prévisions pour les quatre scénarios d'émission de l'IPCC et la meilleure prédiction de sensibilité climatique (2,5°C) ; (d) estimations du modèle concernant la montée du niveau de la mer entre 1990 et 2100 pour les quatre scénarios d'émission de l'IPCC.

Prévisions pour les scénarios d'émission de l'IPCC

Figure B.3

produire un réchauffement moyen mondial de 3,0°±1,5°C, ce réchauffement ne serait en fait atteint qu'un certain temps après le doublement de la concentration de CO_2. La différence entre l'état final et la période transitoire est due à l'inertie thermique des océans. Les océans ne se réchauffent et ne se refroidissent que lentement et comme ils jouent un rôle clé dans la détermination du régime climatique mondial, les températures atmosphériques moyennes mondiales n'atteindront un équilibre que lorsque les températures océaniques se seront équilibrées. Une modélisation récente de l'effet de l'inertie thermique des océans suggère que l'équilibre du réchauffement ne serait atteint qu'après une période transitoire d'au moins 40 ans (Wigley, 1988). Si le contrôle des émissions de gaz fait l'objet d'une réglementation stricte sur le plan mondial, il se peut que l'équilibre final du réchauffement ne soit jamais atteint.

B.3.4 Forçage Climatique Non-Anthropique

Le climat mondial subit toute une gamme de perturbations naturelles qui peuvent provenir de l'extérieur ou de l'intérieur du système climatique. Certaines d'entre elles sont encore mal expliquées (par exemple, l'effet de la variabilité du rayonnement solaire, Pittock, 1983), ou bien restent imprévisibles (par exemple, l'effet des éruptions volcaniques, Sear et al., 1987). Alors que certaines expériences de modélisation des changements climatiques futurs ont pris ce forçage naturel du système climatique en considération (par exemple, Hansen et al., 1988), nous ne pouvons pas en fait éliminer cet élément d'incertitude de nos prévisions du changement climatique au cours du XXIe siècle. Par exemple, l'éruption en juin 1991 du Mont Pinatubo aux Philippines a injecté dans la stratosphère le plus grand volume de poussière atmosphérique du siècle. En conséquence, l'on s'attend à ce que la température moyenne mondiale en 1992 et en 1993 baisse de 0,1° à 0,2°C.

B.4 Climat Mondial au XXIe Siècle

Ayant considéré ces quatres points d'incertitude affectant nos prévisions du changement climatique mondial à l'avenir, quelles conclusions peut-on tirer en ce qui concerne le climat mondial au XXIe siècle? La Figure B.3 (en bas) résume les prévisions de changement des températures moyennes mondiales et du niveau des mers selon les quatre scénarios d'émissions de l'IPCC. Il est à noter que les prévisions de températures et de niveaux des mers sont des chiffres de moyenne mondiale et ne reflètent en rien les situations régionales. Il existera sans aucun doute des régions où la pluviométrie, par exemple, diminuera après le doublement de l'équivalent CO_2 (voir Paragraphe 2.2)

TABLEAU B.2

Gaz à Effet de Serre

Gaz à effet de serre	Sources importantes	Concentration actuelle (ppmv)	Augmentation récente % par an (1980-89)	PRM relatif par molécule (horizon de 100 ans)	% de contribution à au forçage mondial (1850-1989)
Gaz carbonique	Combustibles fossiles Destruction de la biomasse	355	0,4	1	58
Méthane	Riziculture Dégel du permafrost Décomposition d'ordures ménagères Bétail	1,7	1	21	18
Péroxyde d'azote	Engrais Combustion de carburants	0,31	0,3	290	5
Ozone troposphérique	Usines pétrochimiques Centrale électriques	0,06	1,5	2000	5
Chlorofluorocarbonés (par ex. CFC-11)	Agents frigorigènes Aérosols Production de mousse d'emballage	0,00026	5,0	3500	14

Note : PRM : Potentiel de Réchauffement Mondial

Sources : Changement Climatique Mondial, Département de l'Environnement R.U., 1989; Houghton et al., 1990)

ANNEXE B - Références

Barnett, T P (1984) The estimation of "global" sea level change : a problem of uniqueness. J of Geophys Res 89, 7980-7988.

Bradley, R S, Diaz, H F, Eischeid, J K, Jones, P D, Kelly, P M and Goodess, C M (1987) Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century Science, 237, 171-5.

Darmstadter, J (1986) "Energy patterns in retrospect and prospect" in, Clark, W C and Mann, R E (eds) Suitable Development of the Biosphere, Cambridge University Press, Cambridge.

Eischeid, J K, Diaz, H F, Bradley, R S and Jones, P D (1991) A Comprehensive Precipitation Data Set for Global Land Areas, US DoE Report No DoE/ER 69017T-H1, Washington, 81pp.

Grubb, M (1989) The Greenhouse effect : negotiating targets. Royal Institute of International Affairs, London, 56pp.

Hansen, J, Fung, I, Lacis, A, Rind, D, Lebedeff, S, Ruedy, R and Russel, G (1988) Global climate changes as forecast by GISS three-dimensional model J of Geophys Res 93, 9341-9364.

Houghton, J T, Jenkins, G J and Ephraums, J J (eds) (1990) Climate Change: the IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, 537pp.

Hulme, M (1992) A 1951-80 land based precipitation climatology for model evaluation. Climate Dynamics.

Jones, P D, Raper, S C B and Wigley, TML (1986) Global temperature variations, 1861-1984. Nature 322, 430-434.

Jones, P D and Wigley T M L (1991) The global temperature record for 1990. DoE Research Summary No 10, CDIAC, Oak Ridge National Laboratory, 4pp.

Jones, P D, Wigley, T M L and Farmer, G (1991) "Marine and land temperature data sets : a comparison and look at recent trends" pp 153-172 in (ed) Schlesinger, M E) Greenhouse-Gas Induced Climatic Change : a Critical Appraisal of Simulations and observations. Elsevier, Amsterdam.

Jones, P D, Wigley, T M L, Folland, C K, Parker, D E, Angell, J K, Lebedeff, S, Hansen, J E (1988a) Evidence for global warming in the past decade Nature 332, 790.

Jones, P D, Wigley, T M L, Folland, C K and Parker, D E (1988b) Spatial patterns in recent worldwide temperature trends. Climate Monitor 16, 175-185.

Mitchell, J F B, Manabe, S, Meleshko, V and Tokoika, T (1990) Equilibrium climate change and its implications for the future, pp 137-164 in : Climate Change : the IPCC Scientific Assessment, (eds) Houghton, J T Jenkins, G J and Ephraums, J J, Cambridge University Press, Cambridge, 537pp.

Pittock, A B (1983) Solar variability, weather and climate : an update, Qtly, J of the Royal Met Soc 109, 23-55.

Sear, C B, Kelly, P M, Jones, P D and Goodess, C M (1987) Global surface-temperature responses to major volcanic eruptions Nature 330, 365-67.

Wigley, T M L (1988) When will equilibrium CO_2 results be relevant? Climate Monitor, 17, 99-106.

ANNEXE C

NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR L'HYDROLOGIE DE SURFACE EN AFRIQUE

ANNEXE C

NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR L'HYDROLOGIE DE SURFACE EN AFRIQUE

I Introduction

On peut définir l'hydrométrie comme le cortège de technologies et de méthodologies qui permettent de mesurer sur site des paramètres hydrologiques pertinents, puis de les transférer pour archivage dans des banques de données.

Traditionnellement le premier paramètre hyrométrique acquis fut la hauteur d'eau en des sites appropriés. Cette acquisition se fit d'abord manuellement (ou plutôt 'visuellement') par des observateurs, les 'lecteurs d'échelle' traditionnels. Collationnées dans des carnets d'observation, ces données étaient périodiquement relevées par les brigades hydrologiques, ou adressées par la poste ou tout moyen adéquat au Service Hydrologique centralisateur, pour archivage.

L'introduction des limnigraphes, avec acquisition automatique des données sur support papier, n'a pas bouleversé la méthodologie traditionnelle, puisqu'il fallait toujours collecter ces enregistrements graphiques et surtout les dépouiller au Service Central. Par ailleurs, le fonctionnement souvent capricieux de ces appareillages, dont beaucoup de parties mécaniques restaient susceptibles de dysfonctionnements aléatoires, rendait toujours utile le maintien d'observateurs humains responsables du bon fonctionnement du limnigraphe, ou indispensables les visites fréquentes des appareils isolés.

La véritable révolution fut celle qui permit de coupler à l'ensemble capteur et acquisition in situ une transmission en un site déporté (Service Central, poste régional de brigade hydrologique, etc). Il devenait alors possible certes de connaître la donnée hydrologique en temps réel, mais aussi (et surtout) d'être assuré du bon fonctionnement du capteur et même, si cela avait été prévu, de l'ensemble de la chaîne d'acquisition, exerçant ainsi une véritable "télésurveillance" de l'ensemble de la chaîne d'acquisition.

Car la mesure hydrologique est une véritable "chaîne" d'acquisition que l'on peut détailler ainsi :

	(↔ COLLECTE ↔)		
MESURE ↔ ACQUISITION ↔	( )	↔	ARCHIVE
	(↔ TELETRANSMISSION ↔)		

Chacun de ces principaux niveaux ainsi identifiés peut être détaillé, mais il faut savoir que la "solidité" de la chaîne est celle du maillon le plus faible. Nous allons donc voir quelles améliorations permettent d'apporter les nouvelles technologies à certains des maillons de cette chaîne :

- Dans un premier temps nous passerons en revue le bénéfice qui peut être tiré des

nouveaux capteurs "intelligents" et des nouvelles techniques de stockage sur supports électroniques en hydrologie opérationnelle.

- Nous nous interrogerons sur les différents niveaux de collecte ou de télétransmission.

- Nous examinerons les différents modes de télétransmission.

- Nous détaillerons les avantages comparés des satellites à défilement (ARGOS) et des géosynchrones (METEOSAT) pour l'hydrométrie.

- Enfin nous fournirons quelques exemples de réseaux hydrologiques gérés avec un fort apport de télétransmission satellitaire.

- La liaison entre ces données télétransmises et les banques de données hydrologiques informatisées sera ensuite abordée, ce qui nous conduira à nous interroger sur la structure à donner à ces banques de données.

- Le développement, dans le cadre géographique et politique régional, de réseaux hydrologiques télétransmis fera l'objet de notre conclusion.

II Les nouvelles technologies en Hydrométrie

Deux améliorations considérables ont été récemment introduites dans les appareillages disponibles sur le marché sous diverses marques. Elles concernent les capteurs et les dispositifs d'enregistrement :

Les capteurs :

Les capteurs de hauteur d'eau classiques, à flotteur, montraient de graves inconvénients surtout en site difficile, puisqu'il fallait, pour les abriter, installer des gaines verticales couvrant toute l'amplitude de variation possible des hauteurs d'eau. Même dans le meilleur des cas (site propice) l'installation était onéreuse et techniquement délicate. Les structures ainsi construites étaient de plus très exposées aux effets dévastateurs des crues. La sensibilité des flotteurs, pour être assurée, exigeait des solutions difficilement compatibles avec les risques de batillage.

L'amélioration des conditions d'installation apportée par l'arrivée des capteurs de pression pneumatiques était compromise par d'autres sujétions : le réglage de ces appareils exige du personnel technique très qualifié, les pertes d'air surviennent trop facilement et compromettent l'autonomie des appareils, le transport de bouteilles haute pression peut être dangereux ou difficile.

L'introduction sur le marché des capteurs de pression piézo-résistifs au début des années 1980 a été l'occasion de développements intéressants pour l'hydrologue, puisqu'ils mettaient à sa disposition une information fiable sous une forme numérique (à condition d'être affranchie automatiquement des

corrections de température et de pression atmosphérique), susceptible d'être transportée à de grandes distances par un câble robuste, souple et facilement protégeable. Il devenait possible de dissocier le site de mesure, où serait implanté le capteur robuste et miniaturisé dans les meilleures conditions hydrauliques, et le site d'acquisition (ou de télétransmission) de la donnée.

Actuellement existent sur le marché des capteurs piézo-résistifs parfaitement fiables, sans dérive, bien corrigés en température et en pression atmosphérique, précis à mieux que le demi-centimètre, qui délivrent de plus l'information sous forme numérique selon le code voulu compatible par exemple avec les liaisons informatiques série de type RS 232.

Les acquisitions de données :

Tous les hydrologues de terrain ont eu maille à partir avec les renseignements graphiques, sur feuille et sur bande déroulante, très sensibles aux conditions climatiques, température et surtout humidité. Un autre de leurs inconvénients originels est de nécessiter un dépouillement manuel, difficle et astreignant même aidé par les modernes lecteurs de courbe.

Aussi l'apparition de centrales d'acquisition assez robustes, performantes et bon marché pour être installées sur le terrain, fut une avancée considérable pour l'hydrométrie. L'acquisition se fait sur support informatique, qu'il s'agisse de bandes ou disques magnétiques récupérables tel quel ou par lecture avec un micro-ordinateur portable, ou des modernes cartouches amovibles et regénérables EPROM ou EEPROM.

Le transfert des données dans les banques informatiques, qu'elles contiennent des données brutes ou élaborées, est considérablement facilité puisqu'il peut se faire de façon presque totalement automatique.

Enfin la disponibilité de la donnée sous une forme déjà digitalisée permet la confection facile de messages incrémentés en temps réel, de tous formats.

Un autre avantage considérable est de permettre une acquisition intelligente des données : la détermination d'un pas fixe de la mesure, qui conduirait à accumuler une multitude de données identiques en étiage par exemple (en cas de court pas de temps d'acquisition), ou au contraire à masquer le détail de courtes crues (en cas de pas de temps trop longs), n'est plus une obligation.

Il devient possible de moduler le rythme de l'acquisition de façon "intelligente" selon différents modes : la centrale d'acquisition peut par exemple "scruter" le capteur toutes les minutes, mais ne décider de stocker une mesure que si elle se révèle différente de la mesure précédente d'une grandeur définie (par exemple 1 cm), technique qui permet de conserver tout le détail de l'information, tout en évitant les données redondantes et la saturation des mémoires de stockage. Seuls les points "significatifs", déclarés tels selon des critères programmables, sont donc archivés.

Enfin, là encore, la robustesse de ces centrales d'acquisition, qui ne possèdent aucun élément mécanique mobile et fragile, garantit leur fiabilité.

III Collecte et/ou télétransmission de données hydrologiques

Le type de collecte (ou de télétransmission) approprié dépend évidemment beaucoup du type du réseau hydrologique et de ses objectifs. Il faut d'abord savoir quelles sont les données à collecter, pour quoi faire, et donc à quelle fréquence.

Si la disponibilité des données hydrologiques n'est pas urgente, s'il s'agit seulement d'alimenter une banque de données qui ne sera consultée qu'avec retard, la collecte classique par le réseau postal (s'il existe) ou par les tournées de réseau est bien suffisante.

Si par contre, l'accès en temps réel est rendu nécessaire par une utilisation particulière (protection des populations contre les effets des crues, gestion en temps réel d'un ouvrage hydraulique), alors la télétransmission devient nécessaire.

Dans tous les cas, il faut rappeler que la télétransmission de la donnée permettra en même temps une télésurveillance de l'ensemble de l'appareillage, et donc un contrôle de toute la chaîne d'acquisition, fonction habituellement assurée sur les réseaux classiques par les tournées de contrôle et de maintenance. Des économies importantes, en matière de maintenance du réseau (coût des transports et frais de déplacement), doivent certainement en résulter, économies qu'il convient de rapprocher du supplément de coût de l'équipement en télétransmission et du prix de la maintenance de l'ensemble du système. Le contexte et le niveau de développement du pays qui abrite le réseau doivent bien sûr être pris en compte, mais l'expérience a montré que ces nouveaux matériels étaient au moins aussi fiables et robustes que leurs prédécesseurs mécaniques, plus faciles d'installation et d'emploi, et que les personnels locaux s'y adaptaient fort bien, à la seule réserve de formations assez longues et bien ciblées.

IV La Télétransmission de données hydrologiques

Les premières applications de la télétransmission à l'hydrologie furent celles du "limniphone", qui juste après la dernière guerre permettait d'entendre la cote à l'échelle via un numéro téléphonique, cette cote déterminant mécaniquement la piste d'un disque (ou d'une bande magnétique) sur laquelle était enregistrée la cote correspondante.

Les premiers réseaux télétransmis utilisaient donc le fil du réseau téléphonique (ou de lignes spécialisées) pour assurer le transport de l'information. Outre le fait qu'existent rarement en Afrique des liaisons téléphoniques à proximité des stations limnigraphiques, il faut bien reconnaître que les liaisons téléphoniques sont bien souvent les premières compromises dans les cas climatiques extrêmes où l'on compte précisément sur la télétransmission des données hydrologiques pour en être informé et s'en protéger.

On s'employa donc à suppléer à l'absence de liaisons téléphoniques existantes, ou à leurs insuffisances, et ce fut l'origine de réseaux télétransmis par liaison radio. Cette méthodologie est particulièrement bien adaptée aux réseaux de petite taille, où il n'est donc pas nécessaire de prévoir

des relais onéreux entre les balises émettrices des télélimnigraphes et le centre récepteur et concentrateur. Elle l'est par contre beaucoup moins aux grands espaces de l'hydrologie africaine, dont l'échelle nécessite obligatoirement de nombreux relais en série. Des réseaux télétransmis par radio ont existé, on peut notamment citer celui pour l'annonce de crue et de hauteur d'eau du Niger supérieur au cours des années 50, ainsi que celui établi aux mêmes fins sur le bassin de la Bénoué. Mais tous ces réseaux ne purent être longtemps maintenus et furent successivement abandonnés.

On doit rappeler aussi les réseaux météorologiques synoptiques équipés le plus souvent en radio BLU. Encore faut-il dire que dans ce cas précis, la situation est beaucoup plus favorable, puisque ces stations sont situées dans les villes ou à proximité, donc dans des sites alimentés en énergie électrique et dotés de personnel permanent. Or nul n'ignore les difficultés de gestion constantes de ce type de matériel et ses exigences, tant en personnel qualifié qu'en moyens de fonctionnement et sa dépendance d'une disponibilité d'énergie électrique importante que seule est susceptible d'assurer un groupe électrogène, avec les inconvénients que cela suppose.

Aussi l'apparition au début des années 1970 du satellite comme relais de télécommunication entre deux points de la surface terrestre (sytème EOLE), puis sa banalisation à travers les systèmes modernes comme ARGOS, METEOSAT, ou GOES, sont-elles des étapes importantes du développement de l'hydrométrie, surtout en Afrique où ces moyens modernes de télétransmission paraissent particulièrement bien adaptés.

Pour transmettre des données hydrologiques il est possible d'utiliser actuellement en Afrique deux systèmes de transmission satellitaire différents : les systèmes METEOSAT et ARGOS. Ces deux systèmes sont en fait plus complémentaires que concurrents et le choix de l'un ou de l'autre dépend essentiellement des conditions d'utilisation et du type de données à transmettre.

V Le système METEOSAT

Le système METEOSAT utilise un satellite géostationnaire (ou plus exactement géosynchrone, c'est-à-dire ayant la même vitesse angulaire de rotation que la terre) situé au-dessus du golfe de Guinée à 36 000 km d'altitude, qui voit en permanence un hémisphère terrestre (en pratique les 2/3) contenant la totalité de l'Afrique. Cette situation spécifique lui permet à tout moment de relayer des transmissions en provenance de cette moitié du monde. Le système METEOSAT sera donc choisi de façon privilégiée pour effectuer la surveillance de phénomènes à évolution rapide nécessitant un retour d'information immédiat : surveillance sismique, protection contre les crues de petits bassins de montagne, surveillance de centrales nucléaires, etc...

Le message METEOSAT peut atteindre une longueur de 640 octets (5 104 bits sur canal normal et 184 bits sur canal d'alerte) et permet donc de transmettre une quantité importante d'informations. Il sera choisi notamment pour véhiculer des messages provenant de plates-formes d'acquisition multi-capteurs comme les stations météorologiques automatiques.

Les contraintes :

Le satellite est donc situé à 36 000 km de la terre et la puissance des émetteurs doit tenir compte de cette distance. Les antennes d'émission couramment utilisées doivent aussi être pointées avec une assez grande précision vers le satellite.

Le gestionnaire du satellite (EUMETSAT) impose pour chaque utilisateur, une fréquence de travail particulière et des créneaux horaires d'émission différents pour chaque balise, qui doivent être respectés à quelques secondes près, ce qui impose une faible dérive à l'horloge interne des balises.

La réception directe des données est possible en un site quelconque. Elle s'effectue par l'intermédiaire d'une antenne parabolique de 2 m de diamètre orientée vers le satellite. Une telle station de réception directe ne peut donc pas être facilement mobile.

Du fait des diverses contraintes énumérées ci-dessus, les plates-formes d'émission METEOSAT d'un programme opérationnel doivent être placées dans des sites pas trop isolés ou rapidement accessibles à tout moment, car une dérive de l'heure d'émission supérieure à 10 secondes n'est pas tolérable. De plus, l'initialisation des émetteurs nécessite l'emploi sur le site d'un ordinateur portable, mis en oeuvre par un personnel spécialisé.

Les plates-formes hydrologiques actuellement disponibles coûtent 80 000 FF HT. L'émetteur inclus dans ces appareils revient à lui seul à 27 000 FF.

La redevance annuelle de fonctionnement en réception directe dans le cadre d'un contrat "global" (c'est-à-dire un abonnement forfaitaire anticipatif) revient à 6 000 FF par balise pour une émission par jour (voir dans le tableau comparatif les tarifs METEOSAT et ARGOS).

Les réseaux METEOSAT actuels en Afrique :

La SONEL, Société d'énergie électrique du Cameroun, exploite un réseau d'une quarantaine de balises METEOSAT transmettrant des hauteurs d'eau et des paramètres météorologiques. Ces balises émettent toutes les 6 heures et les données sont utilisées pour la gestion des ouvrages hydro-électriques et l'aide à la navigation fluviale.

L'ORSTOM s'est vu confié par le Ministère de la Recherche et de la Technologie (dans le cadre d'une action incitative), un projet de mise au point d'une chaîne de transmission de données hydrologiques utilisant le satellite METEOSAT. Cette opération se réalise dans le bassin du Congo et deux premières plates-formes hydrologiques prototypes (sur les huit prévues à terme), fonctionnent depuis le mois de Juillet 1990. Les plates-formes définitives, qui pourront être équipées d'une dizaine de capteurs, sont en fin de mise au point chez le constructeur, et seront installées début 1992 en Centrafrique, au Congo et si possible au Zaïre, sur le fleuve Congo et ses principaux affluents.

Une de ces plates-formes située à LIMASSA, sur l'Oubangui, a été installée avec la collaboration du Service des Voies Navigables de Bangui en Juillet 1990. Cette station qui avait fonctionné sans défaillance depuis son installation sans aucune maintenance, doit être remplacée par une plate-forme de nouvelle génération. Les données recueillies par la Station de Réception directe de l'ORSTOM de Bangui ont été transmises quotidiennement pour l'assistance à la navigation fluviale au Service des Voies Navigables.

VI Le système ARGOS

Le système de transmission ARGOS utilise deux satellites à défilement (Satellites TIROS de la NOAA) placés sur des orbites polaires dont les plans dont décalés de 70 degrés, situés à une altitude de 800 km environ. Ces satellites effectuent une révolution complète en 100 minutes. Lors de leur rotation, ils reçoivent les messages émis par toutes les balises visibles sur leur trajectoire. Ces messages sont stockés à bord pour être restitués en bloc au moment du passage à des stations de réception et de traitement spécialisées qui pourront les distribuer ultérieurement par différents média (postes, fax, telex, modem, etc...).

Une deuxième fonction permet au satellite de réémettre immédiatement vers la zone visible au sol tous les messages reçus de cette même zone. C'est cette fonction "miroir" qui est utilisée dans les applications hydrologiques grâce à des stations de réception directe.

Ce système de transmission de données est très employé pour les applications utilisant des données en temps différé et des messages courts. C'est le cas des opérations de télésurveillance ou télégestion des réseaux hydrologiques de moyenne et de grande superficie. C'est d'ailleurs le système opérationnel le plus ancien, puisque le premier système opérationnel a été le réseau HYDRONIGER (1984), seulement précédé en hydrologie par les essais conduits par l'ORSTOM au Sénégal et en Guyane.

Tous les émetteurs des balises des applications ARGOS fonctionnent dans le monde entier sur la même fréquence et émettent un message toutes les 100 à 200 secondes sans qu'aucune synchronisation avec les satellites ne soit requise. Tout le système est au contraire basé sur un accès aléatoire de chaque balise en visibilité du satellite à ses canaux. Cette particularité simplifie beaucoup la mise en oeuvre sur le terrain (les plates-formes de terrain sont livrées clés en main et prêtes à installer) et réduit le coût de l'appareillage. Un émetteur ARGOS revient à 6 000 FF HT pour un encombrement de moins de 15 x 5 cm. La proximité relative des satellites permet d'utiliser des puissances réduites et des antennes omnidirectionnelles de très faible encombrement et souvent totalement intégrées dans la centrale d'acquisition. Un panneau solaire suffit à l'alimentation électrique.

Une plate-forme hydrologique équipée de la transmission ARGOS, totalement autonome et prête à installer coûte actuellement 46 000 FF HT. Cet appareil peut aussi transmettre des informations pluviométriques. La taille réduite de ces équipements fait qu'ils sont facilement transportables pour être installés dans des conditions d'accessibilité délicates. Elle permet aussi de les rendre facilement

- Le réseau de télésurveillance hydrologique de l'OMS, conçu et mis en oeuvre par les hydrologues de l'ORSTOM et qui comprend une centaine de télélimnigraphes ARGOS, permet aux équipes de lutte contre l'onchocercose de connaître à tout moment l'état hydrologique des fleuves et rivières des zones à traiter et d'optimiser ainsi au mieux les interventions des hélicoptères de traitement en ajustant les volumes d'insecticide injectés dans les rivières du projet. Ce réseau est équipé des télélimnigraphes actuels les plus modernes (qu'il a contribué à développer) et fonctionne en permanence depuis 1986. La maintenance et la gestion de ces matériels sont bien au point, elles sont assurées en règle générale par des équipes nationales locales convenablement formées dans le cadre du projet. Ces matériels font l'objet d'améliorations constantes et sont maintenant considérés comme totalement fiables.

- Le réseau national béninois est équipé d'une vingtaine de stations télétransmises acquises et installées dans le cadre d'un contrat de réhabilitation du réseau hydrométrique fiancé par le FAC. Ce choix fut précédé d'une analyse économique qui laissait présager que la maintenance d'un réseau télétransmis serait moins onéreuse que celle d'un réseau classique, une fois bien sûr la mise de fond initiale assurée sur financement extérieur. C'est bien ce que semblent montrer les trois premières années de fonctionnement de ce réseau moderne. D'autres aspects "psychologiques" peuvent être aussi apportés au crédit de ces réseaux télétransmis : les gestionnaires voient leur réseau vivre en temps réel et cela assure une nécessaire responsabilisation de ces gestionnaires, qui sont ainsi à même de répondre immédiatement aux sollicitations diverses de leurs tutelles administratives ou politiques.

- L'OMVS (Organisation de Mise en Valeur du Fleuve Sénégal) s'est aussi dotée d'un réseau télétransmis ARGOS, qui lui permet de gérer en temps réel les barrages de Manantali et de Diama. Les débits naturels qui arrivent par la Falémé non équipée peuvent être prévus avec quelques jours d'avance, ce qui permet de réguler les apports contrôlables du Bafing par les lâchures du barrage de Manantali. Ainsi une crue "artificielle", garantissant la permanence des cultures de décrue, a-t-elle pu être gérée depuis trois ans, tout en économisant au mieux les réserves interannuelles du barrage de Manantali.

- La nécessité, en Guinée, d'une étude hydrologique avec phase de terrain immédiate pour un projet de construction de barrage hydroélectrique sur la Fatala ou le Konkouré, a été l'opportunité de l'installation rapide de 5 télébalises ARGOS en des sites très difficilement accessibles et de leur suivi, en l'absence de toute surveillance locale, pendant 3 ans dans de très bonnes conditions et avec une garantie de résultats inimaginable sans cette surveillance satellitaire.

Ces différents exemples montrent l'extrême adaptabilité du système ARGOS et ses qualités originales qui en font le système par excellence de la télésurveillance satellitaire, et un complément appréciable du système METEOSAT pour la télétransmission en temps légèrement différé, chaque fois que les délais de transmission requis ne sont pas trop contraignants ou que la taille du bassin investigué est

mobiles et donc réutilisables sur des sites temporaires et de surveiller par exemple, durant une période critique, un niveau d'eau à un endroit quelconque, qui peut être équipé en quelques heures.

Du fait de leur simplicité de mise en oeuvre et de l'absence de réglages indispensables sur le terrain lors de l'installation, ce mode de transmission convient bien aux opérations imposant des appareils isolés placés dans des zones très difficiles d'accès.

L'utilisation de la réception directe permet de recevoir des données de balises situées dans un rayon de plus de 3 000 km plusieurs fois par jour. Dans le cadre de l'utilisation en réception directe et intégrée dans un contrat global, la redevance annuelle par balise était en 1991 de 2 800 FF.

Les Stations de Réception Directe (SRDA) sont équipées d'antennes omnidirectionnelles de taille réduite. Ces ensembles de réception peuvent aussi fonctionner en alimentation autonome et être installées sur des engins mobiles comme des bateaux. Une SRDA portable actuelle tient dans une valise et son prix ne dépasse pas 150 000 FF HT.

Les contraintes :

Du fait de la mobilité des satellites et de leur nombre trop restreint, ce mode de transmission ne permet pas une liaison permanente entre les balises émettrices et les stations de réception directe au sol. Le nombre de passages de satellites visibles dans de bonnes conditions depuis une balise au sol diminue avec la latitude (il y a une dizaine de "bons" passages par jour aux latitudes tempérées et seulement 6 ou 7 à l'équateur). Aux bonnes latitudes, les intervalles entre deux passages peuvent atteindre 5 heures au maximum, mais les heures de passage en un lieu donné sont à peu près les mêmes tous les jours. Compte tenu de cette particularité, ce mode de transmission ne peut pas être utilisé dans le cadre de la surveillance des phénomènes rapides nécessitant une liaison permanente ou de type "temps réel". De plus, le message ARGOS est limité à 32 octets (256 bits) et convient donc uniquement à la transmission de messages courts.

Les expériences en hydrologie :

La transmission ARGOS est utilisée en hydrologie depuis une dizaine d'années en télégestion et télésurveillane de réseaux hydrologiques :

- En Afrique de l'Ouest, le réseau HYDRONIGER compte 65 stations réparties dans 8 pays. Il fonctionne depuis huit ans et permet la prévision des crues d'un bassin non encore aménagé (à l'exception du barrage de Sélingué). Ce réseau est le premier réseau africain et même du monde tropical en ancienneté. La partie télétransmission a toujours remarquablement fonctionné avec des taux de fonctionnement de la télétransmission supérieurs à 95%. Les seuls problèmes de maintenance sont imputables aux limnigraphes pneumatiques au fonctionnement toujours délicat.

telle que l'annonce de crue ne se chiffre pas en minutes ou demi-heures, mais en heures ou en jours.

Des études concernant la construction et le lancement d'un satellite à orbite équatoriale basse (1 000 km d'altitude, un passage toutes les deux heures) sont actuellement en cours à l'initiative de l'ORSTOM, conduites par le CNES avec l'étroite collaboration de la Société CLS-ARGOS. Un tel satellite serait bien sûr tout à fait adapté à un environnement africain et permettrait à la technologie ARGOS d'atteindre pratiquement des performances identiques à celles de METEOSAT, puisqu'un passage toutes les deux heures (avec un seul satellite) permettrait l'accès au quasi temps réel même pour les bassins de petite et moyenne tailles.

VII Comparaisons ARGOS - METEOSAT

Nous avons rassemblé dans les tableaux suivants des éléments de comparaison entre les systèmes ARGOS et METEOSAT appliqués à un environnement hydrologique :

- **Caractéristiques techniques comparées :**

ARGOS	METEOSAT
ZONE DE COUVERTURE	
Totalité du globe	Zone de visibité du satellite 1/3 du globe entre 65° de latitudes Nord et Sud
CARACTERISTIQUES GENERALES DE L'EMETTEUR	
Longueur du message transmis : - 256 bits max.	Longueur du message transmis : - 5 104 bits (canal normal) - 184 bits (canal d'alerte)
Emission périodique : (toutes les 200 secondes) Fréquence fixe 401,65 MHz	Emission heure fixe (canal normal) Emission instantanée (canal alerte) 66 canaux de fréquence différente existent sur le satellite à partir de 402 MHz
Adresse de la plate-forme attribuée par le système ARGOS	La fréquence et l'heure d'émission sont fixées par LESA (Agence Spatiale Européenne)
RECEPTION DES DONNEES	
1) Par un centre spécialisé (Centre ARGOS aux USA et en FRANCE avec dissémination des résultats aux utilisateurs par télex, envoi de listings ou bandes magnétiques, par la consultation de la banque de données par modem	1) Par le centre spécialisé de ESA à DARMSTADT avec dissémination des résultats aux utilisateurs par le réseau GTS sous forme de télex, listings ou bandes magnétiques, par consultation de la banque de données par modem
2) Par une station locale de réception directe	2) Par une station locale de réception directe

- **Critères de choix du mode de transmission satellitaire :**

CRITERES	ARGOS	METEOSAT
Annonce de crue :		
Petits bassins de moins de 50 000 km² :	NON	OUI
Grands bassins de plus de 50 000 km² :	OUI	OUI
Accès difficile :	OUI	NON
Messages longs :	NON	OUI
Agents de terrain peu qualifiés :	OUI	NON
Réception directe fixe :	OUI	OUI
Réception directe mobile :	OUI	NON
Faible coût de la redevance :	OUI(???)	NON
Faible coût du matériel :	OUI	(NON)
Visibilité permanente (temps "réel") :	NON	OUI

- **Coûts 1991 de la télétransmission satellitaire :**

*** ARGOS, en contrat global :**	
. Réception directe :	2 600 FF/balise/an
. Base de données :	12 000 FF/balise/an
*** METEOSAT, en contrat global :**	
. Emission toutes les 1 heure	36 000 FF/balise/an
. Emission toutes les 3 heures	12 000 FF/balise/an
. Emission toutes les 6 heures	10 000 FF/balise/an
. Emission toutes les 12 heures	8 000 FF/balise/an
. Emission toutes les 24 heures	6 000 FF/balise/an

- **Les expériences de télétransmission en hydrologie :**

*** ARGOS**	
. Réseau de l'Amazone au Brésil	18 stations
. Réseau HYDRONIGER	65 stations
. Réseau OMS Afrique de l'ouest	100 stations
. Réseau OMVS fleuve Sénégal	15 stations
. Réseau hydrologique du Bénin	20 stations
. Réseau de Guyane	20 stations
. Réseau de Guadeloupe	15 stations
. Réseau hydrologique français	20 stations
*** METEOSAT**	
. Réseau SONEL au Cameroun	40 stations
. Réseau fleuve CONGO	8 stations

Nous n'avons présenté ici que les principaux réseaux connus de nous et effectivement opérationnels.

VIII La liaison avec les banques de données

Il est possible de construire des logiciels qui alimentent directement et automatiquement une banque de données à partir des données reçues par des stations de réception directe ARGOS ou METEOSAT. Mais il nous semble que cette banque de données doit être dans ce cas une banque transitoire, susceptible de traitement de contrôle, de critique et d'élimination des données redondantes, avant que les données sélectionnées n'acquièrent le statut de données "définitives, critiquées et contrôlées", dignes d'entrer dans la banque de données de référence. Cela veut donc aussi dire que physiquement ces deux types de banques de données, provisoires et de référence, doivent être séparées, c'est-à-dire par exemple implantées sur des micro-ordinateurs différents.

Une telle situation existe par exemple aux stations de réception directe de l'OMS-OCP à Odienné (C.I.) et Lama Kara (Togo) où les données reçues des satellites sont d'abord stockées dans des fichiers provisoires "bouclés", qui s'autoeffacent en gardant toujours environ deux mois d'observations anciennes au moins, puis transmises dans une banque de type HYDROM installée sur

un deuxième micro-ordinateur, à partir de laquelle sont également faites toutes les opérations de calcul qui conduisent à la prédétermination des débits et à l'utilisation de ces prévisions pour les traitements insecticides.

Dans ce cas comme dans bien d'autres, il est préférable de gérer des banques spécialisées plutôt que de vouloir tout faire avec et dans une seule banque de données multi-formes et multi-fonctions.

En résumé, la banque d'acquisition de la donnée en temps réel doit être séparée de la véritable banque de données de référence, elle-même distincte de la banque de données de traitement correspondant à chaque projet. Il est bien évident, surtout pour les projets requérant le temps réel, qu'il n'est pas utile (et pas recommandé) que les données passent par la banque de données de référence avant d'aller dans la banque de données de travail utilisée par un programme spécifique.

IX Conclusion

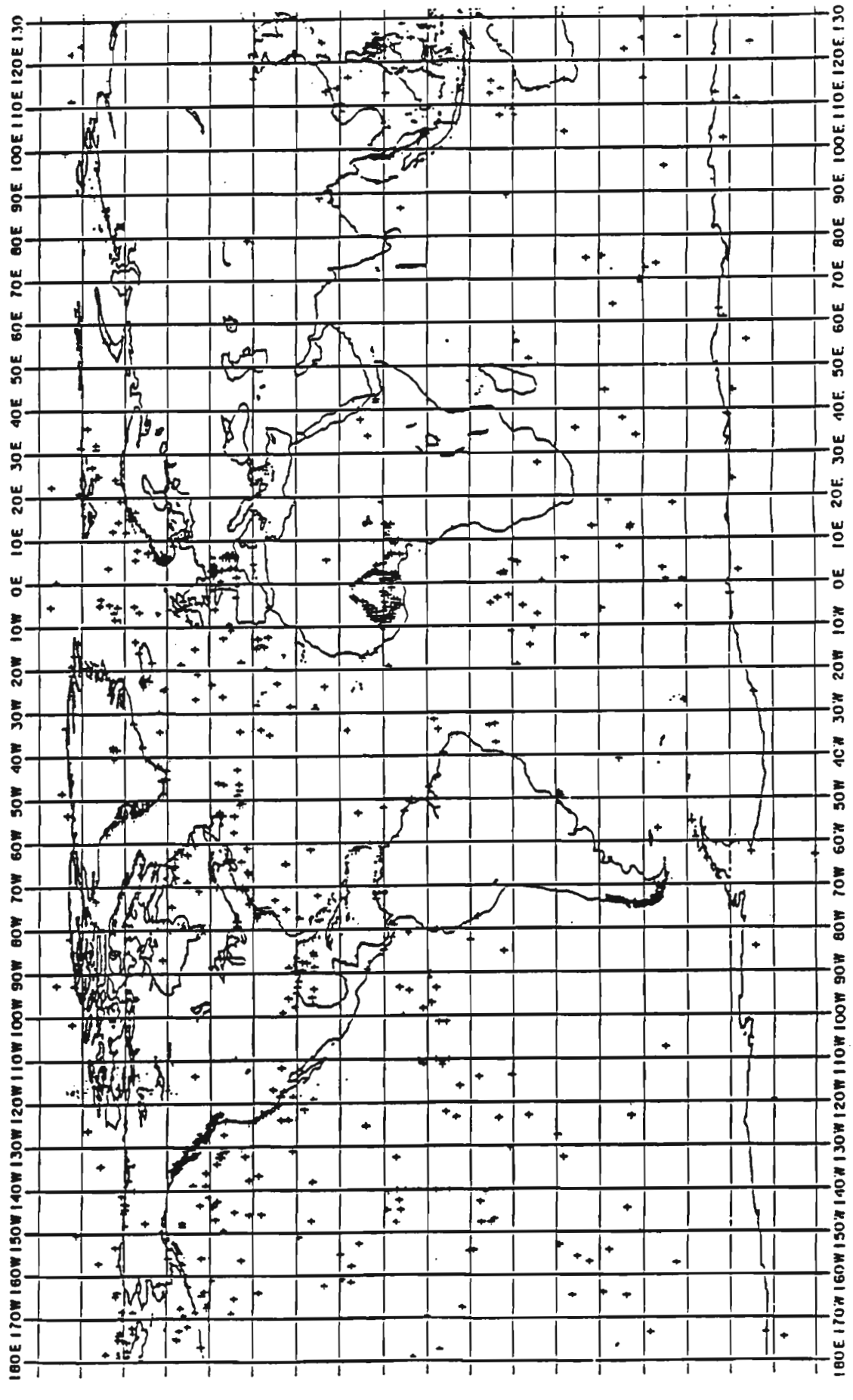
Nous avons vu qu'il existe déjà en Afrique de l'Ouest près de 200 stations hydrologiques équipées de balises de télétransmission satellitaire, ARGOS surtout, et METEOSAT. Cela constitue incontestablement une bonne base de lancement d'un réseau de télésurveillance des paramètres hydrologiques de l'environnement. La responsabilité de la maintenance de ce réseau est dispersée entre les différents services nationaux, projets ou organisations régionales qui en ont été les initiateurs et en sont aussi les propriétaires actuels. Cela est très bien ainsi, car l'expérience montre que de trop gros ensembles sont difficilement gérables et rarement durables!

Des circonstances favorables ont fait que ces réseaux sont encore actuellement compatibles, ce qui permet l'échange de données par des moyens satellitaires : une station HYDRONIGER est reçue par la SRDA du projet OMS-OCP, et peut être décodée, si ces données lui sont utiles et réciproquement. Cette convivialité des données est à encourager, car elle est de l'intérêt de tous et à la base de la sécurité de la conservation à long terme des archives irremplaçables que sont aussi les modernes banques de données informatisées.

Mais ces banques actuelles sont trop souvent partielles et situées "au nord", tout au moins pour celles qui sont réellement opérationnelles. Un des intérêts du programme Water Assessment a certainement été de faire prendre conscience à tous de ces réalités, ce qui se retrouve notamment dans les propositions des "projets régionaux" où il est conseillé d'entreprendre la constitution d'un réseau télétransmis et télésurveillé assurant une véritable "Veille Hydrologique Africaine". Ainsi serait assurée et sauvegardée une connaissance suffisamment dense de l'hydrologie africaine, indispensable, autant aux populations africaines pour leur développement dans le contexte moderne de la limitation (pour ne pas dire la "raréfaction") des ressources en eaux superficielles, qu'à l'ensemble de la population mondiale intéressée au premier chef par le devenir climatique de la planète Terre, devenir que l'on ne peut comprendre (et peut être anticiper), qu'à partir d'une connaissance globale et permanente des paramètres hydrologiques de l'ensemble du globe, Afrique comprise bien évidemment, ce qui n'est manifestement et actuellement que très partiellement le cas.

Figure C.1

Localisation des stations terrestres et maritimes du système ARGOS(Situation en juin 1991)



07171/30/B