

104

GEODYNAMIQUE DE L'HYDROSPHERE CONTINENTALE

1983-1987

RAPPORT D'ACTIVITES

DE L'UR107

J-C. OLIVRY

GEODYNAMIQUE DE L'HYDROSPHERE CONTINENTALE

ACTIVITES SCIENTIFIQUES

1983 - 1987

J.C. OLIVRY

GEODYNAMIQUE DE L'HYDROSPHERE CONTINENTALE

Rapport scientifique 1983 - 1987

J C. OLIVRY

SOMMAIRE :

INTRODUCTION

1ère PARTIE : OBJECTIFS ET MOYENS

1. CHAMPS THEMATIQUE ET OBJECTIFS p. 5

2. LES MOYENS EN PERSONNEL p. 10

2.1. LES EFFECTIFS ORSTOM

2.1.1. GENERALITES

2.1.2. LA SITUATION EN 1987

2.1.3. CARACTERISATION DES EFFECTIFS

2.1.4. L'UNITE DE RECHERCHES 107 ET "L'HYDROLOGIE" ORSTOM

2.1.5. L'UR 107, FAITE POUR LA RECHERCHE

2.2. LES PARTENAIRES EXTERIEURS

2.2.1. LES PARTENAIRES D'AUTRES STRUCTURES DE L'ORSTOM

2.2.2. ADHESIONS EXTERIEURES FORMALISEES

2.2.3. ENCADREMENT DE MEMOIRES ET THESES

2.2.4. COLLABORATIONS AVEC DES LABORATOIRES EXTERIEURS

3. LES MOYENS FINANCIERS p. 20

2ème PARTIE

PROGRAMMES ET RESULTATS

-----o-----

1. <u>GENERALITES</u>	p. 25
LES IMPLANTATIONS GEOGRAPHIQUES	
LA SITUATION GLOBALE DES PROGRAMMES	
2. <u>LE GRAND PROGRAMME "EQUERRE" : QUELQUES ASPECTS PARTICULIERS</u>	p. 29
2.1. LES TRAVAUX DE SYNTHESES REGIONALES (MONOGRAPHIES HYDROLOGIQUES)	
2.2. TRANSPORTS SOLIDES ET DISSOUS	
2.3. LE PROGRAMME PIRAT	p. 32
2.4. LE PROJET PACA	p. 37
3. <u>LE GRAND PROGRAMME "HYDRA" : LES RESEAUX HYDROLOGIQUES</u>	p. 40
4. <u>OPERATIONS DE RECHERCHES ACHEVEES OU INTERROMPUES</u>	p. 41
5. <u>DESCRIPTIF DES PROGRAMMES EN COURS EN 1987 DANS L'UR 107</u>	p. 42
6. <u>VALORISATION : PARTICIPATION A DES COLLOQUES, ENSEIGNEMENTS</u>	p. 67
7. <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	p. 69

3ème PARTIE

QUELQUES ARTICLES SCIENTIFIQUES

- Résultats d'une campagne d'échantillonnage en basses-eaux en Amazonie bolivienne. p.83
J.L. GUYOT et al
- Aperçu sur les débits du Mamore à Guyaramerin
J. BOURGES
- Flux continentaux de matières particulaires et dissoutes : le Fleuve Sénégal à St. Louis.
J.L. GAC et al
- Premiers résultats du programme PIRAT sur les apports fluviaux en matériaux solides et dissous du Congo à Brazzaville
N. SIGHA, J.P. BRIQCQUET, J. KONG
- Programme PIRAT : Transports de Matières sur l'Oubangui à Bangui
J.P. THIEBAUX
- Apports hydriques continentaux et intrusion marine en Casamance
J.C. OLIVRY
- Book reviews du Journal des Sciences Hydrologiques sur "Fleuves et rivières du Cameroun".
J.V. SUTCLIFFE
- La variabilité du régime des tributaires du Golfe de Guinée : indice de crises ou de changements climatiques ?
G. MAHE, J.C. OLIVRY, J. LERIQUE
- Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'Onchocercose. Etude expérimentale de la propagation des insecticides dans les rivières.
L. LE BARBE, A. GIODA
- Possibilités d'allègement des réseaux hydrométriques après réalisation de synthèses hydrologiques régionales. p.122
J.C. OLIVRY

CONCLUSIONS

INTRODUCTION

Les Unités de Recherches doivent être évaluées tous les deux ans. La précédente évaluation de l'UR 107 date de 1985 et une nouvelle évaluation prévue dans le courant 1987 a été reportée à l'année 1988.

Les instances scientifiques concernées par l'évaluation de notre Unité de Recherches sont : les Commissions Scientifiques dont des ressortissants travaillent sur les thèmes de l'UR 107, la Commission Scientifique 1 de Géologie - Géophysique, la Commission Scientifique 2 d'Hydrologie - Pédologie, le Conseil du Département A devenu TOA fin 1987 qui "doit" un quitus pour les travaux réalisés sous la houlette de son président, Directeur du Département A, François Jarrige, le Conseil du Département DEC, département auquel notre UR est rattachée depuis la fin 1987.

En 1985, la publication de premiers rapports d'UR a amené des remarques des Présidents des Commissions Scientifiques. "Ces rapports doivent porter essentiellement sur les démarches scientifiques suivies et les résultats scientifiques obtenus dans chaque UR, et non pas s'attacher à la description des activités des chercheurs et techniciens. Ils doivent avoir un niveau scientifique le plus élevé possible."

Sur la base de ces recommandations, nous proposons un rapport d'activités dont le volet scientifique occupe une place importante.

Dans une première partie nous parlerons des objectifs et de la thématique de l'UR, de la "politique" scientifique que l'on a cherché à suivre et des moyens en personnels et financiers susceptibles de permettre la réalisation des objectifs.

Dans une seconde partie, nous présentons les programmes et les résultats scientifiques en nous attardant sur la démarche scientifique qui a guidé l'orientation de certains programmes et certains résultats ; cette partie est complétée par une liste d'opérations achevées, un descriptif complet des programmes en cours et une liste bibliographique des travaux réalisés.

Dans une troisième partie, nous avons réuni quelques articles scientifiques illustrant une partie des résultats obtenus par les équipes de recherche.

1ère Partie

Objectifs et moyens

1ère PARTIE

1 - CHAMP THEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'UR 107

Depuis 1984, le Conseil du Département A a retenu pour l'Unité de Recherches 107 l'intitulé suivant :

Géodynamique de l'Hydrosphère Continentale
(Régime des écoulements, qualité des eaux, érosion).

Cet intitulé avait pour mérite de replacer la thématique de l'Unité de Recherches en continuité avec celle des autres Unités de Recherches, d'afficher une ouverture à d'autres disciplines que l'hydrologie et de préciser trois champs d'investigation du milieu physique.

Dans des propositions faites en mai 1983 au Département A (Milieu Physique et environnement climatique) nous avons recommandé que les études sur le régime des écoulements et le cycle de l'eau soient complétées, sur le plan de la connaissance du milieu physique et des processus de la géodynamique superficielle, par celles de deux thèmes complémentaires :

L'érosion, transports solides,

La qualité des eaux des rivières,

(bilans et variations saisonnières des exportations de matières liés aux paramètres hydrologiques).

En 1985, nous précisions déjà ces objectifs en écrivant :

"L'objectif principal des recherches entreprises par l'UR A7 est d'étudier, dans un contexte géographique donné (bassin fluvial, écosystème ou paysage particulier, bassin représentatif), les phénomènes qui déterminent le régime des écoulements, l'érosion hydrique et la qualité des eaux naturelles."

Cette approche de la recherche en hydrologie débouche sur une connaissance précise du milieu naturel et des interactions entre paramètres du cycle de l'eau, de l'érosion et l'hydrochimie, et les paramètres physiographiques des régions étudiées. Des synthèses de type régional constituent l'aboutissement logique de ces recherches. Au stade intermédiaire, le produit de la recherche peut se limiter à l'analyse de phénomènes particuliers ou de paramètres déterminés.

Le regroupement des trois champs (écoulement, érosion, hydrochimie) n'est pas fortuit -et ne procède pas du pluridisciplinaire à tout prix-; il se justifie du fait par exemple que le bilan hydrologique induit par lui-même celui de l'érosion et celui des matières dissoutes (ainsi la composition chimique des eaux est souvent l'indice de leur origine). De même, le suivi de l'évolution des variations saisonnières ou annuelles des paramètres hydrologiques est nécessaire au suivi des variations des transports en suspension ou en solution.

Il ne s'agit donc pas, en prenant en compte ces trois champs, d'étendre démesurément le domaine de l'Unité de Recherches, mais de compléter l'approche géographique fondamentale qui la caractérise.

En effet, les résultats que l'on peut attendre de ce type de travaux permettent d'obtenir une meilleure connaissance du milieu physique pour des unités géographiques soit globales, soit représentatives. Outre une présentation des données de base recueillies et la description de phénomènes actuels, les études du type monographies ou synthèses proposent une analyse des

processus permettant souvent l'extension des résultats aux régions ou bassins versants voisins. A moyen terme, les résultats concernent un contexte défini par des limites géographiques précises; à plus long terme les travaux d'interprétation conduisent à caractériser sur le plan du comportement hydrique de vastes ensembles géographiques, notamment dans la zone intertropicale.

La problématique de telles recherches se situe souvent au niveau de la durée des observations et de la représentativité de la période observée. L'étude statistique de longues séries hydroclimatiques est un outil déterminant. On "récolte alors ce que l'on a semé" depuis longtemps, soi-même et à la suite d'équipes plus anciennes. L'initiation de nouveaux programmes suppose le plus souvent aujourd'hui l'observation de séries courtes. Celles-ci doivent alors être situées dans le cadre régional de l'évolution hydroclimatique observée.

En milieu intertropical on peut encore considérer que le milieu physique observé correspond au milieu naturel du moment. Les études effectuées dans le cadre de l'Unité de Recherche constituent donc un instantané des conditions naturelles et de phénomènes actuels susceptibles d'explicitier les phénomènes anciens d'ordre hydroclimatique ou sédimentologique (centre d'intérêt de l'UR A3)."

L'objectif commun d'une partie de ces recherches est donc aussi d'identifier pour les grandes unités géographiques du milieu intertropical "naturel", les phénomènes actuels et des paramètres de références dont l'évolution future permettra d'évaluer d'éventuelles dégradations du milieu et en particulier les pollutions (s.l.) anthropiques.

Enfin, et surtout, dans le cadre de la mission de coopération de l'ORSTOM, ces études constituent, avec leurs analyses de paramètres, leurs études statistiques et leurs éventuelles modélisations des relations hydropluviométriques, des écoulements et des transports, la base de tout projet de développement qui implique le cycle et le bilan de l'eau. Elles représentent, en particulier, pour tout développement lié à la gestion des ressources en eau, l'information préalable indispensable à l'élaboration de modèles de gestion incluant ou non la composante socio-économique.

Ces objectifs sont largement encouragés dans le contexte international et national.

La connaissance du milieu physique dans le domaine des Sciences de l'Eau -en particulier dans les pays en voie de développement- constitue un objectif prioritaire, souvent exprimé, en termes d'inventaire de la ressource par les organisations internationales (UNESCO, OMM, FAO, OMS).

Des programmes internationaux (PHI, DHI Eau Potable, GEMS etc.) situent le domaine de l'Unité de Recherches au cœur de leurs préoccupations en insistant notamment sur l'acquisition des données avec le problème des réseaux d'observation et la nécessité de pouvoir disposer de synthèses régionales.

Les recherches entreprises par l'UR A7 correspondent également aux orientations définies par des associations internationales comme celle des Sciences Hydrologiques (A.I.H.S.) ou d'autres sections de l'Union Internationale de Géodésie et Géophysique, ou encore d'associations inter-états comme le CIEH. Les organismes de développement plurinationaux ou d'aide bilatérale, les bureaux d'études spécialisés qui leur sont liés, les services nationaux des pays hôtes attendent également de l'ORSTOM cette assistance scientifique dans les domaines indiqués plus haut.

Au plan national et en continuité avec cet aspect du contexte de nos travaux, le Ministère de la Coopération incite fortement l'ORSTOM à répondre à son attente et à celle de ses partenaires : il faut y voir le poids historique des habitudes prises (!) mais aussi la vocation de l'institut clairement annoncée (Recherche pour le Développement en Coopération).

Mais la caution scientifique de l'Unité de recherches au plan national -sans omettre celle des commissions scientifiques internes à l'ORSTOM- vient pour l'essentiel d'universités françaises avec lesquelles une collaboration étroite s'est établie dans l'élaboration de programmes communs,

l'encadrement d'étudiants (thèses) et l'enseignement, la publication de travaux ou la participation à des colloques.

Par rapport au "référentiel thématique pour l'hydrologie établi par la sous-commission hydrologie, une bonne partie des travaux de l'Unité de Recherches peut se rattacher aux thèmes suivants :

- Régimes hydrologiques des grands bassins fluviaux, y compris la qualité des eaux et les transports solides (avec également suivi des séries hydrologiques).
- Influence des facteurs géophysiques sur les caractéristiques hydrologiques.
- Régionalisation des données acquises, estimations pour des bassins non observés (B.V. représentatif de moyenne et grande taille).
- Rôle de l'eau dans le fonctionnement d'écosystèmes naturels.
- Réseaux hydrométéorologiques. Conception, gestion, rationalisation.

Ces éléments du référentiel ne constituent qu'une partie du champ de l'UR.

A l'heure actuelle, l'Unité de Recherches 107 "Géodynamique de l'Hydrosphère Continentale" a des activités scientifiques ressortant de deux grands programmes :

1°/ Le grand programme "EQUERRE" ou "Etude de la Qualité de l'Erosion et du Régime des Eaux",

2°/ Le grand programme "HYDRA" ou Hydrométrie des Réseaux en Assistance".

Le premier grand programme regroupe un ensemble de programmes et d'opérations de recherche dont la finalité essentielle est la connaissance du milieu physique et de son environnement climatique. Il est largement décrit dans le rapport de l'UR 107 diffusé en 1985

Le deuxième grand programme regroupe des actions de gestion de réseau soit en intervention directe, soit en assistance technique; il constitue un héritage de tâches de service que l'UR a accepté de prendre momentanément en charge. Les rigueurs budgétaires obligent à des choix ; de notre point de vue, nous croyons nécessaire de développer le grand programme EQUERRE sur quelques opérations ou programmes bien cernés géographiquement et, par ailleurs, de nous dégager des simples collectes de données lorsque celles-ci ne correspondent pas aux besoins de programmes définis dans le cadre d'EQUERRE.

Les objectifs du grand programme EQUERRE (Etude et Qualité, de l'Erosion et du Régime des Eaux) apparaissent dans des opérations regroupées selon trois ensembles principaux selon la taille du domaine géographique étudié et le stade d'acquisition de données.

On a distingué :

- Etudes et Synthèses des régimes hydrologiques de bassins fluviaux, portant en particulier sur la valorisation de données acquises.
- Etude sur bassins fluviaux comportant une phase d'acquisition de données et traitant, plus ou moins indépendamment ou en complément de l'axe précédent, d'hydrologie, d'érosion et de qualité des eaux.
- Etude d'unités géographiques de taille moyenne et petite représentatives d'écosystèmes ou régions "naturelles" (hydrologie, érosion, qualité des eaux).

Le cas des synthèses des régimes hydrologiques de bassins fluviaux mérite développement : celles-ci constituent un objectif majeur même si cela ne se traduit pas aussi nettement dans les programmes. Dès 1983, nous souhaitions revoir la conception des monographies hydrologiques dans le sens de travaux d'interprétation plus approfondis. Nous écrivions dans un précédent rapport :

"Ces synthèses généralement appelées "MONOGRAPHIES HYDROLOGIQUES" constituent une part importante des travaux de l'UR A7 et la valorisation de données acquises depuis de longues années. Le terme "Monographie" doit cependant être pris dans une acception quelque peu différente de celle communément admise par les hydrologues de l'ORSTOM. De nombreuses monographies réalisées ne présentent pour l'essentiel qu'une analyse critique des données, complète et irréprochable certes, mais qui ne débouche que sur une "partie interprétations" des plus réduites. Les régimes sont rarement rattachés à leur facteurs conditionnels et l'énorme travail produit se limite alors à la fourniture d'informations de tout premier ordre qui seront exploitées par d'autres. L'UR A7 entend que dans ce domaine de recherche, la démarche soit complète et qu'après critique et préparation des données les travaux d'interprétation soient largement développés tant sur le plan des études statistiques et des liaisons ou relations entre paramètres, que sur le plan de leurs variations spatiales (cartographie) ou de leur évolution temporelle.

C'est surtout le continent Africain et à Madagascar, mais aussi en Guyane et en Nouvelle Calédonie, que de longues séries d'observations ont été recueillies. Elles n'ont pas toujours été exploitées et la connaissance des régimes hydrologiques présente de nombreuses lacunes géographiques. En outre certaines études demandent à être réactualisées."

La réunion "Monographies hydrologiques" de février 1987 tenue à l'initiative de P. DUBREUIL a rejoint pour l'essentiel le point de vue tenu au sein de l'UR 107 et fait un certain nombre de recommandations à la plupart desquelles nous souscrivons.

Projets et certains travaux en cours, avec intitulé du type "Monographie" dépendent de l'intérêt qu'y apporteront des équipes de recherches. Il y a trop souvent assimilation de ces travaux à l'aspect ingrat de l'élaboration des données de base et les chercheurs sont alors peu enclins à se consacrer à ces recherches. Pourtant, les travaux d'interprétation débouchent très souvent sur des thèmes de recherche particulièrement enrichissants. Au moment où les réformes de la Recherche posent comme élément valorisant de la carrière d'un chercheur l'obtention d'une thèse, il faut indiquer qu'il est possible parfois de faire coïncider le contenu de ces synthèses hydrologiques avec des sujets de thèse (1).

Un autre obstacle à la réalisation de ces objectifs tient non seulement dans les problèmes et coûts de l'édition de tels travaux, mais dans la simple réalisation du document de base (saisie, dessin etc.).

A la simple approche hydrologique de ce type d'ouvrages nous souhaitons ajouter, chaque fois que cela est possible, des études géomorphologiques, d'érosion et transports solides et de qualité des eaux.

(1) "en avoir ou pas" deviendra sans doute plus déterminant qu'aujourd'hui pour la carrière des jeunes générations.

Cette orientation des objectifs suppose que :

- Le thème "Erosion, Transports solides et Sédimentation" devrait se développer au niveau des rivières et des fleuves par l'étude et le bilan des transports solides (concentrations et tonnages, granulométrie et minéralogie, origine des matériaux, mécanismes des transports), la chaîne sédimentaire se poursuivant à l'aval par les bassins de sédimentation continentaux ou océaniques.
- Le thème "Qualité des eaux de rivières" complète le thème précédent au niveau du bilan de matières exportées (érosion chimique et matière dissoute) avec, une meilleure connaissance de la géochimie des couvertures superficielles. La régulation et les transformations hydrogéochimiques des transferts de flux dissous d'origine minérale et organique constituent un volet important de ce thème par leurs implications biologiques. Un contrôle de la chimie des eaux deviendra par ailleurs une nécessité de plus en plus impérieuse pour la santé des populations riveraines des cours d'eau intertropicaux.

Mais ces thèmes impliquent que l'Unité de Recherches s'ouvre à des collaborations extérieures, car il est bien évident que les compétences de l'ORSTOM sont limitées dans ces domaines, et s'associe avec d'autres laboratoires sur des programmes de pointe.

Après ce tour d'horizon des objectifs de l'Unité de Recherche, il convient d'examiner les moyens dont on dispose réellement pour réaliser des programmes répondant à cette thématique et à ces orientations.

2. LES MOYENS EN PERSONNEL

2.1. LES EFFECTIFS ORSTOM

2.1.1. GENERALITES

Les effectifs de l'UR 107 ont toujours été limités, même si dans les premières années certaines adhésions déclarées (mais sans réel programme) ont pu faire illusion sur le nombre. Nous avons rappelé dans les tableaux 1 et 2, les effectifs indiqués dans de précédents rapports (1984 et 1985), pour lesquels nous avons dû faire un distinguo entre des appartenances régularisées avec incidences budgétaires, des appartenances de type secondaire mais avec programme budgétisé et enfin des appartenances de type principal sans implication budgétaire.

Les situations "désordonnées" qui prévalaient à l'origine des Unités de Recherche (adhésions choisies plus souvent en fonction de l'environnement immédiat de l'agent que des programmes, dispersion entre un trop grand nombre de départements) se sont décantées au cours des ans.

Au sein de l'UR 107, seuls des personnels concernés par des programmes budgétisés (ORSTOM et conventions) restent pris en compte soit en adhésion principale, soit en adhésion secondaire. Cet effort de rigueur n'a pas été payé en retour puisque les adhésions complémentaires sont restées peu nombreuses. Aux départs "logiques" se sont ajoutés des départs conjoncturels du type "offre de poste en détachement", "responsabilité administrative" ou encore démission au profit d'autres structures ORSTOM.

La Sous-Commission Hydrologie a affirmé à plusieurs reprises que "c'était les programmes qui appartenaient aux Unités de Recherche", ce qui devait décider des adhésions des personnels en charge de ces programmes. Cette idée, il est vrai, n'a jamais été confirmée par la Direction Générale comptant, semble-t-il, sur la constitution d'équipes dont la dynamique serait à l'origine de nouveaux programmes.

...Toujours est-il qu'un certain nombre d'adhésions attendues ne se sont pas produites, parfois par résistance des Responsables d'Unités de Recherche concernées ou encore par intervention hors relations entre Unités de Recherches (1) ... ou tout simplement parce qu'elles n'ont pas été envisagées par les équipes de recherche elles-mêmes.

(1) Sans vouloir rentrer davantage dans le détail de ces difficultés, signalons par exemple la demande de LAFFORGUE en 1985 faite dans la logique de ses programmes en Polynésie et restée sans suite ou encore celle plus récente (juin 87) faite par FERRY (thèse en cours sur les Régimes hydrologiques de Tahiti, Etude du Lac Alaotra à Madagascar et régimes malgaches thèmes de l'UR 107) à laquelle il a renoncé pour cause de "restructuration annoncée" de l'"hydrologie" ...

Tableau 1 : Les effectifs de l'UR 107 en 1984

inscrits en UR 7 au Département A	inscrits sans incidence budgétaire en 1984 en UR 7	inscrits avec incidence budgétaire en 84 en UR 7	non inscrits avec incidence budgétaire en 1984 en UR 7
MM. ALDEGHERI BOURGES CALLEDE COCHONNEAU Mlle DELMAS MM. FLORY HOORELBECK J. HOORELBECKE P. LERIQUE LE TROQUER MAILHAC MILLET Mlle MOREAU MM. NOUVELOT OLIVRY RANDON ROCHE M.A. TOURNE TRAVAGLIO	MM. ALDEGHERI BOURGES Mlle DELMAS MM. HOORELBECK J. MAILHAC MILLET Mlle MOREAU MM. RANDON TOURNE id. en adhésions secondaires : MM. CHOURET LAFFORGUE LENOIR	MM. CALLEDE COCHONNEAU FLORY HOORELBECKE R. LERIQUE LE TROQUER NOUVELOT OLIVRY ROCHE (M.A.) TRAVAGLIO M. GALLAIRE	MM. LAMACHERE } GUALDE } activité secondaire MM. CARRE THEBE GUISCAFFE FEAT CHAPERON RIBSTEIN HOEPPFNER MORREL ? } CALVEZ ? } X } Y } BRICQUET GATHELIER (et p.m. 3 stagiaires)
Adhésions secondaires MM. CHOURET GALLAIRE LAFFORGUE LENOIR			
Total : 19 + 4	9 + 3	10 + 1	2 + 13

Tableau 2 : Les effectifs de l'UR 107 en 1985

Adhésions principales

NOM	STATUT	AFFECTATIONS
ALDEGHERI M.	Chercheur	TOULOUSE (A)
HADER J.C.	Elève	TOGO (A et B)
BOURGES J.	Chercheur	COTE D'IVOIRE (A)
CALLEDE J.	ITA	GRESLY (A)
COCHONNEAU G.	ITA	MONTPELLIER (A)
Mlle DELMAS P.	ITA	BONNY
FLORY J.	ITA	SENEGAL (A)
CHALDE R.	ITA	BENIN (B)
HOORELBECK J.	ITA	MONTPELLIER (A)
HOORELBECKE P.	ITA	BOLIVIE (A)
LAMACHERE J.Y.	Chercheur	BURKINA FASO (A)
LERIQUE J.	ITA	BONNY (A)
LE TROQUER Y.	ITA	SENEGAL (A)
MAILHAC P.	ITA	TOGO (A)
MILLET P.	Chercheur	MONTPELLIER (A)
Mlle MOREAU	ITA	SENEGAL
NOUVELOT J.F.	Chercheur	LYON
OLIVRY J.C.	Chercheur	MONTPELLIER (A)
RANDON R.	ITA	COTE D'IVOIRE (B)
ROCHE M.A.	Chercheur	BOLIVIE (A)
TOURNE M.	ITA	MONTPELLIER (B)
TRAVAGLIO M.	ITA	EQUATEUR (A)

Autres participants

AGUENGUI H.	ITA	GUYANE (B)
ALEXIS A (D')	ITA	GUYANE (B)
BERTHELOT R.	ITA	MALI (B)
BILLON B.	Chercheur	NIGER (B)
CALVEZ R.	ITA	GUADELOUPE (A)
CARN M.	ITA	SENEGAL (A)
CARRE P.	Chercheur	CAMEROUN (B)
CHOURET A.	Chercheur	MALI (B)
DUBEE G.	ITA	NIGER (B)
FRITSCH J.M.	Chercheur	GUYANE (B)
GAC J.Y.	Chercheur	SENEGAL (A)
GALLAIRE R.	Chercheur	NIGER (A)
GUIGUEN N.	ITA	MALI (B)
HOEPPFNER M.	Chercheur	GUADELOUPE (A)
JUBERTOT A.	ITA	MARTINIQUE (B)
KLEIN J.C.	Chercheur	BONNY (A)
LAFFORGUE	Chercheur	YAHITI (B et A)
LAMAGAT J.M.	Chercheur	SENEGAL (A)
LE BARBE L.	ITA	TOGO-BENIN (A et B)
LENOIR	Chercheur	TOGO
MORECHE J.P.	Chercheur	MARTINIQUE (B)
PERRET A.	ITA	GUADELOUPE (A)
SAOS J.L.	Chercheur	SENEGAL (A)
THEBE B.	ITAT	CAMEROUN (B)
TOTILA R.	ITA	MARTINIQUE (B)
VILLENEUVE J.	VSN	SENEGAL (A)

21.2. LA SITUATION EN 1987

Celle-ci est caractérisée par les points suivants :

1) L'UR 107 compte :

En adhésion principale :

14 Chercheurs et Ingénieurs
12 Techniciens

En adhésion secondaire :

10 Chercheurs, Ingénieurs
6 Techniciens

La liste des participants est donnée ci-après :

Adhésions principales :

Chercheurs et Ingénieurs

Jacques BOURGES	Bolivie
J. Pierre BRICQUET	Congo
Jacques CALLEDE	Brésil
Pierre CHAPERON	France
J. Yves GAC	Sénégal
J. Louis GUYOT	Bolivie
Jacques HOORELBECK	France
Luc LE BARBE	Niger (A)
Jacques LERIQUE	France
J. François NOUVELOT	France (D)
J. Claude OLIVRY	France
Michel A. ROCHE	Bolivie
J. Luc SAOS	<i>Sénégal</i>
Didier ORANGE	<i>Sénégal</i>

Techniciens

Hugues AGUENGUI	Guyane
André D'ALEXIS	Guyane
Yves BOREL	Togo
J. Marie BOUCHEZ	Sénégal
Jules FLORY	France
René GUALDE	Bénin
Robert HOORELBECKE	Bolivie
Joseph KONG	Congo
Yann LE TROQUER	Sénégal
Paul MAILHAC	Togo
André PERRET	Congo
Robert RANDON	France

Adhésions secondaires :

Chercheurs, Ingénieurs

P. CARRE	Cameroun
A. CHOURET	Mali
J.M. FRITSCH	France
M. HOEPFFNER	Guadeloupe
A. LAFFORGUE	Tahiti
J.P. LAMAGAT	Sénégal
M. LOINTIER	Guyane
B. MILLET	France
J.M. MOBECHÉ	Martinique
M. MORREL	Guadeloupe

Techniciens

R. CALVEZ	Guadeloupe
M. CARN	France
N. GUIGUEN	Mali
A. JUBENOT	Martinique
M. TRAVAGLIO	France
R. TOTILA	Martinique

2) Par rapport à 1984, on relève en particulier :

* les démissions de :

J.M. LAMACHERE, resté au BURKINA FASO sur d'autres programmes

B. MILLET, séduit par la dynamique du Département C de J.R. DURAND

J.C. BADER qui n'intervenait que secondairement au titre "Réseau Togo"

M. TRAVAGLIO qui est affecté principalement au Laboratoire d'Hydrologie;

* le départ à la retraite de M. ALDEGHERI

* la malheureuse disparition, début 1987, de M. TOURNE.

* les arrivées en adhésion principale de :

J.Y. GAC

J.L. SAOS

D. ORANGE

3) Parmi les membres de l'UR en adhésion principale (les autres adhésions étant prises en compte par d'autres UR), l'effectif doit être réduit de :

1 chercheur détaché : J.F. NOUVELOT

1 ingénieur nommé à des responsabilités administratives : L. LE BARBE

1 technicien mis à disposition : J. FLORY

4) En conclusion, le "noyau dur" de l'UR 107 se résume à 12 chercheurs et ingénieurs et 11 techniciens. "Noyau dur" auquel il faut ajouter les participations effectives des adhésions secondaires, des partenaires extérieurs ayant demandé une adhésion principale dans l'UR 107, et qui s'enrichit de collaborations individuelles dans le cadre de mémoires et thèses et de collaborations étroites avec des Laboratoires extérieurs à l'ORSTOM et dont nous reparlerons.

2.1.3. CARACTERISATION DES EFFECTIFS

* Sur la base du "noyau dur", indiqué précédemment on peut faire les constats suivants :

L'UR 107 comprend :
4 Directeurs de Recherche
4 Chargés de Recherche
1 Allocataire de Recherche
3 Ingénieurs de Recherche
11 Techniciens

* La catégorie "Chercheurs Ingénieurs" se décompose géographiquement en

4 postes en France
4 postes en Amérique
4 postes en Afrique

Les Techniciens occupent

1 poste en France
3 postes en Amérique
7 postes en Afrique

soit au total 22 % de postes en métropole, 30 % en Amérique, 48 % en Afrique.

- * Sur l'ensemble des participations principales de l'UR 107, soit 26 personnes, 12 % sont détachés ou chargés de tâches administratives.

- * L'équipe de recherche de l'UR 107 est agée :

- 9 techniciens (sur 11) ont plus de 50 ans
- 9 Chercheurs et Ingénieurs (sur 12) ont plus de 40 ans (dont 4 plus de 50 ans)
- 3 ont moins de 30 ans.

Les proportions ne varient pas si l'on ajoute au "noyau dur" les personnels détachés et les adhésions secondaires. (7 sur 10 ont plus de 40 ans en adhésion secondaire pour les Chercheurs).

Globalement, 75 % de l'effectif "Chercheur-Ingénieur" a plus de 40 ans ; 17 % a trente ans ou moins. L'effectif "Techniciens" est pour 83 % agé de plus de 40 ans (61 % de plus de 50 ans).

Ces pourcentages correspondent au vieillissement des personnels de l'ORSTOM et en particulier des effectifs rattachés à la Sous Commission d'Hydrologie.

- * Les effectifs de l'UR 107

sont à 75 % constitués de Chercheurs et Ingénieurs ressortissant de la Sous Commission Hydrologie. Le pourcentage passe à 100 % pour les Techniciens. Les autres participants sont ressortissants de la Commission Scientifique 1 (Géologie). Ceci nous amène à replacer l'UR 107 dans le contexte de la discipline Hydrologie à l'ORSTOM.

2.1.4. L'UNITE DE RECHERCHES 107 ET "L'HYDROLOGIE" ORSTOM

Quel est le poids de l'UR 107 dans la discipline hydrologique (Sous-Commission Hydrologie) ?

A priori peu de chose si on s'en tient à l'effectif affiché, totalisant globalement 117 agents. Ce nombre tient compte des personnels de recherche, de ceux de l'informatique, dessin et dactylographie au laboratoire d'hydrologie de Montpellier - Ce personnel se répartit en :

48 Techniciens
19 Ingénieurs
50 Chercheurs

- Mais 20 % des Chercheurs sont détachés ou sont chargés de tâches administratives ; ce pourcentage passe à 37 % pour les Ingénieurs mais tombe à 4 % pour les Techniciens. Dans l'UR 107, ces pourcentages ne sont que de 8 % pour les Chercheurs, 25 % pour les Ingénieurs et 8 % pour les Techniciens.
- Pour l'ensemble de la Sous-Commission Hydrologie, 52 agents (44,5 %) sont en France et 65 hors métropole.

Dans l'UR 107, la vocation outre-mer de l'Institut apparaît de manière plus significative avec seulement 27 % de l'effectif global de l'UR (ou 22 % du "noyau dur") travaillant en France.

Par catégories de personnel, les affectations en France concernent 49 % des Chercheurs Ingénieurs (50 et 47 %) et 37,5 % des Techniciens pour des pourcentages respectifs de 36 et 17 % dans l'UR 107.

- * Finalement les hydrologues du "noyau dur" de l'UR 107 représentent respectivement

- le 1/4 des chercheurs et ingénieurs hydrologues

- et le 1/3 des techniciens hydrologues

travaillant effectivement dans les Unités de Recherches (20 % pour les chercheurs, 28 % pour les techniciens en comptant les Hydrologues du Laboratoire d'Hydrologie). Ces conclusions ne cherchent évidemment pas à donner de l'UR 107 l'image d'une unité de Recherches importante mais seulement à replacer celle-ci et sa taille modeste par rapport au réel potentiel dont dispose l'ORSTOM en hydrologie qui est beaucoup plus limité qu'il n'y paraît à la simple lecture des effectifs.

2 1.5. L'UR 107, FAITE POUR LA RECHERCHE

Si les effectifs de l'Unité de Recherche restent modestes dans la conjoncture actuelle, les qualifications pour la recherche de ses agents compensent la quantité .. Un certain nombre d'agents a en effet tenu à concrétiser ces qualifications dans le cadre universitaire.

On compte :

- 3 Thèses d'Etat
- 7 Thèses de 3ème Cycle ou d'Ingénieur Docteur
- 2 Nouvelles Thèses en préparation

Les 3/4 des Directeurs de Recherches de l'UR ont une Thèse d'Etat.

Les 2/3 des Thèses d'Etat des hydrologues titulaires en poste à l'ORSTOM appartiennent à l'UR 107.

Celle-ci se distingue donc par une large aptitude à la recherche et à l'encadrement de travaux de jeunes chercheurs qui viennent enrichir la thématique développée.

2.2. LES PARTENAIRES EXTERIEURS

2.2.1. LES PARTENAIRES D'AUTRES STRUCTURES DE L'ORSTOM

Citons, pour mémoire, les relations bilatérales avec d'autres Unités de Recherches :

- l'UR 101 des Océanographes physiciens pour ce qui touche aux variations climatiques intéressant les grands bassins étudiés (liaisons avec Ph. HISARD) ;
- l'UR 102 pour les études climatiques et du régime des précipitations (liaisons avec J. SIRCOULON) ;
- l'UR 103 pour les recherches paléoclimatiques ;
- l'UR 104 pour la géodynamique de la surface (liaisons avec B. VOLKOFF) et programmes communs, toutes UR du Département A ;
- l'UR 604 pour les travaux de ses ressortissants intéressant notre Unité de Recherches (FERRY, DANLOUX, LAMAGAT...)
- l'UR 212 pour les travaux du Togo (CASENAVE) et les recouvrements thématiques des deux UR ;
- l'UR 302 pour les études sur les milieux estuariens (LE RESTE, MILLET, LEMOALLE) ;

et bien sûr le Laboratoire d'Hydrologie de Bondy d'abord, de Montpellier depuis 1984.

Le détail de ces relations a été développé dans notre rapport de 1985.

2.2.2. ADHESIONS EXTERIEURES FORMALISEES

Ces adhésions concernent des chercheurs étrangers qui, sans être de l'ORSTOM, sont associés aux Programmes ORSTOM de l'UR 107. Ces adhésions ont été formalisées d'accord-parties

- pour le Congo :

3 chercheurs de la DGRST du Congo, intégrés au Centre ORSTOM de Brazzaville

B. MAZIEZOULA
MOUKOLO
B.S. BAMBA

- pour le Cameroun :

2 chercheurs de l'IRGM sont associés aux thème de recherche de l'UR 107

E. NAAH Directeur du CRH de Yaoundé
N. SIGHA chercheur

- pour le Sénégal :

1 chercheur vacataire à l'ORSTOM et thésard sur les recherches de Casamance

A. DACOSTA

2.2.3. ENCADREMENT DE MEMOIRES ET THESES

Sur les thèmes développés par l'UR 107, un certain nombre de mémoires et de thèses ont été réalisés ou sont en cours de réalisation avec trois pôles principaux d'encadrement : la Bolivie, le Sénégal et la France (les principaux intervenants étant M.A. ROCHE, J.Y. GAC et J.C. OLIVRY).

Cet encadrement suppose un investissement personnel des Directeurs de Recherche de l'ORSTOM, une aide matérielle au niveau de l'UR 107 et une orientation des travaux vers les sujets intéressant notre démarche scientifique en accord avec les Laboratoires universitaires de rattachement des étudiants ou chercheurs. Dans la liste qui suit, le signe + indique les travaux achevés, le signe - indique les travaux en cours (entre parenthèses les directions scientifiques DS).

a) Doctorats d'Etat

- + Thèse d'Etat de F.X. COGEL présentée en 1984 sur le Lac de Guiers au Sénégal. F.U.L. Arlon (Belgique). (DS Gac)
- Thèse d'Etat de E. NAAH en cours de préparation - Hydrologie des Yaérés du Nord Cameroun (Fac Sciences de Yaoundé) (DS Olivry)
- Thèse d'Etat de Maryline BA en cours de préparation, sur les Estuaires de Sénégal - Dakar (DS Gac)

b) "Nouvelles Thèses"

- Didier ORANGE alloc. ORSTOM, pour mémoire, en 1988, thèse à soutenir en Sciences à Strasbourg (DS. Gac et Tardy)
- J. Pierre BRICQUET - depuis 1987 ORSTOM pour mémoire (DS Fontes, Olivry)
- Honoré DACOSTA - depuis 1986 l'hydrologie de la Casamance Paris II. (DS Olivry, Cosandey)
- Gil MAHE - depuis 1987 sur l'hydrologie du Golfe de Guinée et de ses tributaires (DS Fontes, Olivry, Hisard)
- Michel CARN - ORSTOM, pour mémoire, sur les Transports Eoliens en faculté de Lettres à Strasbourg (DS Gac, Michel)
- Luc DESCROIX - Erosion dans les Alpes du Sud Lyon II (DS Olivry, Pelletier)

c) Thèses de 3ème cycle et autres thèses

- + A.A. SOW, sur le fleuve Sénégal - 1984 Faculté de Lettres Nancy 3ème cycle (DS Frécaut, Olivry, Gac)
- + H.M. LO, sur le fleuve Gambie 1985 - Faculté de Lettres Nancy 3ème cycle (DS Frécaut, Gac)
- + Alioune KANE, sur l'estuaire du fleuve Sénégal - 1985 - Faculté de Lettres Nancy 3ème cycle (DS Frécaut, Gac, Olivry)
- + KINGA-MOUZEO, sur les transports solides et dissous au Congo - 1986 - Perpignan 3ème cycle (DS. Giresse, Gadel, Olivry)
- + M. FALL, sur la géodynamique au Sénégal - 1987 - Dakar 3ème cycle (DS Gac)
- + B.S. BAMBA transport de matières particulières et dissoutes sur le fleuve Gambie - 1987 - Dakar 3ème cycle (DS Gac)

- + M.I. DIALLO, Brumes sèches et interdépendance avec la sécheresse. Dakar 3ème cycle (DS Gac)
- + ESPINOZA O.F. Rio Beni 1985 Tesis UMSA La Paz (DS Roche)
- + GARCIA W.A. Rio Mamore 1985 Tesis UMSA La Paz (DS Roche)
- + LOZODA G.A. Lago Titicaca 1985 Tesis UMSA La Paz (DS Roche)
- + MARIACA J.J. Lago Popoo 1985 Tesis UMSA La Paz (DS Roche)
- + Trois autres thèses boliviennes achevées et encadrées par M.A. ROCHE.
- Cinq autres thèses boliviennes en cours avec encadrement de M.A. ROCHE. (les noms de ces jeunes chercheurs de l'Université Majeure de San Andrés ne nous ont pas été communiqués).

d) Mémoires divers (licence, maîtrise, DEA, écoles d'Ingénieurs, stages)

- * A Dakar, 9 mémoires de DEA réalisés de 1983 à 1987 dont ceux d'ORANGE, BAMBA, CARN, SYLLA sous la direction scientifique de GAC et SAOS, et 2 mémoires de DEA en cours de préparation.
- * En France, 3 mémoires de DEA de 1985 à 1987 (SIGHA, MAHE, L'HOSTIS sous la direction scientifique de BOCQUILLON, FONTES et OLIVRY) et 2 mémoires de DEA en cours de préparation (PEYRONNET, FANTHOU);

2 mémoires de maîtrise en 1987 (FANTHOU et MARQUET sous la direction scientifique de GODART et HOORELBECK) à Paris II

1 mémoire de licence en 1987 (DESCONNETS sous la direction scientifique de BLAVOUX et OLIVRY) Avignon

1 mémoire de Diplôme d'ingénieur ISIM Montpellier (REUILLON sur la Guyane sous la direction de LOINTIER et MASSON)

1 mémoire de stage d'élève ingénieur (Ecole d'Hydraulique de Grenoble) (ELHAIJ sous la direction de HOORELBECK, OLIVRY).

En conclusion de cette liste non exhaustive des thèses et mémoires réalisés dans le cadre de l'UR 107, il est peut être utile de souligner qu'au delà de la contribution de ces partenaires extérieurs à la thématique développée dans notre Unité de Recherches, nous avons en retour apporté une contribution importante à la mission de formation de l'ORSTOM mission dont l'actualité a été encore soulignée par le Ministère de la Coopération en particulier pour ce qui concerne nos rapports avec les milieux universitaires des pays où nous intervenons.

2.2.4. COLLABORATIONS AVEC DES LABORATOIRES EXTERIEURS

Ces collaborations découlent naturellement de notre participation active à l'encadrement de chercheurs et d'étudiants de différents Laboratoires Universitaires auxquels sont souvent directement associés des Laboratoires de Recherche de type CNRS ; dans de nombreux cas, les relations ont dépassé ce simple cadre de formation pour devenir de véritables collaborations par l'aspect complémentaire des compétences réciproques mises en commun :

Ces collaborations peuvent se traduire

- en moyens en Personnel (c'est le cas de SENHAMI en Bolivie, de l'IRGM au Cameroun, des Laboratoires de Géologie et de Géographie au Sénégal ...)
- en moyens techniques ou d'analyses (Voies Navigables à Brazzaville, service hydrologique de RCA, SENHAMI, Laboratoires d'analyses spécialisées : ORSAY, NANCY, STRASBOURG et PERPIGNAN ...)
- en associations programmées et c'est le cas de grands programmes tel PIRAT regroupant l'ORSTOM et l'INSU avec deux leaders (UR 107 et CSGS de Strasbourg (CNRS)) et de nombreuses autres collaborations qui sont rappelées plus loin (cf. Programme PIRAT) ; c'est bien sûr le cas du PHICAB en Bolivie regroupant l'ORSTOM et le SENHAMI et aussi l'UMSA ; c'est aussi le cas du Projet dit "PACA" qui associe l'ORSTOM et le BRGM.

Parmi les partenaires français citons plus particulièrement :

- le Laboratoire de Géochimie et hydrologie isotopique de Paris XI (PR. FONTES)
- Le Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg (Pr. TARDY) tous deux concernés par les 3 poles d'étude de l'UR 107 (Amérique du Sud, Sénégal, Afrique Centrale)
- Les Laboratoires de Géographie Physique de MEUDON (CNRS Pr. GODART) et de Strasbourg (Pr. MICHEL) respectivement pour les études géomorphologiques des zones méditerranéennes et des zones soudanosahéliennes.
- le CEMAGREF d'Aix et celui de Grenoble, le BRGM pour les mesures d'érosion en zones sensibles.

La liste donnée dans le tableau ci-après indique ces collaborations de manière plus précise.

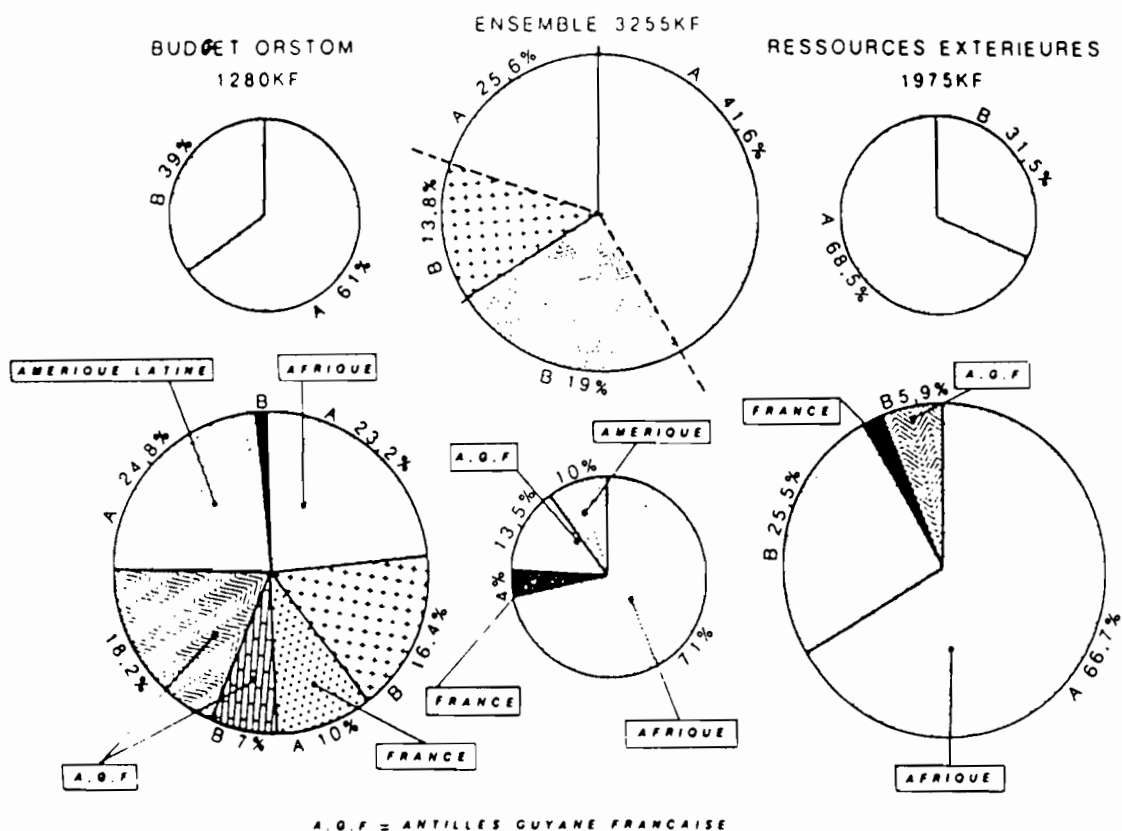
3. LES MOYENS FINANCIERS

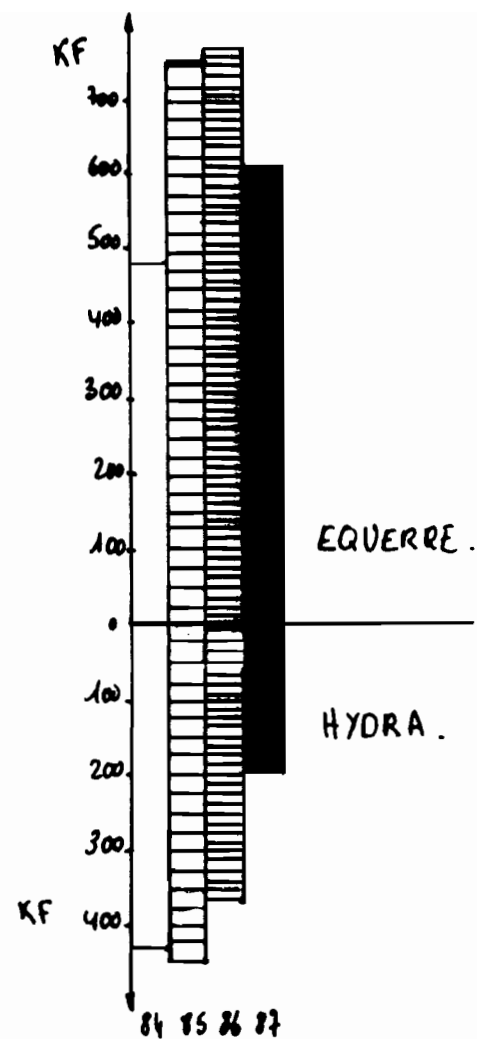
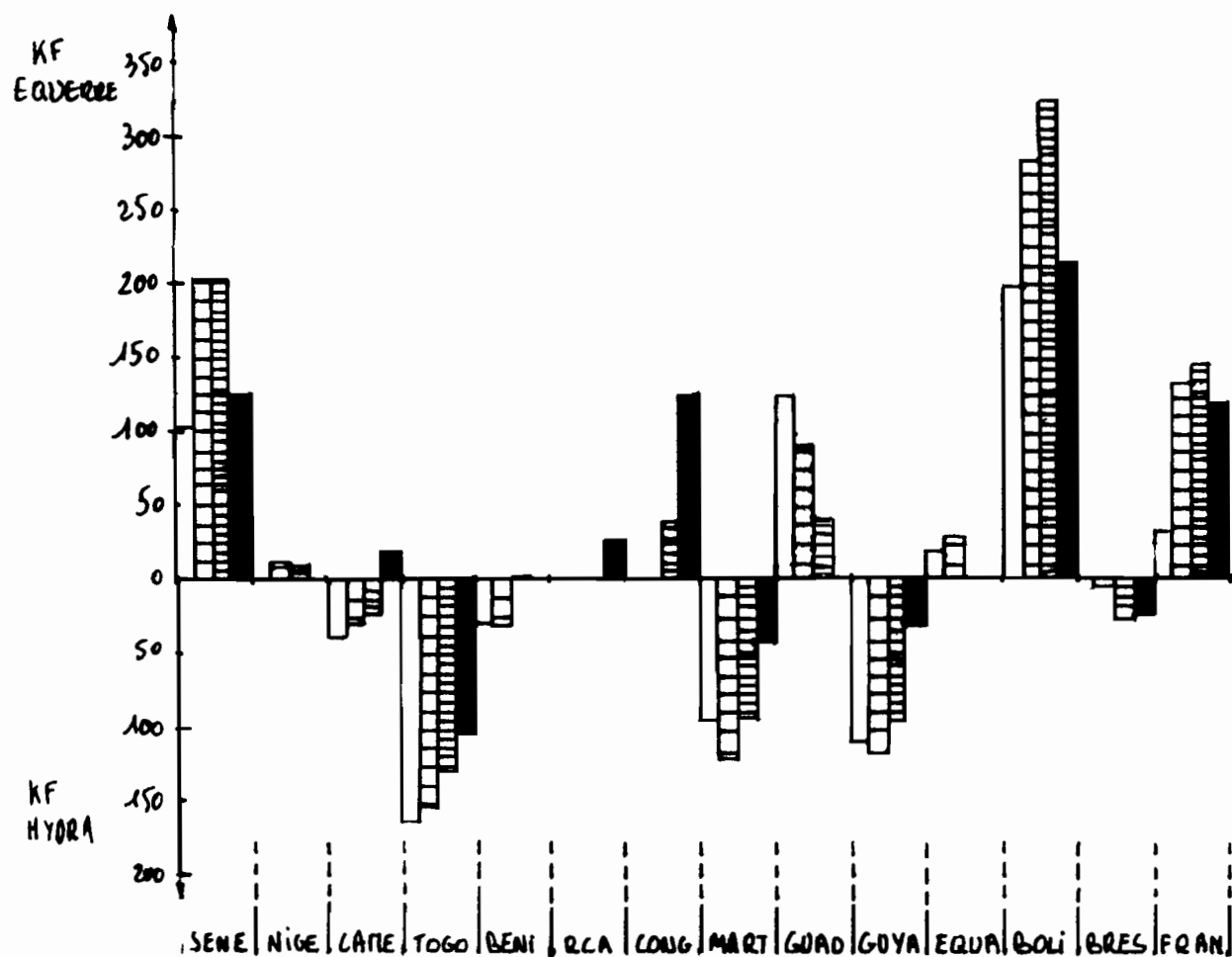
Les programmes ont été regroupés sur deux types d'opérations coïncidant avec ce qui a été défini comme le Grand Programme "EQUERRE", rappelé dans le texte et les schémas par le code A, et le grand programme HYDRA, avec le code B.

Les financements se répartissaient en 1985 :

- pour 40 % sur budget ORSTOM
- pour 60 % sur conventions extérieures.

Le schéma ci-après rappelle les parts respectives prises par ces sources de financement, leur répartition géographique et par grand programme (A ou B). Il est tout de même important de citer ici les chiffres en présence soit 1,3 million de francs sur budget ORSTOM et 2 millions en conventions. Au niveau des conventions, un certain lissage pluriannuel est nécessaire, car si le volant de crédits paraît assez régulier, les phases d'investissement en gros équipements inhérentes à la plupart des conventions ne concernent généralement que la première année d'étude.





BUDGET DE L'UR A7
DE 1984 A 1987

En 1987, le montant du budget ORSTOM était en nette récession puisque l'ensemble des crédits d'équipement, déclarés dans les demandes budgétaires pour le chapitre 693, a été purement et simplement supprimé sur instructions de la Direction Générale (politique gouvernementale de rigueur pour les dépenses de l'Etat).

La figure suivante illustre cette évolution du budget ORSTOM qui a connu son niveau le plus élevé en 1985 et 1986 ; espérons que la tendance de 1987 sera renversée en 1988 ! On relève dans cette même figure l'évolution du rapport des financements entre grands programmes correspondant à une diminution des budgets d'HYDRA (B), soit que les programmes soient passés dans le programme EQUERRE par suite d'une définition d'objectifs de recherche ou qu'un allègement des implications de l'UR dans de simples travaux d'assistance ait été recommandé par le Conseil de Département.

Sur le plan des études sur Convention ou sur subvention extérieure, les travaux en 1987 sont restés budgétairement importants (Antilles, Guyane 200 KF, PACA 300 KF, GAMBIE 300 KF, BENIN 200 KF, CAP VERT 100 KF, PIRAT 100 KF, OMS 200 KF etc.).

Alors qu'en 1985, les travaux sur financement extérieur se rapportant au programme HYDRA représentaient la moitié des travaux du même type ressortant du programme EQUERRE, on observe qu'en 1987 les travaux HYDRA ne représentent plus que le 1/4 de l'ensemble des travaux sur Convention.

Cette évolution signifie que l'UR 107 s'oriente davantage dans ses travaux sur contrats, sur l'élaboration et l'analyse de données et leur interprétation que sur de simples programmes de mesures ou prestations de services pour lesquels d'autres structures ORSTOM paraissent mieux adaptées.

Nous estimons d'ailleurs que les travaux d'analyse et d'édition de synthèses régionales constituent une réelle contribution au développement des pays concernés et méritent mieux qu'un simple succès d'estime de la part des tutelles de l'ORSTOM et en particulier du Ministère de la Coopération traditionnelle commanditaire d'études hydrologiques.

Sur budget propre ORSTOM, HYDRA qui représentait la moitié d'EQUERRE en 1985 n'en représentait plus que le 1/3 en 1987.

En conclusion l'UR 107, limitée par ailleurs par ses moyens en personnel et sans perspectives suffisantes de postes en vacance, a pu disposer d'un budget globalement suffisant en année moyenne pour son fonctionnement. Bien évidemment ce fonctionnement a généralement été revu à la baisse et la partie "terrain" des programmes a dû être allégée. En effet, rien n'est venu dans le budget compenser les nouvelles dépenses créées par une revalorisation des frais de déplacement ; sans une révision des budgets sur ce chapitre, les taux actuels ne permettent plus aux personnels spécialisés une présence sur le terrain suffisante. De même, les budgets actuels ne permettent plus de renouveler les équipements de mesure ou de laboratoire (hydrométrie, centrifugeuses etc.) d'autant que les différentes équipes ont cherché à combler le retard en équipements de micro-informatiques. L'équipe "France" de l'UR 107 a dû régulièrement intervenir sur son budget local en appui aux équipes d'Afrique Centrale, de Bolivie et du Sénégal

2éme Partie

Programmes et résultats

2ème PARTIE

PROGRAMMES ET RESULTATS

1. GENERALITES

La combinaison "objectifs et moyens de l'Unité de Recherche" - tels qu'ils ont été précisés dans la première partie - commande, à priori, l'ensemble des programmes de l'Unité de Recherches 107.

La réalisation des programmes, l'évolution des opérations de recherche, la naissance de programmes nouveaux ont été faites :

- en continuité de programmes antérieurs à la création de l'Unité de Recherche,
- sur la base de recommandations du Conseil du Département A, des Commissions Scientifiques et d'orientations définies par le Directeur du Département,
- en fonction du dynamisme des équipes concernées et de leurs propositions de recherche, des résultats scientifiques obtenus et des orientations déduites des questions que posent ces résultats,
- en fonction aussi, pragmatisme oblige, des opportunités offertes par la synergie de programmes nouveaux et de collaborations extérieures et par les moyens réels en personnels.

Ce qui nous paraît important, c'est d'orienter les programmes de l'Unité de Recherches non pas comme une juxtaposition de programmes de collecte de données ou d'études hydrologiques stéréotypées, mais comme l'aboutissement d'une réflexion scientifique. Nous en donnerons quelques exemples plus loin.

A côté de ces programmes, des études sur convention, constituant autant d'engagements contractuels, se sont développées avec ou sans finalité scientifique dans les zones géographiques intéressantes déjà l'UR 107.

1.1. LES IMPLANTATIONS GEOGRAPHIQUES

Elles ont évolué depuis l'origine de l'Unité de Recherches vers un regroupement.

En 1984, la distribution géographique des équipes était la suivante :

		grands programmes
En Afrique :	Sénégal Togo-Bénin Côte d'Ivoire Niger Burkina-Faso Mali Cameroun	EQUERRE dont convention HYDRA - EQUERRE Convention HYDRA Convention HYDRA Convention EQUERRE HYDRA " HYDRA Convention HYDRA "
Aux Antilles, Guyane :	Martinique Guadeloupe Guyane	HYDRA Convention EQUERRE HYDRA Convention
En Amérique du Sud :	Bolivie Brésil Equateur	EQUERRE HYDRA EQUERRE

En 1987, les équipes ont une extension géographique plus limitée :

pour l'Afrique :	au Sénégal au Togo au Cameroun au Congo en RCA	EQUERRE Convention HYDRA HYDRA EQUERRE → PIRAT EQUERRE ↗
- Aux Antilles, Guyane :	en Martinique en Guyane	HYDRA HYDRA
- En Amérique du Sud :	en Bolivie au Brésil	EQUERRE PHICAB HYDRA

On est passé outre-mer de 14 à 9 pays. Huit pays seront concernés en 1988 par des programmes in situ de l'UR 107. Sur le plan de la thématique, une extension plus large devrait apparaître par une prise en compte au sein de l'UR 107

- des programmes sur les Régimes Hydrologiques de NOUVELLE CALEDONIE
- des programmes sur les Régimes Hydrologiques de Polynésie Française TAHITI
- des programmes sur les Régimes Malgaches et le Lac Alaotra : MADAGASCAR.

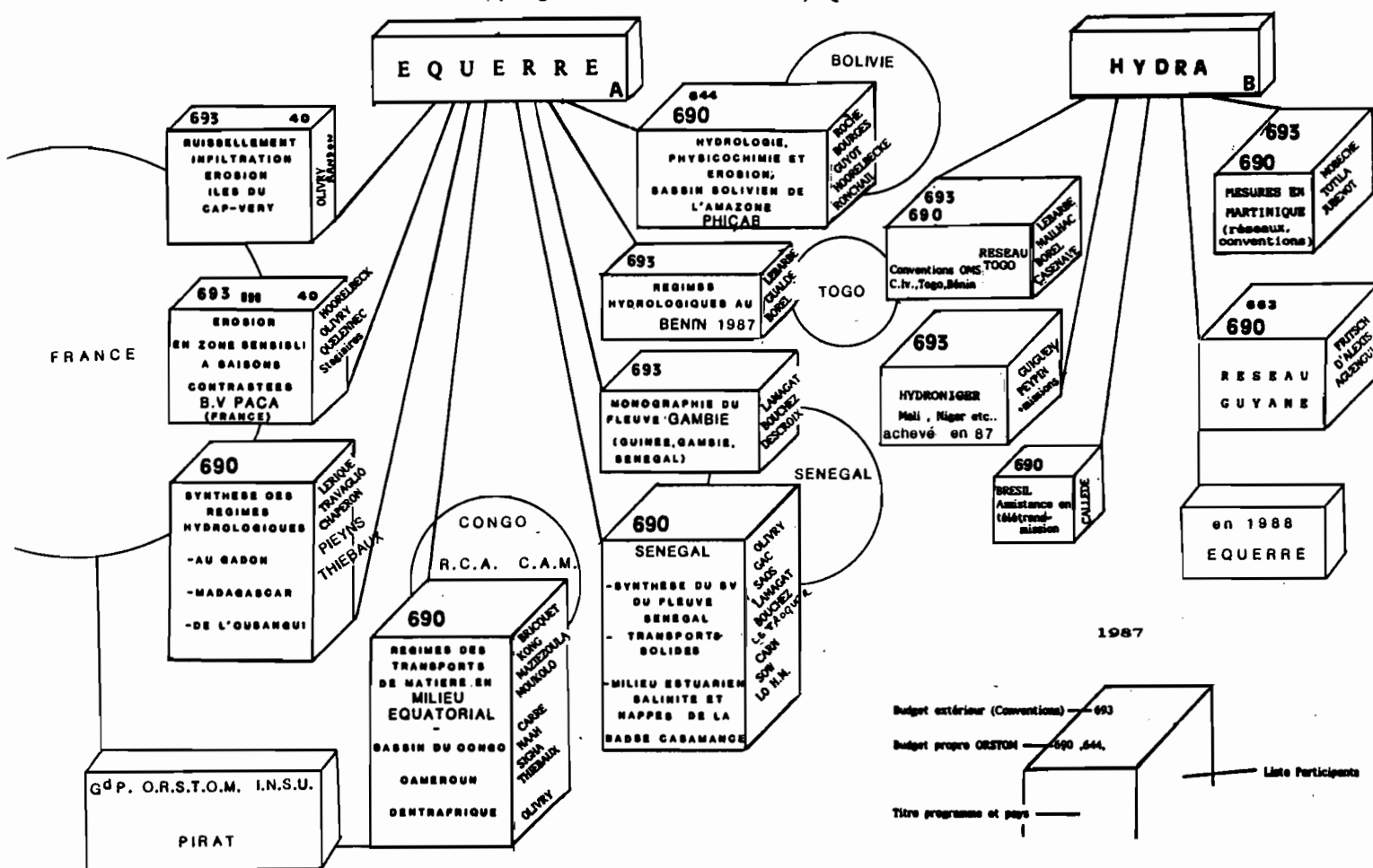
Enfin, signalons qu'à partir d'affectations en France, des chercheurs travaillent sur Madagascar, le Gabon, le Sénégal et l'Afrique Centrale.

1.2. LA SITUATION GLOBALE DES PROGRAMMES EN 1987.

Cette situation est résumée dans la figure ci-après. Les grands programmes EQUERRE et HYDRA ont été indiqués avec leurs programmes et opérations respectives. La mention 693 se rapporte aux conventions ou subventions extérieures ; 690 indique que le programme est sur budget propre de l'ORSTOM. Les participants sont mentionnés sur une des faces des parallélépipèdes "programmes". Dans des cercles, on précise le pays d'affectation des principales équipes (pour HYDRA, le nom du pays est directement indiqué avec le programme). Une mention spéciale se rapporte à PIRAT qui implique l'équipe affectée en France et celles d'Afrique Centrale ; enfin on signale le passage du programme Guyane dans la thématique du grand programme EQUERRE pour 1988.

Dans les chapitres qui suivent on verra dans le détail quelques points importants des grands programmes, les opérations achevées ou interrompues et un descriptif détaillé des programmes en cours pour lesquels un budget a été demandé pour 1988.

UR 107 : GEODYNAMIQUE DE L'HYDROSHERE CONTINENTALE (Régime des écoulements, Qualité des eaux, Erosion)



La situation en 1987

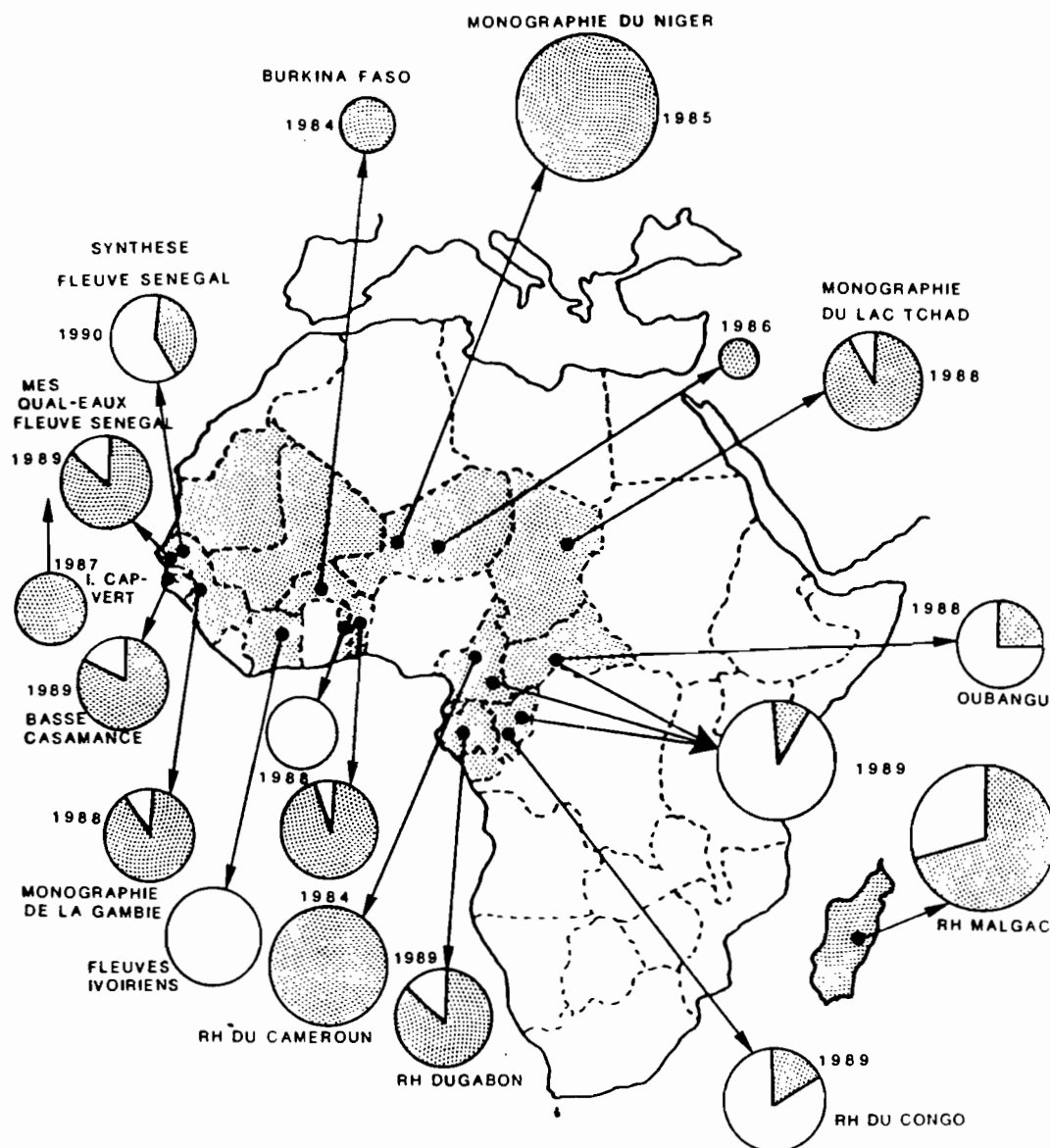
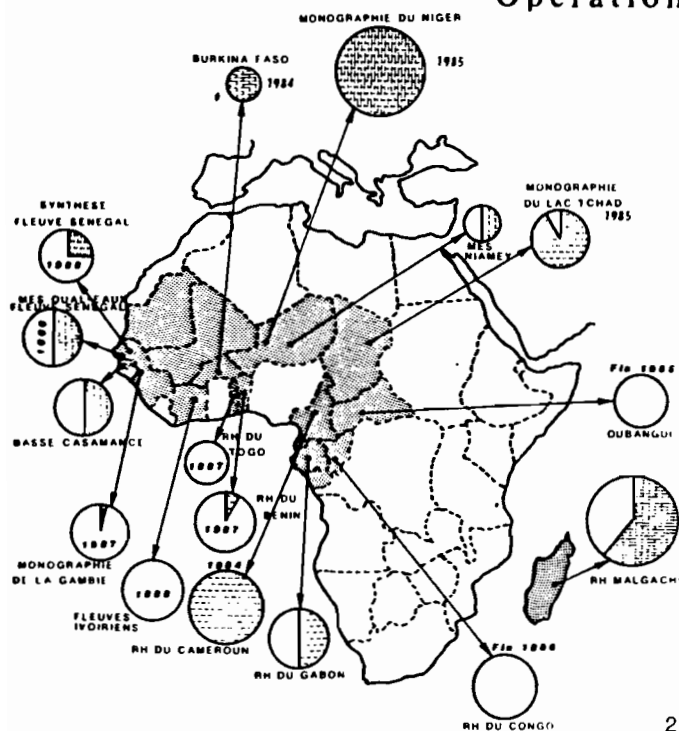


Fig. 1 :

- en grisé, les pays où les observations de l'ORSTOM sont anciennes.
- dans les cercles est indiqué l'état d'avancement du programme; pour les travaux en cours, l'année indiquée est celle de l'achèvement; pour les projets en blanc, l'année indiquée est celle du début des travaux.

Opérations du groupe EQUERRE en Afrique



Rappel de la situation début 1985

2. LE GRAND PROGRAMME "EQUERRE" : QUELQUES ASPECTS PARTICULIERS.

-----O-----

Nous intervenons au sein de l'UR 107 en Amérique du Sud essentiellement en BOLIVIE (en GUYANE à partir de 1988). Les autres programmes se situent en Afrique suivant un descriptif donné plus loin et la carte de la figure suivante. On y relève la situation en 1987 avec des échéances prévues (ou déjà échues) et un rappel de la situation en 1985 avec des prévisions qui n'ont pu être respectées dans de nombreux cas. Cette carte 1987 traduit toutefois une densité des interventions susceptible de remplir à plus ou moins long terme les objectifs d'une exploitation du capital de données accumulés par l'ORSTOM ...

2.1. LES TRAVAUX DE SYNTHESES REGIONALES (MONOGRAPHIES HYDROLOGIQUES)

Notre propos n'est pas de reprendre ici un débat sur le contenu de tels travaux mais plutôt de poser quelques questions sur la validité des résultats proposés dans le temps et dans l'espace. Donnons quelques exemples.

Séries hydrologiques et évolution climatique :

Pour le facteur temps, on a souvent posé qu'une trentaine d'années devait suffire à une bonne compréhension des régimes hydrologiques. Cela ne signifie pas l'intangibilité des paramètres interannuels mais suppose, comme je l'ai fait dans un article donné dans la 3ème partie (AISH. Budapest 86), qu'un simple coefficient de "dérive" permet d'actualiser des paramètres déterminés dans le passé. Dans ce cas là, les synthèses régionales gardent, sinon toute leur valeur puisqu'il faut les actualiser, du moins, tout leur intérêt.

L'intérêt du chercheur est alors de relier la variabilité des paramètres hydrologiques à celle des paramètres climatiques, ... et peut être d'essayer de comprendre l'évolution de ceux-ci. Comment rester indifférent aux phénomènes qui régissent le fonctionnement hydrologique des grands bassins fluviaux ? Cela explique nos orientations de recherche et les liaisons que nous avons avec les géographes, climatologues et océanographes (Leroux, Hisard ... pour ne citer que ceux-là) ; cela explique certains travaux comme ceux de G. MAHE et al sur les tributaires du Golfe de Guinée et la mise en évidence d'évolutions continues et pas seulement de crises climatiques ponctuelles (voir l'article de la 3ème partie où les figures sur l'évolution des hautes eaux de l'OGOOUE ou des modules du Congo parlent d'elles mêmes).

Un autre exemple est donné par l'évolution des modules moyens du fleuve Sénégal depuis plus d'un siècle telle qu'elle apparaît dans la figure ci-après avec sa tendance générale à la baisse (travaux Olivry, Chastanet cités en bibliographie).

Mais est-on sûr qu'un simple coefficient de dérive suffise à corriger les paramètres hydrologiques ? On a par exemple mis en évidence sur le fleuve Sénégal à Bakel une évolution importante du coefficient de tarissement depuis une dizaine d'années alors que celui-ci est resté relativement stable pendant 70 ans. Cet aspect du régime hydrologique aurait donc changé. Les ressources souterraines n'ont pas été reconstituées depuis la sécheresse actuelle ... et il manque aujourd'hui en phase de tarissement 1 milliard de m³ (ce qui est important pour la saison sèche mais ne représente que 4 % du module interannuel). La figure 3 suggère une persistance du phénomène au cours des prochaines années qui pourraient retrouver de meilleures conditions climatiques. Comment, dans ces conditions, faire l'impasse sur les relations entre eaux souterraines et eaux fluviales dans un suivi hydrologique des nappes superficielles ? (cf. Travaux SAOS).

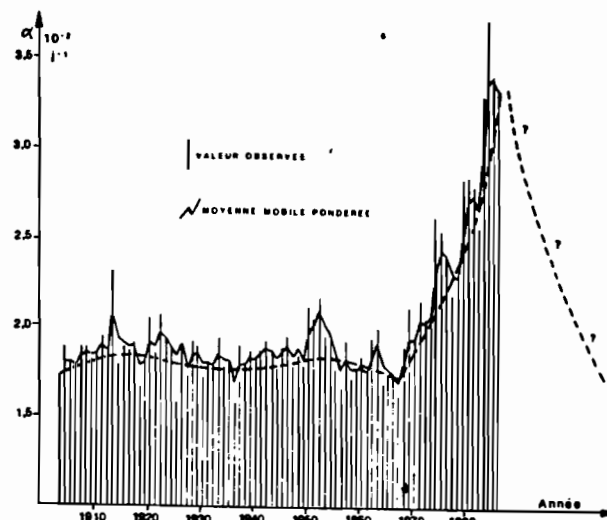
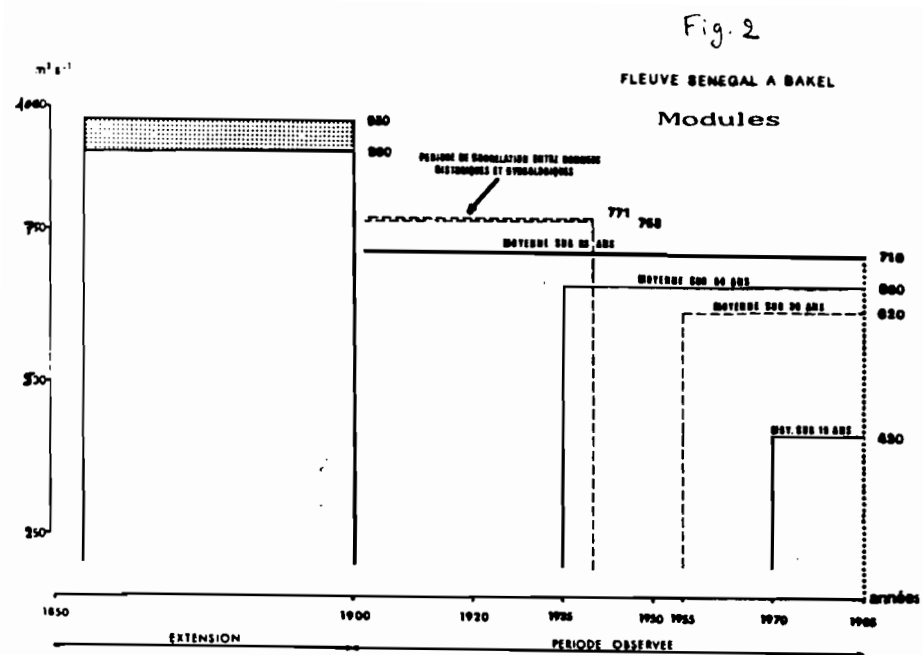


Figure 3 Evolution des coefficients de tarissement du fleuve Sénégal à Bakel.

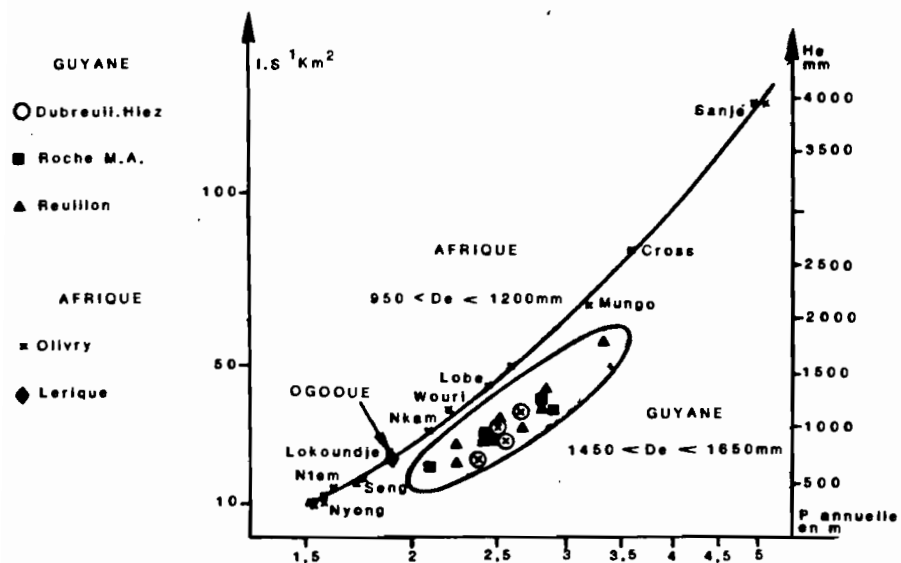


FIG. 4 MODULES SPECIFIQUES ET PRECIPITATIONS ANNUELLES (SUR BASSINS SOUS FORET OMBROPHILE)

BILANS HYDROLOGIQUES DES BASSINS SOUS FORET HUMIDE :

Pour le facteur spatial, l'intérêt des synthèses régionales et de déterminer des paramètres hydrologiques et de les relier au contexte physique et climatique des bassins. Une extension régionale doit être possible pour des conditions de milieu identiques et les résultats devraient être transportables pour le même type d'écosystème, d'un continent à l'autre.

L'exemple des bilans hydrologiques de bassins sous forêt ombrophile (rain forest) du milieu équatorial est particulièrement intéressant. A partir d'une relation entre la hauteur de précipitations interannuelles (P) et la lame écoulée interannuelle (He) établie pour le Cameroun forestier entre 1500 et 5000 mm, j'ai obtenu un déficit d'écoulement (équivalent dans le bilan à l'évapotranspiration réelle (ETR) interannuelle) de 950 à 1250 mm. Ces résultats sont confirmés sur l'Ogooué au Gabon (Lerique) et au Nord-Congo. Comment se fait-il alors que cette relation (voir figure ci-après), qui pourrait être caractéristique de la grande forêt humide des régions équatoriales, ne s'applique pas en Guyane ? En Guyane, les travaux de Dubreuil, Hiez, M.A. Roche et Revillon portant grosso-modo sur des moyennes de 10, 20 et 30 ans, aboutissent à des ETR de 1450 à 1650 mm sinon plus ... alors que la forêt, le substratum et le climat sont comparables. Peut-on impliquer une très mauvaise connaissance des précipitations à l'intérieur de la Guyane avec par suite une surestimation des lames précipitées ? Pourquoi pas un appareillage pluviométrique inadéquat (on en a vu d'autres en Afrique !) ? Une extrapolation sous estimée des hautes eaux pourrait-elle être générale et suffisamment explicative ? Des bilans suivant Penman ou Thornthwaite sont pourtant assez concordants (M.A. Roche) ... mais ils ne valent que ce que valent des formules empiriques qui ont pu être "calées" dans un milieu physique différent. Les travaux de M.A. ROCHE et al en Bolivie sur les balances hydriques des différents bassins étudiés et ceux de BOURGES (récemment le Mamore) devraient permettre de préciser les bilans pour des bassins sous forêt amazonienne...

Mais quoi qu'il en soit, ce qui nous paraît important c'est de poser des questions et de tenter d'y répondre par un développement des recherches sur le sujet. Dans l'immédiat, le suivi des rivières guyanaises s'impose de lui-même. Le programme animé par M. LOINTIER devrait s'attacher à préciser la répartition des précipitations (réseau plus dense sur le haut Maroni coté Surinam) et identifier les variables climatiques différentes des milieux équatoriaux africains. Il y a là d'ailleurs un sujet à approfondir avec ce qui a pu être étudié par d'autres hydrologues en Amérique du Sud mais aussi en Asie du Sud-Est et en Indonésie.

En conclusion de ces deux réflexions qui ont guidé l'orientation de recherches dans le cadre de synthèses régionales, faudrait-il retenir que ce type de travaux pose plus de questions qu'il n'en résoud ? Certainement pas, depuis que cette macrohydrologie est traitée comme un élément de la Géodynamique superficielle et tient vraiment compte du milieu physique sans se limiter à sa seule description.

2.2. LES TRANSPORTS SOLIDES ET DISSOUS

EROSION ET QUALITE DES EAUX

Ces thèmes complètent à l'échelle des grands bassins l'analyse de leur fonctionnement et des processus hydriques d'exportation de matière.

On se limite généralement au bilan des sorties faute de pouvoir préciser avec rigueur les entrées de type météorique sur l'ensemble des bassins. Des stations secondaires permettent généralement de préciser les contributions respectives de zones à substratum ou couverture végétale différentes et le développement des analyses qualitatives ajoute encore à la connaissance de l'érosion mécanique et chimique des grands bassins fluviaux.

L'exemple de l'étude des brumes sèches (J.Y. GAC) au Sénégal et en Mauritanie est significatif des opportunités qui peuvent se présenter dans nos études. La dernière décennie a vu se développer

en saison sèche un régime prolongé de brumes sèches et poussières sur les zones soudanosahéliennes et même forestières. La mesure du dépôt de ces poussières, leur analyse (95 à 98 % de Silice), leur granulométrie très fine ont conduit à considérer les apports comme loin d'être négligeables dans l'exportation de matière par les fleuves en début de saison des pluies - et à réduire d'autant les lames érodées sur le bassin étudié. (Cela pouvait aussi expliquer l'origine du pic de silice relevé dans les eaux de la Sanaga (par Olivry et Naah) en juin). Mais quelle a pu être la part de cet apport minéral extérieur dans la période qui a précédé la sécheresse ? Pour Gac, il serait loin d'être négligeable d'après les corrélations entre dépôts observés et mesures météorologiques de la visibilité ...

Ce type de travaux, d'autres observations peuvent également conduire à nuancer les interprétations faites par les paléoclimatologues sur les dépôts sédimentaires.

Nous soulignons ceci pour montrer l'interdépendance des recherches entreprises par des équipes de structures différentes.

2.3. LE PROGRAMME "PIRAT"

Notre intérêt pour la mesure des transports de matière particulaire et dissoute s'est imposé dès la création de notre Unité de Recherches au sein du Département A et le mérite de l'UR 107 est d'avoir fédéré les actions sur ce thème de géologues et d'hydrologues de l'ORSTOM, d'avoir recommandé le recrutement de jeunes chercheurs pour ce type d'action même si nous n'avons obtenu qu'un seul recrutement (J.L. GUYOT).

La première possibilité d'extension de ces thèmes de recherches s'est offerte dans le cadre d'une R.C.P. animée par le Centre de BioPédologie de Nancy (Souchier, Herbillon). Puis une initiative plus vaste, due à Yves Tardy (Strasbourg), s'est développée au moment de la création de l'INSU et du lancement de Grands Programmes. 1986 et 1987 ont été des années de mise au point de ce Grand Programme PIRAT dont l'acte de naissance officiel ne date que de mai 1987. Ces grandes "fédérations" interorganismes demandent toujours du temps à se mettre en place (réunion ORSTOM-INSU avec F. Jarrige représentant le Direction Générale. PEDRO président de la CS2, Rieu, Servant, Volkoff, Olivry ...).

2.3.1. PRESENTATION DU PROGRAMME

Diverses notes publiées par ailleurs me permettent de passer rapidement sur la présentation du programme PIRAT-ORSTOM, dont l'intitulé est "géodynamique des milieux intertropicaux peri-atlantiques". Rappelons que 3 échelles de temps ont implicitement dégagé 3 objets d'étude principaux :

- les latérites et paléo-surface (échelle géologique)
- les paléolacs et paléorivages (échelle du quaternaire récent)
- les grands bassins équatoriaux (phénomènes actuels)

Pour ce 3ème volet qui nous concerne, une présentation plus complète est proposée dans les paragraphes suivants.

Les fleuves sont situés au coeur du cycle externe des éléments ; ils reçoivent les apports météoriques, les produits de l'érosion, de l'altération et de la dégradation de la biomasse continentale et constituent à ce titre la principale source d'éléments minéraux, dissous et particulaires, parvenant aux océans (les transports fluviaux représentent en effet 90 % de l'apport continental global à l'océan).

Les grands fleuves de la ceinture équatoriale d'Afrique et d'Amérique du Sud drainent les grandes forêts tropicales de notre planète. Les étudier c'est approcher la dynamique des grands écosystèmes forestiers : hydroclimatologie, érosion continentale, apports à l'océan. C'est étudier aussi les relations entre les fluctuations des climats, les fluctuations de la biomasse, la

composition de l'atmosphère, les débits des grands fleuves, les bilans et cycles globaux du carbone, de l'azote, du phosphore et des éléments minéraux.

Un tel projet s'appuie sur le suivi déjà ancien des cours d'eau des régions subéquatoriales, qui a permis ou permettra, avec le suivi climatologique, de définir les régimes hydrologiques et leurs bilans, facteurs déterminants du régime des transports de matières et des bilans chiffrés. A partir de là, il permettra de relier l'amont ferrallitique, les flux globaux de matières et leurs variations, et plus en aval, la sédimentation d'estuaires. La finalité de l'étude des grands bassins tropicaux est donc en quelque sorte de mesurer la respiration de la grande forêt tropicale et ses fluctuations saisonnières et annuelles.

Deux bassins seront particulièrement étudiés : celui du Congo et celui de l'Amazonie. Il s'agit des deux plus grands fleuves du monde. L'un, le Congo, est nettement plus homogène que l'autre, l'Amazonie, puisqu'il ne dispose pas d'un bassin supérieur en haute montagne ; les eaux y sont donc faiblement turbides, riches en matière organique dissoute et particulaire.

Cela signifie :

- préciser le fonctionnement hydroclimatique du bassin ;
- établir un bilan géochimique des sorties, solutions et suspensions, à l'exutoire des grands bassins ;
- préciser les modes de transports organo-minéraux dans le fleuve et de dépôts observés à l'estuaire ;
- reconnaître le fonctionnement de grandes entités amont -roches mères et écosystèmes forestiers homogènes- et définir leur contribution saisonnière et annuelle aux transports globaux.

Ainsi cette étude se place à l'échelle de temps humaine, le siècle, c'est-à-dire à l'échelle qui par ses implications sur le développement en Afrique, concerne directement l'humanité et constitue un axe fort de "GLOBAL CHANGE" dont la dynamique doit marquer la dernière décennie du XXème siècle.

Plus précisément, l'opération GRANDS BASSINS FLUVIAUX s'intéresse principalement aux bassins du Congo et de l'Amazonie avec un thème central qui est le TRANSFERT DE MATIERES A L'EXUTOIRE de ces BASSINS : Etudes quantitatives (Bilans variations saisonnières et interannuelles) et qualitatives (sédimentologie, minéralogie, constituant chimiques et isotopiques). Ces recherches, en précisant le fonctionnement de la grande forêt intertropicale, sa "respiration" permettent de préciser les phénomènes actuels et d'expliquer le "passé" étudié dans les deux autres volets du Programme PIRAT.

Plusieurs opérations de recherche sont déjà engagées ou à engager :

- a) Etude des transferts de matière aux différentes échelles et modélisation grâce à la poursuite du suivi hydrologique sur les sites de mesures et prélèvements : dynamique des transferts continent-océan.
- b) Bilan géochimique : majeurs et traces sur le fleuve Congo et affluents (Léfini, Sangha, Oubangui) ; minéralogie des suspensions ; bilan des transports de matière dissoute.
- c) Bilan des transferts de carbone et d'azote en liaison avec celui du fer. Caractérisation biochimique des composés organiques. Origine et bilan du carbone exporté.
- d) Etude isotopique des solutions. Distinction entre carbone organique et minéral des eaux ; relations ^{13}C - ^{14}C ; génèse des bicarbonates et sulfato-réduction : relations eaux-sédiments (^{34}S - ^{18}O - ^{13}C).

- e) Etablissement de valeurs de référence ^{15}N et ^{13}C des matières organiques (production primaire).
- f) dépôts alluvionnaires et sédimentation estuarienne : granulométrie et cristallographie des suspensions et dépôts alluvionnaires ; bilans des suspensions à l'embouchure du Congo et sédimentation glauconieuse ; sédimentation à l'estuaire et dans l'océan ; le fer alluvial et son intervention dans les néoformations glauconieuses.
- g) Fluctuations hydroclimatiques et sensibilité à l'érosion à ces fluctuations ; variabilité interannuelle des bilans de transport de matières ; zonalité climatique et zonalité des différents types de dégradation du substratum.

On voit rapidement que, par ces opérations de recherche, un grand nombre de participants est réuni et ce sur des domaines d'action très variés. Tous ces thèmes se réalisent bien sûr en collaboration ou en association avec les Services nationaux des pays d'intervention de PIRAT.

Des retombées pratiques sont attendues sur les plans de la qualité des eaux, des transports et dépôts de sédiments et de la prévision des écoulements (amélioration des voies navigables).

Depuis 1986, le programme est devenu opérationnel au Congo et en Centrafrique ; le programme PHICAB et l'ORSTOM et du SENAMHI (en liaison avec l'UMSA) sur l'Amazonie bolivienne a été associé au Programme PIRAT en 1987 (mesures sur le Rio MADEIRA et ses tributaires). D'autres opérations sur les fleuves de Guyane Française sont en cours (représentativité des écosystèmes de la forêt amazonienne).

Pour le Brésil, un développement des actions est prévu en 1988 en collaboration avec le CENA (Université de Sao Paulo à PIRACIRABA, liaisons avec le Professeur MELFI). Ce développement dépendra du niveau de subventions déléguées pour l'exercice 1988.

En conclusion de cette présentation, indiquons que le conseil ORSTOM-INSU a désigné D. NAHON comme responsable du Programme PIRAT. J'ai moi-même été désigné comme responsable de l'opération "Grands Bassins Fluviaux" (1) avec J.L. PROBST comme adjoint (CSGS-CNRS Strasbourg).

Certaines critiques du Professeur TRICART, adressées aux Professeurs DOUMENGE et TAROY, reposaient sur une information très incomplète d'un appel d'offre interne au CNRS. J'ai eu l'occasion de m'en expliquer avec le Président de l'ORSTOM et de présenter ces travaux. Le Professeur DOUMENGE m'a vivement encouragé à poursuivre ce type de recherches fédérant les équipes de l'ORSTOM, celles de l'Université et du CNRS.

(1) comment ne pas s'étonner qu'aucune information ne nous ait été demandée par la Sous-commission hydrologie qui aurait remis un rapport au Directeur du DEC sur cette opération, "les contacts nécessaires ... ayant été pris" (CR CS2 4-11-87).

2.3.2. RESULTATS, AVANCEMENT DES TRAVAUX

En mai 1986, nous avons publié une note complète sur l'opération "Grands Bassins", telle que nous l'avons conçue et mise en oeuvre dès cette époque pour le Congo et l'Oubangui. Le protocole de mesures et de prélèvements mis en place s'est révélé adapté. Par contre, le conditionnement d'une partie des échantillons, impliquant congélation et voyage express, a dû être revu en raison de son coût élevé. Un appareillage de prélèvement a été mis au point à Brazzaville à partir du système des bouteilles océanographiques.

La pondération des concentrations relevées point par point par les vitesses correspondantes sur une verticale représentative déterminée donne une bonne approche de la concentration moyenne du fleuve à un instant donné ... mais encore faut-il retrouver d'une mesure à l'autre la même verticale : quelques mises au point restent à faire avec les opérateurs. La variabilité des concentrations doit être testée à plusieurs pas de temps : celui de la mesure (répétition), celui de la journée, de la semaine et du mois.

La variabilité des échantillons moyens par rapport aux échantillons de surface, ou à des échantillons prélevés sur d'autres stations proches plus accessibles, doit être également étudiée. Une méthodologie complète doit être mise au point (inspirée de celle du Cameroun, Nouvelot, Olivry).

Enfin, le thème de l'étude est tout de même de relier la variabilité saisonnière et interannuelle des transports de matière à celle des transferts hydriques ; cela implique la durée de l'observation et celle-ci pourrait permettre de reconstituer une chronique de la dégradation des bassins basée sur le chronique hydrologique.

Les petits bassins annexes (10 000 à 100 000 km²) ont une réponse plus rapide aux dégradations du milieu et leur étude est complémentaire de celle des grands bassins. Des critiques ont été émises sur "l'inconnu" de la partie Zaïroise (+ des 2/3 du bassin à Brazzaville) ; ces critiques sont pleinement justifiées si on veut aller plus à l'amont de l'objectif annoncé "bilan des sorties", "exportations à l'exutoire de grands bassins" ... ce "plus à l'amont" fait partie de nos orientations avec l'Oubangui et les "greffons" du Dja au Cameroun, de la Likouala et de la Lefini au Congo. Dans ce sens des contacts ont été pris au Zaïre (sur le haut-bassin avec Lubumbashi).

Deux articles (Sighe, Bricquet, Kong et Thiebaut) donnent les premiers résultats dans la 3ème partie de ce rapport. Rappelons que la première année d'étude sur l'Oubangui (1986) est due à une prise en charge du programme par l'UR 104 de Volkoff.

On a rappelé ci-après quelques résultats obtenus :

Les tonnages exportés par saltation et charriage de fond ne représenteraient que de 5 à 10 % du tonnage des MES. La part des sables fins, prélevés en suspension, porte sur 15 % de l'ensemble du tonnage des MES, soit 4 millions de tonnes par an. En dehors de la saison des hautes-eaux principales, les variations ne sont pas importantes et une bonne part pourrait provenir de l'érosion des berges du Congo dans sa traversée des plateaux gréseux du pays Bateke et du bas Kassai.

Le flux de matières particulières représente moins du quart (1/4) du flux global de matières transitant par le Congo à Brazzaville (MES et matières dissoutes dont une bonne part de matière organique). Avec 60 % des apports hydriques du continent africain à l'océan Atlantique le Congo apporte, malgré ses faibles concentrations, une contribution majeure aux dépôts sédimentaires atlantiques.

Plus en amont, sur l'Oubangui à Bangui, dont le bassin de 480 000 km² a une couverture forestière moins dense, les MES (2,9 millions de tonnes/an) représentent 45 % du flux global mesuré sur l'année 1986-87, soit une dégradation spécifique de 6 tonnes/km²/an, donc inférieure à celle du Congo ; les suspensions y sont aussi moins riches en sables.

Il est possible que la contribution des sables des plateaux Bateke explique une dégradation globale plus forte sur le Congo alors qu'on pouvait s'attendre à une vulnérabilité à l'érosion plus grande du bassin de l'Oubangui dont la couverture végétale est moins continue.

A l'issue d'une première campagne de mesures des matières en suspension (MES) du Congo à Brazzaville (Bassin versant de 3,7 millions de km²), les premiers résultats indiquent un bilan annuel 1986-87 des exportations de 26 millions de tonnes, soit une dégradation spécifique de 7 tonnes/km²/an, sensiblement inférieure aux valeurs proposées par d'autres auteurs. On a mesuré des concentrations globales en MES comprises entre 17 mg/l (décembre) et 32 mg/l (février) ; l'étude des variations saisonnières montre que les plus faibles concentrations sont observées aux basses-eaux d'août, pendant les hautes-eaux de printemps et dès la décrue des hautes-eaux principales (décembre-janvier) ; les comportements sont donc différents entre les deux saisons de basses-eaux et les deux saisons de hautes-eaux. Malgré les faibles concentrations observées, les plus grandes quantités de matière particulaire sont exportées en période de hautes-eaux.

Côté Amazone et Amérique du Sud on a déjà signalé les implications en Bolivie, l'opportunité guyanaise de valoriser le côté scientifique de nos mesures.

Rappelons les contacts pris, côté Brésil, pour une première mission à Manaus et Obidos en 1988.

2.3.3. COLLABORATIONS ET CONCLUSIONS

Au stade actuel des travaux les participants à l'opération "Grands Bassins Fluviaux" sont les suivants :

- CSGS - CNRS : Pr. Tardy, J.L. Probst
- CPB. Nancy : Pr. Herbillon, Pilon.
- Laboratoire d'Hydrologie et Géochimie Isotopique : Pr. Fontes, Dewar.
- Laboratoire de Recherche Sédimentologie et Géochimie marine : Pr. Giresse, Gadel.
- Laboratoire biogéochimie Isotopique Stable Paris VI : Mariotti, Trichet.
- Laboratoire Physique-Chimie Marines Paris VI : Saliot.
- C.R. sur l'Environnement Sédimentaire, Bordeaux 1 : Jouanneau
- Laboratoire Biologie Marine Montrouge : Martin
- Laboratoire géologie Matières Organiques Orléans : Poupet.
- IPG Laboratoire Géochimie et Cosmochimie Paris : Manhès associé à Pirat par DBT.
- SOHO : Mme Pierre
- Laboratoire des Isotopes : Mme. Merlivat
- ORSTOM UR 107, Laboratoire Géologie Dakar, Laboratoire Bondy.

D'aucuns ont pu craindre de voir les opérateurs ORSTOM ramenés à de simples collecteurs de données ou d'échantillons . Nous y sommes très sensibles et nous avons nettement défini les champs que nos compétences couvrent et que nous nous réservons - et sur lesquels nous ne revenons plus. Par ailleurs, certains Laboratoires projettent de faire leurs propres prélèvements, ceux-ci demandant des manipulations spécifiques qu'il n'est pas envisagé de demander aux équipes locales.

Dès lors, le travail de collecte concerne au premier chef les opérateurs eux-mêmes et l'envoi d'échantillons à d'autres laboratoires est largement compensé par les résultats d'analyses, la fourniture d'équipements ... et pour la première fois d'un fonds commun d'échantillons prélevés et traités dans les mêmes conditions ce qui facilite évidemment les comparaisons.

L'engagement de publication dans une revue de classe A dans des numéros spéciaux (sans doute "Sciences Géologiques") est une garantie supplémentaire de valorisation du travail des chercheurs de l'ORSTOM.

Enfin comme le soulignait le Département A, ce programme est pour les équipes ORSTOM, "la meilleure voie qui leur est offerte de s'insérer dans la véritable révolution qui semble se produire actuellement en géodynamique externe".

Le Département A recommandait aussi, en notant que d'autres équipes d'autres Départements de l'ORSTOM pouvaient être impliquées dans PIRAT, "que, vis-à-vis de la communauté scientifique nationale, l'ORSTOM présente toute la richesse de sa diversité sans contradiction interne".

C'est le moins que l'on puisse souhaiter pour l'avenir de l'opération "Grands Bassins Fluviaux".

2.4. LE PROJET "PACA"

Le projet PACA associe la BRGM et l'ORSTOM dans l'étude de l'érosion en zones sensibles à saisons contrastées sur les terres noires de petits bassins de la moyenne Durance et des pays du Buëch. Cette association est issue d'une demande du Ministère de la Recherche faisant appel aux compétences de l'ORSTOM pour répondre favorablement à un projet BRGM et le financer.

L'étude a été confiée à Olivry et Hoorelbeck et rangée naturellement dans l'UR 107 qui était la leur et la seule UR à avoir affiché le thème "érosion" dans son intitulé.

Depuis l'origine de nos travaux, le projet s'est trouvé en butte à des attaques diverses dont le développement tournerait rapidement à la polémique (1).

(1) "PACA" n'est pas la première opération ORSTOM en France ; l'étude des précipitations en Lorraine, en Ile et Vilaine et dans les Landes a mobilisé davantage d'hydrologues dans le passé. "PACA" est subventionné par le MRT et la Région et n'a nécessité aucun "détournement" de fonds de programmes ORSTOM d'outre mer. "PACA" s'est déroulé en parfaite collaboration avec les gestionnaires CEMAGREF de DRAIX (Cambon, Meunier). "PACA" étudie les problèmes d'érosion dans des zones montagneuses sèches assez proches de pays du Tiers-Monde (Moyen-Orient, Maghreb, etc.) ; on a oublié que des travaux similaires ont été entrepris en Tunisie sur budget ORSTOM faute de la moindre publication de notes ou rapports ...etc.

Le projet "Erosion dans la région PACA" avait un triple objectif :

- estimation des flux de sédiments à l'exutoire des bassins
- banc de test pour des matériels français et recherche technologique
- terrain d'accueil pour diverses formations.

1°) Le volet "formation-valorisation" s'est traduit d'une part par des visites sur le terrain de chercheurs des Universités françaises et étrangères (Cracovie, Turin, Sao Paulo, Vietnam) ou stagiaires d'organismes internationaux (Cefigre), d'autre part par des stages, soit de courte durée (12 étudiants), soit de longue durée pour réalisation de mémoires (Ecole Hydraulique de Grenoble, 2 mémoires de Maîtrise à Paris, 3 mémoires de DEA). Enfin, deux préparations de thèses ont été intégrées au projet (Descroix, Bufalo).

2°) Le volet technologique a comporté une part importante de mises au point des appareils ELSYDE (Pluviographe et limnigraphe) avec ce que cela comporte d'améliorations apportées par le constructeur aux appareils de 2ème génération et par nous même pour permettre un fonctionnement dans des cours d'eau non pérennes, très chargés et soumis au gel (conception d'enceintes de capteurs).

Par ailleurs, signalons la mise au point des problèmes de télétransmission satellite dans les systèmes ARGOS et METEOSAT. Une méthodologie de suivi de l'évolution des versants a été facilitée par la conception d'un appareil de mesures simple (règle avec tiges coulissantes dessinant un microprofil sur une table de lecture qu'il est aisé de photographier).

Enfin, la conception et la réalisation d'un préleveur adapté aux grandes variations de concentrations des MES au cours d'événements hydropluviométriques observés sur les bassins étudiés, permettent de recueillir un "réel" échantillon moyen des suspensions. Ce préleveur, dit "PACA" (pour pondération automatique et cumulée des apports), est en cours d'essai. (retards dans la mise au point due à la faillite de Languedoc Système).

3°) Le volet scientifique est basé essentiellement sur deux thèmes :

- Thème "Exportation aux exutoires" avec le souci de s'affranchir du terme "matériaux charriés" par rapport aux MES ;
- Thème "Connaissance des processus amont", avec description des phénomènes, études géomorphologiques et mesures sur les versants, sur les parcelles et sur ravines, puis introduction des méthodes de simulation de pluie pour caractériser les conditions du ruissellement et de l'ablation pour divers types de versants.

En résumé, les études portent sur un ensemble de 5 bassins représentatifs des Terres Noires des Alpes du Sud, de superficies variant de quelques hectares à 4 km², dans le cadre de recherches sur l'érosion de régions montagneuses sèches à saisons contrastées, très sensibles de par leur lithologie aux agressions météoriques.

On a montré que les aires contributives à l'exportation de matériaux peuvent se ramener au plan de la précision aux seuls "bad-lands" des bassins (marnes nues et altérites non végétalisées). Le fonctionnement des différents processus est développé avec ses différents pas de temps et ses différentes causes (splash, alternances gel-dégel, épisodes humidification-dessiccation, mouvements de masse, solifluxion, coulées de boue, glissements de terrain, laves torrentielles etc.). Il peut y avoir un décalage important dans le temps entre la mobilisation des matériaux et leur exportation. Des pluies soutenues mais sans fortes intensités peuvent être responsables de mouvements de masse importants qui ne seront repris qu'ultérieurement au niveau du drain lors d'un événement hydropluviométrique plus conséquent.

Au cours d'un même épisode pluvieux, le comportement des versants des "bad-lands" évolue, mais les concentrations de matières en suspension à l'exutoire des petits bassins (quelques hectares) paraissent suivre grosso modo les variations des intensités pluviométriques.

En début d'averse, l'effet "splash" mobilise les particules libres à la surface des marnes sèches et par ruissellement apporte à la station de mesures une première pointe de concentration, classique dans tous les cas. Puis, l'imbibition des marnes provoque rapidement un gonflement des argiles (smectites et interstratifiées), la fermeture des fissures et une plus grande cohésion des marnes, avec diminution de l'infiltration ; le ruissellement s'intensifie et l'érosion, qui avait diminué, va se développer suivant les filets du ruissellement et les rigoles observées sur les versants en suivant en intensité le hyétogramme de l'averse. Lorsque l'imbibition a gagné en profondeur, les mottes de marne altérée peuvent se détacher du versant ou atteindre leur limite de liquidité et rejoindre le lit du ruisseau. C'est à ce niveau que l'importance de l'écoulement et son pouvoir érosif, va exporter des dépôts précédemment stockés et faciliter l'érosion des bas de versants.

On n'a pas observé de ruissellement pour des intensités inférieures à 25 mm/h et les écoulements sont rares pour des averses inférieures à 10 mm. Pour les raisons évoquées, on ne peut pas vraiment corrélérer l'exportation de matières aux événements hydropluviométriques. Par contre, l'échelle de temps annuelle intègre les différents phénomènes et une relation entre les tonnages exportés et la hauteur de précipitations paraît envisageable en tenant compte de la distribution fréquentielle des intensités maximales au niveau de l'année. Pour le problème posé, les exportations devraient être calculées à l'échelle annuelle et un modèle simple pourrait être alors proposé en tenant compte des seuls bad-lands inclus dans les bassins étudiés, de leur pente moyenne et de leur lithologie.

Les mesures effectuées ont montré le caractère exceptionnel des phénomènes d'érosion sur les marnes noires :

- les concentrations de matières en suspension dépassent fréquemment 200 g/l sur les petits bassins (moins de 10 ha) et ont atteint jusqu'à 520 g/l.
- pour les bassins de superficie supérieure à 0,5 km², 95 % du transport solide est constitué de particules de diamètre inférieur à 0,5 mm (MES).
- la dégradation spécifique annuelle, mesurée en 1985 et 1986 pour ces mêmes bassins varie de 8 000 à 10 000 tonnes/km²/an.
- sur les ravines élémentaires (1 000 m²), on a mesuré en 1986 une dégradation de 17 000 à 21 000 tonnes/km²/an, soit une ablation de 7 mm par an environ.

Un rapport intérimaire complet doit paraître au printemps 1988. L'accord d'association BRGM-ORSTOM court en principe jusqu'à la mi-89. Quel que soit l'avenir de ce projet, outre les résultats scientifiques évoqués, il aura permis de développer les collaborations au niveau français et étranger en matière d'érosion et de renouveler un peu la démarche traditionnelle des études sur petits bassins.

3. LE GRAND PROGRAMME "HYDRA" :

LES RESEAUX HYDROLOGIQUES EN ASSISTANCE

La question est abordée ici pour quelques rappels historiques. Il est notoire que cette question a empoisonné les rapports avec le Laboratoire d'Hydrologie et certains membres de la Commission Scientifique.

Il est notoire aussi qu'une assemblée scientifique ne peut retenir sa surprise devant des programmes de simple assistance à la collecte des données hydrométriques sans qu'une finalité d'exploitation de ces données n'apparaisse clairement chez les opérateurs. Cela a été le cas du Conseil du Département A. S'il s'agit d'étudier les paramètres hydrologiques et le régime de cours d'eau, la finalité du programme est claire et nous sommes dans la thématique du grand programme EQUERRE de l'UR 107.

S'il s'agit de suivre des cours d'eau sans autre perspective que d'établir les bases d'une gestion des ressources en eau, la finalité est également claire, la thématique est celle de l'UR 604.

A plusieurs reprises, la Sous-commission d'hydrologie, qui souhaitait limiter le champ de l'UR 107 au seul thème "Régime des écoulements", a attribué à l'UR 107 la fonction de gestionnaire des réseaux. Tenant compte de cette volonté, nous avons proposé à notre Département la création du grand programme "HYDRA", pour ce type d'opération correspondant davantage à des "obligations morales" et à de "l'aide au développement" (?) de partenaires anciens, qu'à des activités de recherche. A la suite de l'accord du Conseil du Département A, P.L. Dubreuil pouvait écrire dans son éditorial d'"Inf' ..Hydro n°1" : "Grâce à J.C. Olivry, le Département A a reconnu que la gestion des réseaux constituait un élément nécessaire à la connaissance des régimes hydroclimatiques";

Le regroupement des programmes de ce type dans l'UR 107 aurait donc du être recommandé par la Sous-Commission d'Hydrologie ... Il n'en a rien été, le Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier ayant alors programmé une politique de service et de prestation de services largement basée sur une assistance aux réseaux hydrométriques.

Il est donc bien évident que ce programme HYDRA n'a qu'une existence conjoncturelle dans l'UR 107.

HYDRA se résume essentiellement aujourd'hui à :

- programme "réseau du Togo" pour lequel l'équipe actuelle procède à un allègement du nombre de stations d'au moins la moitié des stations (Casenave et Bader procèdent à cette optimisation sans préalable d'une convention particulière réservée à cet effet) et préparent la remise de cette gestion aux autorités togolaises.
- programme "Réseau Martinique" dont la gestion assurée par l'équipe de MOBECHÉ, très orientée sur des contrôles de "police des eaux" comme en Guadeloupe, pourrait être reprise par la SRAE - ce qui paraît être inscrit dans les projets de la DDA et soutenu au Ministère de l'Environnement. L'équipe de Mobeche pourrait être alors mobilisée sur des problèmes spécifiques d'hydrologie.

Au delà de l'UR 107, le problème reste posé au niveau de l'utilisation des énergies disponibles à l'ORSTOM ... Le potentiel humain n'est pas si important ... Dans bien des cas, on conviendra que, si des choix doivent être faits, la mission de l'ORSTOM "pour le développement" gagnerait à exploiter maintenant les données hydrologiques engrangées plutôt qu'à engranger et stocker demain de nouvelles données.

Nous proposons dans la 3ème partie, quelques extraits d'un article (AISH, Budapest 86) traitant des possibilités d'allègement des réseaux hydrométriques.

4. OPERATIONS ACHEVEES OU INTERROMPUES

La liste de ces opérations est donnée ci-après :

- BURKINA-FASO : Achèvement des travaux hydrologiques sur la plaine
(Equerre) de Niena Dionkele sans autre développement dans le pays.
- CAMEROUN : Publication de l'ouvrage "Fleuves et Rivières du Cameroun"
(Equerre) édité avec le concours du Ministère de la Recherche du Cameroun. (cf. Book Reviews de J. Sutcliffe en 3ème partie).
- COTE D'IVOIRE : Fin de la Convention "Réseau national" Remise de sa gestion au Service
(Hydra) Ivoirien. (Convention).
- EQUATEUR : Fin des opérations par suite du départ de Nouvelot puis de Travaglio.
(Equerre)
- GUADELOUPE : Achèvement de l'opération sur la rivière à Goyave et son embouchure
(Equerre) dans le Grand Cul de Sac Marin. Le rapport Morell était prometteur ; compte tenu du budget consenti jusqu'en 1986, il est dommage que l'équipe en place n'ait pu développer cette recherche du fait d'autres obligations.
- NIGER : Monographie hydrologique du Niger.
(Equerre) Mesures de transports solides sur le fleuve Niger à Niamey, sans développement ni publication et interrompu en 1986.
- MALI : Convention Hydroniger avec CEIS Espace couvrant les pays du
(Hydra) bassin du Niger (ABN) achevé en 1987.

5 DESCRIPTIF DES PROGRAMMES EN COURS EN 1987 DANS L'UNITE DE RECHERCHES 107

GEODYNAMIQUE DE L'HYDROSPHERE CONTINENTALE.

RAPPEL

L'Unité de Recherches 107 "Géodynamique de l'Hydrosphère Continentale" a des activités scientifiques ressortant de deux grands programmes :

- 1°) Le grand programme "EQUERRE" ou Etude de la Qualité, de l'Erosion et du Régime des Eaux",
- 2°) Le grand programme "HYDRA" ou Hydrométrie des Réseaux en Assistance".

Le premier grand programme regroupe un ensemble de programmes et d'opérations de recherche dont la finalité essentielle est la connaissance du Milieu physique et de son environnement climatique. Il est largement décrit dans le rapport de l'UR 107 diffusé en 1985.

Le deuxième grand programme regroupe des actions de gestion de réseau soit en intervention directe, soit en assistance technique ; il constitue un héritage de tâches de service que l'UR a accepté de prendre momentanément en charge.

Les rigueurs budgétaires obligent à des choix ; de notre point de vue, nous croyons nécessaire de développer le grand programme EQUERRE sur quelques opérations ou programmes bien cernés géographiquement et, par ailleurs, de nous dégager des simples collectes de données lorsque celles-ci ne correspondent pas aux besoins de programmes définis dans le cadre d'EQUERRE.

I- GRAND PROGRAMME EQUERRE

Ce programme est axé :

- d'une part sur la valorisation de données existantes dans un cadre régional et la réalisation d'études complémentaires impliquant la collecte de données hydrologiques, climatiques, d'érosion et de qualité des eaux, devant aboutir à des synthèses et monographies de grands bassins fluviaux ou d'ensembles régionaux ;
- d'autre part sur l'étude d'unités géographiques de moyenne ou petite taille, représentatives d'écosystèmes ou régions "naturelles" (Milieux insulaires, estuariens, érosion en zone sensible à saisons contrastées...).

On donne ci-après les fiches budgétaires se rattachant à ce grand programme

**SYNTHESES REGIONALES, MONOGRAPHIES HYDROLOGIQUES,
ETUDE DE L'EROSION EN ZONE SENSIBLE, GESTION ET VALORISATION DE LA RECHERCHE**

1. PRESENTATION DU PROGRAMME :**1.1. Justification, objectifs, produits attendus**

Ce programme est la juxtaposition de plusieurs opérations de recherche réalisées en France et d'opérations de gestion dont la cohérence scientifique n'apparaît qu'au niveau de l'ensemble de l'Unité de recherches.

Les opérations de synthèse ont pour objectif l'exploitation des banques de données existant au Laboratoire d'Hydrologie sur de grands ensembles fluviaux ; elles bénéficient en France de moyens informatiques plus développés qu'outre-mer et de possibilités d'un suivi de l'édition valorisant les travaux publiés.

Les autres opérations de recherche menées en France trouvent leur justification au niveau de la méthodologie et des résultats exportables outre-mer. La gestion scientifique et budgétaire suppose une animation et une concertation entre les différentes équipes, auxquelles s'ajoutent les problèmes de formation (thèse) et de valorisation (colloques).

1.2. Opérations en cours

- a) Régimes hydrologiques du Gabon
- b) Contribution à l'étude des régimes hydrologiques malgaches
- c) Monographie du lac Tchad
- d) Etude hydrologique aux îles du Cap-Vert
- e) Etudes hydrologiques en Casamance maritime
- f) Etude de l'érosion en zone sensible (marnes noires), Projet PACA
- g) Animation et organisation de l'opération "Grands Bassins" du programme PIRAT
- h) Gestion de l'UR
- i) Mise en oeuvre de travaux de synthèse sur l'Oubangui (RCA).

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX**Etat d'avancement**

- L'opération Régimes du Gabon est confiée à J. LERIQUE (plus collaborations occasionnelles du Laboratoire d'Hydrologie). Facteurs conditionnels et analyses pluviométriques sont achevés.
- L'opération "Régimes malgaches", dont une première partie a été achevée par M. ALDEGHERI, est poursuivie par P. CHAPERON à Paris (mi-temps). Collaboration possible de DANLOUX.
- L'opération "TCHAD" ne demande qu'une mise au point du manuscrit de VUILLAUME et CHOURET ; pas de personnel disponible pour ce travail en 1987. Cette monographie demande d'ailleurs à être complétée avec l'année 1985.
- Les études aux îles du Cap-Vert sont sur convention. La synthèse est achevée depuis la mi-87 (OLIVRY, RANDON). Restent problèmes d'édition ; en principe achevé fin 1987.

- La synthèse des travaux de J.C. OLIVRY et B. MILLET, en Casamance maritime n'a pu être développée en 1987.
- Le projet PACA sur subvention du Ministère de la recherche (OLIVRY, HOORELBECK + étudiants et collaborations occasionnelles) est en cours d'étude.
- Les opérations de gestion (OLIVRY, RANDON), variées tant sur le plan scientifique que sur celui de l'organisation se renouvellent chaque année.
- Des instructions du Président DOUMENCE impliquent un démarrage urgent et une réalisation rapide de travaux de synthèse sur la RCA.

Les personnels impliqués sont :

J.C. OLIVRY, J. HOORELBECK
 P. CHAPERON, B. MILLET (adhésion secondaire)
 J. LERIQUE + deux mémoires DEA + deux thésards
 R. RANDON deux maîtrises

en prévision pour 1988, S. PIEYNS (Oubangui) et J. KLEIN.

3. CONCLUSION

L'équipe de l'UR 107 en France a eu en charge un certain nombre d'opérations de recherche liées le plus souvent à des travaux de synthèses régionales. Elle assure aussi la réalisation d'études sur convention ou sur subvention (crédits d'incitation à la Recherche) sans incidence budgétaire. L'animation scientifique (et la valorisation de l'Unité de Recherches 107) sont conduites depuis Montpellier. Enfin, la gestion des programmes outre-mer implique un volant financier destiné à assister certaines équipes rencontrant des problèmes en cours d'exercice. Plus d'un tiers du budget de l'UR à Montpellier a été utilisé en 1987 pour une assistance directe aux équipes outre-mer.

Les tâches d'animation et l'aboutissement de plusieurs opérations impliquent des déplacements et une présence sur le terrain des membres de l'équipe de Montpellier. Des équipements informatiques sont en outre nécessaires à Paris.

Le grand programme EQUERRE au Sénégal comprend plusieurs volets impliquant trois équipes dont les champs se complètent sur le thème "Connaissance du milieu physique et des régimes hydrologiques et hydrogéochimiques" des bassins hydrographiques de Sénégalie.

A/ LE BILAN DE L'EAU ET DE LA MATIERE DANS LES GRANDS BASSINS TROPICAUX ET EQUATORIAUX PERIATLANTIQUES. GEODYNAMIQUE RECENTE ET ACTUELLE DES PRINCIPAUX BASSINS VERSANTS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST.

- Sous la responsabilité de Jean-yves GAC

1. PRESENTATION DU PROGRAMME

Les objectifs sont multiples autour d'une idée générale qui est de cerner et de quantifier ce que l'on appelle communément "la respiration hydrogéochimique" de grands paysages de la zone tropicale africaine. Il s'agit sur des entités géographiques bien déterminées (grands bassins versants) d'établir le bilan global de l'EAU et de ses fluctuations interannuelles et de la MATIERE, en mesurant sur de longues périodes, les éléments et les matériaux minéraux et organiques exportés en solution ou sous forme particulaire vers les océans ou des sites de dépôts continentaux (plaines d'inondation et dépressions lacustres). Enfin, le contexte climatique actuel (20 années d'aridité extrême au SAHEL) et la dimension de l'échelle d'observation entre les sources et les estuaires de fleuves a nécessité de mener de front plusieurs thèmes d'étude qui constituaient eux-mêmes de véritables grands programmes.

- a) La dynamique actuelle des vieux paysages latéritiques des régions situées à l'amont des rivières et en particulier du massif du Fouta-Djallon (processus d'altération, d'érosion des sols et de transports des matériaux).
- b) Le transfert et les flux de matière dans le cycle de l'eau entre l'amont et l'aval des bassins.
- c) L'organisation de la chaîne sédimentaire le long des vallées alluviales dans les sites continentaux (lacs et plaines d'inondation) ou océanique.
- d) La caractérisation des intrusions salines et leur modélisation dans les estuaires des côtes des basses altitudes tropicales.
- e) La régulation hydrogéochimique de tous les dispositifs fluvio-lacustres et de sa variabilité en fonction d'aménagements de plus en plus élaborés pour la survie des populations du Sahel.
- g) Le développement des phénomènes de brumes sèches et leur intelligence pour la compréhension des séquences sédimentaires anciennes dans les dépressions littorales à remplissage organique ou lacustre. On débouche ici sur tout le volet de reconstitution des anciens climats et de ce qu'ils apportent pour la compréhension des phénomènes actuels.

Toutes ces études doivent à court terme déboucher sur la synthèse hydrogéochimique des bassins versants des fleuves Sénégal et Gambie avec des propositions concrètes de gestion des ressources disponibles.

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX

2.1. Etat d'avancement à la mi-87 - Travaux accomplis, résultats obtenus

Depuis la mise en place de ce programme en 1980, les acquis et les résultats scientifiques, aussi bien dans le domaine fondamental que dans celui de la recherche appliquée ont donné lieu à une très large diffusion (56 publications dans les revues ou des colloques et rapports) et à un important volet de formation par l'encadrement de jeunes chercheurs africains ou français (direction de 11 thèses et de 9 mémoires de DEA).

Depuis le début de l'année 1987, les activités du programme se sont traduites par la publication (ou en voie de publication) de 14 articles et rapports et par la soutenance d'une thèse de troisième cycle (M. BAMBA, ivoirien) sur le bilan de l'eau et de la matière dans le haut bassin guinéen de la Gambie.

2.2. Opérations prévues en 1988 et résultats attendus

Le souci de favoriser pour tous les grands fleuves étudiés une démarche de bilan plutôt qu'une approche raffinée des mécanismes à petite échelle, nous impose de poursuivre nos observations aux stations clefs des réseaux hydrographiques. Ce n'est pas d'ailleurs sans raison que dans le programme PIRAT les propositions d'étude d'un nombre restreint d'exutoires de grands bassins tropicaux et équatoriaux sont basées sur une série de mesures échelonnées sur 10 années consécutives.

Dans le cas particulier du fleuve Sénégal et des stations clefs de Bakel et de Dagana il est intéressant de poursuivre les observations sur les flux de matière l'année même où pour la première fois la crue du fleuve sera une crue artificielle. Avec l'achèvement des barrages de Diama et de Manantali, c'est toute la politique de l'après-barrage qui est en cause et nul ne sait avec certitude les modifications qui interviendront au niveau de la vallée alluviale, du lac de Guiers et de l'estuaire. Nous avons la possibilité d'apporter des éléments de réponse.

2.3. Les moyens en personnel

J.Y. GAC, après les thèses de 3ème cycle récentes de M. FALL et M. BAMBA assure la direction des travaux de nombreux chercheurs qui contribuent à la réalisation du programme :

- M. Didier ORANGE (français) : "Géodynamique d'un vieux paysage latéritique : le Fouta-Djallon" (thèse nouvelle dont la soutenance est prévue à l'Université de Strasbourg en 1988).
- M. Mamadou Issa DIALLO (Guinéen) : "Les phénomènes de brumes sèches actuels et leur interdépendance avec la sécheresse au Sahel" (thèse de 3ème cycle dont la soutenance est prévue à la Faculté des Lettres de l'Université de Dakar fin 1987).
- Mlle Maryline BA (sénégalaise) : "Hydrologie en pays aride. Evolution et comparaison de 4 estuaires de Sénégambie : Salinité et flux nutritifs" (Doctorat d'Etat à la Faculté des Sciences de Dakar, vers 1989).
- M. Jean VILLENEUVE (français) : "Hydrogéochimie de la basse vallée du Ferlo" (Mémoire de DEA à l'Université de Montpellier, prévu pour juin 1988).
- M. Michel CARN (ORSTOM) : "Les phénomènes éoliens actuels, récents (dépôts lacustres) et anciens (loess du Fouta-Djallon) au sud du Sahara" (Thèse nouvelle à la Faculté des Lettres de Strasbourg, vers 1990).
- Mlle Magdeleine AW (Sénégalaise) : "Géomorphologie et cartographie de l'île à Morphil" (mémoire de DEA en 1988).

J.Y. GAC s'est en outre assuré les collaborations de diverses équipes ORSTOM et universitaires.

B) ETUDE DES MECANISMES HYDROLOGIQUES ET HYDROCHIMIQUES EN MILIEU ESTUARIEN - INTERACTION DES EAUX SOUTERRAINES ET DES EAUX DE SURFACE DANS LE BILAN HYDROLOGIQUE

Sous la responsabilité de J.L. SAOS.

1. PRESENTATION DU PROGRAMME :

1.1. Justification, objectifs, produits attendus

Les basses vallées sénégalaises, situées à la limite de la zone sahélienne sont caractérisées par l'extrême fragilité de leur équilibre écologique. Elles subissent depuis plusieurs années les assauts d'une désertification extensive causée par la persistance des forts déficits hydriques enregistrés depuis 15 ans. Invasion marine, sursalure, prédominance des dynamiques éoliennes, sont responsables d'une évolution rapide du milieu, parfois accentuée par intervention anthropique importante (déforestation ; essais d'aménagements mal conçus etc.).

L'évolution actuelle des milieux se doit d'être suivie de manière précise afin de mieux connaître les principaux paramètres et de mieux appréhender les principaux mécanismes qui les régissent. Ceci dans le but de garantir une meilleure gestion des aménagements futurs.

Les eaux de surface et les nappes souterraines profondes ont fait et font encore l'objet de nombreux travaux, contrairement aux nappes superficielles qui sont peu étudiées. Ces dernières ont pourtant une incidence importante dans le bilan hydrologique de grands bassins versants. Il y a, en effet, une relation permanente entre les eaux de surface et les nappes alluviales, et les échanges sont particulièrement intéressants à suivre, surtout à l'aval, vers le bief maritime, où, depuis l'installation de la sécheresse, les problèmes de la dynamique des sels s'ajoutent à ceux de l'hydrodynamique.

Les principaux objectifs de ce programme sont de définir les mécanismes hydrologiques (hydrodynamique estuarienne, précipitations, apports ruissellement, onde de marée) hydrochimiques (dynamique des sels) sédimentologiques (érosion et sédimentation) et hydrogéologiques (recherche et vidange de nappes phréatiques, échanges eaux de surface - eaux souterraines) dans la zone sahélienne et sud sahélienne.

La connaissance de ces mécanismes doit permettre de fixer les limites de préservation de certains écosystèmes fragiles, et déboucher sur une meilleure gestion des ressources en eau, en vue de leur utilisation dans les projets d'aménagement hydro-agricoles (barrages anti-sels, retenues d'eau, etc.).

1.2. Opérations

- Opération Casamance (Marigot de Baïla, Casamance inférieure) :

Bilan hydrologique et hydrogéologique complet sur plusieurs cycles annuels dans le bassin versant du Baïla, affluent de la Casamance. Les mesures de terrain pourraient s'achever en 1988 après la saison des pluies si le retour à une pluviométrie plus forte se confirme. Bilans de l'écoulement et de l'évaporation sur le bassin de Casamance par la mesure de l'intrusion marine.

- Opération fleuve Sénégal :

Relation fleuve : nappes dans le secteur aval basse vallée, Guiers-Ferlo - Rkiz - Etude de l'état initial avant la mise en service du barrage de Manantali, suivi sur deux années (1987 et 1988).

- Opération Saloum

Cette opération vient de s'achever, elle a été menée au sein de l'EPEEC (Equipe Pluridisciplinaire d'Etude des Ecosystèmes Côtiers) association regroupant des chercheurs d'organismes de recherche sénégalais ou implantés au Sénégal, subventionnée par l'UNESCO - Division des Sciences de la Mer - Projet moyen inter-régional de recherche en vue de l'aménagement intégré des systèmes côtiers (COMAR).

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX :

2.1. Etat d'avancement mi-1987

2.1.1. Opération Baïla (Casamance)

Depuis 1979, l'ORSTOM collecte les données concernant la pluviométrie, le régime d'écoulement, et la chimie des eaux de surface de la nappe phréatique du bassin versant de Baïla. Ces données sont recueillies à partir d'un réseau de pluviomètres, de limnigraphes (Kartiak, Baïla, Balandine, Djibidione) et de puits villageois.

Chaque mois, une tournée est organisée pour les contrôles, les mesures physicochimiques, et les prélèvements d'échantillons d'eau pour analyses chimiques. Pendant la saison des pluies, des jaugeages permettent de réactualiser les courbes de tarages des stations.

Les premiers résultats ont fait l'objet en 1980 d'un rapport ORSTOM (R. GALLAIRE).

Un deuxième rapport ORSTOM (J.C. OLIVRY et H. DACOSTA, 1984) donne les résultats des campagnes 1981, 1982, 1983. Un troisième rapport est en cours.

La période d'étude, caractérisée par des déficits pluviométriques élevés, nous a permis de suivre l'augmentation annuelle des valeurs maximales de salinité des eaux de surface, malgré une désalinisation assez bien marquée en fin d'hivernage (surtout en 1985). L'hypersalinisation était à son paroxysme en mai 1984 (150 g/l à Djibidione).

Les relevés piézométriques mettent en évidence le caractère dépressif de la nappe alluviale, les échanges eaux de surface-eaux souterraines se font dans le sens marigot-nappe à l'exception de courtes périodes pendant la saison des pluies (niveau piézométrique maximum en septembre).

L'année 1983-1984 caractérise le déficit hydrique maximu ;, il n'y a pratiquement pas eu de recharge de nappe cette année là. Depuis, les oscillations de la nappe montrent une légère tendance à l'amélioration.

Les mesures de conductivité et les analyses chimiques mettent en évidence l'importance du drainage vertical (évapotranspiration) par rapport au drainage horizontal, ce qui explique la sursalure des sols et des terrasses alluviales.

Cette année, nous nous efforçons de collecter un maximum de données en étendant nos mesures sur les puits interfluvés (piézométrie, chimie des eaux), en étudiant les transports solides et dissous (prélèvements sur 3 stations pendant les crues), en effectuant des campagnes de jaugeages pour réétalonner les stations, en resserrant la fréquence des mesures de salinité et en utilisant la Télédétection (nous avons participé à l'acquisition d'images Spot), grâce à cette caractérisation des aquifères superficiels (-comparaison des scènes d'octobre 86 : fin de saison des

pluies, et de mai 87 : fin de saison sèche, - détermination des zones inondables, caractérisation du couvert végétal, de la géomorphologie et des structures géologiques).

Toutes ces données devraient nous permettre de dresser un bilan hydrologique très complet et de mieux comprendre les modifications de la dynamique du milieu sous l'influence des variations climatiques.

A cette opération doit s'ajouter le sujet de thèse de H. DACOSTA sur "Précipitations et écoulement sur le bassin de la Casamance" et les travaux sur le bief maritime de la Casamance (OLIVRY, MILLET).

2.1.2. Opération fleuve Sénégal

Après les études hydrologiques (Monographie hydrologique du fleuve Sénégal - ROCHETTE, 1968), l'ORSTOM a poursuivi ses travaux sur l'invasion des eaux marines (ROCHETTE, 1964 - SAOS et al, 1984 - GAC et al., 1985) et sur les transports de matières solides et dissoutes (GAC et al., 1986).

Des prélèvements dans une cinquantaine de puits dans la nappe alluviale entre Bakel et Dagana en 1981, 1982, 1983 et 1985, ont permis d'aborder l'étude de l'évolution de la chimie des eaux souterraines.

En 1983, lors de la construction du bouchon barrage de Kheune, l'ORSTOM et la SAED ont installé un réseau de piézomètres réparti en deux lignes en amont et en aval du site. Le suivi limnimétrique, piézométrique et chimique nous a permis d'étudier certaines caractéristiques hydrodynamiques et chimiques de la nappe phréatique. Les résultats sont exposés dans le rapport ORSTOM : "Le bouchon-barrage" de Kheune, son influence sur les eaux de la nappe alluviale et du fleuve Sénégal (J.L. SAOS et P. ZANTE, 1985)".

La vallée du fleuve Sénégal va être dotée, grâce à un projet OMVS/USAID, d'un réseau de 1151 points d'observation (490 puits villageois et 660 piézomètres). Les puits ont déjà été sélectionnés et la réalisation des piézomètres est en cours. Les travaux devraient s'achever à la fin de cette année.

Ce réseau va permettre la constitution d'une banque de données hydrologiques et le traitement de l'information recueillie. Cette banque "Fichier-Eaux souterraines, fleuve Sénégal" est mise en place par la cellule des eaux souterraines du projet OMVS/USAID à St Louis, elle en assurera la gestion pendant deux ans (1987-1988). Durant cette période, il est prévu un suivi mensuel de l'ensemble du réseau.

Un réseau de cette dimension est assez exceptionnel, par sa taille (600 km de long sur 15 à 20 km de large), par sa qualité, et par les moyens informatiques mis en place pour la saisie et le traitement des données.

Un tel outil, indispensable à une bonne gestion des eaux en regard des nombreux projets agricoles et agro-industriels qui vont se développer dans la vallée, devrait permettre le développement de certaines recherches scientifiques et appliquées et en particulier d'étudier, de manière précise, les mécanismes des échanges entre les eaux du fleuve et les eaux souterraines.

Après des rencontres avec les responsables de la cellule des eaux souterraines, la visite des installations de la banque de données et du chantier de mise en place des piézomètres, nous avons défini en collaboration avec le laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Dakar, la Direction des Etudes Hydrauliques, et l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique, un programme de travail auquel participeront des étudiants de 3ème cycle.

Dans un article présenté à VANCOUVER par l'UR 107 (Symposium IAHS, avril 1987), on a montré que seule la connaissance de l'évolution hydrogéologique superficielle des bassins permettra une compréhension et une quantification des mécanismes réglant le régime des basses-eaux des grands cours d'eau dans les régions particulièrement affectées par la sécheresse actuelle.

3. CONCLUSION

Depuis 1980, trente et un titres de rapports, communications et publications portent sur les travaux de ce sous-programme (Sénégal, Siné-Saloum et Casamance). L'atelier UNESCO "Estuaires et Mangroves" témoigne en outre de l'intérêt pour le sujet de la communauté scientifique internationale...

Au Sénégal, pays sahélien gravement atteint par la sécheresse de ces dernières années, le problème de l'eau est vital. Il est maintenant devenu absolument nécessaire de se pencher sur une partie importante du domaine de l'eau : les eaux souterraines, et en particulier sur l'aspect des échanges Eaux de surface-nappes souterraines.

Considérant l'importance du rôle de ces eaux souterraines dans le bilan hydrologique, nous souhaitons donner une orientation plus hydrogéologique à ce présent programme.

Participent à ce sous-programme :

- J.L. SAOS, géologue Hydrogéologue, Chargé de recherche
- Y. LE TROQUER, technicien hydrologue
- et pro-parte, J.C. OLIVRY, B. MILLET, chercheurs hydrologues à Montpellier.
- H. DACOSTA (thésard)
- Collaborations universitaires (Dakar).

C) MONOGRAPHIE DU FLEUVE GAMBIE

Etude sur convention FAC confiée à J.P. LAMAGAT (en adhésion secondaire à l'UR 107 depuis décembre 1986). Il a été secondé par J.M. BOUCHEZ qui a réalisé l'essentiel des travaux de terrain avec L. DESCROIX (VSN en 1986) et occasionnellement J. FLORY et Y. LE TROQUER.

Avec la saison des pluies 1987 se sont achevées les mesures. la saisie des données hydropluviométriques (BOUCHEZ, DESCROIX, DACOSTA) est achevée.

La monographie doit faire le bilan et la synthèse de l'ensemble des travaux et mesures réalisés sur le terrain du fleuve Gambie, et se rapportant au domaine de l'eau ou susceptibles d'influer sur les régimes hydrologiques ; elle comporte :

- une étude générale du milieu physique du bassin de la Gambie ;*
- une étude climatologique détaillée, en particulier pour les paramètres jouant un rôle important dans le cycle de l'eau (analyse qualitative spatiotemporelle et analyse statistique et fréquentielle) ;*
- une synthèse des travaux relatifs au bief maritime entre Goulombo et Banjul développant en particulier la dynamique estuarienne, le transfert de l'onde de marée et les variations de la salinité ;
- l'étude hydrologique du bassin continental, comprenant le traitement des données de base (débits caractéristiques etc.) et l'extension des échantillons** (à partir de séries longue durée du bassin du Sénégal), l'analyse statistique des principaux paramètres hydrologiques (étiages, crues, modules), l'étude de leurs variations et des relations hydropluviométriques, l'étude de la propagation des débits, et en particulier des crues et l'étude des lois de tarissement ;

- l'estimation de l'érosion à partir des mesures de transports en suspension et les variations de la chimie des eaux.***

A cet ensemble, destiné à servir de base aux futurs projets de mobilisation des eaux superficielles, seront jointes, en annexe, toutes les informations relatives aux caractéristiques des stations hydrométriques, à leur étalonnage et aux mesures de débits.****

La monographie aurait dû être remise en février 1988 ; J.P. LAMAGAT devait demander au FAC une prolongation mais ne souhaite plus s'impliquer dans ce programme en 1988...

D) MONOGRAPHIE DU FLEUVE SENEGAL

Il s'agit d'une réactualisation de la monographie hydrologie (1903-0965) de ROCHETTE augmentée d'une mise à jour des données climatiques, d'études sur l'hydrochimie et l'érosion, l'hydrogéologie de la vallée, la géomorphologie en liaison avec les régimes hydrologiques, les phénomènes estuariens...

Cette synthèse globale constituerait une espèce d'état des lieux de l'avant-barrage pouvant servir de référence aux modifications qui seront relevées dans le suivi de l'après-barrages.

Cette synthèse, qui reprend des programmes déjà évoqués, dirigée par OLIVRY implique l'ensemble des équipes oeuvrant dans le cadre de l'UR au Sénégal et diverses participations universitaires (Fac des Lettres et des Sciences Dakar, Strasbourg). C'est d'ailleurs dans le cadre de ce programme que nous avons encouragé, depuis son adhésion à l'UR 107, le projet de thèse de J.M. BOUCHEZ sur certains aspects géomorphologiques de la vallée du Sénégal.

Un projet de convention mis au point en 1983 par OLIVRY, repris par LAMAGAT depuis 1986, devant conduire à la production d'un modèle de propagation des débits en aval de Manantali (UR 604), prévoit également l'édition de la synthèse projetée. Sa première phase démarrerait en 1988 (convention FAC/OMVS).

Ce programme a été classé dans les priorités de la Commission Scientifique n°2 et du Conseil de Département A.

Les résultats attendus concernent une réelle monographie du milieu physique et de l'environnement climatique du bassin du fleuve Sénégal, réalisée dans un contexte pluridisciplinaire mais dont l'ossature est hydrologique.

Les travaux signalés par des astérisques sont achevés ou en voie d'achèvement (* : travaux réalisés par DESCROIX et LO ; ** : DACOSTA ; *** : BAMBA et GAC ; **** : BOUCHEZ).

(Liaison principale avec le grand Programme ORSTOM-INSU : PIRAT)

On trouvera par ailleurs, quelques précisions sur le Programme PIRAT de l'ORSTOM-INSU dont l'opération "Grands Bassins" est placée sous la responsabilité de J.C. OLIVRY et fédère un certain nombre d'opérations du Grand Programme EQUERRE dont celle du CONGO.

REGIME DES TRANSPORTS DE MATIERES EN MILIEU EQUATORIAL ; LE BASSIN DU FLEUVE CONGO.

Sous la responsabilité de J.P. BRICQUET.

1. PRESENTATION DU PROGRAMME

1.1. Thème

Etude du fonctionnement hydroclimatique du bassin du Congo et des principales unités qui le composent ; établissement d'un bilan quantitatif et qualitatif des sorties, solutions et suspensions, à l'exutoire ; étude des modes de transports organo-minéraux dans le fleuve.

L'ambition de l'étude est d'approcher, à travers le bassin du Congo, de la dynamique des grands écosystèmes forestiers (hydroclimatologie, érosion continentale et apports de l'océan), de mesurer en quelque sorte la "respiration" de cette grande forêt équatoriale et ses fluctuations saisonnières et interannuelles.

La durée du programme est prévue pour cinq ans, renouvelable pour une nouvelle tranche de cinq ans.

1.2. Motivations

L'étude du bassin du Congo, au niveau de Brazzaville, à l'échelle continentale n'a jamais été faite en terme de bilan. Or il s'agit du deuxième fleuve du monde. Le suivi hydrologique et les prélèvements réguliers sont nécessaires pour établir les bilans géochimiques car les fleuves sont situés au cœur du cycle externe des éléments : ils reçoivent les apports météoriques, les produits de l'érosion, de l'altération et de la dégradation de la biomasse continentale. Ils constituent la principale source d'éléments minéraux dissous et particulaire parvenant aux océans.

1.3. Conditions d'exécution

La station du Congo à Brazzaville-Beach est choisie comme exutoire du bassin ($3,6 \cdot 10^6 \text{ km}^2$). Les prélèvements seront mensuels.

Une station sur la Léfini (Bwembé), affluent congolais du fleuve, contrôle les plateaux batékés, substratum grés-sableux à savane équatoriale. On retrouve le même faciès au Zaïre avec le bassin du Kassai. Les prélèvements seront mensuels.

D'autres prélèvements seront effectués à l'occasion de tournées dans le nord pour connaître l'hydrochimie des cours d'eau de la cuvette congolaise, mais il n'y aura rien de systématique.

Le programme est maintenant opérationnel à Brazzaville ; un préleveur de grande capacité (25 litres) a été développé et donne toute satisfaction (prélèvement de 200 litres en 5 points sur 18 mètres en une heure). Un autre préleveur de plus faible capacité (environ 10 litres) va être construit pour une embarcation légère afin de démarrer les mesures sur la Léfini. Les premières analyses effectuées au laboratoire de Brazzaville sont encourageantes.

2. MOYENS EN PERSONNEL

L'équipe dirigée par J.P. BRICQUET comprend :

J. KONG

A. PERRET

des chercheurs congolais associés : B. MAZIEZOULA, MOUKOLO

en 1987 un stagiaire camerounais SIGHA

+ collaborations extérieures liées au programme PIRAT.

J.P. BRICQUET prépare une nouvelle thèse dans ce cadre incluant régime hydroclimatique des affluents congolais du Congo et les bilans d'exportation de matières du Congo à Brazzaville en relation avec les apports des affluents de rive droite du Congo (thèse dirigée par FONTES et OLIVRY).

Programme CENTRAFRIQUE (RCA)

3. SOUS-PROGRAMMES EQUERRE-PIRAT

3.1. Transports de matières sur l'Oubangui à BANGUI (R.C.A.)

Responsable J.P. THIEBAUX.

Prélèvement échantillons sur Oubangui à Bangui (fréquence mensuelle et hebdomadaire) depuis la mi-86. Traitements échantillons. Mesures hydrologiques de routine et mise au point des données hydrologiques récentes

Préparation données de base et caractéristiques des bassins dans le cadre de la monographie de l'Oubangui.

3.2 Opération NGOKO (Cameroun)

en projet pour 1988.

(en collaboration avec l'IRGM à Yaoundé. Proparté lié au programme PIRAT).

Ces activités précédemment classées dans le grand programme HYDRA sont aujourd'hui rangées dans le grand programme EQUERRE du fait de l'importance prise par deux opérations de recherche.

GEODYNAMIQUE DE L'HYDROSPHERE CONTINENTALE AU CAMEROUN (Yaoundé, Nord Cameroun et bassin du Congo) avec un sous programme pouvant s'intituler "Biogéodynamique de deux hydrosystèmes" : le Yaéré du Nord Cameroun ; le bassin forestier de la Ngoko".

Responsable : Paul CARRE.

1. PRESENTATION DU PROGRAMME : Appui ORSTOM aux opérations suivantes :

1.1. Opérations Yaéré : Hydrologie des yaérés ;

Moyens IRGM : NAAH (PIEYNS), BEDIANG (thèse NAAH, codirection OLIVRY)

1.2. Opération Ngoko : Caractérisation et fonctionnement hydrodynamique d'un grand bassin forestier équatorial humide : Bassin de la Ngoko (PIRAT).

Moyens IRGM NAAH, BEDIANG, BOUM, SIGHA, SIGHOMNOU, (BRICQUET, OLIVRY)
Liaison avec l'UR 604 VOLKOFF.

1.3. Opération qualité des eaux d'etiajes : BEDIANG, NAAH, EKODEK, (OLIVRY), SIGHA.

1.4. Autres opérations de coopération : NAAH, CARRE (OLIVRY, PIEYNS).

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX

Actions variées liées à la demande de nos partenaires (IRGM), de développement sur les premières opérations Yaéré et Ngoko. L'opération Ngoko démarrera véritablement en 1988. Une implication plus grande de l'ORSTOM pourrait être envisagée dans l'opération "qualité des eaux" avec l'affectation d'un chercheur hydrochimiste.

Programmes ORSTOM-SENAMHI : PHICAB

(Liaison importante avec le programme ORSTOM-INSU : PIRAT)

Le programme PHICAB (Programme Hydrologique et Climatologique de l'Amazonie Bolivienne) est aujourd'hui bien connu (cf. la large diffusion de la plaquette de présentation). Il s'est déroulé jusqu'alors à la satisfaction réciproque des partenaires boliviens et français. Il arrive à un stade de développement et d'analyse qui justifie que l'on distingue 3 sous-programmes intéressant chacun le volet sud-américain de l'opération "Grands bassins" du programme PIRAT.

A/ COLLECTE DES DONNEES (RESEAU PHICAB) ET REGIMES HYDROLOGIQUES

Responsable Jacques BOURGES

1. PRESENTATION DU PROGRAMME :

Bassin amazonien bolivien (Andes et plaine amazonienne). Réhabilitation progressive du réseau hydrométrique bolivien ; mesures hydrométriques, collecte des données, traitement de l'information et interprétation des données pour la définition des régimes hydrologiques. Ce sous-programme est en amont des deux autres et constitue le volet essentiel du programme PHICAB indispensable à l'étude de bilans hydriques ou hydrochimiques.

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX :

Le programme se poursuivra en 1988 suivant le même schéma qu'en 1987.

2.1. traitement et exploitation des données PHICAB :

- a) Complètement des fichiers actuels, ou création de nouveaux fichiers selon les logiciels transmis par le laboratoire hydrologique

Les fichiers informatiques existants sont des fichiers "en l'état" qui n'ont pas été conçus dans l'optique d'une banque de données importante.

Il a donc semblé plus rationnel, plutôt que de modifier ou compléter les programmes, d'utiliser les logiciels déjà au point. D'autant que, l'extension envisagée de ces fichiers à l'ensemble des stations de Bolivie (150 stations) rend absolument nécessaire la mise en place d'une banque parfaitement structurée, telle que celle mise en place à la DRES d'Abidjan sur WANG 2200 LVP.

- b) Exploitation des fichiers

- Publication des hauteurs et débits de l'année 1985 sur le bassin amazonien de la Bolivie (juillet 1986).
- Publication d'annales, incluant l'année hydrologique 85-86, traitant des 13 stations du PHICAB et comportant les débits, les hydrogrammes et les caractéristiques hydrologiques de la période observée (fin 1986).
- Actuellement, il est difficile de prévoir une étude du régime hydrologique de ce bassin tant qu'on ne connaît ni la qualité ni le volume des données collectées. A fortiori, on ne peut envisager une étude sur les inondations annuelles dans l'Orient Bolivien qui, au plan national serait bienvenue, mais qui nécessiterait aussi la mise à disposition de moyens supplémentaires (télédétection).

2.2. Amélioration de l'exploitation du réseau existant :

Il est nécessaire de faire un gros effort d'une part afin de déterminer ou préciser le tarage de certaines stations, d'autre part pour obtenir des données R.H.E. complètes et fiables. Ce dernier objectif ne sera pas facile à atteindre étant donné la difficulté, sur certains sites, à remplacer les observateurs dont environ les deux tiers font les lectures lorsqu'ils le veulent bien ou s'absentent durant de longues périodes quand ce n'est pas définitivement, en emportant les cahiers de relevés.

Il est possible que la réalisation d'un projet CEE portant sur l'installation de 10 stations de télétransmission dans la partie bolivienne du bassin amazonien nous apporte une aide précieuse. Pour l'heure, il n'est pas possible, étant donné l'attitude équivoque des boliviens vis-à-vis de ce projet, de savoir si il aura une suite. Dans l'affirmative, il devrait, à moyen terme, déboucher sur l'étude des inondations dans le cours moyen du Mamoré-Trinidad et plus tard sur l'élaboration d'un modèle de prévision de crues.

2.3. Extension de la banque PHICAB aux données du SENAMHI :

Il serait intéressant, après étude des données du PHICAB, d'élargir le cadre de cette étude au bassin andin de ces fleuves. Pour cela, il convient de dresser l'inventaire des stations du SENAMHI, des périodes observées, de rentrer ces données dans le fichier primaire et de procéder comme pour les données du PHICAB : critique, fichier opérationnel, tarage.

Etant donné le volume, a priori important, de ces données (1100 stations-années au 31 décembre 1983), il serait judicieux d'effectuer une préselection des stations les plus intéressantes (situation géographique, durée et qualité des observations, valeur du tarage) de façon à ne rentrer que les stations qui présentent un intérêt pour la suite de l'étude.

2.4. Régimes hydrologiques :

A partir de ces données pourrait être envisagée l'étude du régime en zone de montagnes (variation des paramètres hydrologiques en fonction de l'altitude) et une synthèse sur les régimes hydrologiques du bassin amazonien bolivien traitant des variations spatio-temporelles des différents paramètres et des ressources exploitables dans cette zone à fort développement. Cette synthèse hydrologique pourrait donner lieu à une synthèse plus générale incluant les parties physico-chimie et climatologie, avec les autres chercheurs concernés.

Dans le long terme, cette synthèse pourrait se concrétiser par la réalisation d'un modèle du bassin amazonien bolivien, peut-être même permettre, en collaboration avec les services brésiliens, son extension au rion Madeira.

3. MOYENS EN PERSONNEL

J. BOURGES

R. HOORELBECKE

Collaborations boliviennes.

B) BILANS HYDRIQUES DE LA BOLIVIE

Responsable : Michel-Alain ROCHE

1. PRESENTATION DU PROGRAMME

1.1. Justification, objectifs, produits attendus :

Se reporter à la plaquette éditée, présentation du PHICAB, 4p. (ROCHE M.A. et CANEDO M., 1984).

Opération :

- Evaluation des termes du bilan hydrologique : quantification et relations entre les principales phases du cycle de l'eau, notamment estimation des ressources en eau. Trois principaux bassins couvrant la Bolivie et régions frontalières : Endoréique de l'Altiplano (Titicaca, Poopo, Salars), Amazonie, La Plata. Division en 8 bassins et nombreux sous-bassins, distinguant en particulier les grands tributaires, dans leur partie andine et de plaine.
- Concertation avec le Programme Hydrologique International (PHI) de l'UNESCO, et participation à l'établissement du Bilan Hydrologique de l'Amérique du Sud.
- Formation de (12) jeunes licenciés de l'Université Majeur de San Andrés - Institut d'Hydraulique et d'Hydrologie (IHH), à la recherche en hydrologie par l'encadrement pour la préparation de thèses donnant le titre d'ingénieur.

1.2. Opération prévue : Synthèse des bilans hydrologiques, 1988.

Méthodologie : Techniques climato-hydrologique, informatique (logiciels PHICAB et standards du commerce ou ORSTOM), cartographie, rédaction, coopération.

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX

2.1. Etat d'avancement à la mi-87, opérations 1988 et résultats attendus :

- Etablissement des bilans hydrologiques, présentés pour 8 grands bassins : 5 achevés, 3 à achever entre octobre et décembre 1987.
- Traitement et publication des débits et des salinités du bassin amazonien (jusqu'en 1985). Achevé en 1986-1987.
- Missions de complément d'informations auprès des Services Régionaux. Février-Mars 1988.
 - Cartographie à l'échelle nationale (1/4 000 000)
 - températures : avril 1988
 - écoulement : juin 1988
- Thèses : 7 soutenues, 5 en cours, à achever en 1987-1988.
- Synthèse nationale, à achever fin 1988-mi-1989

3. MOYENS EN PERSONNEL

M.A. ROCHE et collaborations boliviennes (SENAMHI et Université)

C) QUALITE DES EAUX, EROSION (Andes et Amazonie boliviennes)

Responsable : J.L. GUYOT

1. PRESENTATION DU PROGRAMME :

Analyse dans l'espace et le temps des caractéristiques physico-chimiques des eaux (solutions et suspensions) des tributaires andins du bassin amazonien de Bolivie.

Mesure des flux de matières transportées, bilans de l'érosion dans les Andes et de la sédimentation dans la plaine amazonienne.

Bilan des exportations sur le Rio Madeira (cf. programme PIRAT).

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX

Etat d'avancement a la mi-87 :

Organisation d'un réseau de collecte d'échantillons sur l'ensemble du bassin et acheminement vers les laboratoires. 12 stations principales sont opérationnelles avec mesures physiques in situ quotidiennes (plus prélèvement 60 ml) et tous les 10 jours prélèvement d'un échantillon de 500 ml. Aux époques hydrologiques remarquables, des campagnes d'échantillonnage sont faites sur 200 points de prélèvement.

Organisation de la chaîne d'analyse pour mesures physiques et mesures chimiques.

Traitement informatique des données.

Recherches bibliographiques.

3. MOYENS EN PERSONNEL

J.L. GUYOT

Collaborations boliviennes (SENAMHI, UNIVERSITE)

Laboratoires universitaires français.

(Liaison importante avec le Programme ORSTOM-INSU : PIRAT)

Ce programme précédemment classé dans le G.P. HYDRA s'est vu revalorisé sur le plan scientifique à la suite de contacts entre le responsable d'UR et MM. FRITSCH et LOINTIER. Une nécessaire mise à jour des régimes hydrologiques est apparue ; la comparaison des bilans des forêts équatoriales africaines et sud-américaines est particulièrement intéressante. Au niveau du programme PIRAT, les fleuves de Guyane constituent un champ facilement accessible à l'ORSTOM ; une opération dans ce pays dans le cadre PIRAT est d'ailleurs encouragée par J. COLOMBANI, responsable d'une commission "Transports solides" de la S.C. Hydrologie.

EXPLOITATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE GUYANAIS ET SYNTHESE REGIONALE DES BILANS D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT DE MATIERES

Responsable : Marc LOINTIER (adhésion secondaire à l'UR 107)

1. PRESENTATION DU PROGRAMME :

1.1. Justification, Objectifs :

Un réseau hydrométrique en service pendant une longue période et obligatoirement fonctionnel au temps présent est une structure indispensable pour valoriser et exploiter les résultats acquis de façon intensive et sur de courtes périodes au cours d'études spécifiques. Seul un réseau permet de préciser la récurrence statistique d'un événement en un point quelconque du territoire.

Les données du réseau sont par ailleurs indispensables pour juger des possibilités de réalisation des projets d'aménagement, de leur rentabilité et des difficultés de leur réalisation. Un tel programme, en fournissant des résultats de référence sur de longues périodes, entre ainsi dans le cadre du plan de développement de la Guyane pour la mise en valeur agricole ou industrielle : usines hydroélectriques (Etude du site de Petit-Saut), alimentation en eau (pour les projets d'usines de pâte à papier sur le Mahury, l'Approuague et le Kourou) etc.

Développement en 1988 des mesures de transports de matières sur quelques fleuves guyanais dans le cadre de l'opération "grands bassins" du Programme PIRAT.

2 DESCRIPTION DES TRAVAUX

2.1. Etat d'avancement à la mi-87

Travaux accomplis :

- contrôle et entretien des stations réalisé selon le planning annuel.
- dépouillement et saisie informatique.

Il est édité, chaque année, un recueil des données interprétées, pour les dix stations en service actuellement.

- Synthèse (publication en cours) sur trente années d'observation des Régimes Hydrologiques de Guyane.

5.2. Opérations prévues en 1988 et résultats attendus

- Développement de la collecte automatique par CHLOE-ARGOS
Télésurveillance des stations éloignées.

Afin de conserver un système en bon état de fonctionnement et de valoriser une technologie nouvelle de collecte, il est prévu de remplacer les appareils mécaniques par le système CHLOE pour les stations les plus éloignées et les plus difficiles d'accès.

L'exploitation des données avec le logiciel HYDROM créé à Montpellier, permettra de constituer un ensemble fonctionnel et opérationnel sur place, et de poursuivre la formation du personnel technicien hydrologue dans le domaine de la gestion informatisée.

Echantillonnage pour mesure suspension et matières dissoutes sur plusieurs fleuves (qualité et quantité), dont prélèvements réguliers sur le SINAMARY et l'OYAPOCK (programme PIRAT). Analyses à Cayenne.

3 MOYENS EN PERSONNEL

Disponible en 1987

- personnel permanent :

Marc LOINTIER,	chercheur
J.C. BRON,	hydrologue
Siméon FRAUMAR,	hydrologue
aides techniques	

- personnel temporaire :

Chaque année, un ou deux stagiaires de l'Université ou d'une école de l'Hydraulique (ENSEEIH par exemple) sont accueillis durant deux à trois mois.

en 1987, Mlle REUILLON Martine, de l'ISIM de Montpellier, a réalisé une mise à jour des données du réseau et présenté un rapport de stage sur les "Régimes hydrologiques en Guyane".

4. OBSERVATIONS

La mise en place d'un atelier de traitement d'images satellite, à l'initiative de M. LOINTIER peut offrir un débouché sur des études cartographiques de l'état de surface des bassins étudiés dans le cadre du réseau hydrométrique. Cette connaissance est très insuffisante pour l'instant si l'on veut poursuivre à l'échelle du Département une caractérisation des grandeurs hydrologiques.

L'intégration de nos mesures au grand Programme PIRAT ouvre par ailleurs le champ de nos recherches à des fructueuses collaborations avec les chercheurs du milieu équatorial sud-américain (Amazone et Orenoque).

II - GRAND PROGRAMME HYDRA

Les actions de ce programme recouvrent d'une part des opérations contractuelles, d'autre part des opérations résultant d'engagements de l'ORSTOM, d'ordre politique ou "moral", qui dépassent largement la gestion de l'UR. Par ailleurs, l'ORSTOM est sensé pallier à l'inexistence de structures adéquates au sein de la DDE ou DDA dans les départements d'Outre-mer... un concours financier annexe étant généralement accordé par les autorités départementales.

Toutes ces opérations ressortent soit des thèmes d'intervention d'une Filiale Hydrologique dont le projet suit son cours, soit d'actions de service du Laboratoire d'Hydrologie. A terme donc, nous estimons que ce grand programme HYDRA doit disparaître au sein de l'UR, et nos demandes pour 1988 correspondent à une mise en extinction progressive de ces programmes, si des budgets extérieurs ne prennent pas le relais de l'ORSTOM.

Dans ce qui suit, seules les implications budgétaires de l'ORSTOM font l'objet d'une fiche.

TRAVAUX SUR CONVENTION

Pour mémoire, divers travaux sur convention ont été rattachés à l'UR 107 :

- convention HYDRONIGER
- convention BENIN
- convention OMM (Togo, Bénin, Côte d'Ivoire)
- Convention "CAREME" en Martinique
- convention RESEAU en Guyane.

A l'exception des deux dernières conventions, les travaux ne se poursuivent plus dans le cadre de l'UR en 1988.

La convention HYDRONIGER, impliquant en particulier N. GUIGUEN au Mali, n'a pas été reconduite en 1987.

La convention BENIN sur le plan du réseau qui a fait suite à celle de la monographie du BENIN n'est pas rattachée à notre UR.

Les conventions OMM (lutte contre l'Onchocercose) ont été rattachées en 1987 aux UR des différents intervenants, même si l'UR a financé sur crédits propres les travaux de valorisation qui en ont découlé (A. GIODA, L. LE BARBE).

RESEAU HYDROMETRIQUE - FICHIERS, SYNTHESE REGIONALE

1. PRESENTATION DU PROGRAMME :

Ce programme d'assistance au réseau martiniquais est confié à l'ORSTOM en attendant une prise en charge par le SRAE qui vient d'être mis en place à Fort de France.

1.1. Réseau Hydrométrique

La gestion du réseau hydrométrique de la Martinique a été confiée à l'ORSTOM car il est apparu souhaitable qu'un seul organisme soit chargé de l'exploitation et de la diffusion de l'ensemble des résultats obtenus. Le réseau peu à peu étoffé englobe également un certain nombre de stations reprises après des études de courte durée ou mises en place à la demande des principaux services intéressés (DDA et DDE).

Sa densité d'ensemble est plutôt satisfaisante et son implantation, représentative des principaux bassins, vient d'être améliorée par la mise en place en juillet dernier d'une station sur la rivière Zumbi dans la presqu'île du Diamant. Deux nouvelles stations restent à installer : l'une sur la côte Centre Caraïbes (rivière du Fond laillet), l'autre sur la côte sud-Atlantique (rivière du François).

Les modalités actuelles de financement laissent à l'ORSTOM une charge très importante pour le personnel, le fonctionnement et l'amortissement du matériel, si on tient compte que n'entre pas dans les fonctions de base de l'Institut la charge d'entretenir et de suivre un réseau hydrologique départemental. Cependant, faute de structure appropriée susceptible de prendre la relève, l'ORSTOM continue à faire le nécessaire au mieux de ses possibilités pour des raisons scientifiques évidentes.

La gestion de ce réseau (une centaine de tournées par an au cours desquelles plus de 300 mesures de débit sont réalisées, plus une vingtaine d'interventions plus ou moins lourdes pour les réfections et aménagements des sections de contrôle) "dévore" une part beaucoup trop importante du potentiel de l'équipe ; 1,65 technicien/an sur les trois que compte la section, et 0,25 chercheur/an, le Centre ne comptant qu'un seul hydrologue.

Malgré cela, la gestion du réseau de la Martinique ne doit pas être considérée comme une action sans finalité scientifique définie à court terme autre que celle d'alimenter une banque de données et de suppléer à l'absence d'un service départemental, mais comme la première phase d'une recherche : la synthèse régionale des ressources en eau de surface géographique de petite taille.

Le traitement et l'analyse de l'ensemble des données antérieures à 1972 a déjà permis l'élaboration d'une première synthèse. Les résultats dégagés et les lacunes qui subsistent dans la connaissance du régime des eaux et des ressources qui en découlent ont conduit à dresser un programme complémentaire d'observations et de mesures visant à améliorer la connaissance générale du régime hydrologique dans les zones négligées jusqu'alors par les études. Une prise en compte de l'information recueillie récemment à partir d'un réseau sensiblement étoffé permettrait de revoir certains conclusions dont l'aspect provisoire avait été signalé. La prise en compte des 15 années d'observations pluviographiques dans le sud de l'île notamment permettra d'infirmier ou de confirmer l'extension spatiale des relations hauteurs-durées-fréquences qui ont été établies pour la zone des "Pitons". De même le tracé des courbes de tarage, précisé par des jaugeages de moyennes et hautes eaux pourrait déterminer une révision de l'analyse des crues et des modules aux principales stations hydrométriques.

L'important travail de réactualisation et de mise à jour est amorcé puisque 44 nouvelles stations années viennent de s'ajouter aux 77 que comportait le premier fichier original pluviographique et qu'une centaine d'autres vont également d'ici peu faire l'objet de ce dépouillement.

1.2. Activités diverses

- A la demande des services départementaux des interventions sont effectuées à l'occasion de problèmes divers tels que alimentation en eau d'une commune ou d'une exploitation agricole, pollution d'un cours d'eau, police des eaux, .

Les résultats de ces interventions font l'objet de communications par notes, lettres ou directement, citons parmi les toutes dernières :

- les crues et inondations de la Lézarde en novembre 1984 (DDE)
- mesures de débits sur la rivière du Galion et le canal de la Sucrierie (DDA)
- mesures de débits sur la rivière Pocquet et les divers canaux (DDA)
- estimation du module et de l'étiage médian de la rivière Grande Anse au Quartier Macédoine (DDA-AFME).
- Nombreux contacts et demandes de renseignements de la part des bureaux d'études et de sociétés d'aménagement (BCEOM, LCHF, BECAR, SOGREAH, CONTRAITES...).
- Contacts suivis avec le service Hydraulique et Forestier de la DDA, l'arrondissement spécial mixte de la DDE, le BRGM, la METEO...

L'ensemble de ces travaux est conduit par M. MOBECHÉ (chercheur) avec l'assistance de MM. JUBENOT, ADELE et TOTILA.

CONCLUSION :

Une fois clarifiées les relations de type assistance au réseau du SRAE et dégagés les moyens en personnel, on peut souhaiter une orientation du Programme MARTINIQUE sur les travaux de synthèse annoncés (G.P. EQUERRE).

GESTION ET RATIONALISATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE TOGOLAIS

Responsable : A. BADER (a démissionné de l'UR 107).

1. PRESENTATION DU PROGRAMME**1.1. Justification, objectifs, produits attendus**

En 1972, l'ORSTOM s'est engagé par convention à gérer une partie du réseau hydrométrique togolais. Cette convention toujours en vigueur, renouvelable annuellement par tacite reconduction, prévoyait la reprise en charge progressive des stations de l'ORSTOM par la Direction de l'Hydraulique togolaise. Depuis l'avenant de 1973, l'ORSTOM gère officiellement 22 stations hydrométriques mais assure dans les faits les mesures de débits sur l'ensemble des stations. Vu ses faibles ressources et le coût élevé d'exploitation du réseau, la D.H. ne peut faire face à ses obligations.

Afin de débloquer la situation et décharger l'ORSTOM de la gestion du réseau togolais, il a été décidé de rationaliser et moderniser celui-ci afin d'en réduire le coût d'exploitation et d'en permettre la reprise en charge intégrale par la D.H. Les travaux prévus à cet effet sont donc les suivants :

1.2. Liste des opérations prévues

- Mise à jour et vérification des fichiers HYDROM du Togo sur notre ordinateur à Lomé.
- Présentation avant septembre 87 d'une demande de financement FAC pour réaliser l'automatisation du réseau de mesures, l'informatisation et la décentralisation du service hydrologique de la D.H. ainsi que la formation de son personnel.
- Etude de rationalisation du réseau togolais, visant à diminuer au moins de moitié le nombre de stations.
- Poursuite des travaux de gestion du réseau en attendant la prise en charge complète par la D.H.

2. DESCRIPTION DES TRAVAUX ET COLLABORATIONS**2.1. Etat d'avancement à la mi-87**

- Compte tenu des crédits dont nous disposons, nous avons réduit cette année la fréquence des tournées sur le réseau à une fois tous les deux mois.
- Fin juin, la saisie des données limnimétriques du Togo avec HYDROM est pratiquement à jour.
- Un programme de calcul de corrélation interstation est en cours d'écriture. Il sera utilisé dans l'étude de rationalisation du réseau, ainsi que le rapport de M. SAKHO sur la détermination des zones hydrologiques homogènes du bassin de la Volta.
- Un avant projet sur la rationalisation et l'automatisation du réseau, la décentralisation et l'informatisation des services de la division hydrologie de la D.H., a d'ores et déjà été présenté (en avril) au FAC et au Chef de la Division d'Hydrologie. Un projet chiffré doit maintenant être préparé pour la demande de financement au FAC.

2.2. Opérations prévues en 1988

- Présentation des résultats obtenus dans l'étude de rationalisation du réseau et proposition d'un plan d'équipement.
- En attendant la réalisation du projet sus-mentionné visant à remettre la gestion intégrale du réseau entre les mains de la D.H., poursuite de la gestion des stations ORSTOM et remise à jour des fichiers HYDROM avec les données de 1987.

3. MOYEN EN PERSONNEL

BADER, chercheur,
MAILHAC, technicien
BOREL, technicien
1 VSN
et aides techniques togolaises

Grand Programme **HYDRA**

Programme **CONGO**

En assistance complémentaire à la subvention congolaise destinée à la maintenance du Réseau hydrométrique l'UR 107 participe symboliquement à ce programme dont la reprise totale par le CONGO pourrait se faire dans le cadre d'un projet OMM.

RESEAU HYDROMETRIQUE DU CONGO

Responsable : Bienvenu MAZIEZOULA

1. PRESENTATION DU PROGRAMME

Entretien de réseau (tournées), collecte des données et publications d'annuaires.

2. MOYEN EN PERSONNEL

MAZIEZOULA {
BAMBA { Chercheurs associés
MOUKOLO {

3. CONCLUSION

Il serait souhaitable que ces chercheurs dépassent le cadre "réseau" pour aborder celui de la "synthèse" en particulier sur le bassin du Niari.

ASSISTANCE EN TELETRANSMISSION A LA DNAE

Responsable : J. CALLEDE.

1. PRESENTATION DU PROGRAMME

Mises au point technologiques de balises d'émission dans le système ARGOS ou adaptations.

Equipement de stations de télétransmission sur le bassin amazonien. Station de réception à Brasilia.

Formation de techniciens.

2 CONCLUSION

Le programme est arrivé à son terme ou sera revu dans un autre contexte.

6. VALORISATION : PARTICIPATION A DES COLLOQUES ET ENSEIGNEMENT

6.1. PARTICIPATION A DES COLLOQUES

L'UR 107 a été présente dans un grand nombre de manifestations scientifiques régionales, nationales et internationales et généralement pour une présentation des communications.

On a notamment participé à :

- Conférence de l'UNESCO sur le PHI en Amérique du Sud Brasilia - 1983
- Colloque sur la Météorologie de l'hémisphère Sude INPE San José Brésil - 1983
- Colloque sur les Isotopes en Hydrologie AIEA Vienne - 1983
- Colloque de l'AUELF sur les Barrages en terre Thies Sénégal - 1983
- Colloque de l'ISE - Dakar Sénégal - 1983
- Xème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Bordeaux - 1984
- Symposium sur l'érosion EAHS Harace. Zimbabwe. AISH - 1984
- Colloque sur la Sécheresse en Afrique et Programme WAMEX/OMM - Dakar 1984
- Symposium AISH - Hambourg - 1984
- Séminaire Climat et Développement Bondy France - 1985
- Journées Spatiales franco-vénézuéliennes Caracas - 1985
- Table Ronde sur les barrages anti-sel Ziguinchor Sénégal - 1985
- 2ème Rencontres Internationales d'Agropolis - Eau et Technologie avancée - 1985
- 2nd Scientific Assembly of IAHS Budapest - 1986
- Symposium de la investigación francesa en Bolivia La Paz - 1986
- XIXèmes Journées de l'hydraulique de la S.M.F. Paris - 1986
- Séminaire ISRA sur la Casamance Ziguinchor Sénégal - 1986
- Symposium "changements globaux en Afrique" INQUA Dakar - 1986
- Colloque Nordeste-Sahel IFAL/ORSTOM Paris - 1986
- Journées Hydrologiques de Strasbourg "crues et inondations CNFG - 1986
- Colloque CIEH, Ouagadougou - Burkina Faso - 1986
- Colloque Bassins Versants Représentatifs SF de l'AISH Aix - 1986
- 2èmes Journées Hydrologiques ORSTOM Montpellier - 1986
- Colloque Paléolacs - Paléoclimats Bondy France - 1987
- XIXème Assemblée Générale de l'UGGI, Symposium AISH Vancouver - 1987

- Journées ARGOS Toulouse - 1987
- 3èmes Journées Hydrologiques ORSTOM Montpellier - 1987
- Table Ronde sur l'Erosion en régions méditerranéennes CEM Poitiers - 1987
- Journées Hydrologiques du CNFG - Qualité des eaux et pollution Thonon - 1987.

6.2. ENSEIGNEMENT

Chaque équipe a, ou eu, en charge des tâches d'enseignement et de formation, soit sous forme de cours réguliers dans un cycle d'études déterminé, soit sous forme de conférences en complément de ces formations ou dans des stages spécialisés.

On relève notamment :

- Au Sénégal, les tâches d'enseignement à l'Institut des Sciences de d'Environnement, au Département de Géographie et de Géologie de l'Université de Dakar, à l'INDR - Génie Rural et à l'école Polytechnique de Thies.
- En Bolivie, tâches d'enseignement à l'Université Majeure de San Andrés.
- En France, tâches d'enseignement à l'USTL de Montpellier (D.U., DEUST, DEA)

Des conférences ont été données dans le cadre d'un cours de l'OTAN, du CEFIGRE à Sofia Antipolis, à l'Université de Strasbourg (Géologie), de Poitiers, d'Angers (Géologie).

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE DES TRAVAUX REALISES DANS LE CADRE
DE L'UR 107 DE 1983 A 1987 (1)

(1) Remarque :

Cette liste est donnée par ordre alphabétique ; elle n'est certainement pas exhaustive et nous nous en excusons auprès des auteurs et de ceux que nous aurons oublié. Les publications indiquées ne concernent qu'une partie de leurs travaux (publiés par ailleurs sur une thématique différente). Trois catégories de travaux ont été identifiées et sont signalées comme suit :

XXX : ouvrages, articles scientifiques, communications à des colloques , thèses françaises

XX : rapports sur convention extérieure, mémoires universitaires français et étrangers.

X : notes et rapports internes où à diffusion récente (multigraphiés) -

Ce classement ne suppose aucun jugement de valeur des travaux cités ni sur le fond ni sur la forme.

- X ABASTO (N) HOORELBECKE (R), ROCHE (MA), et al - 1985** - Caractéristiques y calibracion de la red hidrométrica PHICAB en la cuenca amazonica de Bolivia. PHICAB : SENAMHI - ORSTOM, 120 p. La Paz.
- ABASTO (N), HOORELBELKE (R), ROCHE (MA), RUBIN DE CELIS (L) -1985** - Alturas de agua y caudales, limnigramas y hidrogramas de la red hidrométrica PHICAB en la cuenca amazonica de Bolivia. PHICAB : SENAMHI - ORSTOM, 70 p. La Paz.
- XXX G. ALMEIDA, G. DE NONI, JF. NOUVELOT, G. TRUJILLO, A. WINCKELL - 1983** - carte des principaux processus d'érosion en Equateur - Echelle : 1/1.000.000 - 2 couleurs + notice explicative (15 pages) Quito.
- X ANONYME - 1986** - "Annales hydrologiques de la RPB de la création des stations à 1976". Tome I, II et III - ORSTOM.
- X ANONYME - 1986** - "Annales hydrologiques de la RPB de l'année 1977 à 1984". ORSTOM.
- ANONYME - 1986** - "Anales hydrologiques du TOGO de l'année 1980 à l'année 1982". ORSTOM.
- X APOTEKER (A), ROCHE (MA), RUBIN DE CELIS (L) - 1985** - Programas informaticos para el procesamiento de datos de conductividad de agua, PHICAB. Goupil 3 Flex 9 Basic 8 ploter. PHICAB : SENAMHI - ORSTOM, 21 p. La Paz.
- X BADER (JC) - 1986** - Annuaire hydrologique du Togo. 1985.
- XX BAMBA (B.S) - 1985** - Première approche de la physico-chimie des eaux interstitielles des sédiments du lac de Guiers (Sénégal). Mémoire D.E.A., Univ. de Dakar.
- X BOUCHEZ (J.M.) - 1986** - Rapport de mission effectuée en GAMBIE ; inventaire et collecte des données hydrologiques, visite des stations hydrométriques. ORSTOM DAKAR
- X BOUCHEZ (J.M.) - 1987** - Monographie du fleuve Gambie, GUINEE - Travaux de terrain, missions. ORSTOM DAKAR.
- X BOURGES (J.) - 1986** - Type d'organisation d'un service hydrologique (Côte d'Ivoire) ORSTOM Montpellier.
- X BOURGES (J.) - 1987** - Projet de Cachuela - Etude sommaire des apports - PHICAB La Paz.
- XX BOURGES (J.), CORTES (R.), HOORELBECKE (R.) - 1987** - Etude des débits du Mamore à Guayaramerin - PHICAB - SENAMHI - ORSTOM - La Paz.
- XX BUFALO (M.) - 1987** - Géologie et géochimie du bassin versant représentatif expérimental (BVRE) de St Genis (Htes Alpes) - Groupe BRGM - ORSTOM.
- X BRICQUET (J.P.) - 1987** - Mesure des matières en suspension, le Congo à Brazzaville. ORSTOM BRAZZAVILLE.
- XXX CALLEDE (J.) - 1987** - Installation d'un réseau de transmission par satellite des hauteurs d'eau de l'Amazonie et de ses affluents. DNAEE - ORSTOM Brasilia.
- XX CARN (M.) - 1985** - Etude expérimentale de l'évolution chimique des eaux du lac de Guiers concentrées par évaporation. Mémoire D.E.A. Univ. de Dakar.
- X CHOURET (A.), BERTHAULT (C.), PEPIN (Y.) - 1986** - Persistance de la sécheresse au Sahel - Etude de stations hydropluviométriques de longue durée au Mali - Année 1985 - ORSTOM / DHE Bamako.

- XX CLAUDE (J.), LOINTIER (M.), GUALDE (R.) - 1983 - a,b et LAMACHERE (J.M.) - 1984 -a,b**
Etudes hydrologiques des plaines de Niema Dionkele et Foullasso-Lelasso.
Tome 3 - Rapport de la campagne 1982 - 147 p.
Tome 4 - Station météorologique de N'Dorola - Observations de 1985 - 88 p.
Tome 5 - Rapport de campagne 1983 - 123 p.
Tome 6 - Station météorologique de N'Dorola - Observations de 1983
ORSTOM - OUAGADOUGOU.
- XXX COGELS (F.X.), GAC (J.Y.) - 1983 -** Circulation et salinité des eaux du lac de Guiers : problèmes de développement et modèle de gestion. Coll. de l'I.S.E, Dakar, 9-11 mai 1983, pp. 25-40.
- XXX COGELS (F.X.), GAC (J.Y.) - 1983 -** La chlorinité des eaux du lac de Guiers, bilan quantitatif, qualitatif et perspectives. Coll. de l'I.S.E, "Problématique régionale d'environnement et de développement sahéliens", Dakar, 9-11 mai 1983, pp. 41-58.
- XXX COGELS (F.X.) - 1984 -** Etude limnologique d'un lac sahélien : le lac de Guiers au Sénégal. Thèse doctorat d'état, F.U.L Arlon, (Belgique).
- XXX COGELS (F.X.), GAC (J.Y.) - 1984 -** Evolution hydrogéochimique du lac de Guiers (Sénégal) au cours de la sécheresse au Sahel. Xème RAST, Bordeaux, p. 141.
- XXX COLOMBANI (J.), OLIVRY (J.C.), KALLER (R) - 1984 -** Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride.
Proceeding of the Symposium - EAHS Publ.n° 144, pp. 299-300. Harare.
- XXX COSANDEY (C.), OLIVRY (J.C.) - 1986 -** Matières dissoutes dans les eaux de surface - Bilans - Mécanismes de mobilisation et de transfert. In Annales du C.N.F.G.G., volume 5.
- X DACOSTA (H.) - 1985 -** Essai d'extention des échantillons de débits mensuels et annuels du fleuve Gambie. ORSTOM Montpellier.
- XX DACOSTA (H.) - 1986 -** Pluie et écoulement sur le bassin de la Casamance - DEA Lab. de Géographie Physique - Univ. Paris I.
- X DEL POSSO (G.), DE NONI (G.), NOUVELOT (JF) - 1983 -** Diagnostico de los procesos erosivos, sus causas y riesgo en base al uso de la informacion del inventario de recursos naturales renovables : un ejemplo en la sierra ecuatoriana - 8 pages et deux cartes. Quito.
- X DE NONI (G.), NOUVELOT (J.F.) - 1983 -** Los principales procesos erosivos en Ecuador - 11 pages et une carte. Quito.
- X DE NONI (G.), NOUVELOT (J.F.), TRUJILLO (G.) - 1983 -** Estudio cuantitativo de la erosion con fines de proteccion de los suelos: las parcelas de ALANGASI e ILALO - 16 pages et 11 graphiques. Quito.
- X DE NONI (G.), NOUVELOT (J.F.), TRUJILLO (G.) - 1983 -** Erosion and conservation of volcanic ash soil in the highlands of Ecuador : a case of study - 10 pages - 4 graphiques. Quito.
- XX DESCONNETS (J.C.) - 1987 -** Contribution à l'étude des ressources souterraines dans l'île de Sao Nicolau - Mémoire de licence, Univ. d'Avignon.
- XXX DESCROIX (L.) - 1985 -** Contribution à l'étude de la dynamique érosive dans les Baronnies orientales et les pays du Buech moyen : problèmes d'aménagement. Thèse 3ème cycle - Univ. Lyon II.

- X DESCROIX (L.) - 1986** - Projet de 1ère partie pour la monographie hydrologique du bassin du fleuve Gambie. ORSTOM Dakar.
- XX ESPINOZA (O.F.) - 1985** - Balance hidrico superficial de la cuenca del Rio Beni. PHICAB : SENAMHI-ORSTOM-IHH Tesis UMSA, 181 p. La Paz.
- XXX FRITSCH (J.M.) - 1983** - Evolution des écoulements et des transports solides après défrichement mécanisé de la forêt tropicale humide. in : Hydrology of humid tropical regions. Pub. IAHS n° 140., p. 197-214.
- XX FRITSCH (J.M.) - 1984** - Rapport au Comité National Français pour le Programme Hydrologique International de l'UNESCO - Région Guyane Française. ORSTOM, Cayenne, mult., 26 p., 5 fig.
- XX FRITSCH (J.M.) - 1984** - Etude d'impact de l'aménagement de Petit-Saut sur le Sinnamary : Les Transports Solides. ORSTOM - EDF, Cayenne, juin 1984, mult., 41 p.
- X FRITSCH (J.M.) - 1984** - Données hydro-climatologiques pour le dimensionnement des ouvrages de la route de Petit-Saut. ORSTOM Cayenne, octobre 1984, mult., 10 p.
- X FRITSCH (J.M.) - 1985** - Estimation des crues de projet et de chantier à Petit-Saut. (Compléments au rapport de janvier 1982) ORSTOM -EDF, Cayenne, janvier 1985, mult. 6 p.
- X FRITSCH (J.M.) - 1985** - Etude d'impact de l'aménagement de Petit-Saut sur le Sinnamary : Les Etiages. ORSTOM - EDF, Cayenne mars 1985, mult., 20 p., 10 fig., + annexes 17 p.
- X FRITSCH (J.M.) - 1986** - Projet MAD - Mesure Automatisée des Débits. Cahier des charges pour la réalisation d'un automate à microprocesseur pour l'automatisation des jaugeages par la méthode du canot mobile. ORSTOM, Cayenne, juillet 1986, mult. 22 p., annexes.
- X FRITSCH (J.M.) - 1986** - Rapport de fin de recherche d'un programme financé par la commission CORDET. Programme B 26 - Acquisition et télétransmission de données hydrologiques en mangroves et marais côtiers en Guyane Française. ORSTOM, Cayenne, septembre 1986.
- XXX FRITSCH (J.M.) - 1986** - ARGOS et CHLOE - Etude hydrologique des marais côtiers en Guyane. In : ORSTOM Actualités n° 12, janv.- fév. - mars 1986.
- XXX FRITSCH (J.M.) - 1986** - L'augmentation du ruissellement après défrichement mécanisé de la forêt amazonienne. Comptes-rendus des XIXèmes journées de l'hydraulique, Paris, sept. 1986. Société hydrotechnique de France. question 1-8.
- XXX FRITSCH (J.M.), SARRAILH (J.M) - 1986** - Les transports solides dans l'écosystème forestier tropical humide guyanais. Effets du défrichement et de l'aménagement de pâturages. Cah. ORSTOM, série Pédologie, Vol. XXII, p. 93-106.
- XXX FRITSCH (J.M.) - 1987** - Ecoulements et érosion sous prairies artificielles après défrichement de la forêt tropicale humide in : proceedings of IAHS Symposium on Forest Hydrology and Watershed Management. XIXème assemblée générale de l'UGGI, Vancouver, 9-22 août 1987.
- XXX GAC (J.Y.), COGELS (F.X.) - 1983** - Aménagements et évolution hydrogéochimiques du lac de Guiers depuis 1916. Colloque de l'AUELF, "Barrages en terre et développement des zones rurales en Afrique. Thiès Sénégal, 11-16 avril 1983, 18 p.
- XXX GAC (J.Y.) - 1983** - La chloronité des eaux du lac de Guiers : bilan quantitatif, qualitatif et perspectives futures (en coll. avec F.X. COGELS). Colloque de l'ISE sur le lac de Guiers,

problématique régionale d'environnement et de développement sahéliens. Dakar, 9 au 11 mai 1983, pp. 41-58.

- XXX GAC (J.Y.) - 1983** - Circulation et salinité des eaux du lac de Guiers. Problèmes de développement et modèles de gestion (en coll. avec F.X. COGELS). Colloque de l'ISE sur le lac de Guiers : Problématique régionale d'environnement et de développement sahéliens, Dakar, 9 au 11 mai 1983, pp. 25-40.
- XX GAC (J.Y.) - 1983** - Note technique sur le lac de Guiers (en coll. avec F.X. COGELS). Rapport réalisé à la demande du ministère de la recherche pour être transmis au Président de la République du Sénégal, 2 p. aux ministres du développement rural, de l'hydraulique et du développement industriel du Sénégal.
- XXX GAC (J.Y.) - 1984** - Evolution hydrogéochimique du lac de Guiers (Sénégal) au cours de la sécheresse actuelle au Sahel (en coll. avec F.X. COGELS). Xème réunion annuelle des Sciences de la Terre, 2-6 avril 1984, Bordeaux, p. 241.
- XXX GAC (J.Y.) - 1984** - Etude quantitative et qualitative des poussières atmosphériques en provenance du Sahara entre Dakar et Nouakchott (en coll. avec F.X. COGELS). Xème réunion annuelle des Sciences de la Terre, 2-6 avril 1984. Bordeaux, p. 237.
- XXX GAC (J.Y.) - 1984** - Persistance de la sécheresse au Sahel : Invasion marine exceptionnelle dans la vallée du Fleuve Sénégal (en coll. avec J.L. SAOS, A.KANE et M. CARN). Xème réunion des Sciences de la Terre, 2-6 avril 1984. Bordeaux, p.499.
- X GAC (J.Y.) - 1984** - L'après barrage au Sénégal : Gestion future (quantitative, qualitative) des eaux du lac de Guiers (en coll. avec F.X. COGELS). Rapport ORSTOM, multigr. Dakar, 23 p.
- XXX GAC (J.Y.) - 1984** - Tropical Peats : hydrogeologic and climatic control (en coll. avec H. FAURE et al.). In climatis changes on a yearly to millenial basis, Mörner and Karlen (Eds), Reidel, p. 201-203.
- XXX GAC (J.Y.) - 1985** - Le phénomène des brumes sèches au Sénégal en 1984 et 1985. Bull. Veille climatique satellitaire, n° 7, C.M.S. Lannion, 31-35.
- X GAC (J.Y.), CARN (M.), BAMBA (B.S.) - 1985** - Etude préliminaire de la physico-chimie des eaux interstitielles des sédiments du lac de Guiers (Sénégal). Rapport ORSTOM, Dakar, 48 p.
- XXX GAC (J.Y.), KANE (A.), SAOS (J.L.), CARN (M.), VILLENEUVE (J.E.) - 1985** - L'invasion marine dans la basse vallée du Fleuve Sénégal. Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol., 64 p.
- XXX GAC (J.Y.), KANE (A.) 1985**- Les flux continentaux dissous et particuliers à l'embouchure du Sénégal - Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol., 82 p.
- XXX GAC (J.Y.), TRAVI (Y.), FONTES (J.C.) - 1985** - Etude préliminaire de la composition chimique et isotopique des pluies au Sénégal - Cah. ORSTOM, sér. Géol. Dakar, sous presse.
- XXX GAC (J.Y.), KANE (A.) - 1986** - Le fleuve Sénégal. I- Bilan hydrologique et flux continentaux de matières particulières à l'embouchure. Sciences Géologiques, 39, 1, 32 p.
- XXX GAC (J.Y.), KANE (A.) - 1986** - Le fleuve Sénégal II - Flux continentaux de matières dissoutes à l'embouchure. Sciences Géologiques, 39, 2, 22 p.
- XXX GAC (J.Y.), CARN (M.), SAOS (J.L.) - 1986** - L'invasion marine dans la basse vallée du fleuve Sénégal. Revue d'Hydrobiologie Tropicale, 64 p.

- XXX GAC (J.Y.), COGELS (F.X.) - 1986** - Evolution spatio-temporelle de la physico-chimie des eaux du lac de Guiers (Sénégal). Géodynamique, 17 p.
- XXX GAC (J.Y.), COGELS (F.X.) - 1986** - Le lac de Guiers : l'environnement actuel et essai d'évaluation des effets futurs des aménagements de la vallée du fleuve Sénégal. Water Quality Bull., (sous presse).
- XXX GAC (J.Y.), TRAVI (Y.), FONTES (J.C.) - 1986** - Composition chimique et isotopique des eaux de pluie du Sénégal. Géodynamique.
- XX GALLAIRE (R.) - 1986** - Le Niger à KANDADJI. Synthèse des études MHE-DRE / ORSTOM Niamey.
- XX GARCIA (WA) - 1985** - Balance hidrico superficial de la cuenca del Rio Mamore. PHICAB : SENAMHI-ORSTOM-IHH Tesis UMSA, 110 p. La Paz.
- X GUIGUEN (N.)** Rapports de mission - Projet HYDRONIGER, ORSTOM BAMAKO.
- X GUIGUEN (N.) - 1987** - Un réseau de télétransmission en Afrique, l'expérience HYDRONIGER ORSTOM - BAMAKO.
- X GUYOT (J.L.), CALLE (H.), CALLE (M.), QUINTANILLA (J.) - 1987** - Résultats d'une campagne d'échantillonnage en basses eaux en Amazonie Bolivienne en août-septembre 1986. PHICAB (SENAMHI ORSTOM).
- XXX GUYOT (J.L.) - 1986** - Evolucion en el espacio y el tiempo de las concentraciones de materia en solucion y en suspencion de las aguas de la cuenca amazonica de Bolivia in Actas des 1er Symposium de la investigacion francesa en Bolivie. La Paz.
- X GUZMAN (WD.), ROCHE (MA) - 1985** - Programas de analisis pluviométricos (consistencia de datos mensuales para 50 estaciones, hietogramas mensuales de series de 30 anos, analisis mensuales de la estacion seca y humeda para series mensuales de 30 anos). Flex 9 BASIC GOUPIL 8 ploter. PHICAB : SEMANHI-ORSTOM-IHH, 24 p.
- X HOEPFFNER (M.), MORELL (M.) et al. - 1983** - Inventaire des ressources en eau de surface. Etude de basses eaux de la Côte au Vent de la Basse-Terre. Campagne 1982. ORSTOM Pointe à Pitre. Campagne 1983. 1984. ORSTOM Pointe à Pitre.
- X HOEPFFNER (M.), MORELL (M.) et al. - 1984** - Inventaire des ressources en eau de surface de la Basse-Terre. Mesure des étiages. Campagne 1983. ORSTOM Pointe à Pitre. 11 p. multig., 14 tab., 7 fig.
- X HOEPFFNER (M.), MORELL (M.) et al. - 1984** - Inventaire des ressources en eau de surface de la Basse-Terre. Années 1979 à 1982. Rapport de synthèse. ORSTOM Pointe à Pitre. 73 p. multig., 32 fig., 90 tabl.
- X HOEPFFNER (M.), MORELL (M.), PETARD(J.) et CALVEZ (R.) - 1984** - Etude de l'écosystème du Grand Cul de Sac marin. Dynamique des eaux estuariennes de la Grande Rivière à Goyaves. Rapport intérimaire. ORSTOM Pointe à Pitre. 5 p. multig.
- X HOORELBECK (J.) - 1986** - Compte-rendu des travaux et observations 85-86. Groupe d'étude BRGM-ORSTOM, Projet Erosion Bassins Versants PACA.
- X HOORELBECK (J.), FANTHOU (T.), MARQUET (A.) - 1986** - Présentation des bassins. La pluviométrie de 1984 à 1987. Groupe d'étude BRGM-ORSTOM, Projet Erosion BVRE de Moyenne-Durance.

- XX HOORELBECK (J.) - 1987** - Données pluviométriques recueillies sur les bassins du Projet PACA (hauteurs de précipitations et intensités 1984-1986).
- XXX KANE (A.) - 1985** - Le bassin du Sénégal à son embouchure. Flux continentaux dissous et particuliers, invasion marine dans la vallée du fleuve. Thèse 3ème cycle - Univ. Nancy II.
- XX LAMACHERE (J.M.) - 1984** - Etude hydrologique des plaines de Niena Dionkele et Foullasso-Lelasso - Rapport définitif - Tome 7, 171 p. Tome 8, 216 p. ORSTOM-OUAGADOUGOU.
- XXX LAMAGAT (J.P.) - LOYER (J.Y.) - 1985** - Typologie des bassins - Versants en Casamance - In Tables Ronde sur les barrages antisels. ORSTOM DAKAR.
- X LE BARBE (L.) - DELFIEU (G.) - 1984** - Etude hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'Onchocercose. Projet pilote télétransmission des données hydrologiques - Rapport de campagne 1984.
- XX LE BARBE (L.) - BADER (J.C.), DELFIEU (G.) - 1985** - Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'Onchocercose. Projet pilote télétransmission des données hydrologiques - Rapport définitif.
- XX LE BARBE (L.) - 1985** - Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'Onchocercose. Etude expérimentale de la propagation des insecticides dans les rivières. Rapports de campagne 1984-1985, 85-86.
- XXX LE BARBE (L.) - 1985** - Acquisition et télétransmission des données hydrologiques, suivi de traitements automatiques en temps réel dans le cadre du projet OMS du lutte contre l'Onchocercose. 2ème rencontre internationale d'AGROPOLIS : Eau et Technologie avancées. Montpellier, octobre 1985.
- X LE BARBE (L.) - 1986** - Propositions pour l'amélioration du réseau hydrométrique béninois et de son mode d'exploitation. 1986 - ORSTOM Montpellier.
- XX LE BARBE (L.), GIODA (A.), DELFIEU (G.), WOME (K.A.) - 1987** - Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'Onchocercose. Etude expérimentale de la propagation des insecticides dans les rivières. Rapport définitif.
- XX L'HOSTIS (G.) - 1987** - Variabilité des précipitations dans la région du Mont-Cameroun et mécanisme de la mousson. Mémoire DEA - Univ. Paris XI.
- XXX LO (H.M.) - 1984** - Le bassin de la Gambie en amont de Goulombou, contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviale en domaine tropical humide africain. Thèse 3ème cycle, Univ. Nancy II.
- X LOINTIER (M.) - 1984** - Dynamique des eaux et de l'intrusion saline dans l'estuaire du SINNAMARY. ORSTOM Cayenne, octobre 1984, 90 p.
- XX LOZODA (G.A.) - 1985** - Balance hidrico superficial de la cuenca del Lago Titicaca. PHICAB - SENAMHI-ORSTOM-IHH. Tesis UMSA, 158 p.
- XX MAHE (G.) - 1987** - Etude de la variabilité des apports hydriques continentaux dans le golfe de Guinée en liaison avec son hydrologie océanique de surface. Mémoire DEA, 102 p. + annexes - Univ. Paris XI ORSTOM Montpellier.
- XX MARIACA (J.J.) - 1985** - Balance hidrico superficial de la cuenca del lago Poopo y los salares de Uyuni y Coipasa - Bolivia - PHICAB : SENAMHI-ORSTOM-IHH. Tesis UMSA 203 p. La Paz.

- XX MARQUET (A.), FANTOU (T.) - 1987** - Erosion des terres noires des pays du Buech et de la moyenne Durance. Mémoire de maîtrise - Univ. Paris III.
- XXX MEYBECK (M.), CAUWET (G.), GAC (J.Y.) - 1986** - Geochemistry of the Sahelian Gambia River during the 1983 high-water stages. Mitt. Geol. Palaont. Inst., Hambourg, 38, 20 p.
- XXX MILLET (B.) - 1983 - a** - Etude de quelques caractéristiques hydrologiques et hydrochimiques du système lagunaire du lac Togo. Année 1981 et 1982. Article Bull de liaison CIEH, n° 52 spécial "lagunes", 15 p.
- X MILLET (B.) 1983 - b** - Etude de quelques caractéristiques hydrologiques et hydrochimiques du système lagunaire du lac Togo. Année 1981 et 1982. Rapport ORSTOM, LOME, 143 p.
- XXX MILLET (B.) - 1983 - c** - Les lagunes du Togo : La synthèse lagunaire du lac Togo "Directory Scope sur les milieux aquatiques africaines. Chap. 3.1.3.
- XXX MILLET (B.) - 1983 - a** - Etude hydrologique d'un petit milieu lagunaire tropical : le lac Togo - article Cahiers ORSTOM - Série Hydrologie.
- XXX MILLET (B.) - 1983 - b** - Hydrologie et Hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical : le lac Togo. Thèse 3ème cycle - Univ. Paris Sud - Centre d'Orsay - N° Enreg. 3676.
- X MILLET (B.) - 1983 - c** - Etude hydrologique du lac Togo. Recueil de données 1981 - 1984. Rapport ORSTOM Lomé, 50 p.
- XXX MILLET (B.), OLIVRY (J.C.), LE TROQUER (Y.) - 1986** - Etude du fonctionnement hydrologique de la Casamance maritime. Proceeding Séminaire ISRA. Casamance - Ziguinchor.
- X MOBECHÉ (J.P.), JUBENOT (A.), ADELE (G.) - 1986** - Estimation du volume des apports annuels du bassin versant de la rivière Zumbi vers la cote 45 - ORSTOM Martinique.
- XX MOBECHÉ (J.P.), JUBENOT (A.), ADELE (G.)** - Débits d'étiage des cours d'eau de la Martinique. ORSTOM Fort de France. Carême 1981 - mars 1983. Carême 1982 - avril 1983. Carême 1983 - avril 1984. Carême 1984 - avril 1986. Carême 1985 - mai 1987.
- XX MORELL (M.), HOEPFFNER (M.) - 1986** - Dynamique et qualité des eaux dans l'estuaire de la Grande Rivière à Gayaves. ORSTOM Pointe à Pitre.
- X NAAH (E.) - 1986** - Hydrologie du Grand Yaéré et de ses tributaires. Rapport de campagne. IRGM-MESRES, YAOUNDE.
- X OLIVRY (J.C.) - 1983** - Etude du ruissellement et de l'érosion sur les bassins représentatifs et parcelles paysannes dans la région de Thyssé-Kaymor (Siné-Saloum)- Présentation du programme et cadre des études. ORSTOM, Dakar, 17 p.
- XX OLIVRY (J.C.) - 1983** - Aménagement de la plaine du Dirol, près de Kaédi (Mauritanie)- Le contexte Hydrologique. ORSTOM-UDSAID, Dakar.
- XX OLIVRY (J.C.) - 1983** - Définition des principaux aspects d'un projet "Monographie hydrologique du fleuve Gambie et modèle de prévisions". ORSTOM-OMVG, Dakar.
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1983** - Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert - Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cahiers ORSTOM, Vol. XX n°1, p. 47-70, Paris.

- XX OLIVRY (J.C.) - 1983 - Evaluation des données hydrologiques et météorologiques disponibles sur le bassin du fleuve Gambie - Rapport préliminaire. ORSTOM Dakar, 91 p.**
- X OLIVRY (J.C.) -1983 - Contribution de la prévision en hydrologie à l'éventuelle maîtrise des ressources déficitaires du fleuve Sénégal pour la saison sèche 1983-1984. (Un projet de barrage provisoire et les estimations hydrologiques). ORSTOM Dakar, 9 p.**
- X OLIVRY (J.C.), FLORY (J.) - 1983 - Variation des vitesses maximales du flot sur le bief maritime de la Casamance. ORSTOM Dakar, 6 p. + 3 fig.**
- X OLIVRY (J.C.), DACOSTA (H.) - 1983 - Le Marigot de Baïla (Casamance) - Bilan des apports hydriques et évolution de la salinité. (Résultats des campagnes 1980, 1981, 1982). ORSTOM Dakar.**
- X OLIVRY (J.C.), DACOSTA (H.), FLORY (J.) - 1984 - Etudes hydrologiques dans la région de Thyse-Kaymor (Siné-Saloum)- Résultats de la campagne 1983 - Rapport provisoire. ORSTOM-ISRA-IRAT, Dakar, 32 p.**
- X OLIVRY (J.C.) - 1984 - Mission de reconnaissance en Basse Casamance - Possibilités de mesures hydrométriques sur le bassin de la Vallée de Bouret (région des Kalounayes). ORSTOM Dakar, 4 p.**
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1984 - Régimes hydrologiques des fleuves et rivières du Cameroun. 3 tomes : - Tome I : Généralités - études hydrologiques du Nyong et des fleuves cotiers.- Tome II : Etudes hydrologiques des autres bassins au sud de l'Adamaoua - Etudes hydrologiques du Nord Cameroun. - Tome III : Conclusions - Annexes. 19 pages d'introduction. 1245 p. + 132 annexes 1 carte orohydrographique couleur et 1 carte géologique hors texte. Thèse de Doctorat d'Etat - Académie de Montpellier - Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc.**
- X OLIVRY (J.C.) - 1984 - Mesures hydrologiques en Casamance maritime. ORSTOM Dakar, 5 p.**
- XX OLIVRY (J.C.) - 1984 - Initiation à l'hydrologie appliquée au développement rural dans les régions intertropicales - (Cours donné à l'INDR - Génie Rural THIES - Sénégal). Dakar, 90 p.**
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1985 - L'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert. Séminaire climat et développement. Edition ORSTOM.**
- XX OLIVRY (J.C.), HOORELBECK (J.) - 1985 - Mesure et évaluation de l'érosion et des transports solides sur bassins versants des terres noires de la région PACA. Compte rendu des travaux réalisés en 1984. BRGM-ORSTOM Montpellier.**
- X OLIVRY (J.C.), FLORY (J.) - 1985 - Etudes hydrologiques dans la région de Thyse-Kaymor, campagne 1984. ORSTOM Dakar.**
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1986 - Possibilités d'allègement des réseaux hydrométriques dans les pays en voie de développement après réalisation de synthèses hydrologiques régionales. 2nd Scientific Assembly of IAHS, Budapest.**
- X OLIVRY (J.C.) - 1986 - Opération transports de matières sur le bassin du fleuve Congo - Programme PIRAT ORSTOM - Montpellier.**
- XX OLIVRY (J.C.), QUELENNEC (R.E.), HOORELBECK (J.) - 1986 - Présentation du projet de mesure et d'évaluation de l'érosion et des transports solides sur bassin des terres noires de la région PACA (Alpes du Sud). Groupe BRGM-ORSTOM, Montpellier.**

- XXX OLIVRY (J.C.), CHASTANET (M.) - 1986** - Evolution du climat dans le bassin du fleuve Sénégal (Bakel) depuis le milieu du XIXème siècle. (Extension de la période d'observations hydropluviométriques à partir de données historiques). INQUA, Symposium "changements globaux en Afrique" Dakar.
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1986** - (et la collaboration de M. CHASTANET), Evolution de l'hydraulicité du fleuve Sénégal et des précipitations dans son cours inférieur depuis le milieu du XIXème siècle. Colloque Nordeste-Sahel Paris
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1986** - Le barrage de KHEUNE : Un exemple d'action conjoncturelle de secours pour la maîtrise des ressources déficitaires du fleuve Sénégal de 1983 à 1985. colloque Nordeste-Sahel Paris.
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1986** - Réflexions sur la mesure et l'estimation des bilans d'exportation de matières solides en zones sensibles à l'érosion. L'expérience des premiers travaux sur les bassins des marnes noires du Pic St. Loup (Montpellier) et des Alpes du Sud (B.V. PACA)- Colloque Bassins Versants Représentatifs. (FSFH, Aix en Provence).
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1986** - Méthode simplifiée de prédétermination des crues sur petits bassins versants en milieu intertropical : l'exemple du Cameroun ; in Journées Hydrologiques de Strasbourg, CRUES ET INONDATIONS.
- X OLIVRY (J.C.), FLORY (J.) - 1986** - Etudes hydrologiques dans la région de Thyse-Kaymor (Siné-Saloum) - Résultats de la campagne 1985. ORSTOM Dakar.
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1986** - Fleuves et rivières du Cameroun - Coll. Monographies Hydrologiques n° 9 - MESRES - ORSTOM Paris 733 p. + 2 cartes.
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1987** - Persistent consequences of the present drought on the flows of the Senegal River and the hypersalinisation of the Lower Casamance. In "The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources"; (Proceeding of the Vancouver Symposium). IAHS Publ. N°168, 1987.
- XXX OLIVRY (J.C.) - 1987** - Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinitisation de la Basse-Casamance. In Veille Climatique Satellitaire, N° 17. Lannion.
- (XXX) OLIVRY (J.C.) (avec la collaboration de J. LERIQUE, R. GALLAIRE, R. GALVEZ, R. HOORELBECKE, E. SERVAT, Y. LE TROQUER, R. RANDON). - 1987** - Hydrologie des îles du Cap-Vert - Etude de l'île de Sao Nicolau - A paraître.
- XX ORANGE (D.) - 1986** - Bilan de l'altération chimique et de l'érosion mécanique sur le haut-bassin du fleuve Sénégal - ORSTOM - Univ. d'Orléans. Mémoire DEA.
- XXX PHILIPPON (B.), LE BARBE (L.), LE BERRE (R.) - 1983** - L'hydrologie et la télétransmission dans le programme de lutte contre l'Onchocercose dans le bassin de la Volta. Bulletin du CIEH n° 54 - Ouagadougou.
- XX REUILLON (M.) - 1987** - Les régimes hydrologiques en Guyane Française - Mémoire ISIM - USTL/ORSTOM Montpellier.
- XXX ROCHE (MA.), CANEDO (M.) - 1984** - Programa Hidrologico y Climatologico de la Cuenca Amazonica de Bolivia. Plaquette de présentation du PHICAB : SENAMHI-ORSTOM, Folleto 4 p. La Paz.
- XXX ROCHE (MA.), ROCHA (N.) - 1985** - Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 1/4 000 000. PHICAB : SENAMHI-ORSTOM, 1 hoja offset. La Paz.

- XXX ROCHE (MA.), ABASTO (N.), TOLEDE (M.), CORDIER (J.P.), POINTILLART (C.) - 1986** - Mapa de las salinidades iónicas de los ríos de la Cuenca Amazonica de Bolivia. PHICAB : SENAMHI-ORSTOM-LHM, 1 hoja offset. La Paz.
- XXX ROCHE (MA.), ABASTO (N.), TOLEDE (M.), CORDIER (J.P.), POINTILLART (C.) - 1986** - Mapa de las concentraciones en aniones de los ríos de la Cuenca Amazonica de Bolivia. PHICAB-ORSTOM-SENAMHI-LHM, 1 hoja offset. La Paz.
- XXX ROCHE (MA.), ABASTO (N.), TOLEDE (M.), CORDIER (J.P.), POINTILLART (C.) - 1986** - Mapa de las concentraciones en cationes de los ríos de la Cuenca Amazonica de Bolivia. PHICAB-ORSTOM-SENAMHI-LHM, 1 hoja offset. La Paz.
- XXX ROCHE (MA.), FERNANDEZ (C.), APOTEKER (A.), ABASTO (N.), CALLE (H.), TOLEDE (M.), CORDIER (J.P.), POINTILLART (C.) - 1986** - Reconnaissance hydrochimique et première évaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. PHICAB : SENAMHI-ORSTOM-IHH-LHM, 257 p. La Paz.
- XXX ROCHE (MA.), FERNANDEZ (C.), RONCHAIL (J.), BOURGES (J.), GUYOT (J.L.) - 1986** - Participacion del PHICAB en el simposio de la investigacion francesa en Bolivia. PHICAB, SENAMHI-ORSTOM. La Paz.
- XX RONCHAIL (J.) - 1985** - Situations météorologiques et variations climatologiques en Bolivie (Situations météorologiques - Analyses de séries climatiques - Inventaire de saisons exceptionnelles). PHICAB : SEHAMHI-ORSTOM-IFEA-AASANA. La Paz.
- X RUBIN DE CELIS (L.), ROCHE (MA.) - 1985** - Programas informaticos para el procesamiento de datos hidrométricos basicos PHICABHQ. Goupil 3 Flex 9 BASIC 8 ploter. PHICAB : SENAMHI-ORSTOM 58 p. La Paz.
- X SAOS (J.L.), LE BOUTELLER (C.), DIOP (E.S.) - 1985** - Aspects géologiques et géomorphologique de la Casamance. Etude de la sédimentation actuelle. ORSTOM Dakar.
- X SAOS (J.L.), DACOSTA (H.) - 1987** - Le Marigot de Baila - Résultats des campagnes 1981, 1984, 1985 et 1986 - ORSTOM Dakar.
- X SAOS (J.L.), LE TROQUER (Y.), FLORY (J.), GAC (J.Y.) - 1987** - Les bassins de Thyse Kaymor - Campagne 1986 - ORSTOM Dakar.
- XXX SAOS (J.L.), KANE (A.), CARN (M.), GAC (J.Y.) - 1983** - Persistance de la sécheresse au Sahel : invasion marine exceptionnelle dans la vallée du fleuve Sénégal. Xème RAST, Bordeaux, p. 499.
- XX SIGHA (N.) - 1987** - Contribution au calcul de bilans d'érosion sur petits bassins représentatifs ; les bassins du Pic St. Loup - Mémoire de DEA - U.S.T.L. Montpellier 108 p.
- XX SIGHA (N.) - 1987** - Notes sur quelques programmes de recherche en hydrologie au centre ORSTOM de Brazzaville. Mémoire d'élève ORSTOM - 129 p. ORSTOM Brazzaville.
- XXX SIRCOULON (J.), OLIVRY (J.C.) - 1986** - Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'ouest et centrale. Colloque CIEH Ouagadougou.
- XX SYLLA (S.) - 1985** - Synthèse de données hydrochimiques sur les eaux souterraines du Mali. Mémoire DEA - Univ. de Dakar.
- XXX SOW (A.A.) - 1984** - Pluie et écoulement fluvial dans le bassin du fleuve Sénégal. Thèse de 3ème cycle. Univ. de Nancy II.

- X THIEBAUX (J.P.) - 1985 - Principales caractéristiques hydrologiques du bassin de La Likouala Mossaka au Congo. ORSTOM Montpellier.**
- X THIEBAUX (J.P.) - 1987 - Hydrologie de l'Oubangui à Bangui - Généralités et données de base. ORSTOM Montpellier.**
- XX THIEBAUX (J.P.) - 1987 - Transports de matières sur l'Oubangui à Bangui. Premiers résultats (1986-1987) ORSTOM - INSU Montpellier.**
- XXX VUILLAUME (G.), CHOURET (A.) - Monographie hydrologique du lac Tchad. A paraître.**

3ème Partie

Quelques articles scientifiques

RESULTATS D'UNE CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE EN BASSES EAUX

EN AMAZONIE BOLIVIENNE

Août-Septembre 1986.

J.L. GUYOT - H. CALLE - M. CALLE CONDE - J. QUINTANILLA.

I. INTRODUCTION

Afin de connaître la variabilité spatiale des différents paramètres de la qualité des eaux du bassin versant amazonien de Bolivie ($S = 744\,000\text{ km}^2$) des campagnes de prélèvements sur l'ensemble du bassin sont effectuées à des périodes hydrologiques particulières (hautes eaux, étiage) dans le cadre du projet PHICAB.

Une campagne réalisée en août et septembre 1986 a permis la collecte de 161 échantillons appartenant à des écosystèmes très variés, depuis les glaciers andins jusqu'aux fleuves amazoniens (fig. 1), recoupant des zones à géologie, climatologie et couverture végétale très différentes.

L'interprétation des résultats obtenus le long des grands fleuves et sur l'ensemble du bassin à l'aide d'une méthode d'analyse multivariée, va permettre de caractériser chimiquement ces différentes zones géographiques.

II. LES RESULTATS

Les points de prélèvement sont répartis entre 180 et 4 800 mètres d'altitude avec toutefois un pourcentage plus important pour les valeurs inférieures à 750 mètres correspondant aux prélèvements en plaine amazonienne et au piedmont des Andes.

Chaque échantillon a fait l'objet des mesures et analyses suivantes : température et conductivité sur le terrain ainsi que conductivité, pH, couleur, turbidité, matières en suspension, résidu sec, bicarbonates, carbonates, chlorures, sulfates, calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse et Silice aux laboratoires du SENAMHI (El Alto - La Paz) et de l'UMSA - IIQ (Cotacota - La Paz).

Le tableau 1 donne les valeurs caractéristiques des différents paramètres. A remarquer que tous les échantillons ont des teneurs en Manganèse nulles.

L'observation du tableau indique que les prélèvements concernent des eaux très contrastées avec des valeurs de :

- * température de terrain variant de 0 à 31 degrés Celsius
- * conductivité variant de 1 à 2286 MicroSiemens/cm
- * minéralisation totale variant de 4 à 1554 mg/l
- * matières en suspension variant de 0 à 4366 mg/l
- * pH variant de 4.9 à 9.6 unités pH
- * couleur variant de 0 à 320 unités Pt/Co

Les distributions de fréquence des paramètres globaux (conductivité et Matières en suspension), qui suivent une loi Log-Normale, montrent cette dispersion (fig2).

Certains paramètres sont étroitement liés . La corrélation température-altitude n'est pas excellente mais montre que les variables sont bien dépendantes malgré l'influence d'autres facteurs comme l'exposition, la pente, ...

La minéralisation totale est bien corrélée avec la conductivité ($r = 0.98$) et le résidu sec ($r = 0.89$) qui représentent en fait la charge en solution.

Les matières en suspension sont également bien représentées par la turbidité ($r = 0.97$).

Les ions dominants comme les sulfates, sont bien corrélés avec la conductivité ($r = 0.90$) dont ils assurent une grande part. Certains ions sont étroitement liés entre eux comme le Sodium et les Chlorures ($r = 0.91$), ce qui atteste une origine commune.

III. EVOLUTION LE LONG DES GRANDS FLEUVES.

Le long des grands fleuves comme le Béni et le Mamoré, il est possible de suivre cette évolution spatiale des différentes composantes de la qualité des eaux.

Les résultats obtenus lors de la campagne d'août - septembre 1986 montrent pour le rio Béni (fig. 3), que les charges de matières en solution et en suspension, faibles en altitude (zone des glaciers), augmentent progressivement pour atteindre leur valeur maximale vers 2500 mètres d'altitude (Rio La Paz). Ensuite on observe une décroissance très rapide de la minéralisation et des matières en suspension jusqu'à la sortie des Andes, puis une relative stabilisation des teneurs dans la plaine Amazonienne.

La même réponse est observée avec les concentrations des éléments majeurs (HCO_3 , SO_4 , Cl , Ca , Mg , Na , et K).

Le fer se singularise par son absence dans les Andes et une augmentation progressive lors de la traversée de la plaine amazonienne. La silice dissoute évolue de manière particulière, à l'inverse des éléments majeurs dans les Andes, puis de manière identique dans la plaine amazonienne, mis à part une augmentation après la confluence du Madre de Dios.

Pour le rio Mamoré (fig. 4), les phénomènes observés sont semblables, mis à part pour les teneurs en matières en suspension qui évoluent de manière plus anarchique. Cette anomalie étant vraisemblablement liée au fait que quelques épisodes pluvieux ont perturbé la période d'étiage lors des prélèvements.

En ce qui concerne la minéralisation et les éléments majeurs, les mêmes réponses sont observées que dans le Béni, à savoir un maximum de concentration dans les Andes, puis décroissance allant vers une pseudo stabilisation en plaine amazonienne, avec toutefois un décalage pour les teneurs en calcium.

Le Fer, avec des teneurs nulles dans les Andes et une augmentation en plaine a un comportement identique à celui observé sur le Béni.

Enfin, la silice augmente dans les Andes puis se stabilise relativement en Amazonie.

Les eaux en plaine amazonienne apparaissent donc comme plus faiblement minéralisées, mais avec des teneurs en Fer plus élevées que dans les Andes, donnant une légère couleur brune à l'eau. Les autres éléments majeurs subissent une dilution depuis la Cordillère jusqu'aux 'Ilanos'.

IV. EVOLUTION SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT

S'il est relativement aisé de décrire l'évolution des divers paramètres de la qualité des eaux le long de quelques grands axes, il en est autrement lorsque l'ensemble du bassin doit être traité.

Aussi, compte tenu du grand nombre de variables et d'individus (7×161), une méthode d'analyse factorielle a été retenue pour interpréter l'ensemble des données. Celles-ci étant de type numérique et continues, notre choix s'est porté vers l'analyse en composantes principales (ACP). Les calculs ont été effectués sur variables centrées réduites.

Les deux premiers axes expriment plus de 67 % de la variance (tableau 2), ce qui est non négligeable. Dans le plan représenté par les deux premiers axes factoriels, la répartition des points variables (fig. 5) montre :

- la composante 1 oppose les faibles minéralisations aux fortes, exprimées par la conductivité et les teneurs en éléments majeurs. Il s'agit en quelque sorte d'une échelle de minéralisation ;
- la composante 2 oppose les faibles pH aux forts, ou encore les fortes teneurs en Fer et Silice aux faibles. Il peut s'agir dans ce cas d'une échelle d'acidité.

Avec les faibles minéralisations, on trouve donc les valeurs élevées en Fer. De la même manière avec les eaux acides, on se trouve également dans le même domaine à fortes teneurs en Fer, en Silice, voire en Potassium.

Avec la représentation des points individus (fig.6), ceux-ci étant différenciés en trois classes géographiques (cf. fig. 1), on obtient la distribution suivante après avoir écarté les rios présentant des traces nettes de pollution (Rios La Paz, Rocha, Hondo et Piray liés respectivement aux villes de la Paz, Cochabamba, Montero et Santa Cruz).

Globalement, les trois zones géographiques dont les valeurs des concentrations moyennes sont résumées dans le tableau 3 et la figure 9, sont bien individualisées, il s'agit :

- * 1- La cordillère proprement dite, les eaux sont faiblement minéralisées (79 mg/l), très légèrement basiques (pH = 7.6) et ont des teneurs faibles en Fer (0.1 mg/l) et en potassium (1.8 mg/l).
- * 2- Le bassin versant du rio Grande qui englobe la partie Sud de la cordillère orientale et de l'Altiplano est soumis à un régime climatique différent (plus aride). Les affleurements géologiques se différencient du reste de la Cordillère par la présence de séries évaporitiques. Les eaux sont beaucoup plus minéralisées (378 mg/l) et plus basiques (pH = 8.3) avec des concentrations élevées pour les ions majeurs, mais nulles pour le Fer.
- * 3- "Les llanos" ou plaine amazonienne dont l'altitude varie de 180 à 400 mètres. Ces eaux sont généralement faiblement minéralisées (83 mg/l), légèrement acides (pH = 6.9), et ont des teneurs en fer (1.1 mg/l), silice (12.5 mg/l) et potassium (3.0 mg/l) plus élevées que la moyenne (cf. tableau 1). Certains de ces éléments sont liés à la végétation et aux acides humiques qui donnent une couleur brune à l'eau (54 unités Pt/Co).

L'analyse en composantes principales a permis de vérifier la classification géographique des différents types d'eaux en familles assez homogènes et s'avère être un outil puissant pour l'interprétation des données physico-chimiques.

V. CONCLUSION

Les nombreux résultats concernant la campagne d'échantillonnage d'août - septembre 1986, ont permis de mieux connaître les différents écosystèmes rencontrés.

La comparaison et l'identification des trois zones géographiques ont été possible grâce à l'utilisation de l'analyse en composantes principales et le suivi hydrochimique le long des grands fleuves.

Toutefois, la qualité d'une eau dépend intimement d'un certain nombre de facteurs dont les plus importants sont la géologie du bassin versant, le régime climatique, la couverture végétale. L'étude entreprise sur la variabilité spatiale des caractéristiques physico-chimiques des eaux va donc s'orienter dans cette voie afin de mieux connaître les facteurs d'acquisition du chimisme de l'eau de cette zone tropicale qu'est l'Amazonie bolivienne.

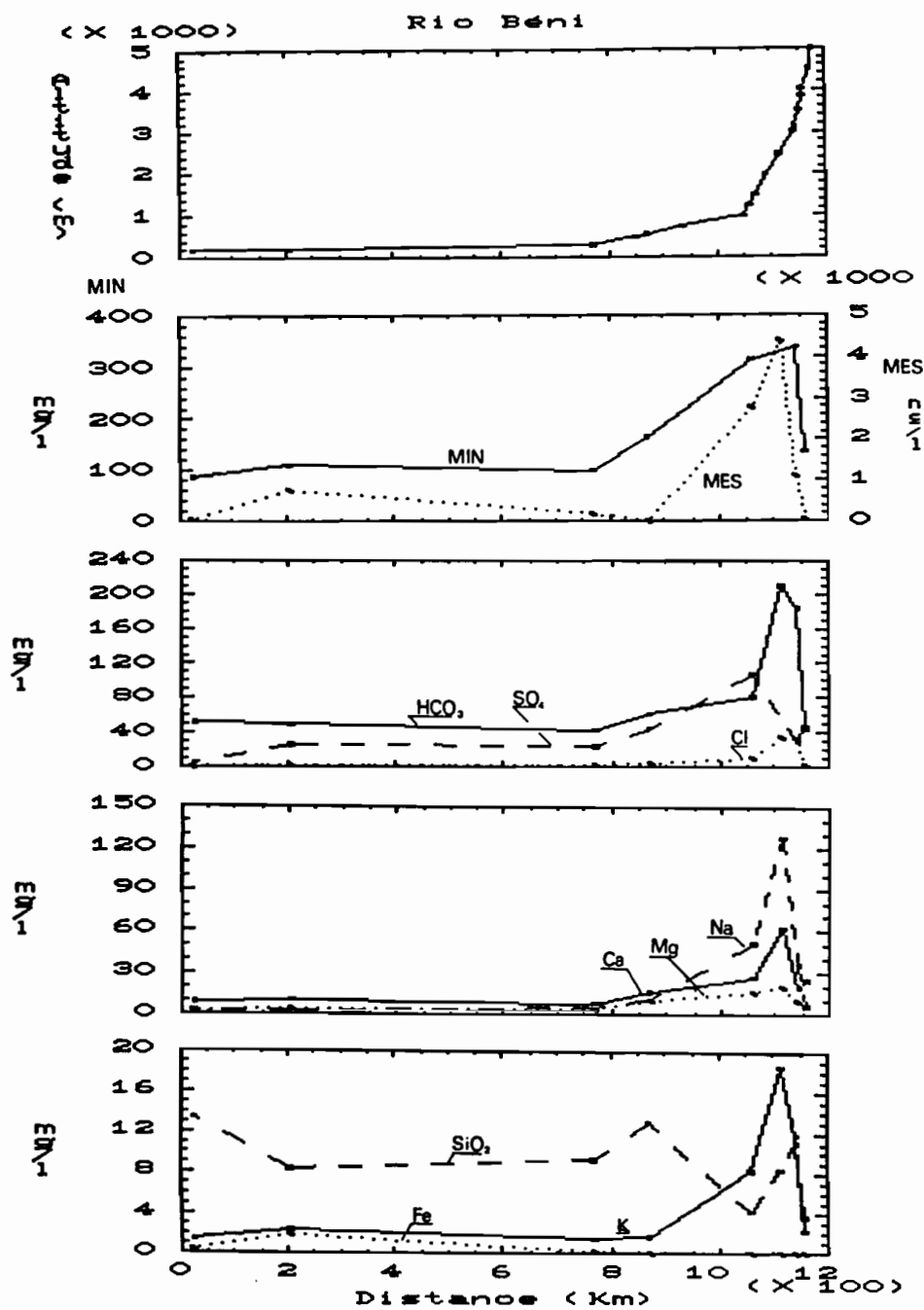


Fig. 3

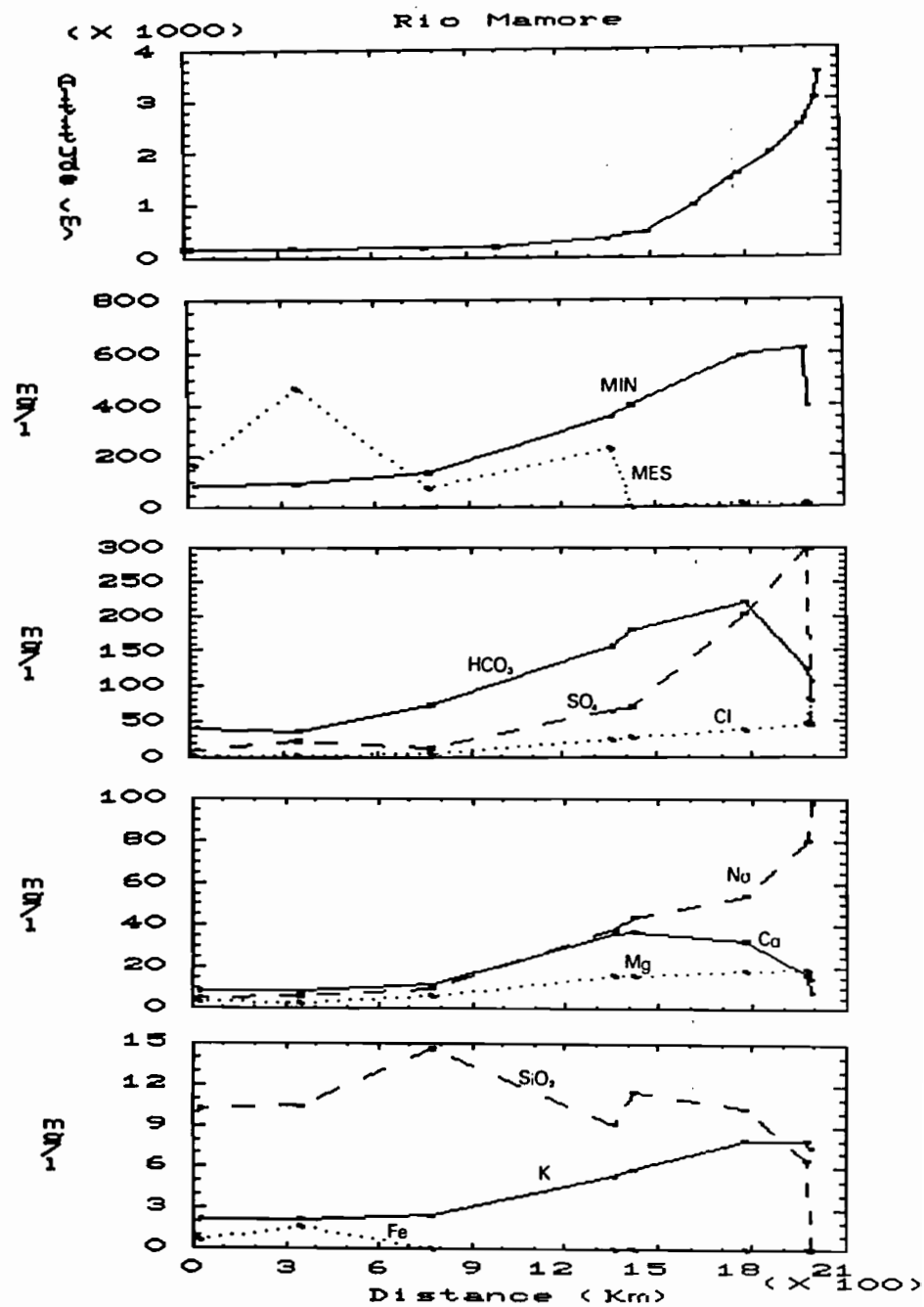


Fig. 4

TABLEAU 1

Valeurs caractéristiques des différents paramètres

	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum
Altitude (m)	1007	430	180	4800
Temp. (° C.)	20.3	21.0	0.0	31.0
pH	7.6	7.5	4.9	9.6
Cond. (S/cm)	192	83	1	2286
R.Sec (mg/l)	171	78	0	2082
Minér. (mg/l)	135	69	4	1554
Turb. (FTU)	75	10	0	3040
M.E.S. (mg/l)	107	14	0	4366
Coul. (Pt/Co)	21	0	0	320
HC03 (mg/l)	62.0	34.6	2.6	521.4
C03 (mg/l)	1.1	0.0	0.0	28.3
C1 (mg/l)	5.7	1.4	0.0	143.9
S04 (mg/l)	26.5	8.3	0.0	477.4
Ca (mg/l)	10.9	7.0	0.0	65.6
Mg (mg/l)	4.5	2.2	0.0	21.4
Na (mg/l)	12.8	4.2	0.0	338.0
K (mg/l)	2.7	2.0	0.0	21.0
Fe (mg/l)	0.4	0.0	0.0	3.6
Mn (mg/l)	0.0	0.0	0.0	0.0
Si02 (mg/l)	10.2	9.2	0.0	44.2

TABLEAU 2

Valeurs moyennes des trois zones géographiques

	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Altitude (m)	1133	1621	244
Temp. (° C.)	19.5	16.6	25.0
pH	7.6	8.3	6.9
Cond. (S/cm)	110	555	86
Minér. (mg/l)	79	378	83
M.E.S. (mg/l)	68	54	97
Coul. (Pt/Co)	8	4	54
HC03 (mg/l)	33.9	163.3	45.4
C1 (mg/l)	3.2	17.5	2.0
S04 (mg/l)	14.1	98.6	6.0
Ca (mg/l)	8.1	23.8	6.0
Mg (mg/l)	2.9	11.7	2.3
Na (mg/l)	6.0	40.7	5.7
K (mg/l)	1.8	4.4	3.0
Fe (mg/l)	0.1	0.0	1.1
Si02 (mg/l)	7.9	14.0	12.5

Fig. 5

Analyse en composantes principales

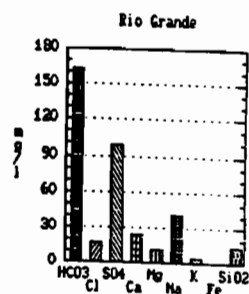
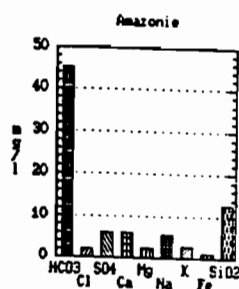
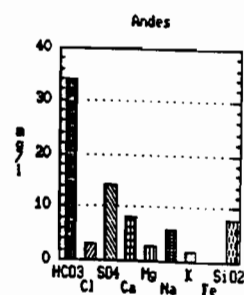
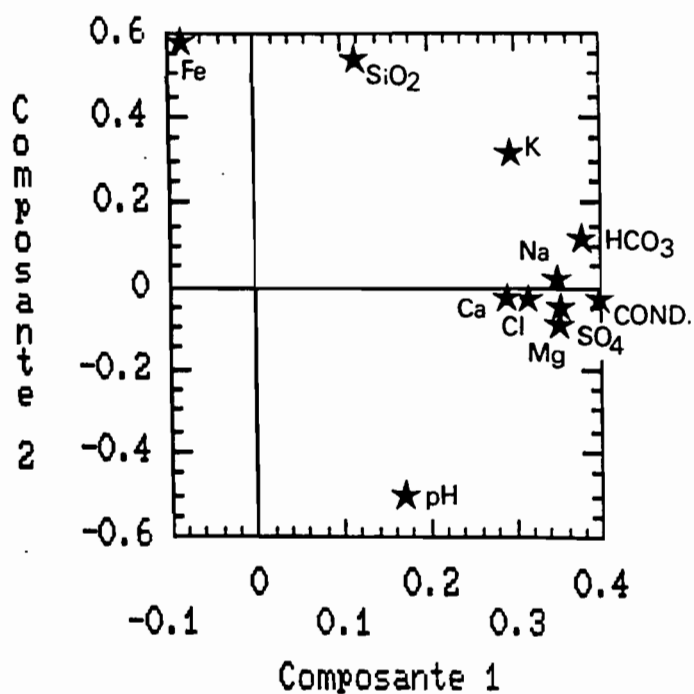


Fig. 7

Analyse en composantes principales

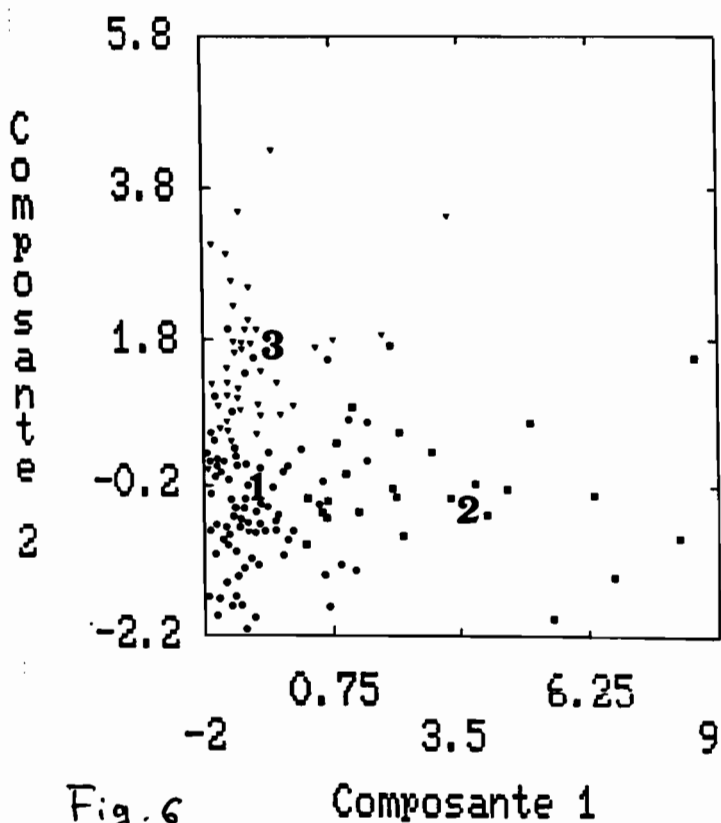


Fig. 6

- B.V. des Rios AltoBéni & Ichilo
 - B.V. du Rio Grande
 - ▼ plaine amazonienne
- ▶ Zone andine

APERCU SUR LES DEBITS DU MAMORE A GUAYARAMERIN

J. BOURGES

Le bassin du Mamore à Guayaramerin couvre une superficie de 590.000 km² dont environ 16 % est situé sur le versant andin entre 5 500 et 500 mètres d'altitude; le reste du bassin est constitué par une zone de plaines recouvertes de savanes et de forêts, et par une partie du bouclier brésilien drainée par le principal affluent du Mamore, l'Itenez . En incluant le bassin du Parapeti, la superficie drainée par l'Itenez à son embouchure est de 340 000 km² soit 58 % du bassin total. En dépit de cette superficie; bien supérieure à celle du Mamore avant la confluence, la contribution de l'Itenez aux apports du fleuve à Guayaramerin représente moins de 30 % des volumes écoulés.

Les observations effectuées par le PHICAB à la station de Guayaramerin n'ayant débuté qu'à la fin de l'année 1983, nous prendrons en considération les débits calculés à la station brésilienne située de l'autre coté du Mamore, pour la période de novembre 1970 à octobre 1983. Nous disposons ainsi de plus de 16 années d'observation ce qui représente un échantillon suffisant pour en tirer quelques données caractéristiques des débits.

MODULES ANNUELS

A l'examen de la série des modules figurant sur le tableau 1 (annexe) et représentée sur la fig. 1, on constate une croissance en fonction du temps qui, à l'exception d'une augmentation de la pluviométrie vers les années 1980, ne semble pas refléter une croissance générale des précipitations annuelles. En l'absence, provisoire, d'éléments permettant de contrôler les débits des dix premières années nous nous fonderons sur ces données.

Au cours de ces seize années, le module varie de 5 330 à 11 280 m³/s, avec une moyenne qui s'établit de 8 340 m³/s. L'étude statistique de cet échantillon fournit les caractéristiques empiriques suivantes :

Médiane :	8 317 m ³ /s
Ecart type :	1 454 m ³ /s
Coefficient de variation :	0,174
Quartile inférieur :	7 556 m ³ /s
Quartile supérieur :	9 142 m ³ /s

L'histogramme des fréquences (Fig. 2) fait apparaître une symétrie qui présage d'une bonne adéquation à la loi normale.

Ainsi que prévu, et comme le laissait deviner à priori l'abondance des apports, l'ajustement sur la loi de Gauss (Fig. 3) est le plus adéquat bien qu'on ne puisse tester son adéquation par suite de la taille réduite de l'échantillon.

On peut en déduire les valeurs du module décennal sec et humide à Guayaramerin :

$$Q_{0,9} = 6\,480 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{0,1} = 10\,200 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si, en dépit de la taille de l'échantillon on considère que la moyenne et la variance sont des variables aléatoires, on peut estimer, avec un intervalle de confiance à 95 % la moyenne et l'écart type à :

$$\begin{aligned}7\,630\text{ m}^3/\text{s} < Q < 9\,050\text{ m}^3/\text{s} \\950\text{ m}^3/\text{s} < G < 1\,960\text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

De même pour les valeurs caractéristiques décennales, et avec le même intervalle de confiance, on aura :

$$5\,520\text{ m}^3/\text{s} < Q_{0,9} < 7\,440\text{ m}^3/\text{s}$$

pour les années sèches. Et pour les années pluvieuses :

$$9\,240\text{ m}^3/\text{s} < Q_{0,1} < 11\,160\text{ m}^3/\text{s}$$

Le module le plus faible observé, 5 330 m³/s en 1971, correspondait à une période de retour moyenne de 1 année sur 52 et celle du plus fort module, 11 280 m³/s en 1982, à une période de retour moyenne de 46 ans.

MODULES ANNUELS BASES SUR L'ANNEE HYDROLOGIQUE

Afin de mieux appréhender le cycle hydrologique dans son ensemble, et tenter d'améliorer l'ajustement nous avons recalculé les modules sur l'année hydrologique, c'est à dire de novembre à octobre (voir tableau 1 annexe).

La période d'étude étant légèrement différente (de novembre 1970 à novembre 1986), la moyenne a diminué : 8 317 m³/s. Les caractéristiques empiriques dénotent une dispersion plus forte des valeurs :

Médiane 8 110 m³/s

Ecart-type : 1 560 m³/s

Coefficient de variation : 0,19

Les modules minimums et maximums de la série sont de 5 050 et 10 950 m³/s. L'ajustement sur la loi normale paraît satisfaisant au vu du graphique (fig. 4) mais, pour les mêmes raisons que précédemment, ne peut être testé. Les valeurs des modules décennaux déduites de cet ajustement sont un peu plus faibles pour les années sèches, 6 110 m³/s, et sensiblement égales pour les années humides, 10 100 m³/s, que si l'on se base sur l'année civile.

Avant d'approfondir cette étude il conviendrait de contrôler certains débits, en particulier durant la période de 1971 à 1973, à partir de données attendues depuis plusieurs mois du Brésil, et de maximiser cette série sur la base des pluviométries antérieures à 1971.

VARIATION SAISONNIERE DES DEBITS

La variation des débits à l'échelle de l'année change peu d'une année à l'autre. L'hydrogramme annuel présente sensiblement le même profil, les minimums se situant en septembre ou octobre et les maximums entre le 15 mars et le 15 mai.

L'hydrogramme annuel moyen découpe une forme très arrondie et régulière, comme on pouvait s'y attendre étant donné la taille du bassin, et met en évidence une saison de hautes eaux de 4 à 5 mois culminant en Avril. Cette saison apparaît encore plus nettement sur l'histogramme des débits moyens mensuels (fig. 5).

Tableau 1

Module annuel

Sur l'année civile		Sur l'année hydrologique	
Année	Module (m3/s)	Année	Module (m3/s)
1971	5 330	1970-1971	5 048
1972	6 485	1971-1972	6 285
1973	7 411	1972-1973	7 316
1974	8 165	1973-1974	8 406
1975	7 452	1974-1975	7 301
1976	7 661	1975-1976	7 937
1977	8 251	1976-1977	8 055
1978	7 702	1977-1978	7 896
1979	8 655	1978-1979	9 109
1980	8 470	1979-1980	8 161
1981	8 015	1980-1981	7 669
1982	11 277	1981-1982	10 946
1983	9 672	1982-1983	10 338
1984	9 629	1983-1984	9 258
1985	10 410	1984-1985	10 805
1986	8 595	1985-1986	8 550
Moyenne	8 340	Moyenne	8 317

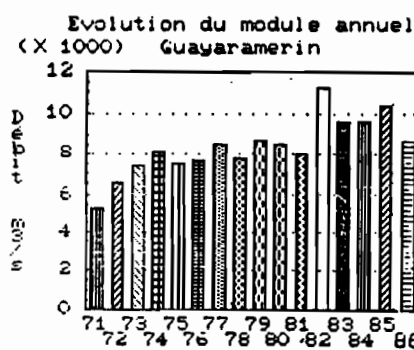


Fig. 1

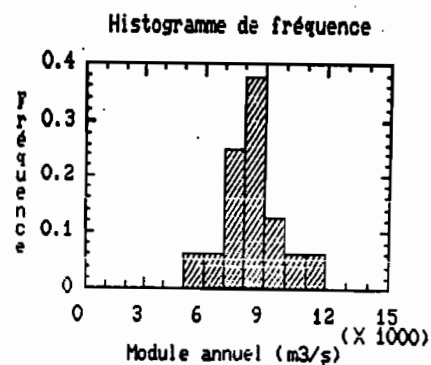


Fig. 2

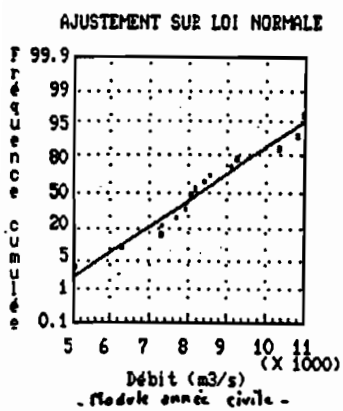


Fig. 3

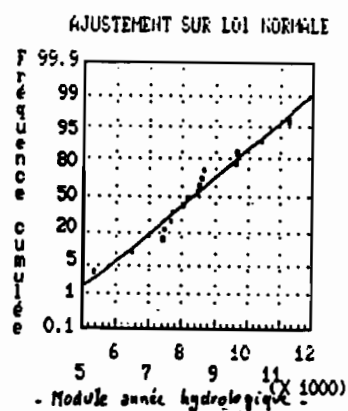


Fig. 4

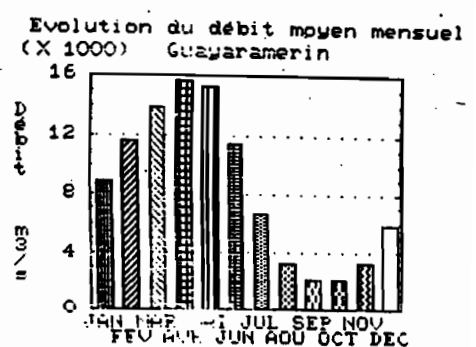


Fig. 5

TABLEAU 2 : Débits moyens mensuels (1971-1986)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Débit moyen	8821	11587	13784	15642	15222	11518	6681	3297	2140	2115	3341	5939

Le rapport 7,5 entre les débits moyens mensuels des mois extrêmes dénote une variation importante de ces débits au cours de l'année moyenne.

DEBITS MOYENS MENSUELS DE HAUTES ET BASSES EAUX

Si on s'intéresse aux débits moyens mensuels des mois de hautes eaux et d'étiage, on constate que dans le cas des hautes eaux, c'est-à-dire avril ou mai, le coefficient de variation (voir tableau 3) voisin de 0,2 laisse prévoir un bon ajustement à la loi de Gauss, alors que dans le cas des mois d'étiage, septembre et octobre, ce coefficient voisin de 0,4 inclinerait vers une loi dissymétrique.

Pour ces quatre mois, les caractéristiques empiriques sont résumées dans le tableau 3.

TABLEAU 3 : Caractéristiques des débits mensuels (m³/s)
(1971-1986)

	Avril	Mai	Septembre	Octobre
moyenne	15 641	15 217	2 140	2 115
Médiane	15 432	15 610	1 851	2 150
Ecart - type	2 552	3 439	876	840
Coefficient de variation	0,16	0,22	0,41	0,40
Minimum	11 555	7 957	1 202	1 143
Maximum	20 401	20 855	3 900	4 410

Comme le laisserait supposer l'étude statistique, l'ajustement sur la loi normale est bien adapté aux débits des mois de hautes eaux.

A l'inverse, cette loi s'ajuste mal aux débits des mois d'étiage pour lesquels la loi de Galton se révèle mieux adaptée en choisissant un débit corrigé : $Q - 500 \text{ m}^3/\text{s}$.

On peut en déduire les caractéristiques suivantes pour les années pluvieuses :

	Avril	Mai
Débit moy. mensuel décennal humide	18 900 m ³ /s	19 600 m ³ /s

et pour les années sèches :

	Septembre	Octobre
Débit moy. mensuel décennal sec	1 200 m ³ /s	1 180 m ³ /s

CRUES MAXIMALES ET ETIAGES

Afin de déterminer l'importance et la fréquence des crues dans cette région où les inondations causent de graves dommages, nous nous intéresserons aux débits maximums journaliers observés chaque année. Etant donné la lenteur de la variation des débits dans le temps, cette valeur est tout à fait comparable au débit maximum réel.

Le tableau 4 indique pour l'échantillon analysé, les périodes de passage du maximum de la crue annuelle :

Période	Fréquence observée
15/03 au 30/03	5
20/04 au 30/04	3
1/05 au 10/05	6
après 10/05	2

L'étude statistique de ces débits donne les caractéristiques rassemblées dans le tableau 5. On remarque que la dispersion est faible et que, comme pour toutes les périodes de débit abondant, la loi normale s'ajuste parfaitement.

On peut en déduire les débits maximums pour une récurrence donnée : le débit de fréquence décennale, avec un intervalle de confiance à 90 %, sera estimé à :

$$18\,350 \text{ m}^3/\text{s} < Q \times 0,1 < 21\,500 \text{ m}^3/\text{s}$$

et le débit maximum de période de retour moyenne de 1 année sur 50 environ, avec le même intervalle de confiance, se situera :

$$20\,100 \text{ m}^3/\text{s} < Q \times 0,02 < 24\,200 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les cotes à l'échelle correspondant à ces débits se situent entre 11 et 12 mètres.

Tableau 5 : Débits maximum et minimum annuels (m³/s)

Caractéristiques	Débit maximal : Q _x	Débit minimal : Q _{n20}
Moyenne	16 288	1 621
Médiane	16 155	1 557
Ecart type	2 852	482
Coefficient de variation	0,175	0,30
Minimum	11 840	1 065
Maximum	21 895	2 736

Pour les débits d'étiage, afin de mieux représenter la période de basses eaux et aussi de minimiser les erreurs ou les interprétations de l'observateur, on choisira comme paramètre la moyenne des débits journaliers des 20 jours les plus faibles de l'année.

L'étude de ces débits, à un titre différent de celles des maximums, intéresse aussi les riverains et les organismes de navigation dans cette région où le fleuve demeure le seul moyen de communication.

Un aperçu des périodes auxquelles ont été observés ces minimums durant les seize dernières années est donnée ci-après :

Août, 1 fois
 Septembre, 8 fois
 Octobre, 5 fois
 Novembre, 2 fois.

L'étude statistique de ces débits fournit les caractéristiques mentionnées dans le tableau 5. La dispersion des valeurs bien que moins grande que dans le cas des débits mensuels de basses eaux laisse indécis sur le choix de l'ajustement. Le pointage sur un diagramme de Gauss fait apparaître une concavité révélatrice d'une loi hypogaussique.

L'ajustement sur une loi de Galton à partir des débits corrigés, semble être le plus adéquat et permet d'estimer les valeurs des débits moyens minimumn sur 20 jours, pour deux récurrences choisies :

- tous les 10 ans : $Q_{min} = 1\,100 \text{ m}^3/\text{s}$

- tous les 50 ans : $Q_{min} = 850 \text{ m}^3/\text{s}$

Ces résultats n'ont d'autre but que de fournir quelques données à ceux qui s'intéressent à ce cordon ombilical de l'Amazonie bolivienne. Ils ne prétendent pas constituer une étude exhaustive qui, elle, fera l'objet de publications prochaines, incluant l'étude de l'ensemble du bassin du Mamore.

Flux continentaux de matières particulaires et dissoutes :

le Fleuve Sénégal à St Louis

J.Y. GAC et A. KANE

Le bassin du Sénégal, d'une superficie de 280 000 km², alimenté à partir des régimes "tropical de transition" et "tropical pur", s'étend profondément en domaine sahélien avant d'atteindre l'océan Atlantique.

Parmi tous les fleuves sahéliens, le Sénégal est celui qui dispose de la plus longue série d'observations limnimétriques : l'information sur les écoulements est complète depuis 1903. Pour la période 1903 - 1983, le module moyen interannuel s'élève à 715 m³/s à Bakel et à 641 m³/s à Dagana. L'irrégularité des écoulements constitue l'une des caractéristiques du Sénégal : à l'exutoire amont de Bakel les débits ont varié dans un rapport de 1 à 5,7 (1247 m³/s en 1924 et 220 m³/s en 1983) et de 1 à 4,3 dans le bief aval de Dagana (969 m³/s en 1924 et 226 m³/s en 1983).

L'importance relative des deux grands processus de l'érosion continentale a été établie à partir de l'évaluation des flux dissous et de l'estimation des transferts de matières particulaires.

Le contrôle des flux détritiques d'origine continentale à l'embouchure du Sénégal a été entrepris au cours de la saison des hautes-eaux 1981-1982 et 1982-1983. Les prélèvements ont été effectués à St Louis au niveau du Pont Faidherbe, qui enjambe le bras principal du fleuve. Chaque échantillonnage consistait en une prise d'eau de 64 l à l'aide d'une bouteille à renversement de 11 munie d'un messenger, les prélèvements successifs se faisant sur cinq profils transversaux et à différentes profondeurs.

1. Evolution saisonnière de la turbidité au cours des cycles hydrologiques 81-82 et 82-83.

Les variations saisonnières de la turbidité des eaux du Sénégal sont très visibles et il est aisé d'en esquisser le schéma général. Pendant la saison des hautes-eaux, les eaux sont extrêmement turbides en raison de leur importante charge en limons ; leur couleur est alors "jaune sale". Elles s'éclaircissent à partir d'octobre et deviennent "bleu sombre" dès le mois de décembre avec l'arrivée massive des eaux océaniques à la hauteur de St Louis. On retrouve ici le phénomène classique engendré par la présence de plaines d'inondation qui jouent le rôle de filtres et ne restituent au collecteur que des eaux limpides délestées de leur charge solide (GAC, 1979 ; GAC et TARDY, 1980).

Les plus fortes concentrations journalières du fleuve Sénégal à St Louis, observées au cours des deux cycles successifs, ont été de 686,4 mg/l (15-08-81) et de 415,8 mg/l (20-08-82). Ces valeurs sont bien plus élevées que celles connues antérieurement et sont vraisemblablement liées au fait qu'en période de sécheresse l'écoulement du fleuve canalisé dans le lit mineur pendant le passage de la première onde de crue provoque des sapements latéraux plus importants des rives. Comme ceci a été déjà souligné pour le Chari (CARRE, 1972 ; CHOURET, 1977), pour la Sanaga (NOUVELOT, 1972), pour le Bandama (LENOIR, 1972 ; MONET, 1972) et pour la Gambie (LO, 1984), les turbidités maximales précèdent toujours la pointe de crue (fig. 9).

Les charges solides restent supérieures à 200 mg/l jusqu'à l'amorce de la décrue puis diminuent ensuite très rapidement. Dès novembre, avec l'achèvement de la saison des pluies, le développement de la végétation atténue le transport des matériaux en suspension ; la dégradation des sols est moindre et les eaux n'assurent plus que l'évacuation des fines particules déjà libérées. La période des basses-eaux est marquée par la restitution progressive au fleuve des eaux d'inondation du lit majeur, des eaux d'infiltration et la vidange des nappes. Les eaux deviennent limpides, acquièrent une charge dissoute plus importante ; les concentrations de matières en suspension diminuent fréquemment en dessous de 10 mg/l. Pour cette période qui s'étend en général de décembre à juillet, nous avons adopté pour la station de St Louis les concentrations mesurées successivement à Richard-Toll, Dagana ou Podor, délaissant l'une après l'autre ces stations de l'amont lorsqu'elles étaient touchées par la langue salée.

L'acquisition de la charge solide et les mécanismes qui, de l'amont vers l'aval des bassins versants, président, règlent et contrôlent les variations brutales des concentrations, restent mal connus. Les nombreuses études menées dans ce domaine ont montré que la charge en suspension est plus dépendante de la période de l'année que du débit. On a coutume de distinguer trois phases dans l'hydrogramme de crue :

- Une période d'érosion précoce qui se traduit par une augmentation rapide de la turbidité et du débit. Cette phase correspond à l'arrivée des matières en suspension apportées par le ruissellement superficiel dues aux premières averses sur les versants et aussi à la reprise des "laissés" de crue déposés par le clapotis sur une succession de petites banquettes dans la partie inférieure des berges.
- Une période d'érosion tardive où la charge en suspension diminue dans le cours d'eau alors que les débits augmentent. Cette phase de transition correspond à la fin de l'érosion des versants et surtout à l'érosion des berges et du lit mineur de la rivière. La charge solide initiale est diluée par une forte augmentation des débits liquides.
- Enfin une période d'alluvionnement, qui se traduit par une diminution simultanée de la turbidité et des écoulements. Au cours de cette phase, la rivière perd rapidement de sa compétence et les matériaux décantent en partie dans le lit mineur.

La phase 1 est en général de courte durée (de 20 à 30 jours); la seconde, de transition, se prolonge environ durant 2 mois, la phase terminale s'étendant jusqu'à la crue suivante. Schématiquement, l'extension de chacune des périodes serait de 1/12, 2/12 et 9/12 de l'année.

En réalité, les à-coups journaliers dans les concentrations semblent de plus en plus devoir correspondre à des sortes de pulsations en "pattes d'oie" intimement liées aux fluctuations relatives des débits et au laps de temps écoulé depuis le début de la crue. Afin de mieux saisir l'intérêt de cette hypothèse de travail, nous avons reporté sur la figure 1 les valeurs moyennes des concentrations en fonction des débits moyens correspondants. En général, ce genre de courbe, que l'on trouve fréquemment dans la littérature, est établi à l'échelle mensuelle : ce pas de temps a le désavantage de ne pas tenir compte de la précocité ou de l'arrivée tardive de la crue d'une part, et, d'autre part, il masque par sa durée les événements majeurs qui se situent à l'échelle hebdomadaire, voire même journalière. Le choix d'une échelle journalière paraît difficile, étant donné les nombreuses causes d'erreur aussi bien sur les débits que sur les concentrations. Aussi avons-nous adopté un pas de temps de 5 jours, qui nous paraît plus "raisonnable", et être un juste compromis. Les calculs ont été menés à partir des premiers écoulements enregistrés à St Louis (le 1er août en 1981-82, le 20 août en 1982-83).

Les points représentatifs se disposent sur le pourtour d'empilements successifs (courbes en tiretés sur les figures). On en dénombre 5 pour le cycle hydrologique 81-82 et 4 pour le cycle 82-83. Ces courbes, assimilables à des sortes de "courbes-enveloppes", sont évidemment très approximatives, mais intuitivement nous pensons qu'elles schématisent assez bien les fluctuations de la charge solide avec les pulsations enregistrées dans les écoulements. La première courbe-enveloppe correspondrait à l'érosion précoce, la seconde et la troisième à l'érosion tardive, la quatrième et la cinquième à la phase d'alluvionnement. L'intervention des plaines d'inondation, qui se situerait dans le temps entre le troisième et le quatrième empilement, n'est pas perceptible ici (les déversements dans les plaines limitrophes ayant été très réduits au cours des deux crues). Il serait évidemment intéressant de comparer ces résultats à ceux obtenus à l'amont, à la station de Bakel.

A l'échelle mensuelle, les mois d'août, de septembre, d'octobre et de novembre rassemblent la quasi-totalité (99 %) de la charge solide. Ceci est d'ailleurs très visible sur les images satellites qui traduisent l'opacité de l'océan créée par le panache turbide des alluvions à l'embouchure. Plus de la moitié des flux annuels sont enregistrés en août pour le cycle 81-82 et en septembre pour le cycle 82-83. La turbidité moyenne annuelle s'est élevée à 252 mg/l en 1981-82 et à 156 mg/l en 1982-83, ce qui classe le Sénégal, selon la terminologie de PARDE, parmi les organismes fluviaux à fortes turbidités. La turbidité du Sénégal est bien plus importante que celle de son homologue gambien : à la station de Goulombou, situées à la limite du bassin amont de la Gambie, les turbidités moyennes en 1974-1975 ont été de 78 g/m³ (LERIQUE, 1975) et de 46 g/m³ en 1983-84 (LO, 1984). Cet auteur souligne cependant le caractère exceptionnellement sec de ce dernier cycle hydrologique qui "n'est représentatif ni de l'écoulement, ni des transports réels de matières en suspension du fleuve Gambie".

En admettant que l'ensemble du bassin versant du Sénégal réponde de façon homogène aux sollicitations des agents de l'érosion mécanique, la dégradation spécifique a été de l'ordre de 10,6 t/km²/an en 1981-82 et de 4,4/km²/an en 1982-83.

En définitive, le transport solide du fleuve Sénégal est relativement faible (en moyenne de l'ordre de 2 millions de tonnes par an). Il s'agit de matériaux fins qui, comme le souligne FRECAUT (1982) ont une double origine : "ils proviennent soit directement des plaines alluviales et des lits fluviaux (charge endogène), soit des versants sous l'action de l'érosion pluviale et du ruissellement superficiel (charge exogène) : la distinction entre les apports propres aux versants et à la plaine alluviale est cependant difficile".

2. Les flux particuliers quantitatifs et qualitatifs à l'embouchure du Sénégal.

Avant de présenter le bilan quantitatif et qualitatif des flux de particules solides à l'embouchure du Sénégal, deux aspects de cette décharge annuelle de "troubles" vers l'océan méritent d'être évoqués : le charriage de fond et la matière organique.

Le charriage de fond des matériaux grossiers qui se déplacent par roulage et saltation épisodique dans le lit du fleuve n'a pas été étudié. Mal connu et peu important dans le domaine tropical, il demeure un phénomène limité dans le delta du Sénégal. MICHEL (1967) a souligné sur le Doué le déplacement annuel d'un lambeau d'une basse terrasse sur moins de 500m. A la hauteur de Kayes, le charriage de fond mobilise de l'ordre de 100 000 tonnes de matériaux grossiers, ce qui représente moins de 5 % de la charge solide annuelle en suspension. Ces résultats confirment les observations de CARRE (1972) qui mentionne leurs faibles contributions (de 5 à 10 %) aux flux détritiques, de POLIAKOV (1938) pour la Volga (3 %), de SPRONCK (1941) pour le Congo (7 %), de GIBBS (1967) pour l'Amazonie (de 2 à 10 %) et de MATHIEU (1972) pour le Bandama (de 5 à 10 %). Dans le cas du Sénégal, ce charriage de fond concerne essentiellement le quartz (de 75 à 95 %) et les minéraux lourds tels que l'andalousite, la hornblende et l'épidote.

Le dosage de la matière organique a été réalisé sur les groupements d'échantillons des deux crues (21 analyses). Le taux de matière organique dans les matières en suspension du Sénégal est faible (de 1,2 à 2,4 % sur l'ensemble des deux cycles) et bien inférieur, en tous cas aux pourcentages relevés sur la Gambie : LO (1984) y fait état de plus de 10 % de matières organiques à Goulombou. Au cours des cycles 1981-82 et 1982-83, on évalue à environ 45 000 tonnes et 23 000 tonnes "l'expulsion" annuelle de matière organique à l'embouchure du Sénégal, ce qui représente 1,56 % et 1,93 % des quantités de matières en suspension. Les tonnages respectifs de matière inorganique s'établissent alors à 2 820 565 tonnes (en 81-82) et à 1 163 067 tonnes (en 82-83), et le bilan granulométrique est le suivant :

BILAN GRANULOMETRIQUE	1981-1982	1982-1983
< 2 μ m (argiles)	2 092 860 tonnes	904 870 tonnes
2-5 μ m (limons très fins)	442 830	147 710
5-10 μ m (limons fins)	149 490	54 660
10-20 μ m (limons moyens)	76 155	29 080
20-50 μ m (limons grossiers)	41 530	24 420
> 50 μ m (sables fins)	14 100	2 327
	2 820 565	1 163 067

3. Importance relative de l'altération chimique et de l'érosion mécanique.

Certains éléments utilisent la voie soluble, d'autres la voie particulaire et quelques-uns empruntent les deux itinéraires pour migrer vers les points-bas des bassins versants. Trois remarques s'imposent au préalable.

-dans la phase soluble, nous avons mis en évidence l'importance (57 %) des bicarbonates. En réalité, "leur présence dans l'artère fluviale ne provient que très peu de la dissolution de roches carbonatées et ne s'explique que par l'intervention du CO₂ atmosphérique amené par les eaux d'infiltration" (GAC et PINTA, 1972).

-Aux matières en suspension issues des horizons superficiels des sols de l'amont et des berges de la vallée alluviale, il faut également ajouter les apports éoliens, conséquence d'un développement sans précédent du phénomène des brumes sèches. En effet, ils représentent des quantités non négligeables (GAC et TRAVI, 1984; GAC, 1985) et ils sont pris en compte bien que pour l'essentiel leurs régions d'origine soient situées en dehors du bassin versant du Sénégal.

- Enfin, il faut garder à l'esprit que les deux cycles hydrologiques étudiés correspondent à des années de très faibles hydraulicités. Les eaux du fleuve sont restées cantonnées dans le lit mineur : les déversements vers les plaines d'inondation ont été insignifiants et n'ont donné lieu qu'à une sédimentation fine très limitée dans le lit majeur. La sédimentation, qu'elle soit à caractère détritique ou chimique, s'est organisée dans deux sites de dépôts : le milieu lacustre représenté par le lac de Guiers en rive gauche du fleuve Sénégal et le milieu océanique. Les flux de matières à l'embouchure ne représentent donc pas l'intégralité des apports continentaux : une partie du "capital" livré par l'amont et les berges de la vallée est "court-circuitée" vers le lac de Guiers.

Au cours des deux cycles arides 1981/1982 et 1982/1983, les flux de matière à l'embouchure du Sénégal se sont respectivement élevés à 3 365 000 tonnes et 1 525 000 tonnes. La répartition entre matière minérale et matière organique s'établit de la façon suivante :

	1981/1982		1982/1983	
matière organique	44 680	(1,33 %)	22 836	(1,50 %)
matière en suspension	2 820 565	(83,84 %)	1 163 067	(75,26 %)
matière en solution	499 105	(14,83 %)	339 224	(22,24 %)
(tonnes)	3 364 350		1 525 127	

En moyenne, sur les deux cycles, les exportations de matières à l'embouchure du Sénégal sont de l'ordre de 2 445 000 tonnes dont : 80 % pour les particules fines en suspension, 18,6 % pour les substances dissoutes, 1,4 % pour la matière organique.

ELEMENTS COMMUNS	suspensions	dissous	total
Si	661 900	42 100	703 000
K	40 300	21 400	61 700
Mg	20 800	20 600	41 400
Ca	5 000	40 000	45 000
Na	4 200	22 700	26 900

ELEMENTS DIFFERENTS	suspensions		dissous
Al	358 700	II CO ₃	287 100
Fe	192 300	Cl	15 600
Ti	15 700	SO ₄	1 800
Mn	800	PO ₄	300

Les taux d'érosion mécanique et chimique réunis représentent un soutirage de matière de l'ordre de 12,5 t/km²/an ou encore de 125 kg/ha/an, valeurs qui restent faibles comparativement à ceux d'autres rivières africaines (Congo : 22,4 t/km²/an, Zambèze : 45,9 t/km²/an, Niger : 33,0 t/km²/an, Nil : 30 t/km²/an, Orange : 20,2 t/km²/an, Bandama : 17,3 t/km²/an,) et américaines (Amazone : 124 t/km²/an, Mississipi : 134 t/km²/an).

En une année, et en se basant sur une densité moyenne de 2.25, les reliefs s'éroderaient de 6 µm environ et il faudrait de l'ordre de 170 000 ans, dans des conditions d'aridité actuelles, pour provoquer un abaissement général du paysage d'une hauteur de 1 m.

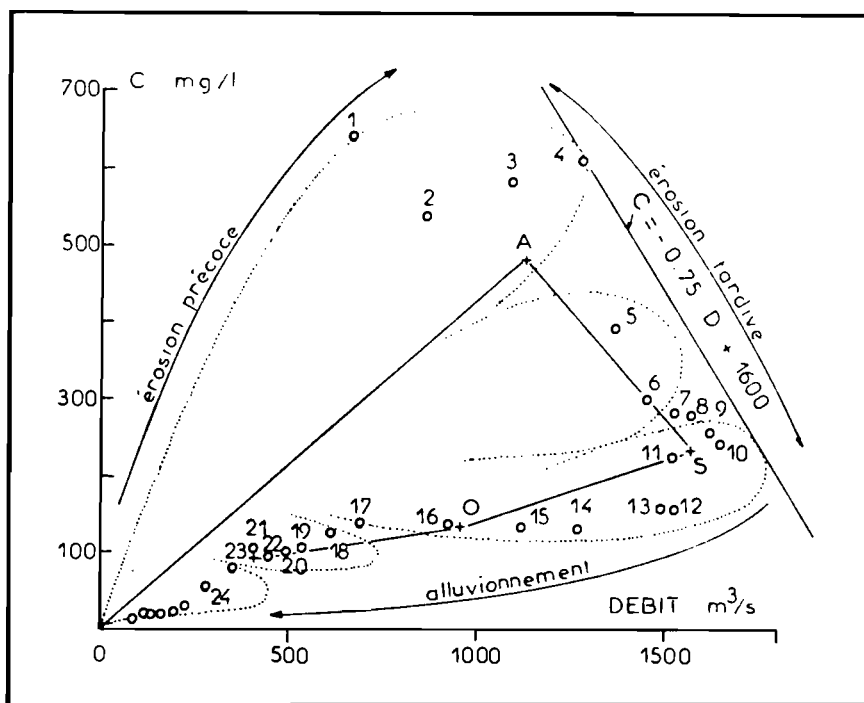


Fig. 1 — Relation entre charges solides et débits.
Relation between concentration of suspended sediment and water discharge.

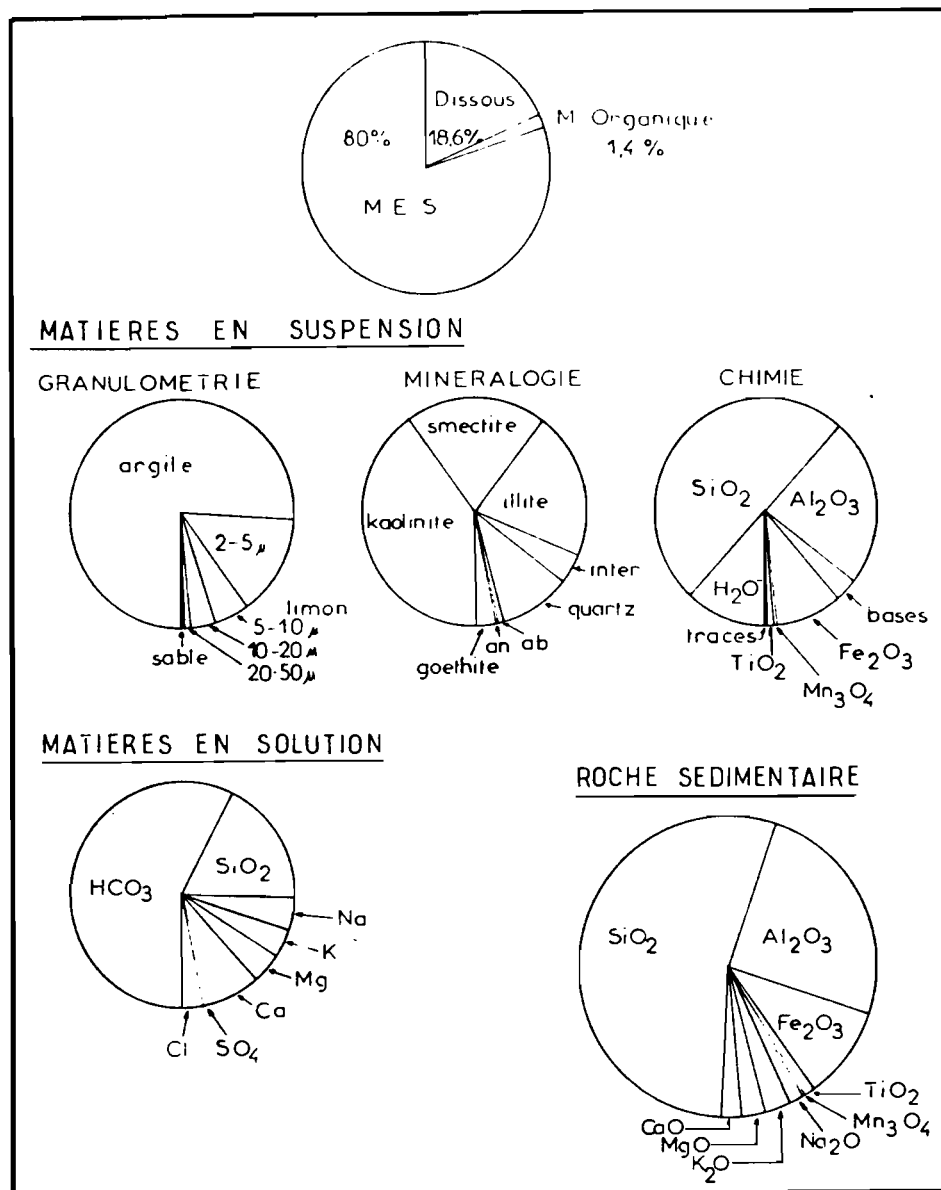


Fig. 2 — Flux de matière dans le fleuve Sénégal.
Flux of matter in the river Senegal.

PREMIERS RESULTATS DU PROGRAMME PIRAT SUR LES APPORTS FLUVIATILES EN MATERIAUX
SOLIDES ET DISSOUS DU CONGO A BRAZZAVILLE.

SIGHA NKAMDJOU,

J.P. BRICQUET,

J. KONG

INTRODUCTION

Dans le cadre des recherches pluridisciplinaires visant à connaître le fonctionnement ou "la respiration" des écosystèmes forestiers de grands bassins équatoriaux, l'UR 107 de l'ORSTOM a entrepris depuis décembre 1986 à Brazzaville, les mesures de matières solides et dissoutes transportées par le fleuve Congo au niveau du couloir.

A cheval sur l'équateur avec 2/3 de la superficie de son bassin dans l'hémisphère sud et 1/3 dans l'hémisphère nord, le fleuve Congo draine (en totalité ou en partie) les territoires de la plupart des Etats de l'Afrique centrale (Congo, Zaïre, Cameroun, République Centrafricaine). (figure 1).

Sa superficie ($3,5 \cdot 10^6$ km²) et son module (40 000 m³/s), le classent au second rang après l'Amazone qui est le plus grand fleuve du monde. Il apporte 60 % des eaux qui arrivent au Golfe de Guinée du Cap de Ste Marie au Cap des Palmes.

La soumission du bassin du Congo aux climats symétriques par rapport à l'équateur lui donne un régime hydrologique régulier (coefficient d'irrégularité : 1,66). Sur la période 1902-1986, les débits extrêmes sont de 76 900 m³/s le 27.12.61 pour le maximum et de 22 000 m³/s les 20 et 21.07.1905 pour le minimum. Les variations saisonnières des débits sont calquées sur celles du climat équatorial (deux périodes de hautes eaux et deux d'étiage).

LES RESULTATS

La température varie peu (27,3 - 30,1 °C). Dans l'ensemble, elle varie dans le même sens que celle de l'air. Les fortes valeurs sont observées en saison des pluies (30,1 °C en mai) et les faibles valeurs en saison sèche (27,3°C en juillet).

Le pH varie entre 6,13 et 7,50. Pendant les crues, le pH est acide, ce qui caractérise la dilution des HCO₃. Il devient basique pendant les basses eaux. Il reste dans l'ensemble proche de la neutralité. La moyenne est de 7,0.

Les valeurs de la conductivité ramenées à 20°C varient entre 23,5 et 38,9 us/cm. De même que pour le pH, les faibles valeurs sont observées pendant les crues et les fortes valeurs pendant l'étiage. Elles indiquent une faible salinité.

Les teneurs en bicarbonates varient entre 0,39 et 0,66 mg/l soit une dureté comprise entre 1,5 et 3,3° Français (eau douce).

LA CHARGE SOLIDE

Afin de respecter le protocole de traitement précédemment décrit, nous parlerons des sables et des MES (filtration sur Millipore); mais compte tenu de ce qu'aucune mesure de charriage n'a été faite et que les sables dont il est question ont été prélevés en suspension et sont de plus en plus de petite taille, nous les considérerons comme des apports solides en suspension.

Les résultats sont reportés dans le tableau 1.

Les teneurs en sables varient entre 2 (août) et 5,4 mg/l (mai) et celles des MES entre 14,2 (décembre) et 27,8 mg/l (février).

L'étude des variations saisonnières des concentrations des MES en fonction des débits mensuels montre des valeurs faibles, constantes et voisines de celle d'août (16 g/m³) pendant les périodes des hautes eaux secondaires et la décrue des hautes eaux principales. Elles sont élevées (supérieures à 22 g/m³) pendant les deux périodes d'étiage, août excepté. On pense qu'on aurait eu des charges en suspension plus élevées au cours de la montée des eaux d'octobre-novembre, conduisant à une courbe en boucle. La constance observée pour les teneurs en sables indique qu'il s'agit de matériaux plus lourds qui proviendraient de l'érosion des berges des plateaux Batékés.

La prise ensemble de ces deux types d'éléments donne des valeurs comprises entre 17,2 et 32,5 mg/l. La plus forte valeur (32,5 mg/l le 13/2/87) serait conséquente à la petite crue observée ce jour qui proviendrait certainement d'un sous-bassin sec et dénudé et à dominance sableuse (Kassai). La plus faible valeur (17,2 mg/l) a été mesurée pendant le maximum de crue de décembre. La courbe représentative est imposée par celle des MES.

Le tableau 2 contient les débits solides et les débits liquides journaliers. En dehors des faibles valeurs de juillet et août (90 et 51 kg/s) et de la forte valeur de mai (206 kg/s), les sables sont transportés à débits presque constants de décembre à février (160 kg/s) et en mars, avril et juin (120 kg/s).

Les plus forts débits solides des MES sont ceux induits par les fortes concentrations de février et mai (1 000 kg/s); les plus faibles sont ceux de mai, juillet et août (500 kg/s). Les variations sont peu notables les autres mois (700 kg/s). Pour l'ensemble de la charge solide, on constate une atténuation de ces fluctuations (sauf en février : 1 200 kg/s et en août 470 kg/s) des débits solides qui sont regroupés entre 700 et 1000 kg/s. De même que pour la turbidité, le turbidigramme résultant suit celui des MES.

L'évaluation des charges solides mensuelles exportées (tableau 3) donne des tonnages de sables compris entre 140 000 et 550 000 tonnes. Environ 3 millions de tonnes de sables ont été évacuées en 9 mois : soit une moyenne de 350 000 tonnes, valeur proche de la médiane qui est de 330 000 tonnes (mars). Les quantités mensuelles de MES varient entre 1,2 et 2,5 millions de tonnes. Ainsi, 17 millions de tonnes de particules ont été exportées de décembre 86 à août 87, soit une moyenne mensuelle de 1,9 millions de tonnes, valeur presque égale à la médiane qui est de 1,94 millions de tonnes (janvier).

Le bilan provisoire du transport solide à la sortie du couloir est de 20 millions de tonnes, soit une moyenne mensuelle de 2,3 millions de tonnes, valeur quasiment égale à la médiane (2,4 millions de tonnes en janvier).

On constate dans l'ensemble que les variations des concentrations et des débits solides sont atténuées par les volumes mensuels écoulés. Ainsi donc, presque les mêmes quantités de matériaux solides ont transité au niveau du couloir de décembre à mars et en juin (environ 2,6 millions/mois); cette constance s'observe également en avril, mai et juillet (2 millions tonnes/mois). La plus faible quantité est rencontrée en août (1,3 millions de tonnes).

De ce qui précède, on peut déjà avancer que c'est pendant les hautes eaux que sont évacuées les plus grandes quantités de matériaux solides malgré les faibles concentrations observées.

LA CHARGE SOLUBLE

Les résultats portent essentiellement sur l'aspect quantitatif des substances dissoutes, puis sur celui des bicarbonates et couvrent uniquement la période de mars à août 1987.

Les teneurs en matières dissoutes (MD) sont très élevées ; elles varient de 73 à 102 mg/l, soit 3 à 4 fois supérieures à celles des MES (tableau 4). Les plus faibles valeurs sont mesurées pendant les hautes eaux secondaires et les plus fortes pendant les basses eaux. Cette tendance est également vérifiée pour les bicarbonates. En effet, la courbe de variation des concentrations des HCO_3 (23,8 à 40,3 mg/l) suit celles des MD. On note une forte proportion des HCO_3 dans les MD (30 à 50 %). A l'exception de mars, on constate que les fortes concentrations des MD et HCO_3 de juillet et août coïncident avec des fortes valeurs de conductivité et de pH alors que les faibles concentrations ont été mesurées en même temps que les faibles valeurs de ces deux paramètres pendant les hautes eaux secondaires (effet de dilution des ions HCO_3 : pH acide).

L'évaluation des quantités de matières exportées en solution pendant ces 6 mois donne 45 millions de tonnes dont 17 millions de tonnes de HCO_3 . Au regard du tableau 5 exception faite du mois de mars, on observe une constance des tonnages mensuels autour de 7 millions. Ceci nous amène à avancer que l'érosion chimique se manifeste sans doute avec la même intensité une bonne partie sinon toute l'année, mais que les concentrations sont diluées par l'écoulement de surface pendant les hautes eaux.

COMPARAISON DES RESULTATS

Il est pour le moment assez difficile de comparer les résultats de cette étude qui ne porte que sur 9 mois à ceux estimés annuellement. Néanmoins, il nous paraît opportun d'évoquer les uns et les autres à titre indicatif en attendant une série beaucoup plus longue.

Ainsi donc, pour cette première campagne, la dégradation spécifique des sables est de 0,9 t/km² et celle des MES de 4,9 t/km², soit une érosion mécanique de 5,8 t/km².

Cette valeur est inférieure aux dégradations spécifiques annuelles des études antérieures qui sont comprises entre 9 t/km² an (GIBBS, 1967) et 19,9 t/km² an (HOLEMAN, 1968). KINGA M. (1986) cite des valeurs de 12,6 t/km² an (1971), 10,1 t/km² an (1973) et 11,3 t/km² an (1976) ; NKOUNKOU et PROBST (1986) trouvent une valeur moyenne de 13,8 t/km² an. Si on compare plutôt les concentrations moyennes, on constate que les 21,4 mg/l de cette étude (moyenne sur les 9 mois) sont voisines d'un grand nombre des moyennes annuelles déjà publiées 23 mg/l (GIBBS 1967), 31,8 mg/l (EISMA et al, 1978), 26,5 mg/l (MOLINIER, 1979), 27 mg/l (KINGA MOUZE, 1986).

Pour ce qui est des substances en solution, nous avons évalué à 13 t/km² l'altération spécifique correspondante en 6 mois de mesures. Or d'après les estimations de SYMOENS (1968), elle serait de 13,3 t/km² an. GAC et GRONDIN (1979) l'évaluent à 9,5 t/km² an alors que NKOUNKOU et PROBST donnent 6,5 t/km² an. Le résultat de cette étude est supérieur; mais si on considère l'érosion chimique sans HCO_3 (5t/km²), alors on l'évalue à 8 t/km².

Ainsi donc la concentration moyenne (79,5 mg/l) chute à 49,2 mg/l, valeur proche des estimations annuelles citées par KINGA, 1986 (45 mg/l) et SYMOENS, 1968 (31 mg/l). Elle est également analogue à la moyenne de nombreux auteurs (31 mg/l) cités par GAC (1980)

Il convient de remarquer au sujet des différences entre les résultats de cette étude et ceux d'autres auteurs qu'elles seraient dues non seulement à la série incomplète, mais également à la méthodologie de mesures, de prélèvements et de traitement qui diffère d'un auteur à l'autre. Néanmoins, étant donné que d'une façon générale le maximum de concentrations des MES est observé à la montée des crues (octobre et novembre) et que le minimum de la charge en solution est mesuré pendant les hautes eaux, nous pensons que les résultats connaîtront une pondération dans le sens de ceux déjà publiés à la fin de la campagne

TABEAU 1: SABLES ET MATIERES EN SUSPENSION (Concentration en mg/l)

N°	Date	Sable $\theta > 50\mu$	MES $0.45 < \theta < 50\mu$	SABLES + MES
1	02.12.86	3.0	14.2	17.2
2	14.01.87	3.3	16.0	19.3
3	13.02.87	4.7	27.8	32.5
4	14.03.87	3.2	24.1	27.3
5	14.04.87	2.9	16.4	19.3
6	16.05.87	5.4	14.3	19.7
7	16.06.87	3.4	24.4	27.8
8	27.07.87	3.4	22.0	25.4
9	20.08.87	2.0	16.4	18.4

TABEAU 2: DEBITS LIQUIDES (Ql) et DEBITS SOLIDES (Qs)

N°	Date	Ql (m³/s)	QS (kg/s)		
			Sables	MES	Sables + MES
1	02.12.86	55 210	166	784	950
2	14.01.87	45 700	151	731	882
3	13.02.87	37 000	174	1 030	1 205
4	14.03.87	38 360	123	925	1 050
5	14.04.87	39 780	115	652	767
6	16.05.87	38 080	206	545	751
7	16.06.87	35 010	119	854	973
8	27.07.87	26 590	90	585	675
9	20.08.87	25 380	51	416	467

TABEAU 3: DEBITS MOYENS MENSUELS(m³/s) et TONNAGES MENSUELS EXPORTEES

N°	Mois		Q(m³/s)	Tonnages mensuels (10³ tonnes)		
				Sables	MES	Sables + MES
1	Déc.	86	55 100	443	2 095	2 538
2	Janv.	87	45 200	400	1 937	2 337
3	Fév.	87	36 900	420	2 482	2 901
4	Mars	87	38 100	327	2 459	2 786
5	Avril	87	39 600	298	1 683	1 981
6	Mai	87	38 100	551	1 459	2 010
7	Juin	87	34 500	304	2 182	2 486
8	Juillet	87	28 600	260	1 685	1 946
9	Août	87	26 270	141	1 154	1 295

TABLEAU 4 : MATIERES EN SOLUTION (Concentrations en mg/l)

N°	Date	MD	HCO ₃ ⁻
1	02.12.86		
2	14.01.87		
3	13.02.87		
4	14.03.87	102	40.3
5	14.04.87	73.0	23.8
6	16.05.87	72.5	28.7
7	16.06.87	77.0	33.6
8	27.07.87	89.0	32.3
9	20.08.87	90.0	35.7

TABLEAU 5 : DEBITS MENSUELS des BICARBONATES et de la CHARGE TOTALE en SOLUTION

N°	Mois	Q mensuel (m ³ /s)	Tonnages mensuels (10 ³ tonnes)	
			HCO ₃ ⁻	MD
1	02.12.86	55 100		
2	14.01.87	45 200		
3	13.02.87	36 900		
4	14.03.87	38 100	4 112	10 410
5	14.04.87	39 600	2 443	7 493
6	16.05.87	38 100	2 929	7 398
7	16.06.87	34 500	3 005	6 886
8	27.07.87	28 600	2 474	6 818
9	20.08.87	26 270	2 512	6 353

PROGRAMME PIRAT : TRANSPORTS DE MATIERES SUR L'OUBANGUI A BANGUI

J.P. THIEBAUX

RESULTATS DES ANALYSES ET PREMIERS BILANS

La majeure partie des prélèvements a donc eu lieu durant la décrue où la valeur de Q_i va décroître rapidement. La part de la vidange des nappes d'eau souterraines, alimentées durant la saison des pluies par infiltration, augmente au cours de la décrue. Ces eaux étant filtrées naturellement par le sol, la quantité de matière dissoute est élevée et celle en suspension très faible. A la remontée des eaux nous assisterons au phénomène inverse car les pluies entraînent un ruissellement qui s'accompagne d'arrachement de matière sur les sols. Donc leur quantité dépend essentiellement de l'abondance et surtout de l'intensité des pluies, ainsi que de leur répartition durant l'année car les états de surface des sols ne sont pas identiques (végétation, terre, sable, roche etc. entraînant un ruissellement de surface très différent pour la même pluie).

Le tableau suivant résume les observations faites depuis juillet 1986 et jusqu'à juin 1987. Des estimations sont proposées pour les mois manquants et sont indiquées entre parenthèses.

Tableau 6 : tonnage des matières en suspension et dissoutes, durant la période juillet 1986

Mois	Module m ³ /s	MES		MD		Tonne	Tonne/km ² /mois
		Concentration moy. mg/l	Tonnes par mois	Concentration moy. mg/l	Tonnes par mois		
1986							
juillet	2315	54.7	339 170	52.5	325 526	664 700	1.42
août	3600	-	(530 000)	-	(500 000)	(1 030 000)	(2.15)
septembre	4400	-	(570 000)	-	(630 000)	(1 200 000)	(2.50)
octobre	6470	50.3	843 540	58.0	972 674	1 812 200	3.8
novembre	5060	29.1	381 660	46.0	603 314	985 000	2.1
décembre	2400	-	(80 000)	-	(200 000)	(280 000)	(0.58)
1987							
janvier	870	3.9	9 087	28.5	66 411	75 500	0.16
février	469	3.7	4 198	34.6	39 157	43 500	0.09
mars	383	5.4	5 539	38.3	39 290	44 800	0.09
avril	445	4.4	5 075	48.6	56 057	61 200	0.13
mai	550	8.7	12 816	37.0	54 500	67 300	0.14
juin	1370	23.8	84 515	58.2	213 085	297 600	0.62
Année juil. 86-juin 87	2660					6565800	13.7

L'exportation de matière sur cette période de 12 mois aurait donc porté sur 6,6 millions de tonnes soit une dégradation spécifique de 13,7 T.km⁻² an⁻¹; les matières en suspension ne représentent que 2,9 millions de tonnes soit 44 % des exportations.

APPORTS HYDRIQUES CONTINENTAUX ET INTRUSION MARINE EN CASAMANCE.

J C. OLIVRY

I. INTRODUCTION

De nombreuses études ont été entreprises sur l'hydrologie de la Casamance tant sur la partie Continentale que sur la partie maritime. La connaissance des bilans de l'écoulement est toutefois assez récente puisqu'elle découle des travaux de Brunet-Moret, Chouret, Olivry et Gallaire ; elle reste encore imparfaite mais a déjà permis de réfuter les estimations régionales publiées par les hydrologues soviétiques dans l'Atlas Hydrologique International de l'UNESCO qui donne pour la Casamance un coefficient d'écoulement interannuel de 40 %. Avec les multiples intervenants que la rigueur climatique des dernières années a amenés à se pencher sur le devenir agricole de la région, et leurs estimations hydrologiques souvent fantaisistes, l'ORSTOM a développé sur la Casamance même des opérations de recherches poursuivies dans le détail sur le Marigot de Baila depuis 10 ans.

Le bilan proposé ici pour Ziguinchor n'a d'autre ambition que de fixer les idées sur la dynamique des transferts d'eau en milieu estuarien pour différents scénarios climatiques, ... et de situer l'évolution des salinités dans les biefs maritimes à travers l'exemple du Marigot de Baila.

II. LES ECOULEMENTS A ZIGUINCHOR.

La Casamance à Ziguinchor a un bassin versant continental de 13 000 km² et dans sa partie aval, des plans d'eau libre et marais (mangroves) couvrant 800 km² environ.

Le bassin reçoit en année moyenne 1 300 mm de précipitations tandis que les plans d'eau reçoivent 1 400 mm.

L'exemple des cours d'eau plus orientaux (Gambie) permet une estimation des coefficients mensuels de débits (à rapporter au module) indiquée ci après. (année hydrologique de mai à avril).

Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril
0,01	0,2	1,0	3,7	4,2	1,8	0,6	0,3	0,2	0,15	0,03	0,01

Pour ce qui est des précipitations à l'aval des bassins on a retenu le découpage suivant en % pour les 7 mois de saison des pluies.

Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Total
1	9	22	33	24	10	1	100

L'évapotranspiration potentielle sur nappe d'eau libre et mangrove a été grossièrement assimilée à une valeur constante de 5 mm/jour totalisant donc 1825 mm dans l'année (sans doute en dessous de la réalité) sur une superficie de 800 km².

Le bilan des écoulements annuels de la Casamance à Ziguinchor correspond donc :

- 1°/ à l'apport du bassin continental (13 000 Km²) QE correspond à un certain coefficient d'écoulement K_e (%) des précipitations reçues, écoulement comprenant ruissellement, écoulement de base et vidange des nappes, après évapotranspiration.
- 2°/ à l'apport Q_p des précipitations sur le bassin aval plans d'eau et mangroves totalisant 800 Km² équivalent à un coefficient d'écoulement de 100 %.
- 3°/ au prélèvement effectué par évapotranspiration sur ces plans d'eau et mangroves sur toute l'année.

La différence ($Q_E + Q_p$) - Q_{ETP} peut être positive et il y a volumes sortants - Négative, elle implique que des volumes aval soient transférés vers l'amont pour compenser les pertes, grâce aux marées, avec pour corrolaire une augmentation de la salinité.

Ce bilan a été calculé mois par mois pour différentes hypothèses d'écoulement sur le bassin amont.

En conditions moyennes de précipitations, différentes études ont montré que le coefficient d'écoulement moyen tant $K_e = 6\%$.

Ces mêmes études, surtout axées sur la Basse Casamance ou des observations effectuées sur des bassins sénégalais de la même zone latitudinale, montrent que le coefficient tombe à 1% pour une pluie déficitaire de l'ordre de 1 000 mm et même à 0 % pour la pluie de fréquence décennale sèche. (Ici nous avons retenu une pluie moyenne de fréquence plus rare puisqu'elle n'atteint que 700 mm pour le bassin aval).

Deux autres scénarios de K_e ont été étudiés pour les valeurs de $K_e = 12\%$ qui correspondrait à une année humide et $K_e = 18\%$ qui doit être très exceptionnelle. (Les hauteurs pluviométriques ont été conservées à 1 400 et 1 300 mm dans ces deux cas et les résultats devraient donc être augmentés pour de plus fortes précipitations.

Les calculs sont donnés mois par mois dans le tableau 1 ; les valeurs sont exprimées en débits m³/s.

Ils montrent pour le scénario à 6 % (3) quatre mois d'écoulement positif (de l'amont vers l'aval) avec un maximum à 215 m³/s pour août, et 8 mois d'apports compensateurs de l'évaporation dont 5 dépassant 40 m³/s.

Les scénarios 12 % (4) et 18 % (5) font passer la période d'écoulement positif à 5 et 6 mois avec un maximum mensuel à 333 m³/s pour août puis 463 m³/s pour septembre. Les mois d'apports de l'aval dépassant 40 m³/s sont au nombre de 3 (mars, avril, mai).

Le scénario à 1 % (2) réduit à 3 mois la période d'écoulement positif avec un maximum pour août de 91 m³/s ; six mois ont un débit venant de l'aval dépassant 40 m³/s; c'est ce scénario qui correspond aux fortes salinités notées sur la Casamance.

Le scénario sans écoulement, avec les seuls apports de la pluie sur les plans d'eau suppose de faible précipitations ; il est calculé ici pour $P = 700$ mm. 1/ On a encore 3 mois d'écoulement positif et sept mois de débits de l'aval supérieurs à 40 m³/s.

Le tableau 2 résume ces résultats à l'échelle de l'année.

Tableau 1
ANNEE HYDROLOGIQUE

		Mai	J	Jt.	A	S	O	N	D	J	F	M	A
Scénario 1	Q sortie			19.8	40	19							
P = 700mm													
K = 0 %	Q entier	46	46				46	46	46	46	46	46	46
Scénario 2	Qs			39.6	91	60.1							
P = 1000													
K = 1 %	Q entier	42.3	13				1.6	39.8	44.7	45	45.4	45.9	45.9
Scénario 3	Qs			81	215	193	55						
P = 1300 am.													
1400 av.													
K = 6 %	Qe	41.4	0.7					22.7	36	40	41	45	45.7
Scénario 4	Qs		5.7	113	333	328	112						
P = 1300													
1400													
K = 12 %	Qe	41.1						3.7	26	33	36	44	45.4
Scénario 5	Qs		12	145	451	463	169	15					
P = 1400													
et plus													
K = 18 %	Qe	41							17	27	31	43	45

Q sortie : (Débit eaux continentales + lame d'eau précipitée aval) - ETR aval

Q entrée ou Q d'origine marine = ETR aval - Apports amont

Tableau 2

Scénario	1 Année très déficitaire 0	2 Déficitaire K = 1 %	3 Normale avec K = 6 %	4 5 Normale à forte	
				12 %	18 %
P haut bassin 13000 km ² mm	700	1000	1300	1300	> 1300
P aval 800 km ² mm	700	1200	1400	1400	> 1400
Volume écoulé "sorties" en m ⁶ m ³	202	352	1410	2310	3250
Volume "entrées" venant de la mer 106 m ³	1070	840	705	595	530
Différence	- 870	- 490	+ 705	+ 1715	+ 2720
Débit (sorties) moyen annuel m ³ /s	6,4	11,2	44,7	73,3	103
l/s/km ²	0,46	0,81	3,2	5,3	10,3
mm/s vitesse moy en période de sortie VF-Vj et durée	15,8 (3 mois)	10 (3 mois)	30 (4 mois)	40 (5 mois)	46 (6 mois)
Vitesse moy. en période d'entrée et durée	10,2 (9 mois)	8,0 (9 mois)	7,6 (8 mois)	7,3 (7 mois)	7,6 (6 mois)

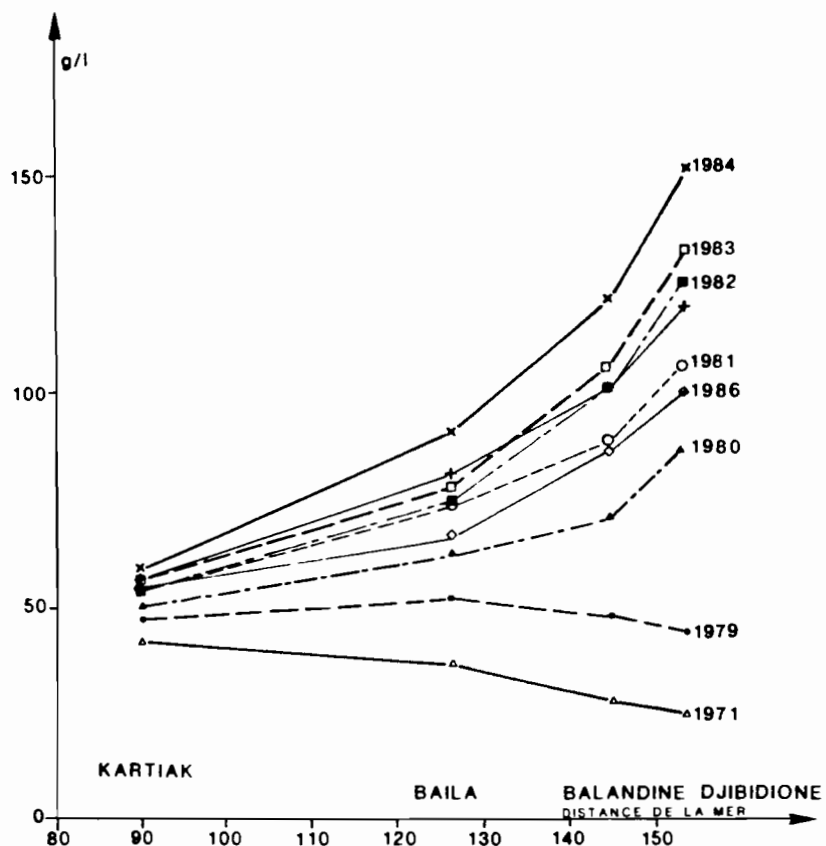
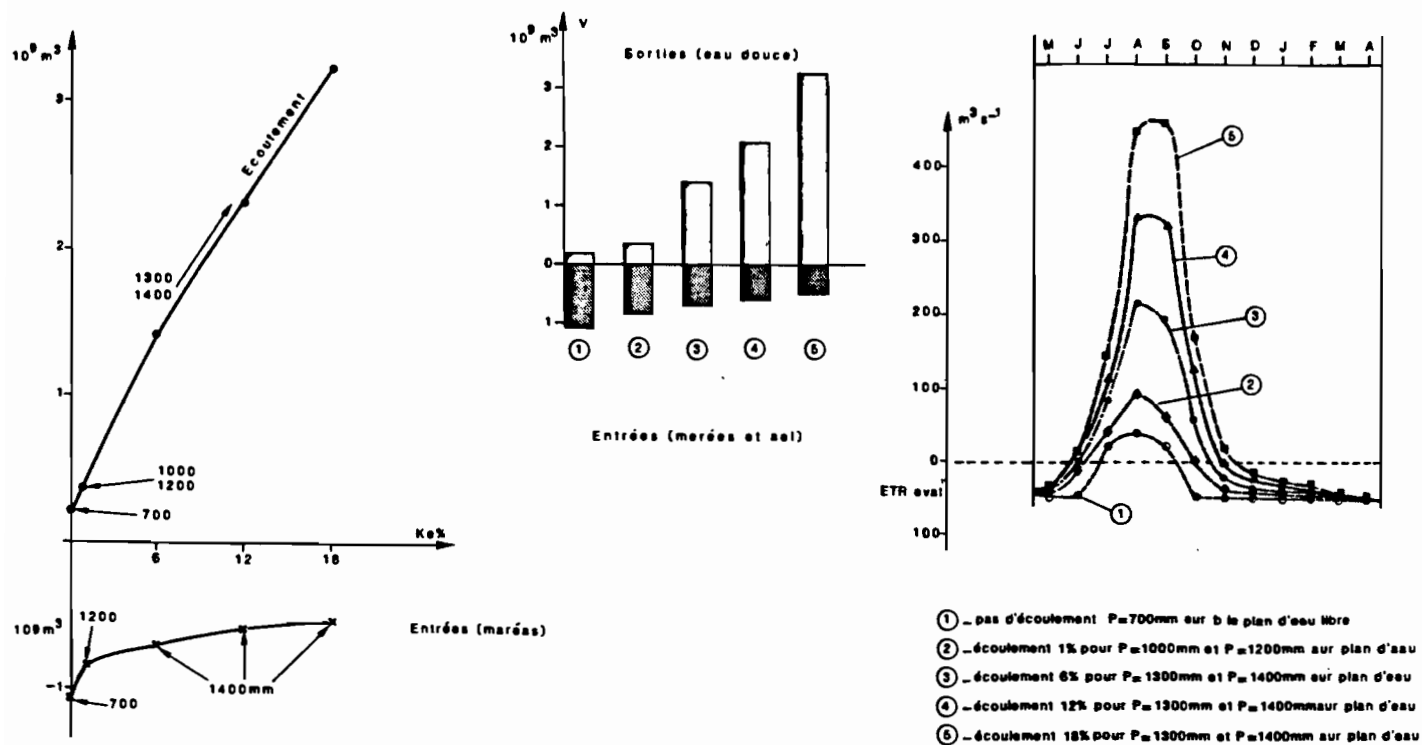


Figure Evolution des concentrations maximales observées en fin de saison sèche sur le marigot de Baila.

On y relèvera dans les dernières colonnes, les vitesses positives (écoulement) ou négatives (invasion marine), vitesses moyennes sur les périodes correspondantes susceptibles d'apparaître dans un bilan annuel de la courantométrie en continu mesurée à Ziguinchor. Un des objets de cette note consistait à préciser ce paramètre qui fait actuellement l'objet d'études (Olivry, Millet).

III. CONCLUSION

A partir des données sur les précipitations et sur l'écoulement connus à Kolda pour l'amont, à Bignona et à Baïla pour l'aval, il est possible de calculer avec le modèle proposé les teneurs du bilan de la Casamance à Ziguinchor sur la chronique disponible et de relier l'importance de l'invasion marine aux maximums annuels de salinité ; ceci constitue un des aspects des recherches actuellement en cours de DACOSTA. Il sera intéressant de relever dans d'éventuelles corrélations le poids des effets cumulés d'années déficitaires répétées, comme on l'a relevé à l'échelle du Marigot de Baïla où la détérioration des conditions hydrologiques, résultat de quinze années de déficits pluviométriques, constitue un phénomène durable.

Pour ce dernier bassin, on a montré que de meilleures conditions climatiques peuvent amener un rapide adoucissement des eaux salées de la Basse Casamance en saison humide, mais qu'en saison sèche l'absence d'apports souterrains et l'évaporation des plans d'eau libre et de la mangrove entraînent une rapide hypersalinisation des marigots en saison sèche (figure 4).

This volume is the ninth in the series of Hydrological Monographs compiled and published by ORSTOM, which present in accessible form the enormous amount of hydrological investigation carried out by French hydrologists overseas in the past 40 years. This monograph deals with the Republic of Cameroon, and deals comprehensively with all aspects of the surface water hydrology of that country. Faced with a choice between a brief account of hydrological regimes and a work of reference in hydrology presenting the physical background, the hydrological characteristics of different basins and summaries of the available hydrological records, Dr Olivry chose the second alternative and made it as complete as possible for the benefit of future project planners.

The work is divided into principal basins, and takes advantage of the key position of the country in terms of its range of climate and vegetation, from Congo rainforest in the south through high mountains to acacia scrub and grasslands near Lake Chad. The geology, geomorphology, soils, vegetation and climate are described for the whole country and for each group of basins, and the descriptions of the physical background are supported by a number of maps and photographs. A critique of the rain gauge network (e.g. "1960-1962, manifestement trop inventées, sont à éliminer") is followed by detailed analysis.

Similar accounts of the hydrometric network follow physical descriptions of each major basin, and the flow records are presented after critical analysis, correction and gap-filling. Monthly and annual flow series are tabulated, together with annual minima and maxima and flow duration characteristics for each year and for the whole record, and are illustrated by typical hydrographs. For each station, recession curves, low flow frequencies and flood frequencies are analysed and then compared between stations. Annual flow frequencies are derived and water balances are studied by comparing "runoff deficit" (rainfall minus runoff depth) with potential evaporation.

After each of the major basins has been treated in this manner, an attempt is made to give a general account of the hydrology of Cameroon, using the results of over 50 flow records and presented in a series of diagrams and maps. By relating rainfall, runoff and evaporation to latitude, it is shown that the runoff for a given rainfall varies with latitude in a manner which cannot be attributed to potential evaporation alone; the variation with latitude of the seasonal distribution of rainfall and the number and duration of wet seasons is also important. The interannual variability of runoff, as well as the mean runoff depth, is compared between the various climatic zones.

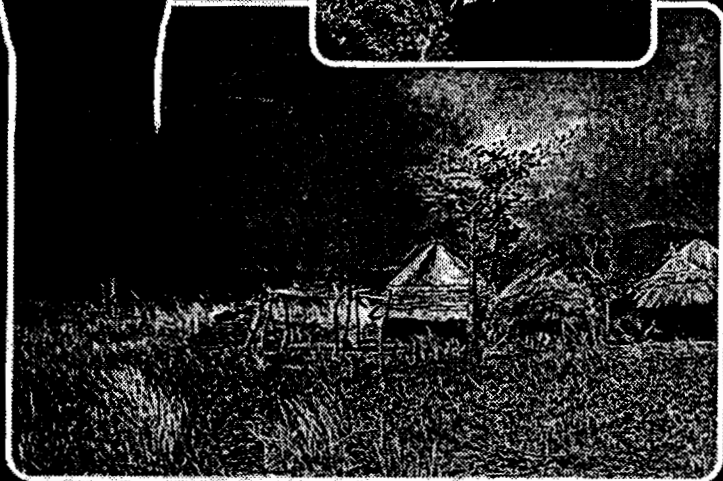
As the author suggests, the range of climate and other factors encountered in Cameroon (annual rainfall varies from 10 000 mm on Mount Cameroon to 400 mm near Lake Chad) presents the opportunity of a wider contribution to knowledge of intertropical hydrology. At the same time, the presentation of flow records and the appendix describing individual gauging stations, the discharge measurements and the derived rating curves, makes this an indispensable contribution to the development of the country's water resources. The author, whose knowledge of the area is illustrated by his 40 reports and papers cited, expresses the hope that, beyond the scientific contribution, the work may be accepted as his personal contribution to the development of the country. One must conclude that the country is fortunate to have this major contribution.

Because of the range of conditions and the amount of hydrological statistics presented, this "important" volume (*in both the English and French senses*) will be of considerable value to those engaged in teaching and research. The reviewer has been able to add 1000 station-years of flood records to a regional flood archive; others might take advantage of the facility to obtain the basic hydrometric data on disc.

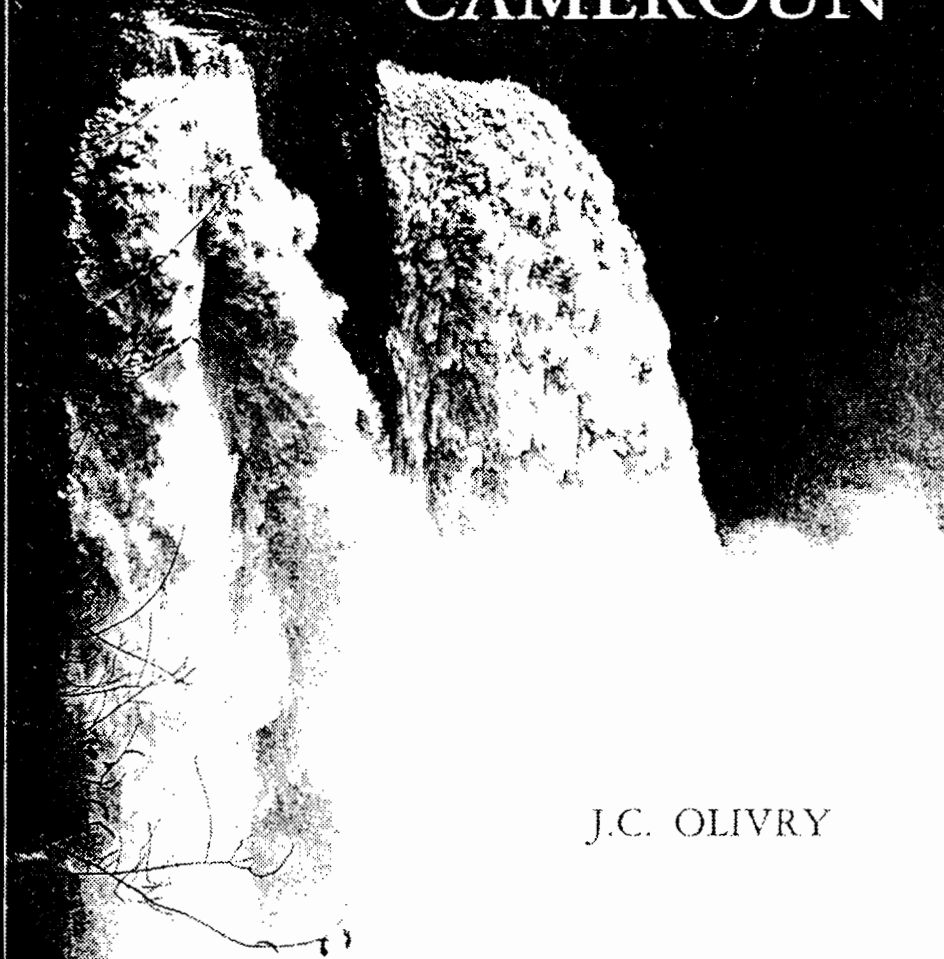
J.V. SUTCLIFFE
Goring on Thames, Oxfordshire
UK

La soif inextinguible de l'homme pour un « mieux-vivre » suppose une maîtrise des ressources en eau en harmonie avec son environnement.

Rendez-vous de la vie, promesse d'énergie, mais aussi vecteur d'endémies, l'eau, abondante ou rare, n'est jamais neutre. Sa connaissance est la clé de tout développement.



FLEUVES ET RIVIÈRES DU CAMEROUN



J.C. OLIVRY

MESRES-ORSTOM



Jean-Claude Olivry, docteur ès sciences et chercheur de l'ORSTOM, a séjourné onze années au Cameroun dont il a dirigé le Service Hydrologique de 1973 à 1979. Sa synthèse sur les régimes des fleuves et rivières du Cameroun propose, après présentation du milieu physique du pays et, en particulier, de sa climatologie, une étude détaillée des grandes unités hydrographiques. Un inventaire critique des données précède l'examen des principaux paramètres (étiages, crues, modules et bilan). Outre l'étude fréquentielle de ces variables (modèles stochastiques), une analyse de leurs variations spatiales a pu être faite en regard du milieu et de la zonalité latitudinale du climat. Des relations précises sont établies entre écoulements annuels, valeurs extrêmes d'une part, précipitations, superficie et morphologie des bassins d'autre part. L'ensemble constitue une contribution importante à la connaissance de l'hydrologie intertropicale et un ouvrage de référence pour les acteurs du développement.

Une Co-édition de l'Institut de Recherches Géologiques et Minières au Cameroun (IRGM-MESRES) et de l'ORSTOM

un ouvrage qui rassemble, pour un même pays, les principaux types de régimes hydrologiques du milieu intertropical et qui donne un exemple de synthèse précieux pour les étudiants concernés par le thème de l'eau.

LA VARIABILITE DU REGIME DES TRIBUTAIRES DU GOLFE DE GUINEE :

INDICE DE CRISES OU DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?

G. MAHE,

J.C. OLIVRY,

J. LERIQUE

1. INTRODUCTION

La variabilité extrême des précipitations qu'on enregistre dans le Golfe de Guinée - moins d'un mètre par an sur les côtes du Ghana et de l'Angola et plus de 10 mètres par à Debundsha au pied du mont Cameroun-, la complexité des courants, l'existence d'un important upwelling équatorial et de nombreux upwellings côtiers, les dessalures très prononcées du fond de la Baie de Biafra (20 g.l⁻¹) et de l'embouchure du Congo, dues à des apports fluviaux très contrastés (régimes tropicaux purs à équatoriaux purs, et fleuves par parmi les plus abondants du, concourent à faire du Golfe de Guinée un lieu d'une grande complexité hydrologique.

L'étude de la variabilité interannuelle des apports fluviaux au Golfe de Guinée nous renseigne sur les grandes variations climatiques de ces trois dernières décennies : années 50 moyennes, apports excédentaires dans les années 60 et déficitaires depuis 1970.

A l'échelle annuelle ou mensuelle, il existe une remarquable correspondance entre les anomalies de température de surface de l'océan et les anomalies de précipitations côtières, comme le montrait déjà P. HISARD en 1980 pour l'année 1968.

A une anomalie positive de la température de la mer en surface correspondent des précipitations côtières supérieures à la moyenne et à une anomalie négative correspondent généralement des précipitations inférieures à la moyenne.

Ce schéma général est localement perturbé, en particulier dans la région du mont Cameroun. Dans cette région les chroniques de débit (recueillies par J.C. OLIVRY) et celles des pluies (étudiées sur le mont Cameroun par J.C OLIVRY et G. L'HOSTIS) mettent en évidence des réponses inverses de la tendance générale autour du Golfe comme en 1963, 1967, 1976, 1982 ou 1984.

Les variations de débit, concomittantes à celles des températures de surface de l'océan et des précipitations ont des répercussions sur la salinité et par là sur l'activité de la biosphère marine.

Mais on rencontre parfois, depuis le début des années 70 et surtout en 1973 et 1984, des problèmes dans la correspondance entre les températures de surface de l'océan et les précipitations et débits sur le continent.

Cette note se limitera ici à la présentation des variations d'hydraulicité des tributaires du Golfe de Guinée et à celle d'une évolution du régime des hautes eaux pour un grand bassin équatorial, indice de variations climatiques continues et d'une nécessaire approche plus fine des paramètres dans ce type d'études.

2. BILAN DES APPORTS HYDRIQUES CONTINENTAUX ET VARIABILITE SUR LA PERIODE 1951-80

On a calculé la moyenne des apports hydriques continentaux au Golfe de Guinée sur la période 1951-1980 qui correspond à une période homogène d'observations hydrologiques et à la "normale" de 30 ans choisie par l'OMM pour représenter les précipitations interannuelles.

La répartition géographique de ces apports interannuels est schématisée sur la figure 1 par des cubes dont l'arête est proportionnelle à la racine cubique du volume annuel déversé. Les apports du Congo sont largement majoritaires et représentent à eux seuls près de 60 % des apports totaux au Golfe depuis le Cap des Palmes.

La variabilité interannuelle s'ordonne suivant les trois dernières décennies. Le tableau de la fig. 2 indique sur la période d'observation les années d'apparition des modules extrêmes (maximums et minimums). Ceux-ci apparaissent d'évidence comme l'indice de crises climatiques.

Les années 50

L'hydraulicité moyenne pour l'ensemble des fleuves est proche de 1. En Afrique Occidentale surtout, la variabilité interannuelle est importante, avec des pics en 55 et 57 et un déficit record en 1958. C'est la seule zone où l'hydraulicité moyenne des années 50 est très différente de 1, elle est de 1,2 pour les quatre fleuves étudiés dans cette région. La même année, un déficit important est enregistré à la fois dans les pluies et dans les débits, pour presque tous les fleuves, sauf le Wouri. En fait, dans toute la zone Cameroun nord, l'année 1958 n'est pas ressentie comme une année très déficitaire (hydraulicité moyenne de 0,96). Les pluies y sont proches de la moyenne en général et même supérieures à Douala. Au nord, les pluies sont excédentaires, en particulier dans la zone sahélienne. Ces pluies sont tombées principalement sur le bassin du Niger, entretenant un débit moyen en 1958 de 1318 m³. s⁻¹ à Niamey, supérieur à la moyenne 52-79 (1017 m³.s⁻¹) (BRUNET - MORET et VAL, 1986), alors que partout ailleurs la baisse de débit est considérable.

Les années 60

Durant cette décennie on observe une augmentation générale des débits, sauf dans la région Cameroun nord. Celle-ci se démarque des autres régions par des variations à tendance inverse comme en 1963, 1966 et 1967.

En 1963, le Mungo et le Wouri sont déficitaires (minimum pour le Mungo) alors que c'est l'année record pour l'écoulement entre 1944 et 1986 dans toute la zone d'étude autour du Golfe de Guinée. Les précipitations sont inférieures à la moyenne dans la zone Cameroun nord.

En 1966, toutes les régions situées au sud du mont Cameroun enregistrent une forte hausse des débits, qui ne se ressent pas dans la zone Cameroun nord.

Enfin, la baisse assez générale des débits observée en 1967 n'est pas relevée dans cette zone. Cette même année, les débits des fleuves de Côte-d'Ivoire sont déficitaires alors que ceux de l'Ouémé et du Mono, un peu plus à l'est sont excédentaires. Les océanographes dont HISARD, pensent qu'il existe une relation entre ces déficits et l'intensité et la durée des remontées d'eaux froides près des côtes ivoiriennes cette année-là.

L'année 1968 est marquée en Afrique Occidentale par une hausse générale très forte des débits (maximums de la Comoe et du Mono), qui n'est pas observée ailleurs. L'hydraulicité moyenne de la zone d'Afrique Occidentale pour 1968 est de 2 pour quatre fleuves. HISARD en 1980 relie là encore les variations locales aux anomalies de température de surface au large des côtes ivoiro-béninoises. En 1961, la zone équatoriale sud enregistre une hausse générale des débits, alors qu'ailleurs la tendance est à la baisse. Dans cette zone, comme dans la zone d'Afrique Occidentale, se produisent des upwellings côtiers. Leur variabilité en intensité et en durée peut être là aussi corrélée aux variations de pluies et de débits sur le continent.

En 1970, alors que la majorité des fleuves présentent des débits supérieurs à la moyenne, les fleuves d'Afrique Occidentale amorcent déjà une baisse

Les années 70

Depuis 1971, la baisse de débit est généralisée et s'est encore accentuée dans le début des années 80.

Le creux de 72-73 est remarqué partout, corrélé à une baisse généralisée des précipitations (75 % des stations pluviométriques étudiées sont en déficit par rapport à la moyenne pour chacune des deux années). Les stations qui reçoivent plus de pluie que la moyenne sont situées à l'intérieur du continent et sur les hauteurs.

La situation est légèrement différente entre 1972 et 1973. En 1972, toutes les stations côtières enregistrent un déficit, ce qui n'est pas le cas en 1973 (Accra, Lomé, Libreville, Mayumba), où corrélativement les stations où un excédent est enregistré sont pointées plus près de la mer. On trouve en effet une altitude moyenne de 450 m pour les stations en excédent en 1972 contre 350 m en 1973.

De plus, entre 72 et 73, la zone de précipitations $>$ à 2000 mm par an s'est décalée vers le sud, induisant localement une pluviométrie supérieure à la moyenne qui explique les débits moyens des fleuves de la zone Equateur sud (Ogooué, Nyanga, Kouilou), alors qu'en 73 le minimum absolu est enregistré pour le Mungo, et que le Wouri et la Sanaga sont aussi à des niveaux minimums.

Après ces deux années déficitaires, on observe à nouveau dans la zone Cameroun nord, certaines années (76, 78 et 79 principalement) des variations différentes de la tendance générale et surtout contrastées par rapport aux variations de la zone Afrique Occidentale. Dans cette dernière, les débits de 1979 sont supérieurs à la moyenne, ce qui n'est généralement pas le cas ailleurs. On retrouve la situation de 1968.

Conclusion à l'analyse de la période 51-80 - Bilan des apports

De cette analyse nous pouvons dégager un bilan sur deux échelles spatiales différentes : à l'échelle du Golfe de Guinée d'une part, à l'échelle locale d'autre part. Nous savons qu'en certaines années ou durant certaines périodes les débits de l'ensemble des fleuves suivent un même sens de variation (1958, 1963, décennie 1970 et en particulier 1972 et 1973, 1983). Ces variations de précipitations et de débits sont les témoignages de changements dans la circulation atmosphérique générale.

Parallèlement, on observe une certaine variabilité à l'échelle locale : Mont Cameroun, côtes de la basse Afrique Occidentale, côtes du Congo-Gabon. Dans ces deux dernières régions, nous avons vu que de nombreux auteurs établissent une corrélation entre la variabilité des remontées d'eaux froides près des côtes et celle observées dans les stations pluviométriques côtières et par là dans les débits des fleuves côtiers.

Bien que l'ensemble des fleuves ne manifeste que rarement une variabilité annuelle homogène (cf. variabilité parfois inverse de la région du mont Cameroun), les variations à une échelle de temps plus importante suivent des tendances identiques.

L'apport supérieur à la moyenne en Afrique Occidentale pour les années 50 est masqué par les apports du Congo inférieurs à la moyenne. Les apports du Congo sont de loin les plus importants dans le Golfe de Guinée et déterminent le sens de la variation globale des apports.

Durant la décennie 60, il y a eu un apport supplémentaire de 3 000 milliards de m³ d'eaux fluviales au Golfe de Guinée, alors que de 1971 à 1980 le déficit global fut de 1 700 milliards de m³. Là encore, la baisse relativement modérée des apports du Congo masque le déficit plus important des régions nord et centre du Golfe.

La variabilité interannuelle des apports d'Afrique Occidentale est très importante : 190 % en 1963 contre 38 % en 1983. Les variations sont de moindre amplitude dans les autres régions où le régime des pluies est plus régulier.

Il arrive en moyenne par an au Golfe de Guinée 2 300 milliard de m³ d'eaux fluviales. 1963 et 1983 se distinguent comme les deux années extrêmes. En 1963 l'apport supplémentaire est de près de 400 milliards de m³ soit 20 % d'augmentation. En 1983, le déficit est de 24 % soit 460 milliards de m³ en moins par rapport à une année moyenne.

Le déficit record enregistré au début des années 80 est assez important pour faire baisser la moyenne 51/80 d'une manière notable (Sassandra, Comoe, Mono, Ouémé, Sanaga, Nyong, Ntem). Pour le Congo, la moyenne sur 84 années est très influencée par les débits très bas enregistrés au début du siècle à Brazzaville.

Les débits du Congo évoluent suivant une tendance croissante depuis les années 10 jusque dans les années 60/70 (fig.3). Durant les années 60 le Congo a apporté en moyenne 25 % d'eau en plus au Golfe par rapport aux années 1900 à 1920.

3. UN EXEMPLE D'EVOLUTION DU REGIME HYDROLOGIQUE EN MILIEU EQUATORIAL : LES HAUTES-EAUX DE L'OGOOUE A LAMBARENE.

L'OGOOUE à LAMBARENE (203 500 km²) soumis au régime équatorial à quatre saisons présente deux saisons de hautes-eaux (printemps et automne). Le maximum annuel est le plus souvent observé en automne, mais la probabilité de voir ce maximum au printemps était non négligeable jusqu'aux années 50 - (40 % des cas sur 20 ans). Cette probabilité s'est beaucoup réduite dans les 30 dernières années (20 % seulement) suivant une tendance qui paraît continue.

La figure 4 illustre ce phénomène sur trois graphes prenant en compte les débits moyens mensuels maximums de printemps et d'automne. Le premier graphe montre une tendance nette depuis l'origine des observations à l'augmentation du rapport $R = \text{Crue d'automne} / \text{Crue de printemps}$; $R = 0,765 T + 8,25 \cdot 10^{-3}$ avec pour 1929, $T = 0$ et 51 années d'observation. Le deuxième graphe indique par des symboles le rapport entre la valeur maximale observée et la valeur moyenne mensuelle de la saison correspondante ; ces rapports sont naturellement forts pour la crue de printemps globalement la plus faible mais par contre très moyens pour la crue d'automne. Ceci signifie qu'il n'y a pas eu modification du régime des crues d'automne et se retrouve dans le troisième graphe où l'on ne relève pas d'évolution significative du maximum annuel.

En conclusion, les hautes-eaux de printemps montrent une tendance continue à la baisse traduisant une modification climatique progressive du régime de la grande saison des pluies de l'hémisphère austral.

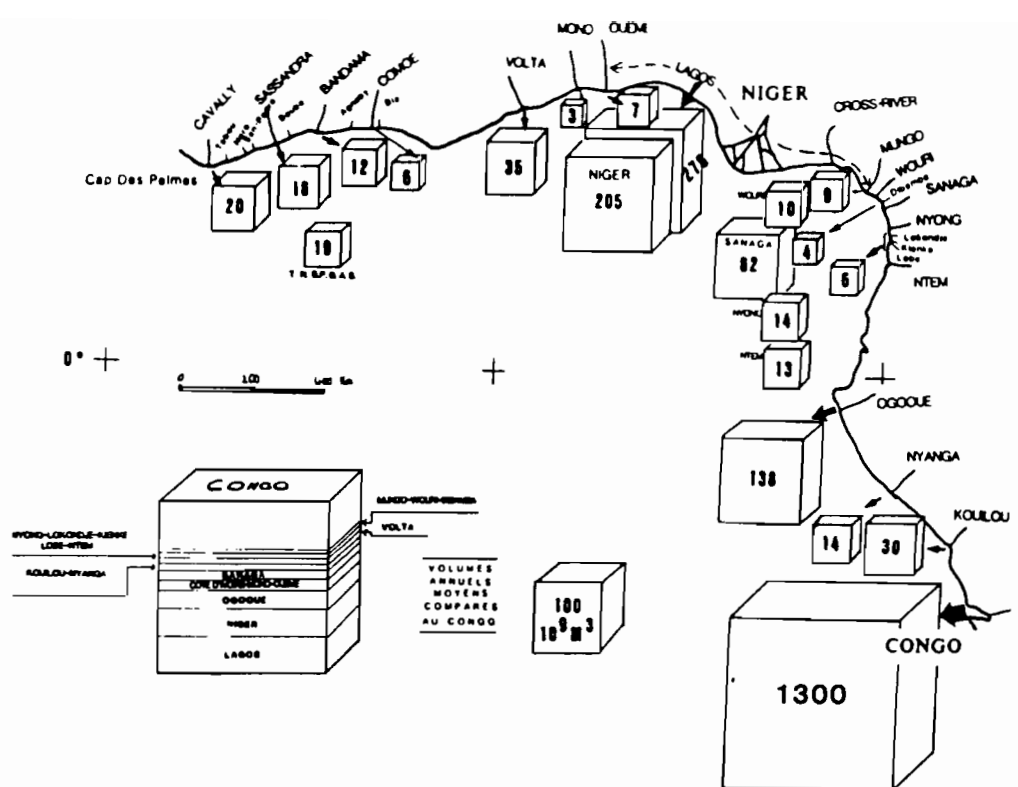


Fig.1 Apports interannuels comparés des différents tributaires du Golfe de Guinée
Moyenne sur la période 1951-80

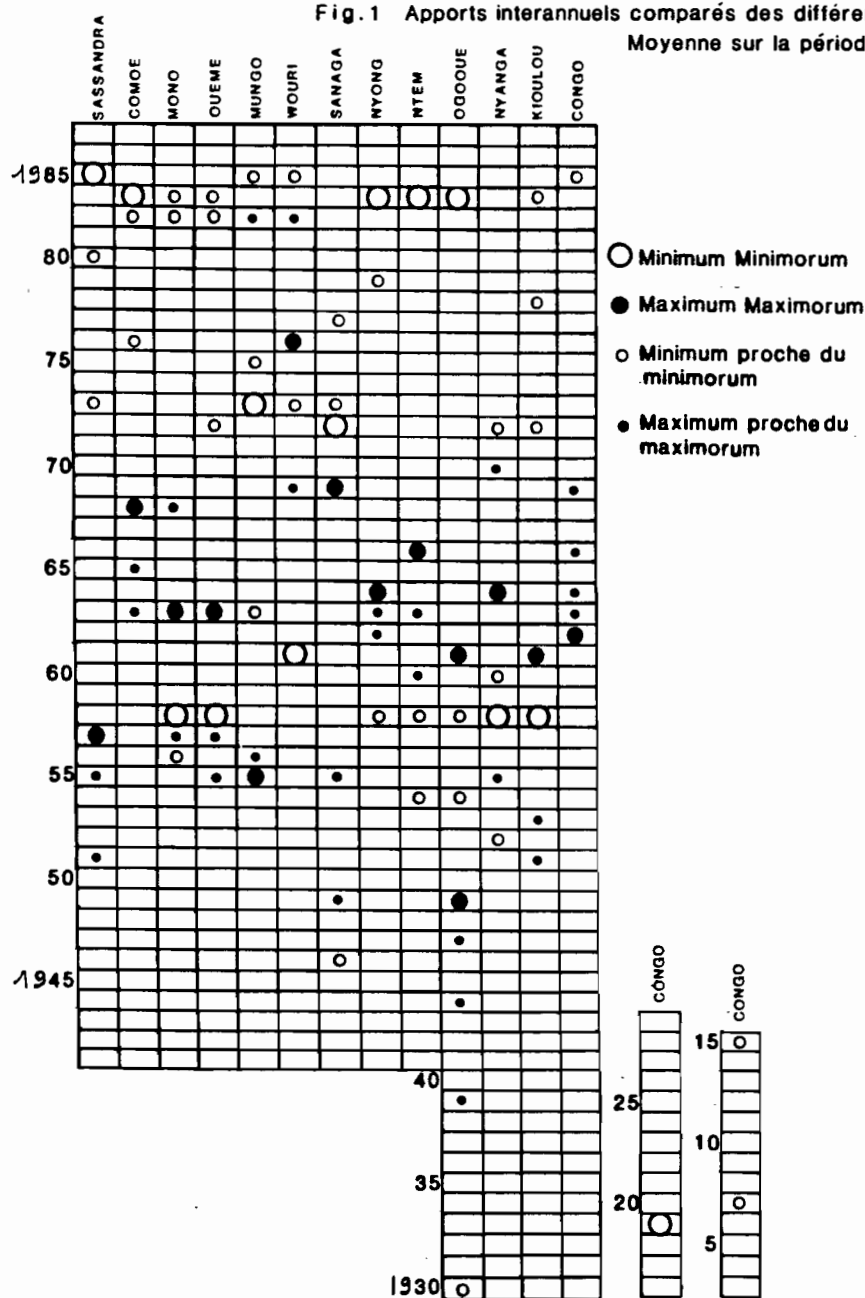
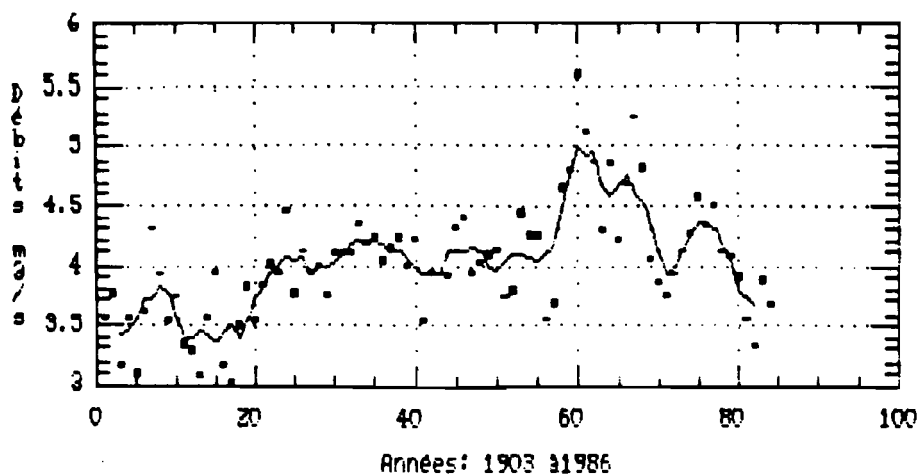
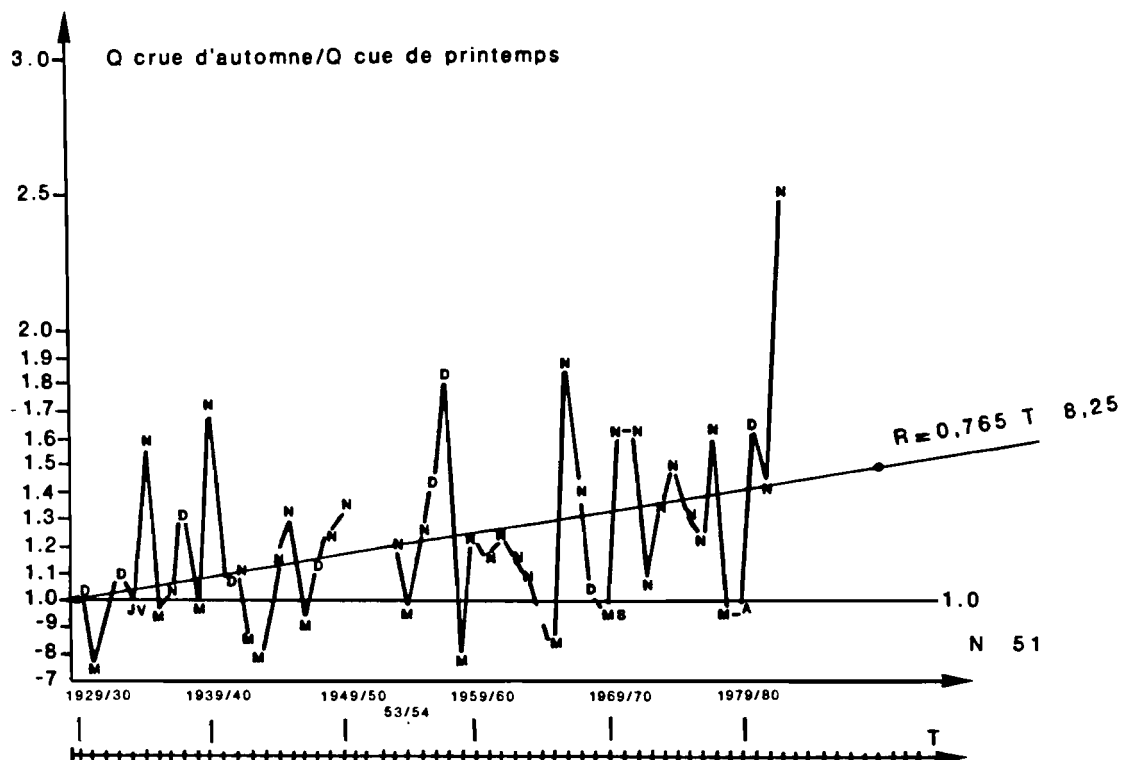


Fig. 2: CHRONIQUE DES MODULES EXTREMES SUR LA PERIODE
D'OBSERVATION DES TRIBUTAIRES DU GOLFE DE GUINEE

Fig. 3 Débits du Congo. Moyenne mobile simple sur 5ans.

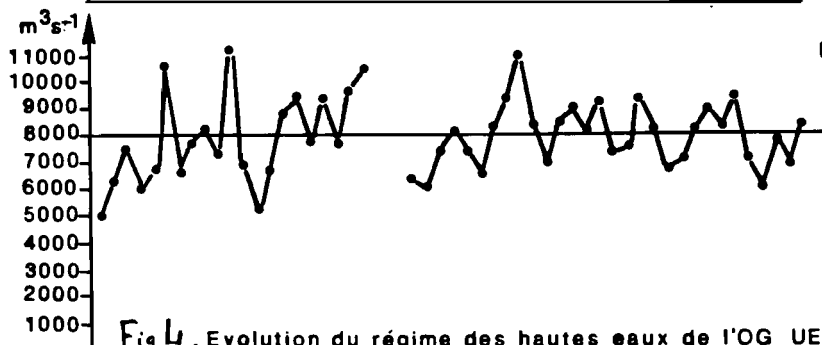


OGOUE LAMBARENE



ogooué à Lambaréné
Mois principal de crue
(au printemps ou à l'automne)

- $R > 1,29$
- R entre 1,10 et 1,29
- ▲ R entre 0,90 et 1,09
- ◆ R entre 0,70 et 0,89
- △ $R < 0,70$



$R = \text{Rapport} : \frac{\text{Valeur annuelle}}{\text{Moyenne sur 51 ans}}$

Fig 4. Evolution du régime des hautes eaux de l'OG UE à LAMBARENE

Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose. Etude expérimentale de la propagation des insecticides dans les rivières. Rapport final.

LE BARBE L. GIODA A.

Mots clefs : COTE D'IVOIRE, TOGO , DISPERSION, DIFFUSION, ONCHOCERCOSE, TRACAGES, COLORANT, INSECTICIDES.

Les auteurs ont interprétés onze traçages faits à la Rhodamine B en Côte d'Ivoire et au Togo entre 1984 et 1986. L'épandage du colorant a été effectué de la même manière que celui des insecticides des types utilisés par l'OCP, l'abate et le B.T., c'est-à-dire en travers d'une section et par moyen hélicoptère. Trois parties sont distinguées : la première, consacrée à la recherche d'un protocole standard de traitement ; la seconde, où est étudié le cas des rivières larges et complexes ; la troisième prend en compte les essais des trois insecticides fictifs. La première partie permet la définition, pour une température de référence , à partir des paramètres de l'insecticide, d'un protocole simple s'appuyant sur un modèle monodimensionnel. La connaissance de quatre paramètres de l'écoulement est suffisante : débit, vitesse, largeur, pente. Le domaine de validité du protocole est défini ainsi que les coefficients de sécurité à appliquer. La seconde partie repose sur l'application du modèle bidimensionnel DISPERSO de la Compagnie Générale des Eaux (CGE). Pour les rivières larges ayant des longueurs de diffusion élevées, il n'a pas été possible de définir la meilleure façon de les traiter. La troisième partie est consacrée à la définition des paramètres caractérisant chaque insecticide (essentiellement la dose) et la mise au point d'un protocole d'essais in situ afin de préciser ces paramètres. L'étude se conclut sur les conséquences opérationnelles de ce travail et sur des recommandations pour des études complémentaires

POSSIBILITES D'ALLEGEMENT DES RESEAUX HYDROMETRIQUES APRES REALISATION DE SYNTHESES HYDROLOGIQUES REGIONALES.

J.C. OLIVRY (d'après un article présenté en 1986 à Budapest. Symp. IAHS).

1. RESEAUX HYDROMETRIQUES ET SYNTHESES HYDROLOGIQUES

Dans les pays en voie de développement, la justification principale d'une collecte des données hydrométéorologiques est souvent de fournir les bases nécessaires à une utilisation rationnelle des ressources en eau. Ces données permettent en particulier la détermination des caractéristiques des aménagements hydrauliques et leur exploitation; elles supposent la mise en place de réseaux d'observations et, notamment, de réseaux hydrométriques.

L'historique de l'implantation des stations du réseau hydrométrique des pays en voie de développement traduit souvent dans une première phase cette seule nécessité de répondre aux besoins immédiats de projets d'aménagements. Mais très rapidement, l'hydrologue a pu s'affranchir de cette contrainte et procéder à l'implantation de stations pour lesquelles la collecte des données n'aura d'éventuelles applications qu'à plus long terme. Cette démarche a permis de développer des réseaux de densité minimale en évitant de graves lacunes géographiques.

Mais dans la plupart de ces pays, la continuité des observations, le développement des réseaux n'ont été possibles que grâce aux aides extérieures - assistance bilatérale ou programmes d'organismes internationaux. Elles ont permis, ou permettent encore, la gestion de réseaux d'une densité se rapprochant autant que possible des recommandations de l'OMM (1970). La caractéristique de ces aides est d'être limitée dans le temps; les programmes et leur tryptique classique "implantation-gestion-formation", prévoient des échéances à l'issue desquelles les réseaux sont pris en compte par les services nationaux. Mais les coûts de gestion constituent souvent une lourde charge pour le budget des jeunes Etats. Lorsque cet effort est consenti, les difficultés de fonctionnement (cas où les charges incompressibles de personnels constituent l'essentiel du budget) entraînent fréquemment des problèmes de fiabilité des données recueillies. De fait, telle qu'elle est conçue actuellement, la collecte des données hydrométriques revient très cher et dépasse les possibilités de la plupart des pays, en Afrique notamment. Dès que l'aide extérieure s'interrompt, les réseaux nationaux sont nombreux à périlcliter.

L'exploitation des réseaux suivant d'autres modalités est en train de se dessiner. L'implantation de stations automatiques avec télétransmission des données par satellite (système Argos, par exemple) en est un des aspects. Coûteux à l'installation, le système permet de réduire les dépenses de terrain et facilite le traitement de l'information ... mais quelle information si les tournées de jaugeages sont négligées, si le suivi technique des appareils n'est pas garanti ? C'est un outil parfaitement adapté à la prévision en temps réel sur grands bassins fluviaux mais il suppose en fait un renforcement des services hydrologiques et de leurs moyens financiers et ne peut complètement remplacer toutes les stations des réseaux.

L'existence, la maintenance, le suivi d'un réseau hydrométrique ne constituent pas une fin en soi; les données n'ont d'intérêt que si elles sont exploitées. Outre leur finalité dans le développement, il est peut-être utile de souligner que le principal objectif des réseaux est de mettre en évidence les caractéristiques du régime hydrologique des bassins fluviaux ou régions étudiées. Un réseau de densité minimale, sans grave lacune spatiale, suivi sur une période d'une trentaine d'années, doit permettre d'établir des relations entre facteurs hydrologiques, facteurs climatologiques et paramètres physiques significatifs des bassins versants (géomorphologie, pente, altitude, végétation, couverture pédologique et géologique, etc.). Seul ce type d'analyse permet une extension des résultats obtenus à partir du réseau sur des cours d'eau non équipés.

Cet ensemble de travaux se retrouve dans la publication de synthèses hydrologiques. Celles-ci, leurs modèles analytiques et stochastiques, leurs représentations graphiques et cartographiques suffisent dans la plupart des cas à répondre aux besoins exprimés par les projets divers d'aménagement des ressources en eaux. Le domaine d'applications pratiques des études hydrologiques repose le plus souvent sur des paramètres du type modules (valeur moyenne, médiane, décennales), valeurs extrêmes (étiages, maximums de crue) et débits caractéristiques de diverses récurrences, variations saisonnières et interannuelles, autres termes du bilan hydrologique, paramètres largement étudiés dans les monographies de bassins fluviaux.

Lorsque ces synthèses hydrologiques existent, la poursuite d'une collecte complète des données sur le réseau hydrométrique initialement mis en place ne constitue plus une priorité fondamentale. En effet, on peut envisager alors un allègement considérable du nombre de stations et, globalement, des tâches de "gestion du réseau" d'un service hydrologique. En dehors de stations à fonction précise, gérées directement ou sur financement des aménageurs (énergie hydroélectrique, alimentation en eau, voies navigables), on peut s'en tenir à quelques stations - test ou stations repères contrôlant des cours d'eau à écoulement naturel sur des bassins versants pour lesquels on ne prévoit pas, dans l'immédiat, de modifications majeures de l'équilibre des conditions physiques du milieu. Ces stations repères - les "bench-mark stations" de W. Langbein - parfaitement connues sur le plan hydrologique et sur le plan des distributions statistiques de divers paramètres, sont destinées à contrôler une éventuelle dérive par rapport aux lois précédemment établies et donc à actualiser les résultats.

L'exemple de travaux réalisés au Cameroun et le type de résultats attendus des synthèses régionales montrent qu'un allègement des réseaux est possible. L'exemple suivant illustre la dérive relevée à une station repère du fleuve Sénégal par rapport à des données publiées avant la sécheresse de ces 15 dernières années.

2. UN EXEMPLE DE DERIVE DES RESULTATS SUR LE FLEUVE SENEGAL

Il est évident que les travaux de synthèses dont nous parlons ne constituent qu'un constat, celui que l'hydrologue peut faire à un instant donné sur la base des observations dont il dispose. Plus tard, les résultats devront être actualisés, même s'il n'y a pas remise en cause des mécanismes climatiques et hydrologiques; c'est la fonction que nous donnons aux stations repères. A l'actualisation près des valeurs numériques, nous supposons une permanence dans la définition des régimes hydrologiques. Cette hypothèse d'une validité durable des résultats sous-tend la démarche proposée dans cette note, mais ouvre de fait un débat.

Nous avons choisi de tester ici un exemple de dérive particulièrement marquée des résultats obtenus sur le fleuve Sénégal. Le bassin du fleuve Sénégal a fait l'objet d'une monographie hydrologique portant sur des observations effectuées de 1903 à 1965 pour les séries les plus longues (Rochette, 1974). Les résultats proposés datent donc d'une vingtaine d'années, 20 ans pendant lesquels on a observé 15 années de sécheresse exceptionnelle. Les principales stations du réseau du bassin sont toujours en exploitation. La station de Bakel peut être évoquée ici comme station de base et à partir de cette station nous avons cherché à actualiser les données produites pour un affluent du Sénégal, la Falémé, contrôlé à Kidira, comme si les observations avaient cessé à cette station depuis 1965; nous avons ensuite comparé ces résultats à l'actualisation des données de la Falémé sur la base de réelles observations. Le Tableau 1 donne ces résultats pour les modules de différentes fréquences de retour. Les écarts entre valeurs observées et les valeurs reconstituées par la méthodologie proposée sont dans l'ensemble assez faibles, avec une exception pour le module centennal. On peut penser que ces bons résultats tiennent pour beaucoup à la taille importante de l'échantillon initial. En fait, en ramenant les données à une période plus courte, on aboutit à des résultats tout à fait satisfaisants pour ce qui est des modules interannuels. Ainsi, pour la période 1953-1968, on a respectivement 898 et 220 m³ s⁻¹ et pour la période 1953-1983, 684 et 166 m³ s⁻¹ pour Bakel et Kidira. Cela donne pour Bakel un coefficient de dérive de 0.762 qui aboutirait à reconstituer à Kidira un module de 168 m³ s⁻¹, soit à 1% de la valeur observée.

Ces quelques résultats vont dans le sens d'une justification des propositions faites dans cette note.

CONCLUSION

Si nous avons voulu montrer dans cette note que l'information recueillie sur quelques stations repères suffit le plus souvent à remplacer celle d'un réseau complet préexistant pour actualiser la connaissance des régimes hydrologiques des fleuves et rivières d'un pays, nous n'entendons pas justifier, pour autant, une démobilitation des services hydrologiques. Ceux-ci, au contraire, doivent reporter leurs efforts sur une gestion sans faille des stations repères et, en fonction de leurs moyens, sur un suivi allégé des stations de l'ancien réseau (étiages, maximums) suivant des modalités proposées par d'autres auteurs (Rodier, 1985) ou encore à définir. Au niveau de l'aide extérieure, la réalisation de synthèse hydrologiques nationales et régionales doit constituer une priorité dans les pays en voie de développement. C'est le développement qui créera les besoins d'une approche plus précise des paramètres hydrologiques; ce même développement supposera alors que des moyens adéquats soient mis en oeuvre dans une recherche approfondie. En attendant d'avoir les moyens de son ambition, il paraît urgent de valoriser au maximum, partout où cela est possible, les données recueillies dans les réseaux hydrométriques.

TABLEAU 1 Modules du fleuve Sénégal à Bakel et de la Falémé à Kidira

Modules (m ³ s ⁻¹)	Sénégal à Bakel			Falémé à Kidira			
	Monographie 1903-1965 ¹	1903-1983 ²	Dérive ³	Monographie 1903-1965 ⁴	K x mono- graphie ⁵	Q _{observ.} ⁶	Ecart ⁷ (%)
Moyenne	779	715	0.918	192	176	178	-1.1
Mediane	771	696	0.903	192	173	172	0.8
Ecart-type	238	261	1.097	64.8	71.1	78.6	-9.6
Années seches							
F = 0.1	476	391	0.821	110	90.3	80.4	12.3
F = 0.05	406	325	0.800	86	68.8	64.4	6.8
F = 0.02	338	265	0.784	60	47.0	51.3	-8.4
F = 0.01	301	232	0.771	41	31.6	40.3	-21.6
Années humides							
F = 0.1	1090	1065	0.977	278	272	276	-1.4
F = 0.02	1285	1295	1.008	330	332	363	-8.5

^{1, 2 et 3} A partir de données d'observations du Sénégal à Bakel.

⁴ Avec reconstitution des données avant 1930.

⁵ Dérive de Bakel 1965-1983 x valeur de ⁴.

⁶ Modules sur la période d'observation 1903-1983.

⁷ Ecart en % de ⁵ par rapport à ⁶.

CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

La prospective est implicitement contenue dans la description des programmes en cours dont la réalisation de beaucoup exige la durée. Elle est aussi contenue dans les orientations et les objectifs indiqués. Elle est également inscrite dans les recommandations de la cellule de réflexion qui a préparé la naissance du Département "Eaux Continentales" auquel notre Unité de Recherches a été rattachée en cette fin d'année 1987. Ces recommandations coïncident, pour ce qui est de notre domaine, avec nos propres orientations : transports de matière particulaire et dissoute, hydrogéologie superficielle.

Notre appartenance au Département "Eaux Continentales", logique quant à l'objet étudié, ne semble donc pas supposer de renoncer à la thématique de l'Unité de Recherches basée sur une dynamique de recherche du type TOA.

Cette identité même de l'UR 107 contribue à la richesse du Département DEC dans la mesure où elle complète dans le domaine des sciences de l'eau d'autres approches retenues ("microhydrologie", ingénierie hydroélectrique et maîtrise agricole des eaux ...).

Nous espérons que ce rapport aura montré l'importance de la production scientifique de l'UR 107, la qualité de ses réflexions, le bon niveau des équipes impliquées et l'intérêt des ouvertures faites à l'extérieur - et en particulier avec les Laboratoires Universitaires.

Nous souhaitons en conséquence que la mission de l'UR 107 et son rôle dans le développement des Sciences de l'eau, soient soutenus au niveau des moyens dont dispose l'Institut. Faut-il encore souligner que les études réalisées dans notre Unité de Recherches constituent la base de tout développement qui implique la planification et la gestion des ressources en eau ?

Un autre vœu se rapporte à "l'efficacité de l'organisation" qui implique l'adéquation entre situation et structure.

Depuis cinq ans l'Institut est devenu une "structure matricielle changeante". Pour Mintzberg (Swedish Institute Administration Research) ce type de structure n'est pas adapté à un système où la fonctionnarisation des agents, la prééminence de concepts du type "ancienneté", les évaluations biaisées par des considérations non scientifiques s'opposent à une dynamique performante des projets et programmes. De plus "cette structure porte en elle les germes de conflits d'objectifs, de tensions psychologiques, d'un équilibre fragile du pouvoir entre responsables et implique un coût en temps et personnel pour la communication et l'administration".

Peut-on espérer une certaine permanence des structures ?

Pitié pour ceux qui malgré toute cette agitation ont continué d'assumer une production scientifique ! N'est-ce pas sur celle-ci qu'on jugera l'Institut ?

D - Systèmes. — Reprographie.



REPROGRAPHIE INDUSTRIELLE
EDITIONS - DUPLICATIONS -

