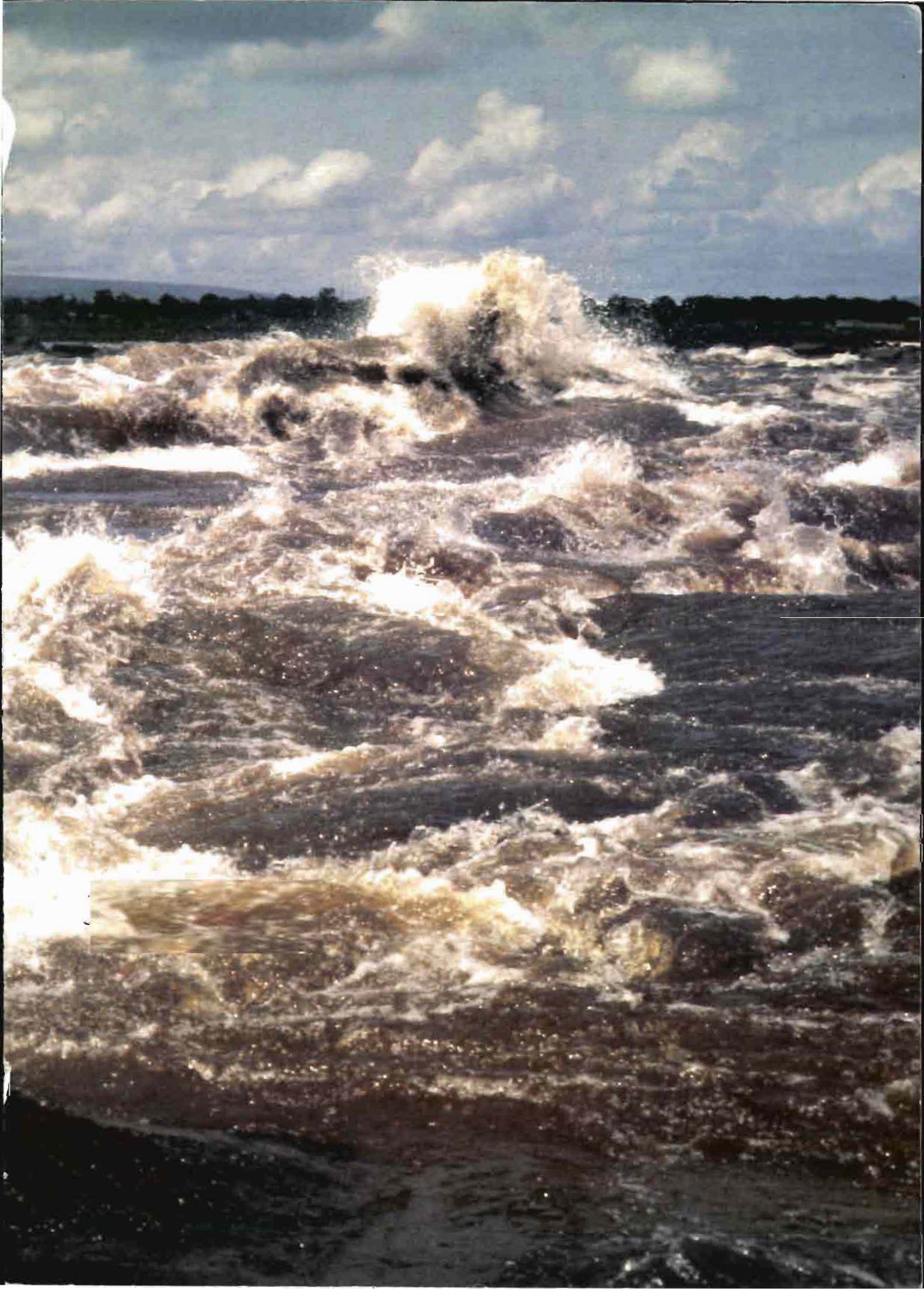


ORSTOM - DEPARTEMENT "EAUX CONTINENTALES"

GEO
DYNA
MIQUE
DE L'HY
DROSPHERE
CONTINENTALE

RAPPORT D'ACTIVITE DE L'UR 2A (1987 - 1990)

Jean Claude OLIVRY



ORSTOM - DEPARTEMENT "EAUX CONTINENTALES"

GEO
DYNA
MIQUE
DE L'HY
DROSPHERE
CONTINENTALE

RAPPORT D'ACTIVITE DE L'UR 2A (1987 - 1990)

Jean Claude OLIVRY

à François DUGAS

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

1ère Partie	Généralités
	1 Champs thématiques et objectifs de l'UR 2A
	2 La pluridisciplinarité de l'UR 2A
	3 Les Grands Programmes et leurs objectifs
	3.1 Grand Programme EQUERRE
	3.2 Grand Programme HYDRA
	4 Les implantations géographiques
	5 Les moyens en personnel
	5.1 Les effectifs ORSTOM
	5.2 Le partenariat
	5.3 L'encadrement de mémoires et thèses
	5.4 Les collaborations extérieures
	6 Les moyens financiers
	6.1 Le budget ORSTOM
	6.2 Les ressources extérieures
	6.3 Conclusions
	7 Valorisation, participation à des colloques enseignement
2ème Partie	Les travaux de l'Unité de Recherche 2A
	1 Généralités
	2 Les opérations du Grand Programme EQUERRE
	- Hydrologie des îles du Cap-Vert Sao Nicolau
	- Etude des régimes hydrologiques de l'île de Tahiti
	- Hydrologie du Grand Yaéré du Nord Cameroun
	- Programme Casamance - Monographie du bassin de la Casamance
	- Programme Casamance - Basse Casamance et Marigot de Baïla
	- Actualisation de la Monographie du Fleuve Sénégal
	- Monographie du Fleuve Gambie
	- Monographie des eaux superficielles du Bénin
	- Monographie du Lac Tchad

- Monographie de l'Oubangui
- Régimes hydrologiques de Madagascar
- Régimes hydrologiques du Gabon
- Travaux de régionalisation des paramètres hydrologiques
- Les écoulements fluviaux sur la façade Atlantique de l'Afrique
- Erosion en zone sensible des Alpes du Sud - Projet PACA
- Flux particulaires et dissous sur le Fleuve Sénégal
- Flux particulaires et dissous sur le Fleuve Gambie
- Hydrologie et flux de matière en Guyane
- Programme EQUESSEN (Sénégal)
- Opération Grands Bassins Fluviaux PIRAT (Afrique Centrale)
- Programme PHICAB (Bolivie)

3 Opérations du Grand Programme HYDRA

- Réseau Guadeloupe
- Réseau Martinique
- Réseau Guyane
- Convention FAC - BENIN
- Réseau TOGO
- Réseau CONGO

4 Projets, orientations et conclusions

3ème Partie

Bibliographie 1987-1990 de l'UR 2A

AVANT-PROPOS *

Dans un récent numéro de BLOC de notre ami Ph. HISARD, j'ai lu que Sharon NICHOLSON avait publié un Atlas des précipitations en Afrique, ouvrage dont on dit grand bien ... et auquel beaucoup d'entre nous ont collaboré sans le savoir ! Car, que l'accorte Sharon me pardonne, qui ne l'a pas reçue en Afrique en quête de données, d'analyses statistiques, qui n'a pas évoqué avec elle l'évolution des séries climatiques ? ... Mais cela n'enlève rien à son mérite et au succès de son équipe dans l'aboutissement de cette synthèse

J'ai quand même eu un pincement au cœur en pensant au travail de bénédictin de certains collègues qui auraient sans doute aimé voir leurs données valorisées dans une grande publication ORSTOM, en allant aussi (pourquoi pas nous ?) chercher les résultats des autres dans les pays où nous n'intervenons pas. Et si, au lieu de Précipitation, il s'était agi d'Hydrologie ?

En imaginant que mon Unité de Recherche (l'ORSTOM) voyait lui échapper du jour au lendemain le bénéfice d'une grande synthèse hydrologique de l'Afrique, je me suis demandé si son responsable devrait alors se faire hara-kiri, se consacrer davantage à l'enseignement, embrasser plus largement une carrière de miniproconsul de l'ORSTOM ou encore se renfrogner dans l'écriture solitaire d'articles, voire d'un bulletin de liaison ... faute d'avoir su convaincre les commissions scientifiques, son département !

Fermée la parenthèse personnelle, il faut bien convenir qu'un tel scénario peut arriver ... juste au moment où nos synthèses régionales s'achèvent, où l'enjeu spatial du continent est à notre portée Les hydrologues ORSTOM ont eu pendant longtemps des certitudes ; parmi celles-ci en Afrique, celles d'être incontournables ; les "autres" ont pris, aussi, mais depuis moins longtemps, des habitudes, en particulier celles de nous contourner ... et ils y parviennent (sauf pertinente vigilance pour d'autres synthèses !)

Demain donc, des élèves de Solomon, Sutcliffe, Rodda, Balek, d'autres, voire de Tardy, ou encore de fines lances de Coblenz, peuvent crever l'image d'une hydrologie ORSTOM, réaliser des travaux d'une notoriété internationale pendant obsolètes nos propres travaux, démonétisant les valeurs de notre Banque de Montpellier.

En m'attardant sur ce premier point, j'ai voulu insister sur cette tâche de synthèse de l'Unité de Recherches qui reste à achever, dont on verra les multiples facettes dans ce rapport, et qui est pour l'ORSTOM l'occasion la plus sûre de laisser sa trace dans l'hydrologie tropicale de ce siècle ...

Dans le deuxième point de cet avant-propos, il est aussi question de renom de l'ORSTOM et de son "hydrologie" ; mais au lieu de la trace scientifique durable évoquée plus haut, il s'agit ici de notre capacité de "service" à occuper au plan international un créneau que je crois porteur : la veille hydroclimatique du continent africain.

Celle-ci probablement limitée, dans un premier temps, aux régions que nous connaissons bien, suppose un suivi en temps réel de stations hydrologiques de références propres à traduire des situations hydroclimatiques régionales ; elle pourrait être couplée à la veille climatique proposée par l'ORSTOM-LANNION à partir des clichés METEOSAT Mais ce ne sont pas ses aspects techniques que je veux aborder ici, il faut dire ce qu'implique une telle veille :

- une compétence à l'assumer ; elle existe côté UR 2A et Laboratoire de Montpellier, équipes outre-mer, partenaires nationaux ;
- une volonté de l'assurer ; un temps réel à l'échelle mensuelle et un bilan annuel qui supposent régularité, ponctualité, la crédibilité est à ce prix : pas de défaillance ni retard et là, les Orstomiens ont beaucoup d'efforts à faire ;
- des moyens pour la durée, la pérennité d'un tel service et de ses potentialités d'alerte ;
- la capacité de toujours la valoriser ; la diffusion doit être la plus large possible et surtout extérieure (organismes internationaux, de coopération, associations internationales, médias scientifiques) ; c'est là que le produit contribue au renom de l'ORSTOM.

Il nous faut apprendre aussi à modifier des habitudes pas toujours justifiées. Dans ce type d'actions, le perfectionnisme n'est pas de mise s'il conduit à différer toujours la diffusion de résultats. Ainsi par exemple, la communauté scientifique reconnaît à l'Indice (simpliste) de Lamb sa vocation à caractériser l'évolution des précipitations de l'Afrique soudano-sahélienne et ignore le Vecteur Régional, vieux produit ORSTOM non encore opérationnel pour le problème posé.

Il serait sans doute exagéré de parler de "grands desseins" pour les deux sujets évoqués. L'un, théoriquement achevé en 1995, n'est qu'un aboutissement et l'autre a davantage une fonction de relais-station-service. Mais la plus-value qu'ils apportent à l'ORSTOM n'est pas négligeable et correspond aux recommandations de Gérard WINTER sur "le faire savoir du savoir faire".

C'est ce "faire savoir" qui commence à porter ses fruits dans l'ouverture de notre Unité de Recherches aux sciences de la terre, connexes à l'hydrologie. Ce sera le troisième point abordé ici. Ouverture donc à des géologues, géochimistes sédimentologues et géodynamiciens, paradoxalement plus marquée à l'extérieur de l'ORSTOM qu'à l'intérieur ou les collaborations sont encore rares Ouverture donc sur des objets "de taille" ; les deux plus grands bassins fluviaux du Monde : Amazone et Congo-Zaïre, dans un programme pluridisciplinaire qui, lui, constitue sans conteste un grand dessein de notre Unité de Recherches de l'ORSTOM.

Un grand dessein, disais-je, sur la géodynamique de l'hydrosphère continentale du "Tropique Humide" (très à la mode), qui participe pour une bonne part du "Global" (à la mode également) et qui constitue probablement la contribution ORSTOM la plus importante au fameux programme Global Change (IGBP - Programme International Géosphère-Biosphère) ... de quoi s'étonner, d'ailleurs, que l'ORSTOM soit si peu présent dans les instances du comité français de ce programme. Au "faire savoir", il faudra sans doute ajouter le "faire valoir" dans les salons parisiens.

On doit bien se douter que les collaborations extérieures de ce programme ne sont pas toujours simples mais ce qui compte aujourd'hui c'est qu'elles existent et que l'ORSTOM a pu dans ce cas précis jouer un rôle de premier plan. Les jugements définitifs de certains hydrologues qu'on a pu lire, à l'université française ou au CNRS, ne sont plus de mise. C'est en s'insérant dans une dynamique scientifique, en la suscitant éventuellement, qu'on s'impose sur son créneau de compétence et non en s'isolant. Il reste que l'équipe ORSTOM est encore bien réduite pour pouvoir répondre à toutes les promesses de ce grand programme.

Et j'en arrive sur la base des trois points développés pour l'exemple, à interroger les Commissions Scientifiques qui ont à examiner ce rapport, à les interpellier, pour qu'un certain nombre de recommandations soient faites sur nos orientations, nos travaux, notre politique scientifique, bien sûr, mais aussi sur les décisions qui dépassent le seul cadre de notre UR :

- comme l'a répété notre Directeur Général, "on ne peut pas tout faire ..." ; la communauté d'hydrologues, de géologues, est finalement assez réduite. Il faut donc concentrer nos efforts au lieu de les disperser. Quels choix ? Quelle place pour ceux de l'UR 2A, ceux que j'affiche ?
- je souhaite être rassuré sur l'intérêt des Commissions pour la thématique développée dans l'UR 2A, sur le poids de l'Unité de Recherches ... et, si nous n'en avons pas plus qu'un Ministère des Anciens Combattants .. ou de l'Environnement dans le Gouvernement, qu'on nous le dise ;
- je souhaite que l'Hydrologie dépasse le terme "ressource-développement", mais de même que les sciences ne sont pas limitées aux "ressources humaines", la connaissance en hydrologie est davantage que celle de la ressource. Je souligne ceci pour éviter les ambiguïtés sur les champs respectifs des Unités de Recherche ;
- je souhaite aussi qu'il n'y ait pas discrimination sur les profils de carrière ; l'Unité de Recherche n'est pas un vivier de seuls géographes, géologues, naturalistes en hydrologie ... elle a aussi besoin de mathématiciens, de physiciens, de statisticiens, de modélisateurs et de spécialistes de la télédétection. Il faut donc le dire et le traduire dans les faits.

Dans les faits, cela signifie que les recrutements annoncés ne correspondent pas aux propositions faites lors de la première réunion de l'actuelle CS2 ; pour les recrutements chercheurs, il semble que le poste d'hydrochimiste qui était programmé coïncide aujourd'hui avec celui demandé par suite du décès de F. DUGAS. Nous avons d'autres espérances et nous avons des candidats (thésards qui ont pu être évalués pendant leur temps de VSN, par exemple). En outre, la pression de thésards actuellement en accueil à Montpellier laisse mal augurer d'un renversement de tendance plus favorable à l'UR 1B. Pour la CS1, le recrutement d'un géochimiste spécialisé dans la thématique de l'Unité de Recherche devrait enfin s'imposer.

Je crois que les questions posées ici en dehors du débat scientifique peuvent compléter les travaux des Commissions Scientifiques dans l'examen et l'évaluation de mon Unité de Recherche ; c'était en tous cas l'objectif de cet avant-propos.

* à diffusion restreinte.

INTRODUCTION

Lors des journées de septembre 1989, le discours de politique générale de Monsieur G. WINTER, Directeur général de l'ORSTOM, énonçait quatre critères d'identité de l'Institut. Il a été recommandé de situer chaque Unité de Recherche par rapport à ces quatre critères, et de préciser, dans le même temps, le critère fondant l'unité de l'UR, justifiant son existence.

L'Unité de Recherche 2A, rattachée au Département des Eaux Continentales, doit son identité au milieu étudié (bassin fluvial ou ensemble régional), à la thématique développée sur l'étude de ce milieu (hydrologie, transports solides et dissous...) et à une approche méthodologique combinant l'analyse statistique des observations et une approche naturaliste du fonctionnement des systèmes.

- 1°) Les études d'hydrologie et de qualité des eaux pour des grands bassins sont des recherches en adéquation avec des enjeux majeurs du développement (à l'aval, il y a la gestion de la ressource hydrique) et répondent à une demande extérieure.
- 2°) Les travaux de l'UR 2A sont effectivement fondés sur l'acquisition de données de base, effectivement collectées sur le terrain (cf. p. 18 du Rapport d'activité 1987 et 1988 - ORSTOM), valorisées et capitalisées à différentes échelles d'analyse suivant les programmes.
- 3°) L'Unité de Recherche "Géodynamique de l'Hydrosphère Continentale" induit au niveau de son intitulé une pluridisciplinarité effective dans de nombreux programmes.
- 4°) L'échelle spatiale des recherches engagées par l'UR 2A est toujours placée au croisement des politiques de développement et de gestion de l'environnement; que l'on travaille sur des milieux insulaires, des écosystèmes particuliers ou de grands ensembles fluviaux ou régionaux, le cadre spatial retenu correspond à des entités géographiques pertinentes.

Voilà brièvement l'implication de l'UR 2A au niveau des critères d'identité de l'ORSTOM. Je développerai dans la première partie de ce rapport cette identification de l'Unité de Recherche en précisant ses champs thématiques et justifiant aussi sa lourde tâche de valorisation des données engrangées par les hydrologues sur tous les fleuves et rivières des pays où ils ont travaillé.

Cette première partie sera aussi l'occasion de développer l'identification des moyens dont on dispose en personnel, d'évaluer la richesse en hommes, les collaborations extérieures, les encadrements de thèse, le partenariat, de rappeler aussi les moyens financiers globaux dont nous disposons en gardant à l'esprit que le rapport n'est pas toujours évident entre l'importance du produit fini et celle des budgets consentis. Cette première partie s'achèvera par une rapide énumération des travaux de valorisation, d'enseignement et de participation à des colloques.

L'ensemble de ces généralités correspond assez bien à l'information globale attendue par notre administration centrale.

Dans la partie scientifique de ce rapport nous avons voulu par contre - et c'est l'objet de la 2e partie - nous détacher de l'énumération administrative classique réservée à la rédaction de fiches budgétaires, "objectifs, justification..., localisation ...calendrier, etc...", pour proposer à notre communauté scientifique la réelle production des équipes de l'UR ou le descriptif scientifique des projets. Dans bien des cas j'ai repris la formulation des résultats obtenus telle qu'elle était présentée par les responsables d'opérations ou de programmes; j'ai aussi repris les avis de personnalités extérieures.

J'ai bien évidemment identifié ce qui se rapportait aux grands programmes EQUERRE et HYDRA et tenté une classification thématique plutôt que par implantations géographiques.

Mais avec 12 implantations et 30 opérations de recherche, on évite difficilement l'écueil de la juxtaposition des exposés. La liste donnée au début de cette 2e partie en situe la pluralité. Dans le précédent rapport de l'UR, j'avais soulevé quelques questions hydrologiques (bilans hydrologiques, évolution des séries hydrologiques) et livré quelques résultats sous forme de projets d'articles des principaux collaborateurs de l'UR. On verra que l'information scientifique est encore assez dense dans ce rapport (soit en résultats, soit en méthodologie) mais qu'elle se limite à la présentation du produit des recherches des divers programmes.

Un dernier chapitre évoque les projets et orientations de l'UR 2A et propose en conclusion quelques perspectives.

Ce rapport se termine par une liste bibliographique contenant 96 références de travaux effectués dans le cadre de l'UR 2A sur la période 87-90. Cette liste fait suite à celle du précédent rapport.

En achevant la présentation de ce rapport qui devra servir à l'évaluation de l'Unité de Recherche, je tiens à m'excuser auprès des Commissions Scientifiques chargées de l'examiner. Faute de pouvoir réaliser deux rapports pour chaque commission (Commission Géologie-Géophysique, Commission Hydrologie-Pédologie) je n'ai pu observer les instructions qui m'ont été communiquées notamment quant au volume de ce rapport. J'espère cependant que la matière suscitera l'intérêt des lecteurs, comme les opérations en cours suscitent l'engagement des collaborateurs de l'UR 2A, et qu'elle permettra réflexion et débat pour ce qui est des orientations de recherche et des perspectives de développement de l'Unité de Recherche.

PREMIERE PARTIE

GENERALITES

1. CHAMPS THEMATIQUES ET OBJECTIFS DE L'UR 2 A

Il s'agit ici de rappeler quelques énoncés sur les objectifs et orientations de l'Unité de Recherches tels qu'ils ont été définis à l'origine lors de sa création et préciser ensuite en tenant compte des recommandations des Commissions Scientifiques et des Conseils de Départements, tels qu'ils ont été développés au titre de l'animation de l'Unité de Recherches, au titre de ses relations avec d'autres laboratoires français ou étrangers.

Rappelons d'abord que l'intitulé même de l'UR 2 A, "Géodynamique de l'Hydrosphère Continentale - (Régime des Ecoulements, Qualité des eaux, Erosion)" retenu dans le cadre de l'ancien Département "Milieu Physique et Environnement Climatique", a le mérite de préciser trois champs d'investigation du milieu physique retenus dans nos propositions de mai 1983.

L'autre critère tenait dans la taille de l'objet étudié, les dimensions de l'Unité géographique, géomorphologique, hydrographique : grands ensembles, bassins fluviaux...

Je citerai quelques extraits de mes précédents rapports (1985, 1987) :

L'objectif principal des recherches entreprises par l'UR 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 de 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.

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 Recherches constituent donc un instantané des conditions naturelles et de phénomènes actuels susceptibles d'expliquer les phénomènes anciens d'ordre hydroclimatique ou sédimentologique.

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 dans leurs priorités 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 2 A 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.

La caution scientifique de l'UR 2 A au plan national vient pour l'essentiel des Universités françaises ou de laboratoires du CNRS avec lesquels une collaboration étroite s'est établie dans l'élaboration de programmes communs, l'encadrement d'étudiants l'enseignement et la publication de travaux ou la participation à des colloques.

Aujourd'hui, l'UR 2 A est plus que jamais au coeur de l'actualité, au coeur des préoccupations de la communauté scientifique nationale et internationale :

- On parle de Global Change, des changements globaux de l'environnement de la planète ; la contribution de l'UR 2 A n'est pas rien avec son programme de suivi des deux plus grands fleuves du monde.

- L'UNESCO (PHI) encourage les recherches sur le Tropical Humide ; qui est présent de manière importante dans ces zones écologiques ? L'UR 2 A.

- On réfléchit en France autour d'un Observatoire du Sahara et du Sahel : le projet de surveillance des apports des grands fleuves au Sahel émane de l'UR 2 A.

- L'opération "Grands Bassins Fluviaux" recueille un succès d'estime du conseil scientifique de PIRAT (INSU/ORSTOM) ; c'est l'UR 2 A qui la pilote.

2. LA PLURIDISCIPLINARITE DE L'UR 2 A

Il est important de souligner que cette thématique de l'UR 2 A en affichant une ouverture à d'autres disciplines que l'hydrologie répondait aux vœux de restructuration pluridisciplinaire de la recherche de notre Direction Générale ORSTOM. Pour l'UR 2 A, cette ouverture est restée timide dans les faits au sein de l'ORSTOM (quelques géologues seulement se sont impliqués dans les programmes de l'UR 2 A); par contre, des collaborations extérieures se sont largement développées et ont complété sur des programmes de pointe les compétences limitées de l'ORSTOM dans certains domaines. Ces collaborations avec des géologues, géochimistes, géographes, géomorphologues donnent certes une coloration naturaliste à notre UR qui n'est pas hors de propos pour ce qui est de la Connaissance du milieu physique mais qui semble exclure pour la communauté pluridisciplinaire des hydrologues l'implication dans l'UR 2 A de spécialistes en modélisation (bilans hydrologiques, grands systèmes d'eau...). Il y a lieu de s'interroger sur cet état de choses. Je souhaite que les commissions scientifiques le fassent, car, que ce soit au niveau des affectations de nouveaux recrutements ou des participations de chercheurs confirmés, l'existence de telles frontières ne peut que nuire à la réalisation des programmes.

Les structures sont ce qu'elles sont... jamais parfaites mais il ne faudrait pas qu'aux termes qui les déterminent : l'objet (macrohydrologie ou microhydrologie) ou l'objectif (connaissance ou gestion) s'ajoute un troisième terme l'outil de recherche. Le schéma ci-après résume le cadre de l'UR 2 A :

Objet	Intitulé	Objectifs	Disciplines
Bassins fluviaux, Ensembles régionaux, Ecosystèmes spécifiques, Etudes globales.	Géodynamique de l'Hydrosphère Continentale	Connaissance du milieu : <ul style="list-style-type: none"> . Régimes hydrologiques Cycle et bilan de l'eau Variabilité hydroclimatique . Erosion hydrique et Transports de matières Flux particuliers et dissous . Qualité des eaux 	Hydrologie Climatologie Géographie Géomorphologie Géologie Géochimie

3. LES GRANDS PROGRAMMES ET LEURS OBJECTIFS

A l'heure actuelle, l'Unité de Recherches "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.

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 assume soit sur fonds propres ORSTOM, soit sur petites conventions locales. Les conventions importantes d'aménagement ou de gestion de réseaux sont maintenant rattachées à la filiale hydrologique (ECTOR puis GIE).

3.1. Grand Programme EQUERRE

Je cite quelques paragraphes d'un rapport précédent :

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 :

- 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 2 A 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 interprétation" des plus réduites. Les régimes sont rarement rattachés à leurs 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 2 A 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 sur 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.

Ces 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. Les conclusions de Luc Le Barbe tirées d'une note sur la monographie du Bénin sont particulièrement intéressantes :

"Le travail que représente la rédaction d'un ouvrage de ce type est énorme et exige du temps.

En effet, quoi qu'en pensent certains membres de la C.S. et de la communauté des hydrologues ORSTOM, ce type de travail, qui répond à un réel besoin pose des problèmes scientifiques qui sont loin d'être résolus et qui méritent donc une recherche. Malgré le grand nombre de monographies déjà rédigées par l'ORSTOM, il n'y a jamais eu de réelle réflexion sur les problèmes à résoudre. Quand une monographie nous est demandée, celui qui en a la charge, pris par le temps, ne peut mener réellement ce travail de fond et les solutions qu'il utilise sont souvent incomplètes et approximatives.

Les personnes chargées de rédiger ce type d'ouvrage considèrent cela souvent comme une corvée et, une fois qu'elles en sont débarrassées, elles ne font pas l'effort de mettre au point les outils qu'elles ont utilisés ou ceux dont elles auraient perçu la nécessité. Ceci est évidemment regrettable ; lors de la rédaction de la monographie du Bénin, nous n'avons pas pu bénéficier de l'expérience de nos prédécesseurs et nous nous sommes trouvés comme sur un sujet neuf, ce qui semble paradoxal vu le nombre de monographies déjà rédigées.

En conclusion, il nous paraît souhaitable qu'un programme de recherche soit lancé à l'ORSTOM pour trouver des solutions performantes aux problèmes posés lors de la rédaction des monographies, sur le plan de la régionalisation notamment.

Le principal résultat que l'on pourrait attendre d'un tel programme, sera la création d'outils, mathématiques ou autres, qui pourraient être utilisés par des chercheurs partenaires à qui il nous semble préférable de confier l'élaboration sensu stricto de ce type d'ouvrage".

Cette réaction pourrait amorcer un débat ; certaines suggestions

sont intéressantes, mais une monographie n'est pas un rapport d'ingénierie et à chaque cas correspond une réponse originale exigeant une expérience dans la synthèse des données que ne possède pas forcément un jeune chercheur...

De toute évidence, ce type de travail n'est pas jugé valorisant et il présente l'inconvénient d'immobiliser un certain temps le chercheur. L'idée de bloquer une équipe complète sur une synthèse serait une solution ; elle est pratiquement irréalisable dans le contexte actuel.

La réalisation de ces synthèses hydrologiques trouve un autre obstacle dans les coûts et problèmes d'édition. Le financement extérieur de tels ouvrages (comprenant saisie du texte et dessin) est pratiquement incontournable. Cela devrait être pris en compte par la Coopération Française. Je suis personnellement convaincu que c'est à travers ces synthèses hydrologiques régionales, et elles seules, que d'ici quelques décennies sera conservé dans les pays africains la mémoire d'une "hydrologie ORSTOM".

Mais le programme EQUERRE comprend autre chose que la seule réalisation de monographies ; à 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, de qualité des eaux.

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.

Le descriptif des travaux réalisés ou en cours montrera que l'UR est bien engagée dans cette voie.

3.2. Grand Programme HYDRA

Limité aux DOM, au Togo, au Bénin et au Congo, ce grand programme peut prendre plusieurs aspects :

- Gestion du réseau hydrométrique, mesures de débits, production d'annuaires hydrologiques :

Il s'agit alors de travaux de routine tels qu'ils sont pratiqués aux

Antilles (Martinique, Guadeloupe) sur financements du Conseil Général ou du Conseil Régional qui devraient être repris à terme par les Services Départementaux.

C'est aussi le cas du Togo où un financement ORSTOM perdue sur un réseau minimal qui devrait être repris par les Services Nationaux.

- Gestion de réseaux, Aménagement de stations automatiques de télétransmission, informatisation et formation de services hydrologiques :

Cet aspect "modernisation" de réseau caractérise les actions entreprises au Bénin sous convention FAC et plus récemment au Congo avec le projet de télétransmission des données du Bassin du Zaïre couvrant les pays Congo, Zaïre, R.C.A. dans le système METEOSAT (Convention FAC).

Le réseau de Guyane est également modernisé avant cession à la DDA.

C'est aussi dans le cadre de ce programme que l'on peut ranger les efforts de l'UR 2 A :

- au niveau de la fourniture en temps réel des données de stations de référence sur les fleuves africains dans le cadre d'une Veille hydroclimatique en collaboration avec la station de réception du laboratoire d'hydrologie à Montpellier.

- au niveau de l'alimentation régulière des banques de données gérées par le laboratoire d'hydrologie.

- au niveau de recherches technologiques, de mise au point d'une station automatique de mesure de la qualité des eaux (Convention MRT).

4. LES IMPLANTATIONS GEOGRAPHIQUES

En 1984, les équipes de l'UR étaient présentes :

- En Afrique : au Sénégal, au Togo-Bénin, en Côte d'Ivoire, au Niger, au Burkina-Faso, au Mali, au Cameroun.
- Aux Antilles, Guyane : en Martinique, en Guadeloupe, en Guyane.
- En Amérique du Sud : en Bolivie, au Brésil, en Equateur.

Après une relative diminution des implantations géographiques jusqu'en 1987, l'UR a retrouvé en 1989, une extension géographique pratiquement comparable à celle d'origine :

	Pays	Grands Programmes
pour l'Afrique :	au Sénégal	EQUERRE, Convention, EQUESEN
	au Togo-Bénin	HYDRA, Convention
	au Cameroun	EQUERRE
	au Congo	EQUERRE-->PIRAT, HYDRA
	en RCA	EQUERRE /
	à Madagascar	EQUERRE
- Aux Antilles, Guyane :	en Martinique	HYDRA
	en Guyane	HYDRA, EQUERRE
	en Guadeloupe	HYDRA
- En Amérique du Sud :		
	en Bolivie	EQUERRE PHICAB.

On est passé Outre-Mer de 14 à 12 pays. Sur le plan de la thématique, on devrait noter en 1990 une prise en compte au sein de l'UR des programmes sur les Régimes Hydrologiques de Polynésie Française (TAHITI) avec l'affectation de A. CHOURET et des programmes amenés à se développer au Brésil (bassin Amazonien).

Enfin, signalons qu'à partir d'affectations en France, des chercheurs travaillent sur Madagascar, le Gabon l'Afrique Centrale (RCA et Tchad) et la régionalisation des paramètres hydrologiques sur le Continent Africain.

Plus simplement, on peut indiquer que la Dynamique de l'UR 2 A est focalisée sur quatre zones géographiques : la France (base arrière), le Sénégal, la Bolivie (et plus tard le Brésil) et l'Afrique Centrale (Brazzaville).

5 . LES MOYENS EN PERSONNEL

5.1. Les effectifs ORSTOM

Nous avons indiqué ci-après la liste des effectifs de l'UR 2 A en 1989 ainsi que celle des autres participations ORSTOM hors UR. L'UR avait en 1989 un total de 43 ressortissants contre 27 en 1987. Ce gonflement ne doit pas faire illusion, il provient pour l'essentiel d'une normalisation des rattachements aux UR demandée par le Directeur du Département Eaux Continentales. Il a toutefois le mérite de ramener à de justes proportions le coût/homme/an de l'UR 2 A qui passe nettement au dessous de celui relevé pour l'UR 2 B (cf. rapport A. CASENAVE sur le sujet).

Le tableau montrant l'évolution des effectifs de l'UR 2 A met en évidence le gain récent des effectifs au niveau des Assistants Techniques de Recherche (essentiellement dans les DOM) et des postes non budjetisés d'Allocataires de Recherches, VSN ou Stagiaires.

On relèvera l'importance relative des départs en retraite et la malheureuse série noire de décès (dont deux accidentels).

La répartition géographique des effectifs sur programmes de l'UR 2 A en 1989 du tableau est illustrée dans les figures suivantes. On notera que moins du quart de l'effectif de l'UR est affecté en France.

La part d'ORSTOMIENS hors UR intéressés par les programmes de l'UR 2 A est de 17 agents dont 3 techniciens. Certains d'entre eux devraient naturellement rejoindre l'UR 2 A en adhésion principale. D'autres, non indiqués ici, devraient également rejoindre l'UR 2 A (Brésil, en particulier).

L'origine des ressortissants de l'UR ou des personnels associés à l'UR ressort de 3 groupes : Hydrologie, Géologie, Divers.

La répartition est la suivante :

	Hydrologie	Géologie	Divers	Total
Titulaires UR 2 A	14 (+ 19 Techniciens)	4	-	37
Stagiaires, VSN Alloc. Rech.	3	1	2	6
ORSTOM Hors UR	9 (+ 3 Techniciens)	3	2	17
Total	26 (+ 22 Techniciens)	8	4	60

La part de l'hydrologie représente les 2/3 du potentiel "chercheurs" de l'UR 2 A... mais il faut encore préciser que 7 des hydrologues sont issus de formations supérieures en géologie. Le vieillissement des cadres de la recherche est général à l'ORSTOM ; il est encore plus marqué à l'UR 2 A qui n'a bénéficié d'aucun recrutement de chercheur depuis 1985.

EFFECTIFS DE L'UR 2A EN 1989

Adhésions principales

Chercheurs et Ingénieurs et assimilés (VSN, AR)			Techniciens et Assistants Ingénieurs		
J.L. APPAY	Sénégal	VSN	G. ADELE	Martinique	ADIR2
Jacques BOURGES	Bolivie	CR1	M. BERTHELOT	Congo	TER2
J.Pierre BRICQUET	Congo	CR2	J. BISSAINTHE	Guadeloupe	AGTR
Jacques CALLEDE	France	INR1	J.C. BRON	Guyane	AGTR1
Pierre CHAPERON	France	DR2	Y. BOREL	Togo	TER1
Jacques COLOMBANI	Congo	DR2	J.M. BOUCHEZ	Sénégal	TER2
Luc DESCROIX	France	AR	J. FLORY	France	TER1
François DUGAS	RCA	CR1	S. FRAUMAR	Guyane	ADTR2
J.Yves GAC	Sénégal	DR2	M. GUILLIOD	Guadeloupe	ADTR
R. GOUYET	Guyane	CR1	R. HOORELBECK	Bolivie	ASIN
René GUALDE	Bénin	INE	A. JUBENOT	Martinique	TER2
J. Louis GUYOT	Bolivie	CR2	J. KONG	(Congo)	TER1
Jacques HOORELBECK	France	INE	Y. LE TROQUER	France	TER3
H.X HUMBEL	Guyane	VSN	P. MAILHAC	Burkina	TER1
B. LABROUSSE	Sénégal	CR	F. MALINUR	Guadeloupe	ADTR
Jacques LERIQUE	France	INR	R. PALMOT	Guyane	AGTR2
Gil MAHE	France	AR	A. POUMAROUX	Guadeloupe	TER2
J. Pierre MOBECHÉ	Martinique	CR1	J.P. THIEBAUX	RCA	TER2
J. François NOUVELOT	France	DR2	R. TOTILA	Martinique	AGTR2
Jean-Claude OLIVRY	France-Mali	DR2	= 19 techniciens dont 10 techniciens supérieurs		
Didier ORANGE	France	AR			
Michel A. ROCHE	Bolivie	DR2			
J.Luc SAOS	Sénégal	CR1			
Patrick SEYLER	Cameroun	IA			
= 24 personnes dont 19 titulaires					

Autres participations ORSTOM Hors UR

Chercheurs			Techniciens		
J.C. BADER	Togo	CR2	R. CALVEZ	Guadeloupe	TER1
Y. BOULVERT	RCA	DR2	P. GARETTA	Madagascar	TER3
P. CARRE	France	CR1	N. GUIGUEN	Mali	ASIN
M. CARN	France	INE			
A. CHOURET	France	DR2			
J. DANLOUX	N. Calédonie	CR1			
M. DELAUNE	France	CR1			
L. FERRY	Madagascar	CR1			
J.P. LAMAGAT	Sénégal	DR2			
L. LE BARBE	Niger	INR			
M. LOINTIER	Guyane	CR1			
. MATHIEU	Cameroun	CR1			
M. MORELL	Guadeloupe	INE1			
C. RIANDEY	France	INR			
= 17 chercheurs et ITA					

EVOLUTION DES EFFECTIFS DE L'UR 2A

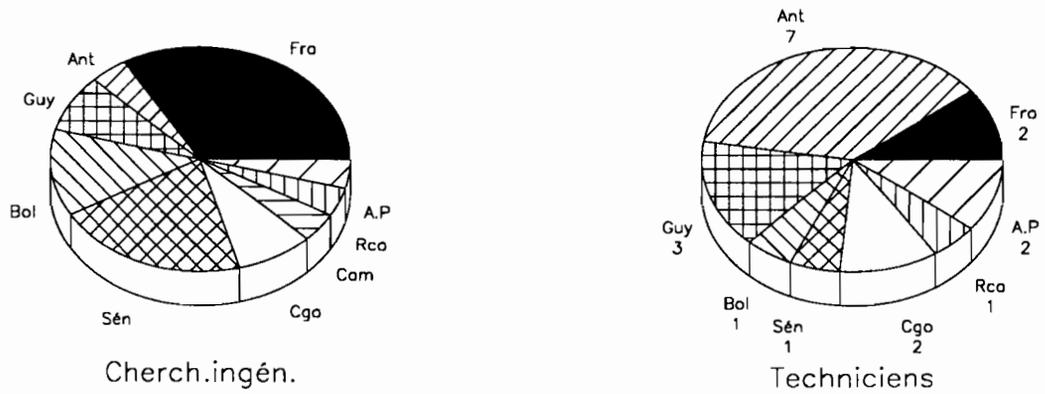
	1984	1985	1987	1989	1990
Total					
Ressortissants					
UR	19	22	27	43	(38)
dont :					
Personnels de					
Recherche Titulaires	19	22	24	28	(26)
(DR, CR, INR, INE,					
ASIN, TER)					
Alloc, VSN, Stag.	-	-	1	6	(3)
Assist. Recherche	-	-	2	9	9
Mobilité					
Arrivées	-	3	14	21	(1)
Départs	-	-	7	2	(3)
Départs en retraite	-	-	1	2	(2)
Décès	-	-	1	1	1
Autres participations					
ORSTOM hors UR	22	26	16	17	1

EFFECTIFS SUR PROGRAMMES UR 2A EN 1989

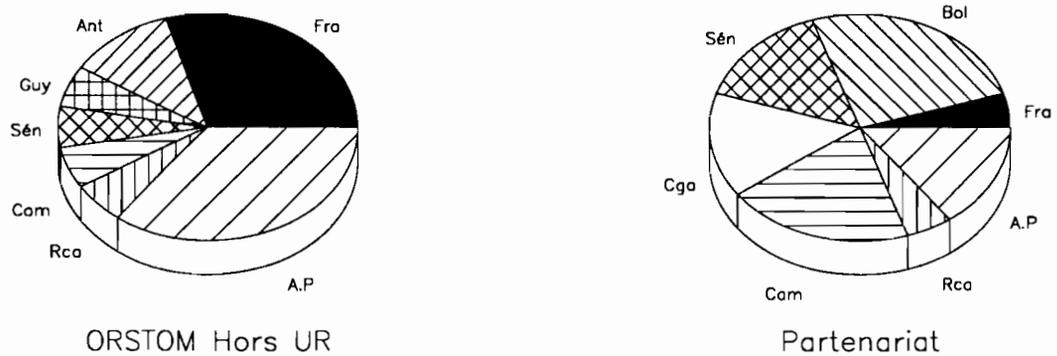
	Ressortissants UR 2A Cherch.ingénieurs Techniciens (AR + VSN)		ORSTOM Hors UR	Partenariat Local (chercheurs)	
France	8	(2)	2	5	1
Antilles	1		7	2	-
Guyane	2	(1)	3	1	-
Bolivie	3		1	-	5
Sénégal	5	(2)	1	1	3
Congo	2		2	-	3
Cameroun	1		-	1	4
RCA	1		1	1	1
Autres pays (Bénin, Togo Madagascar...)	1		2	6	3
	-----		-----		-----
Total	24		19	17	20

Fig. 1

EFFECTIFS EN 1989



Ressortissants UR 2A



Personnel associé

5.2. Le partenariat

Le partenariat est l'un des points forts de l'UR 2 A où la formule "formation à la recherche par la recherche" a été largement appliquée.

Vingt chercheurs sont associés aux programmes de l'UR. beaucoup d'entre eux ont été, au cours de leurs études (Maîtrise, DEA, Thèses), intégrés aux projets de recherche en cours qui leur ont permis de dégager des sujets de mémoire.

Administrativement, les formules actuelles de soutien personnalisé à ces chercheurs nationaux ont beaucoup aidé à pérenniser ce partenariat. Ce partenariat est particulièrement dynamique en Bolivie, au Sénégal et en Afrique Centrale (Congo, Cameroun).

Au Congo et au Cameroun, les partenaires sont fonctionnaires de la Recherche de leur pays dans leur propre institut (Cameroun) ou au sein des structures de l'ORSTOM.

Congo : Maziezoula B., Bamba, Moukolo N.

Cameroun : Naah E., Sigha N., Bediang A., Ntonga J.C.
(dont 1 Thèse d'Etat et 2 thèses 3^e Cycle en cours).

En Bolivie, outre les responsables du SENAMHI associés à la co-direction du PHICAB, le partenariat s'intéresse aux Ingénieurs de l'Université de La Paz en proposant des sujets de thèse de fin d'études.

Au Sénégal, les partenaires formés à la recherche pendant leur cursus universitaire et leur thèse occupent pour la plupart des emplois au sein de l'Université (M.A. SOW, M.M. LO, A. KANE) ou d'organisations internationales ; les relations de recherche se sont généralement distendues sauf avec A. KANE (programme EQUÉSEN). D'autres partenaires plus récents comme H. DACOSTA, R. MALOU, A. SALL et B. AW sont directement impliqués dans les programmes de l'UR 2 A.

5.3. L'encadrement de mémoires et thèses

Cet encadrement reprend les actions de partenariat déjà créées. On doit y ajouter les sujets proposés à des étudiants français. L'ensemble implique un investissement important des encadreurs mais aboutit aussi à augmenter la production de l'UR et à développer les collaborations avec l'Université.

La liste ci-après fait suite à celle qui a été produite dans le rapport de 1987 :

- Thèses de Doctorats d'Etat et nouvelles Thèses :

* E. NAAH : Hydrologie du Grand Yaéré du Nord Cameroun. Mémoire de Doctorat d'Etat achevé et accepté en juin 1989. Yaoundé (D.S. OLIVRY)

* D. ORANGE : Transports de matière sur le Sénégal. Mémoire de Nouvelle Thèse achevé, sera soutenu en juin 90. Strasbourg (D.S. GAC et TARDY)

* G. MAHE - Nouvelle Thèse en cours : Les écoulements

fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Orsay Paris XI (D.S. OLIVRY et FONTES)

* G. MOGUEDET - Thèse de Doctorat d'Etat : L'estuaire du fleuve Congo - Transports et sédimentation actuelle et ancienne. Angers (D.S. GIRESE)

* L. DESCROIX - Nouvelle Thèse en cours : Erosion dans les Alpes du Sud - Lyon II (D.S. OLIVRY)

* N. SIGHA - Nouvelle Thèse en cours : Flux particuliers et dissous d'un bassin sous forêt : La Ngoko. Strasbourg (D.S. TARDY, OLIVRY)

Au sein de l'ORSTOM :

* J.P. BRICQUET - Nouvelle Thèse en cours : Régime des transports solides sur le bassin du Congo. Orsay Paris XI (D.S. FONTES, OLIVRY)

* J.L. GUYOT - Nouvelle Thèse en cours : Transports de matière sur les rivières du bassin amazonien de la Bolivie. Bordeaux (D.S. JOUANNEAU)

* J. BOURGES - Nouvelle Thèse en cours : Les régimes hydrologiques des formateurs du Rio Madeira en Bolivie. Grenoble (D.S. H. VIVIAN)

* R. GALLAIRE - Nouvelle Thèse en cours : Synthèse sur les écoulements dans l'Aïr. Orsay (D.S. FONTES, OLIVRY).

Thèses de 3è Cycle et d'Université

* H. DACOSTA : Précipitation et écoulements sur le bassin de la Casamance. Dakar. Thèse soutenue en 89. (D.S. OLIVRY et LEBORGNE)

* J.C. NTONGA en cours : Synthèse des études de ruissellement au Nord Cameroun. Yaoundé (D.S. CARRE, OLIVRY)

* C. CRUZ - Thèse UMSA 1987 : Balance hidrico superficial de la Cuenea del Lioltenez. La Paz (D.S. ROCHE)

* C.F. BENAVIDEZ - Thèse UMSA 1988 : Influencia de Los Cambios y las Erosion del Rio Pirai. La Paz (D.S. ROCHE)

* N. ABASTO - Thèse UMSA 1987 : Balance hidrico superficial del Rio Madre de Dios. La Paz (D.S. ROCHE)

* R. ARRELLANO - Thèse UMSA 1988 : Balance hidrico del Rio Pilcomayo. La Paz (D.S. ROCHE)

* R. FRIAS - Thèse UMSA 1989 : Balance hidrico de los Bermejo. La Paz (D.S. ROCHE).

Autres mémoires et diplômes (Maîtrise, DEA, Ecole Ingénieurs)

* N. NEVARO - Mémoire DEA : Bilans géochimiques du Lac de Guiers. Dakar (D.S. GAC)

* R. MALOU - Mémoire DEA : Aquifère superficiel de Baïla.
Dakar (D.S. SAOS)

* J. PEYRONNET - Mémoire DEA : Erosion terres noires des
Alpes du Sud. Montpellier USTL (D.S. OLIVRY)

* T. FANTHOU, A. MARQUET - Mémoire Maîtrise :
géomorphologie BV Erosion du Buëch. Paris V (D.S. HOORELBECK)

* A. ELHAIJ - Mémoire Ingénieur Ecole Hydraulique Grenoble.

Cette liste n'est pas limitative ; elle est seulement basée sur les
documents dont je dispose.

5.4. Les collaborations extérieures

Celles-ci découlent pour une bonne part de notre participation
active à l'encadrement de chercheurs et d'étudiants. Des relations suivies sont entretenues
avec les laboratoires et Universités françaises ou des pays d'accueil.

Elles sont aussi le résultat d'actions de partenariat ou de mise en
oeuvre de programmes communs qui seront détaillés plus loin.

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, de la DGRST au Congo
- 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 (CNRS) avec de
nombreuses collaborations (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 a associé l'ORSTOM et le BRGM, de certaines
expérimentations sur le Rhône avec le C.N.R.

On peut citer également les relations privilégiées établies avec :

- le Laboratoire de Géochimie et hydrologie isotopique de Paris XI
(Pr. FONTES)
- les Laboratoires de Géographie Physique de MEUDON (CNRS
Pr. GODART) de Lyon II (Pr PELLETIER) 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.

Au niveau des collaborations extérieures, mais à l'ORSTOM, une mention particulière doit être faite :

- 1) Pour le Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier avec lequel nous avons des actions complémentaires et qui fournit l'assistance d'une base arrière.
- 2) Pour les Laboratoires de Bondy (chimie des eaux, isotopes et sédimentologie).

6. LES MOYENS FINANCIERS

Toute une série de tableaux et de graphes illustre la situation de l'UR 2 A sur le plan de ses ressources budgétaires et de leur évolution.

6.1. Le Budget ORSTOM

Un tableau général rappelle les dotations budgétaires du chapitre fonctionnement (690) du budget ORSTOM de 1984 à 1990 pour les principaux pays intéressés et pour les programmes EQUERRE et HYDRA.

Les figures 3 et 4 illustrent pour le programme EQUERRE la distribution géographique des crédits de fonctionnement depuis l'origine. On relève la permanence d'un secteur bolivien important, celle du secteur France étant pour beaucoup lié au budget d'animation et de soutien de l'UR, la diminution du secteur Sénégal (due essentiellement aux dotations extérieures EQUASEN), l'émergence du secteur Afrique Centrale à partir de 1987 (Congo, RCA).

L'évolution globale 84-90 des grands programmes HYDRA et EQUERRE et du total de la dotation en fonctionnement est reproduite dans la figure 2. On relève une diminution de moitié des crédits consacrés à HYDRA à partir de 1987. L'importance relative de ce programme paraît stabilisée aujourd'hui au 1/5 de la dotation globale.

Après les années fastes (1985, 1986), qui prévoyaient en leur temps l'acquisition d'équipements importants, l'UR aborde le creux de la vague (1987, 1988) qu'on peut attribuer aux rigueurs budgétaires générales imposées par la cohabitation gouvernementale de l'époque, ou encore au passage de l'UR du Département A (TOA) au nouveau Département DEC.

En 1989 et 1990 une remontée sensible du budget est observée.

Au chapitre 644. (personnel non permanent) les ressources représentent environ 10 % du chapitre Fonctionnement (690).

6.2. Les ressources extérieures

Leur évolution a été rappelée dans le tableau de 1986 à 1990. Les données sont fragmentaires (en particulier pour les Antilles, Guyane), la transparence étant mal vécue par les équipes concernées. Celles-ci craignent généralement une baisse de leurs dotations ORSTOM.

Actuellement, en dehors du montant important de conventions sur Antilles Guyane, les ressources extérieures sont centrées sur le projet CEE EQUASEN au Sénégal et le programme INSU/ORSTOM PIRAT avec la Convention Technologique annexe du MRT.

L'évolution de ces ressources est également fluctuante. Un premier "creux de vague" apparaît en 1988, probablement dû aux simulations ECTOR. Pour le futur, il paraît probable que les Conventions "Antilles, Guyane" soient rattachées d'office au G.I.E. ; si cela doit libérer des énergies pour la recherche, l'UR ne saurait s'en plaindre.

Bon an, mal an, les ressources extérieures représentent 60 % des ressources totales de l'UR 2 A.

EVOLUTION DES DOTATIONS BUDGETAIRES EN FONCTIONNEMENT

Implantation	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
France	30	-	-	-	-	-	60
Anim.UR	-	250	140	100	120	150	-
Mali	-	-	-	-	-	-	100
Sénégal 1	103	200	200	120	70	70	45
Sénégal 2	-	-	-	-	60	80	25
Congo	-	-	40	130	130	140	120
Centrafrique	-	-	-	50	50	55	80
Cameroun	-	-	-	20	20	30	50
Bolivie 1	200	250	320	190	164	165	150
Bolivie 2	-	-	-	-	-	-	60
Bolivie 3	-	-	-	-	26	31	40
Guyane	-	-	-	-	55	40	40
Madagascar	-	-	-	-	-	10	30
Autres pays	200	194	90	-	-	-	-
Total Equerre	533	894	790	610	695	771	805
Martinique	65	66	90	40	30	30	30
Guadeloupe	-	-	-	-	-	-	15
Guyane	90	94	90	30	0	92	80
Brésil	10	5	25	20	-	-	-
Togo	150	148	125	80	60	30	40
Cameroun	40	22	20	-	-	-	-
Congo	-	-	-	-	15	17	35
Total Hydra	355	335	350	170	105	169	200
Total UR	888	1229	1140	780	800	940	1005

Fig. 2. EVOLUTION BUDGET UR 2A
1984-1990

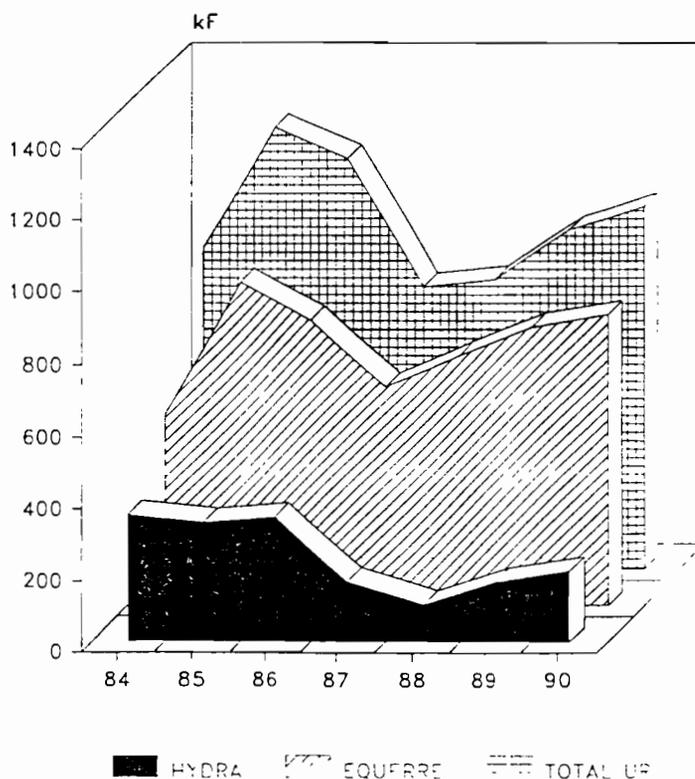
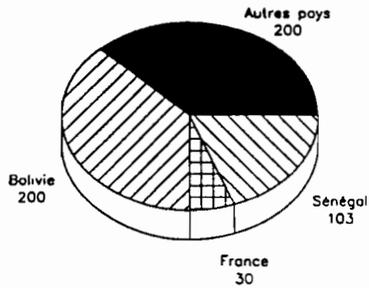
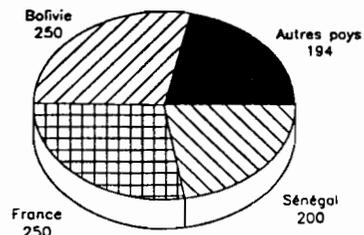


Fig 3

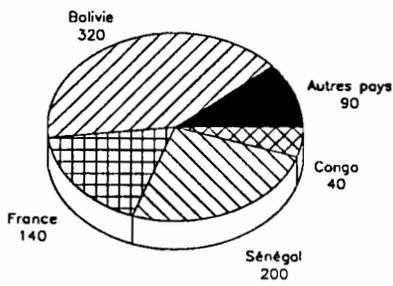
DOTATION BUDGETAIRE EQUERRE (690)



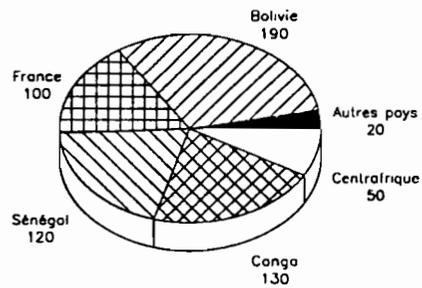
Année 1984



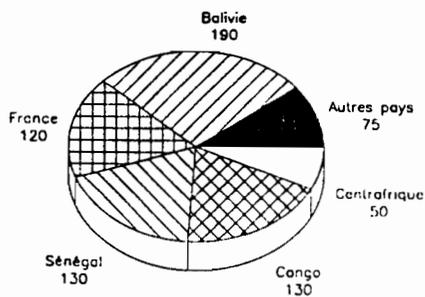
Année 1985



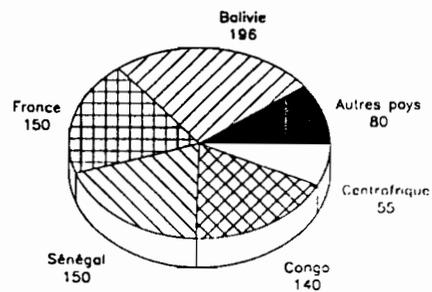
Année 1986



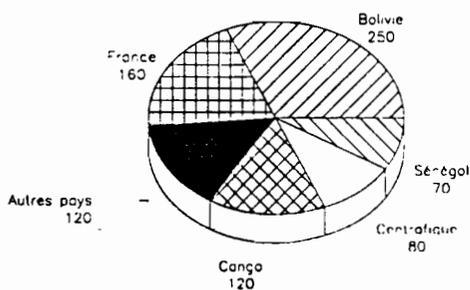
Année 1987



Année 1988



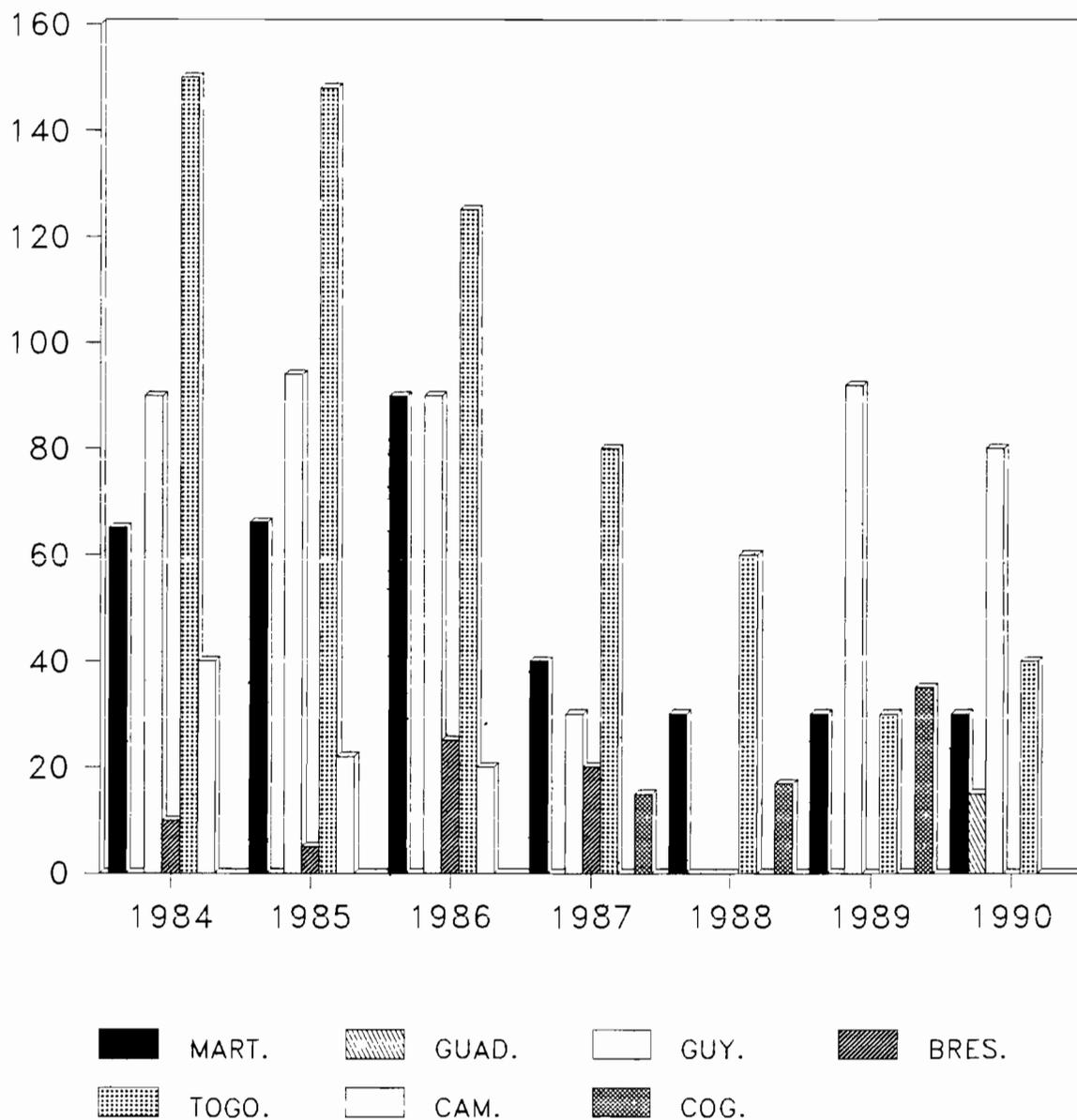
Année 1988



Année 1990

Fig. 4

DOTATION BUDGETAIRE en fonctionnement



HYDRA

RESSOURCES EXTERIEURES DE L'UR 2A
(Conventions, contrats, etc.)
en milliers de francs)

Pays	Projet	Total crédit	1986	1987	1988	1989	1990	Obs.
France	PIRAT	dot.ann.	(50)	120	100	130	200	(1)
	PACA	1200	300	200	200	-	-	MRT
	Cap-Vert	600	40	-	80	-	-	(2) COOP
	T.S Techno	350	-	-	-	20	200	MRT
Afr.Ouest	Hydroniger	-	300	?	-	-	-	OMM
	OCP-Oncho	-	500	?	?	?	-	OMS
Sénégal	Gambie	1000	300	200	100	-	-	COOP
	Equesen	3500	-	-	-	500	600	(3) CEE
Bénin	Monograp.	1000	400	200	-	-	-	(4) COOP
	Réseau	?	-	-	?	?	?	(5) COOP
Martinique	Réseau	conv.ann.	(120)	(120)	(150)	(150)	(150)	Région
Guadeloupe	Réseau div.	dot.ann.	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	Région
Guyane	Réseau div.	conv.	100	100	100	(200)	(300)	(6) COOP
Total approximatif			(2610)	(1440)	(1230)	(1500)	(1950)	

- (1) Le budget correspond à la part de GBF directement utilisée par les Orstoniens de l'UR (Congo, RCA, Cameroun et France).
- (2) Frais d'édition du rapport reconduits après une suspension.
- (3) Part d'Equesen relative à l'UR 2A.
- (4) Enveloppe reversée au Laboratoire d'Hydrologie en 1987 pour frais de calcul et d'édition (Le BARBE).
- (5) Conventions Réseau hydra prises en compte par ECTOR, (id. pour OMM, OMS)
- (6) Renseignements très diffus pour les les Antilles et la Guyane sur les Ressources Extérieures.

EVOLUTION DES RESSOURCES BUDGETAIRES DE L'UR 2A
(en milliers de francs)

	1984	1985	1985	1987	1988	1989	1990
ORSTOM (690)	888	1229	1140	780	800	940	1005
ORSTOM (644)	90	120	110	90	92	118	96
Total ORSTOM	978	1349	1250	870	892	1058	1101
Convention 693	1200	1975	2610	1440	1230	1500	1950
Total Ressources	2178	3324	3860	2310	2122	2558	3051
§ Ressources Extérieures	55	59,4	67,6	62,8	58	58,6	63,9

6.3. Conclusions

L'évolution des ressources de l'UR 2 A est rappelée dans les tableaux et dans la figure 5. La figure 6 indique la répartition géographique des ressources ORSTOM et globales.

La part importante des DOM dans la répartition des ressources totales n'est pas sans surprendre ; elle est cependant sans grande signification au niveau de la vie scientifique de l'Unité de recherche, ces ressources se rattachant plus souvent à des actions de soutien aux réseaux de type HYDRA.

EVOLUTION RESSOURCES UR 2A 1984-1990

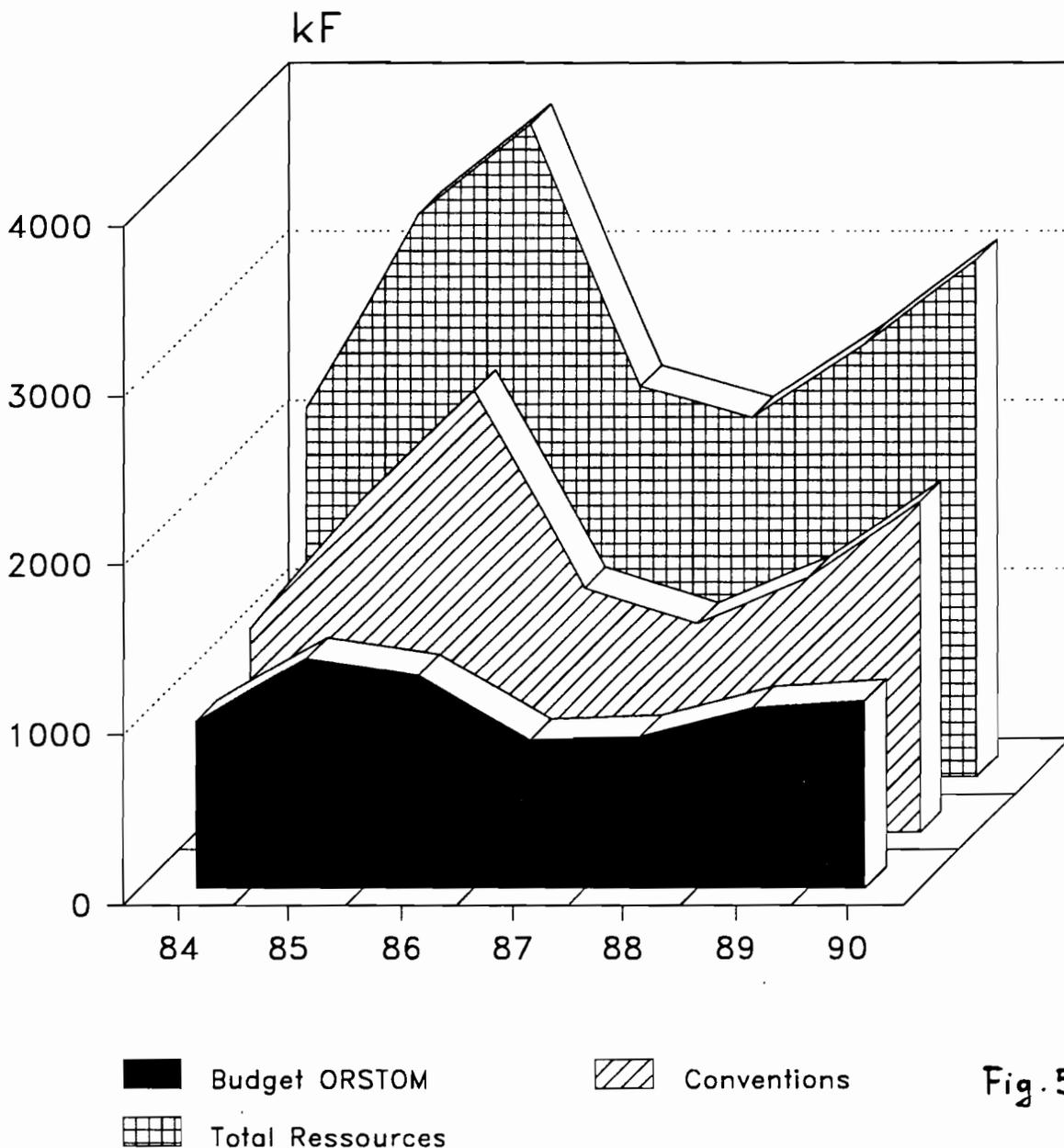


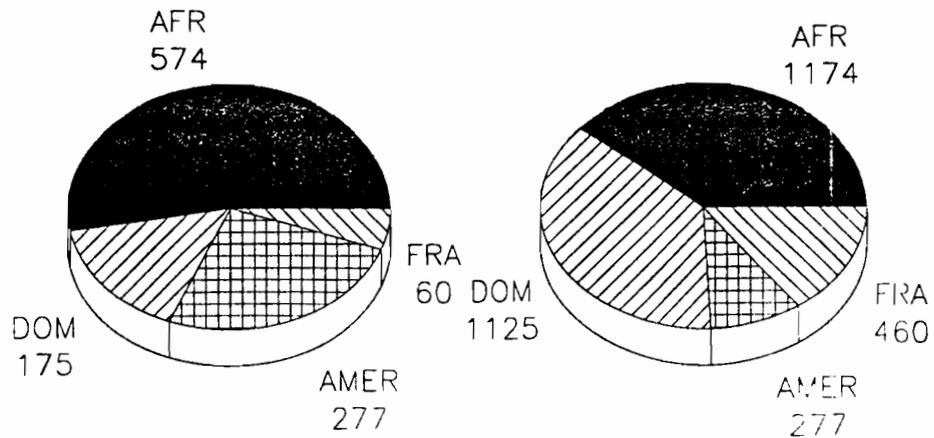
Fig. 5

REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES MOYENS BUDGETAIRES DE L'UR 2A

		1988	1989	1990
Afrique	ORSTOM	462	498	574
	Total	562	998	1174
	CONV.	100	500	600
DOM	ORSTOM	93	172	175
	Total	843	1022	1125
	CONV.	(750)	(850)	(950)
Amérique	ORSTOM	217	223	277
	Total	217	223	277
	CONV.	-	-	-
France	ORSTOM	120	150	60
	Total	500	300	460
	CONV.	380	150	400

Fig. 6 -

Répartition géographique des ressources
Année 1990



Budget ORSTOM Ressources totales

7. VALORISATION, PARTICIPATION A DES COLLOQUES, ENSEIGNEMENT

L'UR 2 A a été présente dans un grand nombre de Colloques, Symposiums et autres manifestations régionales, nationales et internationales, généralement pour une présentation de communications ou de posters, parfois comme "Chairman" de session.

La bibliographie illustre ces participations. Nous rappelons seulement ici la liste de ces manifestations.

- Deuxième Symposium de la Recherche Française en Bolivie. La Paz Avril 1988
- 3e Simposio de la Investigacion francesa en Boliva. Santa Cruz Juin 1989
- Colloque International "Amazonia na franca produca scientifica et cultural. Belem Octobre 1989
- 4e Journées Hydrologiques ORSTOM de Montpellier. Septembre 1988
- Colloque de Limnologie française. Aussois Mai 1988
- Symposium on Sediments budgets IAHS. Porto Alegre Brésil Décembre 1988
- 3e Assemblée Scientifique IAHS. Sediment and the environment. Baltimore Mai 1989
- International Symposium on River Sedimentation IAHS-IRTCES. Pekin Novembre 1989
- Etats généraux de la culture scientifique, industrielle et technique. Rencontres "Ecole et Développement. Pointe à Pitre Guadeloupe octobre 1989
- Colloque sur les transports de sédiments. Société Hydrotechnique de France. Paris Novembre 1988
- Assemblée générale du CNFSH/CNFGG. Séance scientifique. Janvier 1989
- UNESCO-PHI International Colloquium on the development of Hydrologic and Water management Strategies in the Humid tropics Townsville, Australia - Juillet 1989
- 4e Congres Nacional de Ingeneria sanitaria y ambiental. La Paz Octobre 1989
- Société de géographie. Assemblée Générale de Novembre 1988. Remise du Prix Juvenal Dessaignes à J.C. OLIVRY pour son livre "Fleuves et rivières du Cameroun"

- 40ème Anniversaire de l'ORSTOM au Congo. Brazzaville Novembre 1989
- Journées scientifiques de Ouagadougou. "Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride" Mars 1990.

Cette liste n'est pas limitative et correspond seulement aux informations dont je dispose.

Sur le plan de l'Enseignement, l'engagement des équipes de l'UR 2 A ne s'est pas démenti au cours de ses dernières années.

Des chercheurs sont impliqués dans des cours réguliers sur des cycles d'études déterminés ou des conférences dans des formations post-grade ou des stages spécialisés.

Au Sénégal, cours à l'Université de Dakar : Institut des Sciences de l'Environnement, département de Géographie, département de Géologie.

En Bolivie, cours et conférences à l'Université Majeure de San Andres.

Au Congo, conférence à l'Université (Département de Géologie).

En France, participation aux enseignements du DU et DEUST (USTL, Montpellier), aux DEA national d'Hydrologie, au DEA "l'eau dans les Sociétés Africaines" (Université Paul Valéry, Montpellier) ; conférences et cours au CEFIGRE (Sofia Autipolis), au NANCIE à l'ENSG de Nancy, cours NATO...

Sur le plan de la valorisation des travaux signalons quelques réalisations de documents audiovisuels.

- Film sur l'Opération Grands Bassins Fluviaux réalisé par FR3 avec le concours des équipes de RCA et du Congo (Thiebaut, Bricquet).
- Film sur l'hydrologie guyanaise "les rivières ces chemins qui marchent" document ORSTOM réalisé par la société IBIS et M. Lointier.
- Nombreux documents vidéo en attente de montage (campagne Oubangui-Congo en particulier).

DEUXIEME PARTIE

LES TRAVAUX DE L'UNITE DE RECHERCHES 2A

1) Généralités

Sur la période de référence de ce rapport, on a retenu trente opérations de recherche réparties dans 12 pays.

Le tableau ci-après en donne la liste pays par pays en précisant:

- le ou les champs de recherches concernés:
 - a) hydrométrie, recueil de données de base, critique des données;
 - b) description des facteurs conditionnels des régimes, climat, géographie, hydrogéologie;
 - c) analyse hydrologique et interprétation;
 - d) érosion et transports solides;
 - e) qualité des eaux, transports dissous;

- le pays d'implantation des équipes ou des opérateurs avec mention pour chaque opération de son rattachement au grand programme EQUERRE (E) ou au grand programme HYDRA (H);

- l'importance du produit et son état d'avancement; la lettre A signifie qu'il est achevé; le nombre de symboles en site l'importance sur le plan de la masse de travail et ne constitue pas un jugement de qualité, la densité des signes foncés indique l'état d'avancement de l'opération.

En complément de ce tableau, on peut mentionner l'opération HYDRA du Brésil qui s'est achevée dans les faits au début de la période considérée dans ce rapport, et l'opération Lac Alaotra de Madagascar qui prend effet au niveau de l'UR avec l'année 1990.

La juxtaposition de ces opérations peut évoquer au premier abord un patchwork ou habit d'Arlequin avec ses pièces en basin, en soie ou en toile de jute ...bref un assemblage désordonné de recherches de qualité très variable.

De fait, la connaissance scientifique que l'on cherche à acquérir au sein de l'UR concerne d'abord un objet géographique, concerne d'abord l'exploitation de banques de données de bases existantes. En fonction de ces banques, des zones géographiques non exploitées, la programmation consiste donc à combler les lacunes spatiales de notre connaissance des régimes hydrologiques.

A côté de cette première démarche de base, il y a eu notre souci d'étendre le champ de recherches de l'UR au niveau des transports solides, de l'érosion et de la qualité des eaux - nous nous en sommes expliqué - et cela a pu se faire soit de manière conjoncturelle (dynamique locale ou opportunité) soit de manière programmée comme

dans les grands projets pluridisciplinaires organisés avec des partenaires extérieurs. Là aussi, une certaine logique spatiale apparaît à laquelle s'ajoute la nécessité d'innover en matière de mesure et d'expérimentation, d'ajouter à l'observation du réseau des paramètres hydrologiques, celle des paramètres liés à la turbidité et à la qualité des eaux.

LISTE DES OPERATIONS DE RECHERCHE DE L'UR 2A

CHAMP DE RECHERCHE

Implantation des Equipes	Hydrométrie Donnée de base critique	Facteurs Conditionnels Climat.Géogr. Hydrogéol.	Analyse Hydrolog. Interprét.	Erosion Transports solides	Qualité Eaux Transports dissous	Importance du Produit et Etat d'avancem ^{ent}
FRANCE	E	Hydrologie des îles du Cap Vert - Sao Nicolau.....				A **
	E	Erosion en zone sensible des Alpes du Sud - Projet Paca.....				A **
	E	Monographie de l'Oubangui.....				**
	E	Monographie du Lac Tchad.....				***
	E	Monographie du Gabon.....				***
	E	Monographie des R. Malgaches.....				***
	E	Régionalisation.....				***
	E	Hydrologie Façade Atlantique Afrique.....				***
SENEGAL	E	Actualisation monographie Fleuve Sénégal.....				***
	E	Monographie de la Casamance.....				A **
	E	Monographie de la Gambie.....				A *
	E	Géochimie Fleuve Gambie.....				A **
	E	Flux particuliers, dissous Fleuve Sénégal				***
	E	Basse Casamance Marigot de Baïla.....				**
TOGO	E	Projet EQUERRE.....				***
	H	Réseau.....				o
BENIN	H	Réseau.....				o
	E	Monographie du Bénin.....				***
CAMEROUN	E	Hydrologie du Grand Yaéré Nord Cameroun.....				A ***
	E	Opération Ngoko - GBF PIRAT.....				*
CENTRE AFRIQUE CONGO	E	Opération Oubangui - GBF PIRAT.....				**
	E	Opération CONGO - GBF PIRAT.....				***
	H	Réseau.....				oo
BOLIVIE	E	Synthèse - Niari - Bateke.....				**
	E	Programme PHICAB - Bassin bolivien de l'Amazonie.....				****
GUYANE	H	Réseau.....				o
	E	Flux de matière Fleuves Guyane.....				*
TAHITI	E	Monographie des Régimes de Tahiti.....				A **
MARTINIQUE	H	Réseau.....				o
GUADELOUPE	H	Réseau.....		Bras David.....		o*

NB: E pour EQUERRE, H pour HYDRA. A pour Programme achevé. o pour Programme de durée indéterminée.
Etat d'avancement: * pour en cours, * pour travaux effectués. Nombre de * proportionnel au volume des études.

2) Les opérations du Grand Programme EQUERRE

Le Grand Programme EQUERRE compte 24 opérations recensées, dont 7 complètement achevées.

Au niveau des équipes cela signifie que de nombreuses opérations sont conduites de manière individuelle et que certains hydrologues sont concernés par plusieurs opérations. On peut le déplorer, remarquer que ce n'est pas la meilleure garantie d'efficacité; on ne peut malheureusement pas y remédier et cela n'est d'ailleurs ni spécifique à l'UR 2A, ni spécifique à la période actuelle. Il s'agit plutôt d'un héritage ancien des interventions tous azimuts des sections hydrologiques de l'ORSTOM.

Sur le plan des monographies ou synthèses, une opération ne sera pas décrite: celle de l'actualisation des synthèses Niari et plateau Bateke au Congo.

Pour les autres synthèses, à l'exception de projets qui n'ont pas vu le jour sur les régimes de Côte d'Ivoire et du Togo, les opérations en cours ou achevées sur la période complètent avec les réalisations antérieures l'aire d'intervention traditionnelle de l'ORSTOM en Afrique. Les projets de régionalisation conduiront sans doute à faire l'économie des synthèses particulières du Togo et de Côte d'Ivoire. Dans le descriptif qui suit, nous nous sommes attachés à donner autant que possible une information scientifique et les résultats obtenus pour chaque opération.

Le classement retenu est basé sur le champ de recherches des opérations et sur la taille de l'objet étudié plutôt que par implantation géographique ou par pays. Le tableau récapitulatif donné précédemment résume cette information.

Les opérations de recherche ont donc été classées comme suit:

- Petites synthèses hydrologiques et monographies se rapportant à des unités géographiques de petite ou moyenne taille:
 - . régimes de milieux insulaires et hydrologie d'écosystèmes particuliers,
 - . monographies d'ensembles hydrographiques de taille moyenne.
- Monographies hydrologiques de grands ensembles fluviaux.
- Etudes hydrologiques de régionalisation.
- Etudes intégrant les champs transports solides et qualité des eaux ou spécifiques à ces champs.
- Grandes opérations pluridisciplinaires couvrant l'ensemble du champ de l'UR 2A.

HYDROLOGIE DES ILES DU CAP-VERT - SAO NICOLAU

L'étude conduite par J.C. OLIVRY et réalisée avec le concours de nombreux collaborateurs, sur le terrain (J. LERIQUE, R. CALVEZ, R. HOOREL-BECKE, E. SERVAT, Y. LE TROQUER) et à Montpellier (R. RANDON) a pu être éditée en 1988. La publication est assurée par le Service des Editions de l'ORSTOM dans la collection Etudes et Thèses sous le titre "Hydrologie de l'Archipel du Cap-Vert - Etude de l'île de Sao Nicolau" en 1989 (379 pages avec nombreuses planches photographiques noir et blanc et couleur).

Après une présentation assez complète du milieu physique de l'Archipel et en particulier des éléments environnementaux intervenant dans la ressource en eau, l'ouvrage présente une étude détaillée du régime des précipitations. Les éléments du climat sont indiqués avec précision et l'étude statistique des précipitations effectuée sur un échantillon homogénéisé porte sur les hauteurs annuelles, mensuelles et journalières (P annuelles à San Nicolau comprise en année moyenne entre 75 et 600 mm suivant l'exposition et l'altitude). Les effets de la sécheresse sont étudiés dans le détail au niveau de la distribution des averses journalières (plus fort % de très fortes pluies (>100 mm pour la période sèche 78-83).

Sans insister sur la présentation des mesures effectuées, des méthodes utilisées et des résultats obtenus, on peut souligner l'importance de certains écoulements consécutifs à des abats d'eau considérables (240 mm sur la R. Brava en 1978 avec un maximum de cuve de $215 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ soit $32\,000 \text{ ls}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour un bassin de $6,75 \text{ km}^2$).

L'analyse des écoulements montre que l'intensité maximale mesurée en 30 minutes constitue le facteur déterminant de l'apparition et de l'importance des crues.

La prédétermination des crues de récurrences rares est faite à partir des modèles obtenus et comparée à celle donnée par des méthodes graphiques d'application générale (OLIVRY, Strasbourg 1987).

L'étude de l'érosion des bassins de Sao Nicolau a conduit à des mesures d'exportation de matières assez exceptionnelles. Ainsi une des plus fortes crues a exporté sur la R. Brava environ 100 000 tonnes de suspensions en 2 heures, avec des concentrations qui ont atteint 140 g l^{-1} , soit une lame érodée de 11 mm.

Des mesures originales sur les précipitations occultes reçues en altitude par le versant au vent ont permis d'estimer leur volume et leur variation dans l'année. L'apport reste malheureusement très faible pour pouvoir intervenir dans le bilan de réalimentation des nappes.

Le bilan hydrologique proposé en fin d'ouvrage est basé sur la connaissance des nappes hydrogéologiques d'une part, les chroniques journalières de précipitation et les fonctions de production du ruissellement d'autre part. Un modèle de calcul de la lame d'eau infiltrée annuellement (suivi journalier de la RFU de l'ETP et

de P , éventuellement He) calé sur les observations hydrogéologiques a permis de reconstituer une chronique de recharge des nappes... qui ne permet pas d'être très optimiste pour l'exploitation de celles-ci à d'autres fins que l'irrigation d'un maraîchage très limité.

L'étude des nappes souterraines, de la chimie des eaux et les analyses isotopiques (en particulier celles qui ont permis les datations) confirme l'aspect limité des réserves souterraines dont le temps de résidence est pour certaines très ancien.

Cette étude, réalisée dans des conditions très difficiles sur le terrain, et un contexte de sécheresse qui n'a pas favorisé l'observation d'évènements hydropluviométriques, a tout de même abouti à des résultats couvrant un champ dépassant celui de la simple hydrologie et à définir ce milieu îlien volcanique à fort relief et à climat semi-aride (avec des règles d'étude dont il faudra se souvenir dans un même milieu) sur le plan des régimes hydroclimatiques. Des comparaisons s'imposent avec les milieux humides de Tahiti, des Antilles ou de la Réunion...

ETUDE DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES DE L'ÎLE DE TAHITI

Ce travail effectué par Luc FERRY (en affectation à Madagascar) hors financements UR, dans la mesure où ce chercheur a exploité une information existante pour réaliser un mémoire de thèse à côté des travaux ORSTOM qui lui étaient confiés par ailleurs, rentre tout à fait dans la thématique de l'UR 2 A. A ce titre, le Professeur J.Ch. FONTES m'a demandé d'être Rapporteur à la soutenance (1988) et l'Unité de Recherche 2A a pris en charge l'édition du mémoire.

La première synthèse des données hydropluviométriques de l'île de Tahiti en Polynésie Française est présentée sous la forme classique des monographies hydrologiques. Les observations réalisées par le Service de la Météorologie Nationale, le Service de l'Équipement et l'ORSTOM, sont critiquées et interprétées. L'homogénéisation sur quinze années (1968/69 à 1982/83) des observations permet de définir dix zones homogènes. L'analyse statistique des pluies annuelles conduit au tracé de cartes d'isohyètes interannuelles et décennales. L'évolution de la pluviométrie au cours de l'année moyenne mettrait en évidence la périodicité des épisodes dépressionnaires. Les trente cinq dernières années sont marquées par une alternance de séquences d'années sèches et pluvieuses. L'analyse des débits (étiages-débits mensuels-modules) montre l'influence de l'exposition des bassins versants (BV) aux vents dominants, et de la structure des roches basaltiques sur les écoulements de surface. Des éléments du bilan sont proposés (déficits d'écoulement de 1000 mm à 2500 mm - coefficients d'écoulement pouvant atteindre 80 %). Un accent particulier est porté sur l'abondance des pluies (plus de 10 m/an, 1000 mm/jour et 1500 mm/2 jours) et les très forts débits de crues (30-80 m³/s/km² pour des BV de 20 à 80 km²). Enfin, une place importante est accordée au caractère exceptionnel de l'année cyclonique 1982/83.

Je laisse à Michel NORMAND (CEMAGREF), autre rapporteur du jury de thèse, les quelques lignes d'appréciation sur ce travail remarquable dont j'ai souligné par ailleurs la qualité et qui a le mérite de mettre à disposition de la communauté scientifique et des utilisateurs potentiels une somme de données sur une quinzaine d'années qui risquait fort de rester inexploitable sur le travail de recherche présenté ici. M. NORMAND écrit :

Le travail de M. Luc FERRY a consisté à réunir toute l'information existante concernant les pluies et les débits, à en assurer la saisie informatique, à critiquer et à interpréter les données en utilisant les outils mis au point à l'ORSTOM. L'auteur a pu séjourner à Tahiti : au cours des années 1982-83 et étudier sur place les difficultés rencontrées dans l'acquisition des données, en particulier en période cyclonique.

Si l'introduction aurait pu mieux présenter l'intérêt de ce travail dans le contexte particulier de cette région du Pacifique, la présentation du cadre général et des facteurs conditionnant les régimes hydrologiques est claire et bien documentée, montrant la complexité du milieu étudié. Cependant, les incidences prévisibles de la structure géologique, du relief, et du climat sur l'hydrologie de l'île auraient pu être dégagées.

L'auteur aborde ensuite la partie centrale de son mémoire en commençant par l'étude des pluies. Les données traitées sont nombreuses. Le travail de contrôle et la critique de ces données, ainsi que le comblement des lacunes a été réalisé avec soin. Le traitement de ces données pluviométriques a permis de définir des "zones homogènes"

puis d'effectuer des statistiques sur les lames d'eau annuelles, d'établir des cartes des isohyètes tenant compte du relief, et d'étudier l'évolution de la pluviométrie en fonction du temps. Dans ce domaine, l'intérêt d'utiliser les "moyennes des cumuls mobiles" pour faire apparaître les grandes variations au cours de l'année, n'est pas démontré, et l'auteur reste, à juste titre, prudent quant à l'interprétation que l'on peut en tirer.

Le chapitre se poursuit avec l'étude statistique des pluies journalières, dont les résultats auraient mérité d'être commentés. Il en est de même pour la fiche récapitulative qui termine la partie pluviométrie.

L'étude des écoulements de surface (chapitre IV) a été rendue délicate par les difficultés de mesure dues aux conditions locales, qui ont entraîné, l'auteur le souligne à plusieurs reprises, des erreurs importantes sur les débits mesurés ou calculés, surtout en période de crues, ou encore des lacunes importantes. Le travail de Luc FERRY a donc d'abord consisté, comme pour les pluies, à utiliser les techniques permettant de corriger les erreurs et de combler les lacunes. Ces contraintes ont conduit l'auteur à une grande prudence dans la présentation des résultats concernant l'analyse des débits moyens mensuels et des modules, qui permet cependant de distinguer trois classes de débits spécifiques et de détecter des "anomalies" dues à la structure géologique.

Le mémoire se poursuit par une brève analyse des débits d'étiage, et se termine par l'étude des crues et des dépressions tropicales. De nombreuses données concernent les crues dont il est fait un inventaire dans une série de tableaux, malheureusement peu commentés, complétée par une analyse statistique portant sur trois stations.

Enfin, des données sont fournies concernant les pluies et les débits observés au cours des années cycloniques 1982-83, période pendant laquelle Luc FERRY se trouvait sur place.

Luc FERRY a réalisé un travail sérieux et utile, dont il reconnaît lui-même les limites dans sa conclusion, en raison d'un manque de fiabilité des données dont il n'est nullement responsable. A ce sujet, on aurait aimé pouvoir disposer en fin de texte d'une discussion et de propositions de l'auteur concernant une approche plus rationnelle de l'ensemble du dispositif de recueil des données, permettant de pallier les insuffisances relevées au cours de cette étude.

Restant dans le cadre d'une "monographie", et s'en tenant aux régimes hydrologiques, l'auteur n'a que peu abordé le thème, pourtant très important, des relations pluies-débits, qui aurait certes nécessité une approche plus fine des épisodes pluvieux, notamment au cours des événements exceptionnels.

Ce mémoire est facile à lire, clair et bien présenté, mais comporte une certaine disproportion entre le nombre très important de tableaux et de figures, témoin de l'ampleur du travail réalisé grâce aux programmes mis en oeuvre à l'ORSTOM, et un commentaire qui reste souvent peu développé et descriptif. Les conclusions elles-mêmes restent modestes et prudentes, à cause de la "qualité" des données utilisées.

Ce travail présenté par M. Luc FERRY constitue une bonne introduction à l'hydrologie de l'île de Tahiti, dont il dégage les grandes lignes et montre les caractéristiques assez exceptionnelles.

HYDROLOGIE DU GRAND YAERE DU NORD-CAMEROUN

Ce travail est dû à Emmanuel NAAH Directeur du Centre de Recherche Hydrologique de Yaoundé.

Ce travail réalisé dans le cadre du CRH (IRGM), structure scientifique camerounaise avec laquelle notre UR a conservé des liens très étroits, ressort de la thématique de notre UR, a bénéficié du soutien financier de l'UR 2A et a été l'occasion de la poursuite d'une recherche en partenariat exemplaire.

J'ai personnellement encadré et orienté ce travail sous la forme d'une Direction de thèse de Doctorat d'Etat (Université de Yaoundé) avec plusieurs déplacements sur un terrain que je connais bien et deux missions de Emmanuel NAAH (contrats insertion-formation) à Montpellier.

Jusqu'en 1988, E. NAAH a bénéficié du soutien actif de P. CARRE Hydrologue ORSTOM en poste à Yaoundé.

Le mémoire présenté est remarquable... mais comme Directeur de thèse je préfère laisser son analyse au Professeur J.Ch. FONTES (Paris XI) rapporteur du Jury de thèse.

La première partie est consacrée à la présentation du milieu physiographique et des moyens mis en oeuvre pour les besoins de l'étude. Le Grand Yaéré est une vaste (près de 11000 km²) plaine d'inondation, alimentée en eau par les pertes du réseau de surface, en particulier du Logone, et drainée par l'El Beïd vers le lac Tchad. La région du Grand Yaéré correspond aux paramètres climatiques suivants (moyennes annuelles d'après les données recueillies à N'Dajmena et Maroua) : température : environ 28°C, évapotranspiration potentielle 2100 mm, lame d'eau précipitée entre 600 et 400 mm. L'étude s'inscrit donc dans un contexte pluviométrique déficitaire. La distribution des précipitations fait l'objet d'un traitement soigné selon plusieurs lois d'ajustement (Galton, Pearson III, fuites, Gauss) qui permettent de fixer la fréquence de retour décennale humide à environ 800 mm à N'Djaména. L'indice de Martonne (7 à 12.5) confirme le caractère semi-aride de la région.

A noter le très intéressant concept d'une genèse tectonique pour les plans d'inondation et l'actualisation des données qui permet à l'auteur de vérifier que la sécheresse endurée par les zones sahéliennes s'accompagne d'une élévation de température et d'un décalage de 100 km des isohyètes.

Dans ces conditions, la zone à faible gradient et mal drainé du Yaéré représente un système original et important pour le maintien des flores et des faunes, aquatiques et périaquatiques. C'est aussi un dispositif hydrologique complexe et fragile dont le mémoire propose l'étude détaillée notamment en ce qui regarde les modalités d'inondation et de l'évaluation des ressources en eau.

La deuxième partie traite du régime des tributaires en provenance des hauts plateaux des Mandaras. La géologie des Monts Mandaras montre que le socle de granite, migmatites et quartzites, a une perméabilité limitée aux seules fractures. Les altérites mobilisées et redéposées dans les parties basses abritent des nappes phréatiques discontinues et de faible ampleur. Dans la plaine de piémont, les dépôts détritiques d'épandage faits d'argile et de sable, prennent une importance croissante. Au-dessus de ces dépôts réglés par la divagation du réseau de surface sur un glacis à faible gradient de pente, les actions éoliennes ont accumulé des dunes elles-mêmes surmontées d'une formation attribuée à un cordon littoral du paléolac Tchad qui joue un rôle de digue. Sur ces ensembles sont installés des sols plus ou moins évolués en fonction de l'hydromor-

phie.

Les principaux cours d'eau et leurs caractéristiques hydromorphiques sont recensés en ce qui concerne les pentes des segments de cours et les surfaces drainées ; les différents indices ou paramètres généralement utilisés à cet effet sont calculés. Il se dégage de cet effort de classement une subdivision en trois ensembles de bassins : bassins d'altitude supérieure à 400 m, bassins avec zones d'alimentation supérieures en surface à la zone drainée dans la plaine, bassins plus étalés dans leurs parties basses que dans leurs zones d'alimentation. Les données relatives à la pluie sont collectées sur 29 postes (pluviomètre "association") et chaque sortie de bassin est jaugée par limnigraphie.

Compte tenu de l'emmagasinement relativement faible les crues sont brutales et les tarissements difficiles à apprécier. Les écoulements sont limités à la période de juin à octobre avec un maximum en août, les modules spécifiques s'inscrivant entre 0.7 et 4.7 l.s.⁻¹.km⁻² pour la période 1984-87. La diminution est pratiquement d'un facteur deux par rapport à la décennie 1970-1980. L'auteur aboutit à une classification des aptitudes à l'écoulement qui place en tête la Tsanaga. Les lames écoulées et les coefficients d'écoulement sont calculés au pas mensuel, ce qui apparaît raisonnable compte tenu des difficultés d'observation. Les valeurs de K sont maximales en août et atteignent alors 36 % pour la Tsanaga à Maroua, mais la variabilité interannuelle est grande. Malgré leur faible développement dans les parties amont des bassins, les sols semblent jouer un assez grand rôle de rétention tant que leur humectation reste à l'échelle des moyennes avec $K_c = 0.053P-24$ ($r = 0.99$) ce qui est l'un des résultats les plus marquants du mémoire. D'intéressantes tentatives de distinction quantitative des réponses des réseaux en plaine et en montagne sont également présentées.

Cette partie consacrée aux monts Mandaras comporte également une étude des crues avec calcul des débits spécifiques maximums (plus de 200 l.s.⁻¹.km⁻² pour la Tsanaga).

La troisième partie est dédiée à l'étude du régime intérieur du Logone inférieur. Après un aperçu synthétique sur les travaux antérieurs et notamment sur l'ouvrage de référence dû à OLIVRY (1985), l'auteur considère le Logone inférieur en produisant des hydrogrammes de crue construits au pas de temps décadaire. A noter l'affaiblissement des débits de crue vers l'aval sous l'influence de l'étalement de l'onde de crue, mais aussi à cause de l'absence d'apport et surtout des déversements latéraux. Les modules annuels ont fait l'objet d'essais d'ajustement aux dix lois statistiques exploitées par l'ORSTOM. La loi de Pearson III est retenue et d'excellentes corrélations sont mises en évidence entre les différentes stations. Les fréquences de retour cinquantenales, sèches et humides, s'inscrivent respectivement à 155 et 750 m³.s⁻¹. Ces projections sont évidemment de première importance pour la gestion de cette ressource capitale pour la région. L'affaiblissement récent des débits déjà souligné par OLIVRY (1985) est confirmé. Les variations de niveau du lac Tchad dépendent du Logone pour 30% des apports et peuvent être prévues de façon satisfaisante à partir des hydrogrammes du fleuve. Le fonctionnement des défluent, source essentielle d'alimentation du Yaéré est examinée avec attention. L'estimation antérieure de 255 Mm³ comme volume annuel moyen déversé dans le Yaéré est adoptée mais les conclusions additionnelles de l'auteur sont importantes : l'endiguement a fortement réduit les pertes vers le Yaéré (95m³.s⁻¹) et augmenté les pertes vers la plaine de Kaota. Le bilan des pertes du Logone en aval de Bongor est évalué en tenant compte des ponctions destinées à l'irrigation (plus de 100Mm³.a⁻¹). Les pertes en rive gauche seraient de plus de 500Mm³.a⁻¹. La notion très importante est que l'alimentation du Yaéré par le Logone résulte essentiellement (98 %) de l'épandage de la pointe de crue.

La quatrième partie traite de l'hydrologie du Yaéré proprement dit après avoir replacé la plaine d'inondation dans le contexte paléogéographique et paléoclimatique des fluctuations du lac Tchad en adoptant le schéma de Pias (1970) qui aurait pu être précisé par les données plus récentes (Durand et Mathieu, 1973). Les dépôts meubles de la plaine sont le siège d'une nappe phréatique, dans l'ensemble réglée par le réseau de

surface, mais affectée de creux piézométriques dont l'origine est encore controversée. Les sols sont argileux et hydromorphes et supportent une végétation souvent adaptée aux conditions d'inondation saisonnière. L'auteur apporte ici des documents importants sur la pluviométrie (18 postes) qui s'établit à une moyenne de 492 mm annuel pour la période 1984-87 soit, sur la moyenne, un déficit estimé à plus de 100 mm.

Les pentes très faibles et la densité de la végétation ne permettent guère le développement d'un réseau hydrographique exprimé et, du point de vue hydrologie, le système se comporte plutôt comme une nappe subaffleurante. Le drain final, l'El Beïd, reçoit deux affluents et rejoint le Tchad après un parcours de 150 km. L'auteur a exploité les données de quatre stations limnimétriques installées en partie par ses soins.

Le fonctionnement complexe des collecteurs est marqué par des phénomènes de seuils de déversement qui apparaissent comme un des points très originaux de l'étude et auraient pu donner lieu à de plus larges développements. La cote minimale de prélèvement pour l'irrigation dans la retenue de Maga qui immobilise 4 % de l'apport total au Yaéré se situe à 310.80 m soit 1.4 m au-dessous du seuil de déversement du Logone.

Dans le fonctionnement général du Yaéré, l'infiltration peut être négligée. Les mises en eau sont successives avec tout d'abord les pluies en mai, suivies par l'apport de l'écoulement en provenance des Mandaras (mayos) en août, qui précèdent à leur tour l'apport majeur du débordement du Logone dont l'effet s'étend de septembre à décembre.

Les variations des surfaces inondées, évaluées par exploitation de l'imagerie satellitaire, permettent d'après les travaux de Benech et al., 1982, de vérifier les termes du bilan. Les conclusions majeures sont ainsi confirmées : faible influence des précipitations et de l'apport des Mandaras (5 %) sur le bilan mais de grande importance pour l'imperméabilité des sols. L'inondation générale se déclenche selon un phénomène à seuil lorsque le Yaéré a reçu 650 mm d'eau. Le comportement hydrologique de la plaine pendant les années d'étude (1984 à 1986) est aussi reconstitué avec estimation de la vitesse de déplacement du front d'inondation (4 à 13 km/mois). L'étude de bilan, fondée notamment sur l'examen des corrélations entre les débits de l'El Beïd, les hauteurs de précipitation et le débits du Logone, permet d'estimer l'évapotranspiration réelle à 1300 à 1400 mm.an⁻¹ en année hydrologique moyenne et beaucoup moins (400 à 800 mm) en année déficitaire. Un calcul précis fondé sur les relations établies par l'auteur conduit à une valeur de 1250mm en année moyenne ce qui confirme les conclusions précédentes d'Olivry (1985).

La cinquième partie concerne le bilan des matières en suspension et la chimie des eaux du Yaéré. Après un rappel des méthodes, l'auteur reporte le résultat de ses observations originales en six stations de surveillance des matières en suspension. Les taux d'érosion mécanique spécifique sont de l'ordre de 120 à 220 t.km².an⁻¹ avec l'exception des valeurs très faibles du Motorsolo à Fadaré (25 t.km².an⁻¹). Le transport est maximum en début de crue avant que le développement général de la végétation ne protège les sols de l'ablation mécanique. La corrélation est assez bonne entre volume écoulé et charge en suspension dans les cours d'eau (mayos) issus des Monts Mandaras. A noter à cet égard, la présentation synthétique très claire des résultats.

L'hydrochimie est établie à partir de 240 échantillons prélevés en 1985 et 1986. Les analyses portent sur les éléments majeurs, le fer et la silice. Les tableaux qui auraient pu être regroupés en annexe, ne reportent pas les sommes des charges et la qualité des analyses n'est donc pas immédiatement appréciable. Dans les mayos, les teneurs en sels sont faibles avec des conductivités comprises entre 50 et 250 μ S.cm⁻¹ avec des faciès bicarbonatés calci-sodiques. La teneur en silice est élevée comme dans tout le bassin du Logone et du Chari. Les eaux de début de crue qui ont lessivé les laisses d'évaporation

de la période sèche précédente sont les plus chargées. Des phénomènes réactionnels importants tels que néogénèses cristallines et échanges de base, sont également décelés. Pour ce qui concerne la chimie des eaux du Yaéré, l'auteur a fort pertinemment inventorié les entrées principales (Logone) et les sorties (El Beïd). La salure des eaux, forte en début de crue, diminue ensuite par dilution avant d'augmenter à nouveau lors de l'évaporation qui s'exerce pendant le tarissement. Les eaux sont cependant peu salées (conductivités du Logone comprises entre 70 et 154 μ S.cm⁻¹). L'évolution de la salure est marquée par des variations des rapports caractéristiques avec parfois, développement d'un risque sodique. L'intéressante et fréquente augmentation des teneurs en sulfate pourrait donner lieu à des études plus spécifiques.

Le texte de l'ouvrage s'achève page 166, avec une conclusion générale qui dégage avec clarté les points essentiels qui sont repris dans le rapport et propose donc des guides d'importance capitale pour la gestion optimale des ressources en eau dans la région.

PROGRAMME CASAMANCE - MONOGRAPHIE DU BASSIN DE LA CASAMANCE

Ce travail a été réalisé par H. DACOSTA, chercheur associé aux travaux de l'UR 2A depuis plusieurs années et a été l'occasion d'une brillante soutenance de thèse en juillet 89 à l'Université de Dakar sous ma direction scientifique.

L'étude consacrée aux **Précipitations** et aux **Ecoulements** sur le bassin de la Casamance, est une contribution à une meilleure connaissance de la pluviométrie et de l'hydrologie de la Casamance. Elle a été menée avec un double objectif:

- rassembler l'importante documentation pluviométrique et hydrométrique, souvent éparse, en vue d'une exploitation rationnelle à l'échelle régionale ;
- fournir aux aménageurs et décideurs, une information actualisée, la dernière synthèse dans ces deux domaines remontant respectivement à 1968 et 1970 (BRUNET-MORET).

L'analyse des précipitations a révélé:

- . la grande variabilité interannuelle des totaux, notamment durant ces dix-huit dernières années marquées par une sécheresse dont la persistance a été mise en évidence par le caractère non stationnaire des séries pluviométriques annuelles. En effet, cette sécheresse se traduit par une succession d'années durant lesquelles les totaux annuels sont exceptionnellement faibles et une généralisation géographique du déficit pluviométrique. L'analyse statistique des pluies annuelles, la cartographie des précipitations fréquentielles et les relations statistiques établies entre les pluies moyennes interannuelles et celles de diverses périodes de retour, doivent permettre d'estimer, avec une précision acceptable, ces dernières pour les stations ayant une période d'observation très brève;
- . à l'échelle journalière, l'impact de la sécheresse sur les précipitations supérieures à 40 mm. Car, alors que le total annuel des pluies inférieures à 20 mm reste presque stationnaire, quelle que soit la pluviométrie annuelle, celui des pluies supérieures à 40 mm évolue en fonction du total annuel. Néanmoins, la probabilité d'occurrence des événements pluvieux ponctuels les plus forts demeure inchangée. Ce constat est très rassurant compte tenu de l'importance des pluies maximales - et des crues qu'elles sont susceptibles de générer - dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques ou routiers.

La bonne répartition des postes pluviométriques longue durée sur le bassin versant et la relation très étroite entre pluie moyenne interannuelle et la précipitation journalière de fréquence décennale devraient permettre une estimation consistante de la précipitation journalière décennale pour les zones dépourvues de stations pluviométriques.

Sur le plan hydrologique, l'étude du régime de la Casamance en amont de Kolda et de ses affluents, dans leur partie non influencée par la marée, montre le handicap que constitue la brièveté des échantillons de modules annuels. Cependant, le recours à la statistique, notamment aux méthodes d'analyse de corrélation-régression, a permis l'extension des séries de modules annuels. Il est évident que la reconstitution d'un phénomène naturel, quelle que soit la puissance de l'instrument utilisé et la rigueur de la méthodologie, reste assez délicate, surtout quand il s'agit d'un phénomène aussi fluctuant que les débits liquides d'un cours d'eau. A cela s'ajoute le fait que les

observations ayant servi à l'étude corrélatrice se situent dans une période marquée par la sécheresse la plus sévère et la plus persistante de toutes celles connues jusque-là dans la région.

Néanmoins, la démarche suivie et l'attention accordée à la qualité des relations entre variables étudiées, la valeur des coefficients de corrélation, laissent penser que les modules annuels ainsi reconstitués restent dans la gamme des modules admissibles pour la Casamance et ses affluents.

L'analyse statistique des modules annuels, tout en dégagant les modules caractéristiques, a mis en évidence la grande variabilité des débits moyens annuels, d'une année à une autre.

Cependant, malgré la sécheresse, les grands traits du régime de la Casamance ressortent clairement de l'analyse de l'écoulement mensuel:

- apparition des hautes-eaux entre août et octobre avec une relative stabilité du mois de maximum (septembre), en étroite liaison avec le régime des précipitations;
- apparition des basses-eaux dès le mois de décembre, le minimum se situant en mai.

Les conséquences dramatiques de la sécheresse actuelle sur le régime saisonnier de la Casamance sont la réduction de la période des hautes-eaux et l'apparition d'un écoulement intermittent, même à Kolda, du fait de l'épuisement des nappes dont la réalimentation n'est plus assurée convenablement par les précipitations.

Il en est résulté, à l'échelle journalière, une relation étroite entre précipitation et débit journalier en l'absence de toute pondération par les nappes.

Cette situation a d'importantes répercussions sur les disponibilités en eau de surface (dont la diminution ne cesse de croître) pour l'agriculture. Bien que la sécheresse actuelle ait rendu évidente la nécessité d'une maîtrise et d'une gestion rationnelle de ces eaux de surface, très peu de projets d'aménagement de ces dernières ont vu le jour malgré l'importance qu'ils revêtent pour le développement agricole de la région.

En rentrant un peu plus dans le détail des résultats hydrologiques, on peut signaler différents aspects du régime de la Casamance:

Coefficients d'écoulement

L'étude des corrélations hydropluviométriques a permis de constituer un échantillon de coefficients d'écoulement annuels. La densité des relations liant les lames écoulées aux précipitations moyennes nous a conduit à faire une étude statistique des coefficients d'écoulement, étude susceptible d'apporter un complément d'information, l'occurrence de tel ou tel coefficient étant liée à l'occurrence de telle ou telle hauteur de précipitations sur le bassin.

Une telle étude menée sur la série de 52 ans (échantillon étendu) a donné les résultats consignés dans le tableau 1 où nous avons indiqué les coefficients d'écoulement de récurrences décennales sèche et humide, médiane et les précipitations moyennes qui leur sont associées.

Un simple examen de ce tableau montre que ces coefficients sont très faibles.

Le bilan annuel

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des précipitations, des lames écoulées, du déficit et des coefficients d'écoulement sur leur période d'observation respective. La sécheresse, ayant fortement marqué cette période, explique la faiblesse de ces valeurs moyennes. Si on considère le bassin de la Casamance en amont de Kolda, le déficit moyen varie de 850 à 909 mm (différence entre Pmm et Le,mm de chaque bassin versant), variations peu significatives si l'on tient compte de l'imprécision sur la détermination de la pluie moyenne.

Les valeurs de ce déficit sont loin de refléter les réalités, compte tenu de l'empreinte de la sécheresse.

Calculé sur la base de l'échantillon de 52 ans, le déficit d'écoulement serait de 1008 mm pour le bassin de Kolda; 1035 mm pour Saré Sara; 1051 mm à Madina Omar; 990 mm à Sara Koutayel et 1085 mm à Toukara. Ces valeurs de De semblent plus probables eu égard aux pluies moyennes et les lames écoulées calculées sur la même période. Une comparaison entre déficit d'écoulement et évapotranspiration potentielle à Kolda montre une différence significative quel que soit le mode de calcul de l'E.T.P., trop importante pour les disponibilités en eau de la région.

Le bilan mois par mois

Le bilan mois par mois a été dressé sur la base de trois éléments: la pluie moyenne mensuelle (P mm), la lame écoulee (Le, mm) et le déficit d'écoulement (De mm). Les hauteurs pluviométriques mensuelles sont obtenues par la méthode de THIESSEN; les lames écoulées ont été calculées à partir des débits moyens mensuels. Le déficit d'écoulement, égal à $P - Le$, peut devenir négatif (excédent d'écoulement pendant la saison sèche de décembre à avril).

Ce bilan très sommaire (tableau 3) montre que la part de l'écoulement à l'échelle mensuelle reste très faible quelle que soit l'importance des précipitations mensuelles. Pour la station de Kolda, nous avons indiqué la valeur de l'évapotranspiration potentielle obtenue selon la méthode Penman. En partant de l'équation classique du bilan et en supposant avec Penman (1954) que l'évapotranspiration potentielle est satisfaite lorsqu'elle est inférieure à la hauteur des précipitations, on constate que c'est seulement durant les mois de juillet, août, septembre et octobre que l'évapotranspiration est satisfaite (au mois d'octobre, les réserves accumulées - différence entre De et E.T.P. - au cours des trois mois précédents satisfont à la demande de l'évaporation).

Les valeurs négatives de De pour certains mois en saison sèche indiquent que les sorties (écoulement) sont supérieures aux entrées (P). Elles représentent les apports ou les restitutions de la nappe à la rivière.

L'importance du déficit d'écoulement, mis à part celle de l'évapotranspiration, est à relier à la lithologie des bassins versants. En effet, le bassin continental de la Casamance est recouvert par les formations du Continental terminal, très perméables et par conséquent défavorables à l'écoulement de surface.

CONCLUSIONS

L'étude du régime hydrologique de la Casamance continentale et de ses affluents en amont de Kolda et du marigot de Baila à Toukara, a mis en évidence:

Tableau 1 - Coefficients d'écoulement de fréquences décennales sèche, humide et médiane

STATION	Décennale sèche		Médiane		Décennale humide	
	Ke	Pmm	Ke	Pmm	Ke	Pmm
Kolda (Gauss)	1,12	801	3,075	1055	5,03	1300
Saré-Saré (Pearson III)	2,16	837	4,34	1085	7,18	1333
Madina Omar (Gauss)	2,06	833	4,21	1102	6,36	1371
Saré Koutayel (Pearson III)	0,265	768	0,692	998	1,27	1227
Toukara (Gauss)	0,154	660	0,295	1150	0,436	1640

Tableau 2 - Précipitations moyennes, lames écoulées, coefficients et déficits d'écoulements.

STATIONS	Nbre. années	ANNEE MOYENNE				VALEURS EXTREMES			
		Pmm	Le mm	De mm	Ke %	Maximum		Minimum	
						De mm	Ke %	De mm	Ke %
KOLDA	20	895	19,1	875,9	1,95	1194	6,4	642	0,26
SARE SARA	20	932	35,6	896,3	3,60	1189	11,7	645	0,5
MADINA OMAR	20	935	25,5	909,5	2,725	1230	6,6	651	0,8
SARE KOUTAYEL	9	856,4	6,44	850	0,666	1129	2,5	664	0,030
TOUKARA	8	741	1,6	739,4	0,195	952	0,34	458	0,020

Tableau 3 - Bilan hydrologique mensuel.

Station		Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	
KOLDA	P	14,5	90,5	254,2	26,4	208,5	57,8	3,6	0,54	0,1	0,9	0,3	0	895
	Le	0,056	0,167	1,5	3,56	7,13	3,90	1,21	0,61	0,425	0,26	0,182	0,097	19,1
	De	14,4	90,4	252,7	260,4	201,4	53,9	2,40	-0,07	-0,325	0,64	0,118	-0,097	875,9
	E.T.P	181	145	132	118	115	123	111	101	106	118	154	168	1572
SARE SARA	P	15,3	94,1	265	275	217,3	60,0	3,7	0,60	0	0	0	0	932
	Le	0,153	0,40	2,40	5,16	16,1	7,1	1,80	1,0	0,67	0,41	0,67	0,155	35,6
	De	15,15	93,7	262,6	269,8	201,2	52,9	1,9	-0,4	-0,64	-0,41	-0,27	0,155	896,4
MADINA OMAR	P	15,0	94,4	266	276	218	60	5,0	0,6	0	0	0	0	935
	Le	0,007	0,148	2,22	4,82	10,41	4,95	1,15	0,57	0,40	0,29	0,27	0,26	25,5
	De	14,99	94,25	263,8	271,2	207,6	55,0	3,85	0,03	-0,40	-0,29	-0,27	-0,26	909,5

Tableau 4 - Volume moyen mensuel écoulé ($10^3 m^3$) par La Casamance et ses affluents (1935/1986)

STATION	VOLUME MOYEN MENSUEL ECOULE												VOLUME Moyen annuel
	J	Jt.	A	S	O	N	D	J	F	M	A		
Kolda	387	1161	9933	23607	49020	25929	8385	3999	2838	1935	1161	645	129000
Saré Saré	168	546	3570	7392	18018	7602	1890	1050	756	504	294	210	42000
Madina Omar	6	152	2090	4123	7676	3306	798	361	266	152	57	13	19000

- . la nécessité d'un suivi permanent des stations hydrométriques de la Casamance, compte tenu de leur non bi-univocité, si l'on veut connaître avec une précision acceptable les écoulements de surface d'une manière générale et les étiages en particulier. Il se trouve que les moyens souvent mis à la disposition de la brigade de Kolda pour un tel suivi sont de loin insuffisants pour un tel travail;
- . la grande variabilité du régime de la Casamance dont les observations se situent malheureusement dans la période sèche actuelle. Cependant, les modules annuels reconstitués sur la base des chroniques de pluies annuelles, beaucoup plus longues, permettent une perception globale du phénomène dans sa variabilité temporelle d'une part et d'autre part de dégager les paramètres statistiques de ces modules qui se caractérisent par leur faiblesse;
- . l'influence de la sécheresse sur le régime saisonnier de la Casamance avec le raccourcissement de la période des hautes-eaux et l'apparition d'un écoulement intermittent conséquence à long terme du déficit pluviométrique cumulé et de la recharge insuffisante des nappes souterraines dont les restitutions en saison sèche contribuaient à soutenir les étiages;
- . les conséquences d'une telle situation sont la réduction des disponibilités en eau de surface. Calculé sur la base de la série de 1935/1986, la Casamance écoulait en moyenne un volume d'eau équivalent à 129 milliards de m³ à Kolda. Sur la période réelle d'observation (1967/1986) ce volume n'est plus que de 70 milliards de m³, ce qui ne représente que 55% de cet apport interannuel. Si nous comparons les années extrêmes de notre série observée à Kolda (1967/1986), on obtient respectivement 278 milliards et 6,95 milliards soit un rapport de 0,025. Ces chiffres traduisent la grande variabilité des apports d'une année à l'autre.

Mais plus importante est la répartition saisonnière de volumes écoulés au cours de l'année et qui doit déterminer toute stratégie de gestion rationnelle de la ressource disponible pour l'agriculture. Dans le tableau 4, sont indiqués les volumes écoulés chaque mois. Ce tableau montre que c'est en saison humide, au moment où les cultures ont le moins besoin des eaux fluviales, qu'elles sont les plus abondantes. En revanche, pendant la saison sèche, beaucoup plus longue, les apports deviennent insignifiants. Il apparaît donc un déphasage dans le temps entre disponibilités et besoins.

Or, le bassin de la Casamance ne dispose d'aucune infrastructure de maîtrise et de gestion de ces ressources en eau de surface dans le bassin en amont de Kolda.

En effet, tous les grands projets initiés concernent la Basse-Casamance avec comme priorité première, freiner la salinisation des sols et leur récupération par dessalement avec les eaux pluviales:

- le barrage anti-sel de Guidel dont la construction est achevée depuis 1984;
- le barrage d'Affiniam, sur le marigot de Bignona qui a été mis en eau en 1988;
- les projets de barrages anti-sel sur le Baïla et le Kamobeul dont les études de factibilité ont été réalisées respectivement par le bureau d'étude américain Louis Berger International et le Bureau Central d'Etude Outre-Mer (BCEOM), mais restés sans financement.

De toute évidence, une maîtrise et une gestion rationnelles de ces eaux de surface permettraient de suppléer dans une certaine mesure aux "caprices" du climat.

Ceci nous amène à la Basse-Casamance et à ses problèmes de salinisation et d'hypersalinisation. Dans notre rapport précédent nous avons proposé un modèle de calcul des volumes marins entrant dans l'estuaire. Les études faites sur le marigot de Baïla constituent un autre aspect de cette recherche.

PROGRAMME CASAMANCE - BASSE CASAMANCE ET MARIGOT DE BAÏLA

Ce programme lancé depuis 1979 par J.C. OLIVRY à la suite d'une convention avec L. Berger International s'est attaché à suivre l'évolution du milieu pendant la grande crise des années pluviométriques déficitaires sur le plan de l'hydrologie, de l'hydrogéologie, de la chimie des eaux et de la dynamique des marées avec tous les problèmes posés par la salinisation des marigots.

Repris par J.L. SAOS en 1984, avec le concours de Y. LE TROQUER, de H. DACOSTA et de R. MALOU, ce programme n'a pas encore abouti à la synthèse générale attendue même si plusieurs articles ont permis d'en dégager des aspects intéressants (OLIVRY, Vancouver, SAOS, MALOU, Ouagadougou) et si plusieurs rapports fournissent une information hydrologique de qualité ou des éléments d'analyse hydrologiques intéressants (mémoire de DEA de R. MALOU).

Je donne ci-après quelques résultats publiés dans le rapport des années 83 à 86 ainsi que quelques informations sur la recharge de l'aquifère superficiel du marigot de Baïla en 1987 et 1988, années de pluviométrie plus satisfaisante dans le département de Bignona:

1) Hydrologie du marigot de Baïla de 1983 à 1986

Les années 1983 à 1986 sont marquées par un très fort déficit pluviométrique sur l'ensemble du bassin. Le déficit record a été atteint en 1983 avec 53,4%.

Pluie moyenne et déficit moyen (en %) de 1983 à 1986

Stations	\bar{P}_{mm}	P 83	P 84	P 85	P 86
Toukara (324 km ²)	1175	563	773	918	970
Djibidione (644 km ²)	1190	565	795	903	837
Balandine (852 km ²)	1205	568	805	906	810
Baïla (1342 km ²)	1230	565	814	912	824
Kartiack (1634 km ²)	1245	560	822	913	841
Déficit moyen en % :		53,4	33,6	24,8	29,4

Le suivi des écoulements de surface à la station de Toukara, non soumise à l'influence de la marée, montre des écoulements très faibles, sous forme de crues isolées.

L'année 1983 caractérise le plus fort déficit hydrique, la tendance est ensuite à l'amélioration tout en restant dans des valeurs faibles.

Lames ruisselées (en mm) aux différentes stations				
Stations	1983	1984	1985	1986
Toukara (324 km ²)	0,242	(0)	0,358	2,53
Djibidione (644 km ²)	8,64	11,85	13,8	13,7
Balandine (852 km ²)	19,42	27,21	31,0	27,67
Baïla (1342 km ²)	34,24	49,0	55,27	49,4
Kartiack (1634 km ²)	53,93	78,83	87,9	79,86

2) Recharge de l'aquifère superficiel du marigot de Baïla (Basse Casamance - Sénégal)

L'aquifère qui est associé au marigot de Baïla, partiellement affecté par la marée, est une nappe libre qui imprègne les formations superficielles du Continental Terminal et du Quaternaire.

Des mesures piézométriques et conductimétriques permettent d'apprécier la pluie efficace sur le bassin. A l'hivernage (juin à octobre) la remontée piézométrique est difficile sous les plateaux latéritisés; elle est rapide et fonction de la hauteur des précipitations sous les terrasses bordant la vallée (+ 0,49 m en 1987 avec 1006,7 mm de pluie + 3,23 m en 1988 avec 1355,8 mm). Dès la fin des épisodes pluvieux, la nappe subit une ponction évaporatoire perceptible même entre les pluies de l'hivernage. Ce phénomène, combiné au déficit pluviométrique observé depuis plusieurs années est responsable de l'important abaissement piézométrique observé depuis les années 1970.

Les mesures de conductivité effectuées pendant l'hivernage montrent un lessivage des sels stockés dans la zone non-saturée pendant la phase évaporatoire de la saison sèche, les zones de forte variation étant à la fois la zone maritime à langue salée et les zones de plateaux à lessivage important. En revanche, les zones de terrasses, avec une infiltration facile, subissent de faibles variations.

Un calcul de bilan à l'échelle journalière a été tenté en déduisant (par corrélation) les valeurs d'ETP des mesures de Piche. L'évapotranspiration réelle a été calculée en tenant compte de la réserve en eau du sol ainsi que du tarissement de cette réserve et de la nappe, compte tenu de la porosité efficace.

Ainsi donc, le bilan 1987 fait apparaître un déficit de 30 mm et le bilan 1988 un excédent de 333 mm.

Si la tendance actuelle à un excédent pluviométrique se confirme, l'espoir de voir une remontée piézométrique suffisante pour ramener les nappes à leur cote d'avant la sécheresse demeure.

En conclusion sur ce programme, on ne peut que déplorer l'absence d'énergies suffisantes en personnel pour exploiter un ensemble de données originales... qui seront reprises (ou évaluées ailleurs sans l'aide de chroniques de longue durée)... sur un thème de recherche où l'UR 2A avait fait les approches les plus précises sur les problèmes de salinisation des estuaires.

Grand Programme EQUERRE

Pays: SENEGAL

ACTUALISATION DE LA MONOGRAPHIE DU FLEUVE SÉNÉGAL

Ce programme à l'ordre du jour des préoccupations de l'UR 2A dès 1985-86 n'a pas pu progresser:

- 1) faute des énergies nécessaires pour s'atteler à un tel travail dans la situation actuelle de la programmation des travaux au niveau du personnel de l'UR 2A;
- 2) faute d'une mise à disposition de chroniques de débit actualisées sur les stations du bassin du fleuve Sénégal;
- 3) faute d'intérêt au niveau des hydrologues en poste au Sénégal dont la recherche, côté fleuve Sénégal, est focalisée sur des conventions avec l'OMVS - mise en valeur Fleuve Sénégal (propagation débit, gestion ressource...).

Ce programme reste cependant un objectif scientifique important de l'UR 2A. La synthèse dépassera le seul cadre hydrologique et sera un ouvrage collectif où apparaîtront notamment les travaux de GAC, KANE, OLIVRY, SOW, ORANGE et les collaborations de LAMAGAT, SEGUIS...

MONOGRAPHIE DU FLEUVE GAMBIE

★

Cette monographie, objet d'une convention avec la Coopération Française pour l'OMVG (mise en valeur du Fleuve Gambie), a été publiée dans sa version française, fin 1989. La publication en anglais reste à remettre.

L'ouvrage, dont la réalisation a été confiée à J.P. LAMAGAT, comprend une partie de généralités sur le milieu physique et les facteurs conditionnels des régions y compris les facteurs climatiques, qui est due à Luc DESCROIX alors VSN à Dakar.

Une contribution de J. ALBERGEL sur l'application du vecteur régional des précipitations sur le Bassin de la Gambie complète l'étude des pluies.

Côté hydrologie, l'ouvrage se limite à une énumération des stations hydrologiques, de leurs caractéristiques, des jaugeages (étalonnage) et des chroniques de débit, ce qui s'apparente davantage à des annales qu'à une monographie et ne correspond pas au descriptif contractuel de la convention.

Les retards pris expliquent qu'il n'était plus possible de différer la remise du document.

Il est souhaitable qu'une meilleure valorisation de ce travail soit programmée avec prise en compte des travaux antérieurs (LERIQUE, CHAPERON (1974) et thèse H.M. LO (1985) extension des données H. DACOSTA (1988), géochimie J.Y. GAC (1988). C'est seulement dans ce cadre qu'une édition dans les collections ORSTOM doit être envisagée.

MONOGRAPHIE DES EAUX SUPERFICIELLES DU BENIN

Cet ouvrage prévu pour le début de 1988 a été retardé par suite de la nomination de L. LE BARBE comme représentant de l'ORSTOM au Niger. Bien qu'aucune minute provisoire ne nous ait été communiquée, la somme de travail paraît considérable (très nombreuses figures) et L. LE BARBE semble s'être attaché à être le plus exhaustif possible et à dégager une approche originale de recherche sur les régimes hydrologiques du Bénin, en introduisant en particulier les éléments d'une régionalisation des paramètres à l'échelle du pays. On regrettera au niveau de l'UR que le passage de LE BARBE à Montpellier n'ait pas donné lieu à une collaboration plus ouverte sur les méthodes d'étude des synthèses hydrologiques.

Je laisse à Luc LE BARBE le soin de présenter ci-après son travail sur le Bénin:

Dans le cadre d'une convention financée par le FAC, signée en 1985, l'ORSTOM a été chargé de la rédaction d'une monographie des ressources en eaux superficielles du Bénin.

La rédaction de cet ouvrage est pratiquement achevée, l'édition définitive est prévue pour mi-90.

L. LE BARBE en a été le rédacteur principal ; ont participé à l'élaboration de cet ouvrage :

- M. ALE, Chef du service Hydraulique Béninois
- M. TEXIER, Professeur à l'Université Nationale du Bénin et M. B. MILLET, Chercheur à l'ORSTOM pour ce qui est de l'étude du milieu lagunaire.
- M. GUALDE, Ingénieur à l'ORSTOM
- M. BOREL, TS à l'ORSTOM.

Les ressources en eaux superficielles du Bénin se présentent sous 4 formes :

- les précipitations
- les écoulements
- les eaux du delta de l'Ouémé
- les eaux lagunaires (lac Nokoue, lagunes de Ouidah, lac Ahémé, Bouches du roi).

Ce découpage constitue le plan de cet ouvrage. Nous allons présenter brièvement les principaux résultats obtenus et les méthodes employées.

1. ETUDES DES PRECIPITATIONS

L'objectif suivi était double :

- 1/ Il fallait d'abord donner une description statistique des régimes pluviométriques du Bénin qui satisfassent les besoins des utilisateurs de ce type de données.
- 2/ Il fallait également décrire les variations interannuelles observées.

1.1 DESCRIPTION STATISTIQUE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES

Les utilisateurs de données pluviométriques peuvent avoir des besoins très divers. Un climatologue ou un géographe sera essentiellement intéressé par une description des distributions des totaux mensuels. Un agronome, en revanche aura besoin de descendre au niveau de la pentade ou de la décade. Un hydrologue, selon l'objectif qu'il poursuit, devra connaître les distributions des pluies annuelles, des pluies mensuelles ou des averses exceptionnelles.

En fait, on s'aperçoit que tant que l'on travaille à une échelle de temps supérieur à la durée des averses et suffisante pour que l'on puisse négliger les effets de persistance, tant que l'on travaille sur des périodes où l'on peut admettre la stationnarité des phénomènes, il suffit pour répondre à ces besoins de pouvoir préciser deux distributions : celle des hauteurs d'averses et celle des durées interaverses. Nous ne disposons pas des données nécessaires pour pouvoir définir directement ces deux distributions. En revanche, si l'on fait l'hypothèse que celles ci sont de forme exponentielle, il est possible de les déterminer à partir des distributions des totaux pluviométriques qui suivent alors une "loi des fuites". Cette loi a deux paramètres, le premier (de forme) étant le nombre moyen d'averses au cours de la période caractéristique de la distribution des durées interaverses, le second (d'échelle) étant la hauteur moyenne d'une averse caractéristique de celle des hauteurs.

C'est la démarche que nous avons suivie, en utilisant les totaux mensuels. La qualité des ajustements obtenus a permis de vérifier à posteriori les hypothèses concernant les 2 distributions initiales. Nous avons donc pu cartographier pour chaque mois, chacun des 2 paramètres.

A partir de ces cartes, il est possible de définir en tout point du pays :

- Les distributions initiales
- Les distributions de totaux pluviométriques sur n'importe quelle période.
- La loi de Gumbel décrivant la distribution des valeurs extrêmes.

Ces cartes peuvent également être interprétées sous l'angle climatologique, on remarque notamment que la pénétration du flux de mousson à l'intérieur du pays à partir du mois de mai s'accompagne d'une augmentation brutale du paramètre d'échelle. Parallèlement, à partir du mois de juillet, l'installation de la petite saison sèche se traduit surtout par une chute du paramètre de forme. L'influence de relief se fait également sentir sur le tracé des courbes isovaleurs des 2 paramètres.

Ces 24 cartes se révèlent donc être une description très puissante des régimes pluviométriques et répondent à l'objectif que nous nous étions fixés.

1.2 DESCRIPTION DES VARIATIONS INTERANNUELLES

On s'interroge beaucoup ces dernières années sur l'évolution du climat. Il fallait donc compléter la description statistique des régimes pluviométriques par celle des variations interannuelles. On aurait pu pour cela suivre la démarche classique qui constitue par chaque poste pluviométrique à analyser avec des méthodes plus ou moins justifiées les tendances des totaux pluviométriques.

Nous avons donc procédé de la façon suivante :

En premier lieu, en classifiant de façon automatique les profils pluviométriques observés, nous avons identifiés cinq zones pluviométriques du sud au Nord du pays.

En caractérisant chaque année par un vecteur de 30 variables soit les totaux pluviométriques des mois pluvieux sur chacune des zones identifiées (les totaux étant normés par la pluie moyenne sur l'ensemble du pays) nous avons regroupé les années comparables à l'aide d'une méthode de classification automatique.

Les différentes classes obtenues se différencient essentiellement par l'importance à la fois dans le temps et dans l'espace de la petite saison sèche.

Le régime de mousson est en effet perturbé presque chaque année par l'apparition en été d'un facteur inhibiteur de la pluviosité se propageant selon une direction grossièrement Sud-Ouest, Nord-Est. Ce phénomène est à la fois variable dans le temps et dans l'espace, il peut ne pas se produire (1947-1963-1968), apparaître très tôt ou très tard. Il peut se faire sentir sur l'ensemble du pays ou être limité à l'extrême sud.

2. LES ECOULEMENTS

Le lecteur d'une monographie hydrologique en attend plusieurs choses :

- Une description aussi complète que possible des régimes hydrologiques aux stations observées.
- Le moyen d'en déduire les régimes aux endroits non contrôlés par une station hydrométrique.
- Une description des variations interannuelles. C'est donc le plan que nous avons adopté pour cette partie.

2.1 DESCRIPTIONS HYDROLOGIQUES AUX STATIONS

Nous avons suivi la démarche classique employée pour décrire les régimes à savoir :

- Une étude fréquentielle des modules annuels, des débits maximaux, des étiages, des dates caractéristiques (début et fin de l'écoulement, date du maximum).
- Une description des répartitions temporelles des apports.
- Une description des relations entre module annuel et débits caractéristiques.
- Une description des corrélations interstations.

Nous avons en outre complété l'étude fréquentielle par une analyse des différences constatées dans les diverses distributions avant et après l'année 1968 qui est considérée par beaucoup comme une année charnière.

Pour étendre les séries chronologiques et pour faciliter la régionalisation nous avons mis au point un modèle hydropluviométrique simple qui permet de séparer dans la constitution de l'écoulement, l'effet lié à la répartition des averses de celui lié aux caractéristiques physiques du bassin.

Pour bâtir ce modèle, nous avons posé les hypothèses suivantes :

- Pour chaque surface élémentaire du bassin, la fonction de production liant l'écoulement à la hauteur de l'averse est identique. Etant entendu que cela n'est vrai qu'à partir d'une certaine échelle d'espace, de la même façon que la loi de DARCY n'est applicable qu'à un certain volume de sol et ne peut servir à déterminer l'écoulement à travers un pore élémentaire.
- L'écoulement produit au cours d'une période donnée par une surface élémentaire résulte de l'intégration temporelle de la fonction de production. En supposant invariable cette fonction, il faut donc connaître la répartition fréquentielle des hauteurs d'averses reçues par la surface.
- Pour évaluer l'écoulement à l'aval d'un bassin suffisamment grand, on peut considérer que la distribution des hauteurs reçues par chaque surface élémentaire peut être déduit d'une part du total pluviométrique et d'autre part des distributions décrivant le régime pluviométrique en supposant :

- a) Que le nombre d'averses est celui le plus probable sachant le total sur la période de référence, et que l'on déduit de la loi des fuites ajustées sur les totaux pluviométriques.
- b) Que les valeurs des rangs de la distribution des hauteurs sont équiprobables et que l'on déduit également de la loi des fuites ajustées à la période de référence.

Il suffisait donc de trouver une expression mathématique pour la fonction de production. La qualité des données disponibles ne nous permettait pas de la déduire d'une analyse physique, nous nous sommes donc contentés d'imposer un certain nombre de contraintes liées à la nature du phénomène à décrire. Ces contraintes sont les suivantes, si on note Def la perte à l'écoulement et P la hauteur de l'averse :

- Def < P quelque soit P
- Def' --> 1 quand P --> 0
- Def > 0 pour tout P
- Def --> une valeur finie quand P-->
- Def'' < 0 pour tout P

Les fonctions $aP / (a^k + p^k)^{1/k}$ obéissent toutes à ces contraintes. Nous avons en outre admis que $k = 2$.

Selon les hypothèses énoncées plus haut la lame écoulée, LR, par une période de référence, peut s'exprimer par l'expression suivante :

$$LR = R \exp \left[- \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{N \cdot a}{R} \right)^{3/4} \right]$$

ou R = est le total pluviométrique de la période
 N = le nombre le plus probable d'averses sachant R :

$$- 0,5 + \frac{\sqrt{SR+0.25}}{H}$$

S et H étant les paramètres de forme et d'échelle de la loi des fuites ajustées aux totaux pluviométriques sur la période.

Nous avons travaillé à l'échelle annuelle et avons calé ce modèle sur les données observées aux stations hydropluviométriques. La capacité d'absorption d'un bassin étant fonction de ses conditions de saturation initiale, la valeur moyenne du paramètre de la fonction de production va varier avec la répartition temporelle des pluies elle même liée à la hauteur totale sur la période. Pour chaque bassin, on peut mettre en évidence une relation relativement étroite entre a et Pt. Cette relation est strictement décroissante ce qui est cohérent avec le phénomène décrit.

Nous avons donc pu caractériser l'aptitude à l'écoulement de chaque bassin par la relation $a = f(P_t)$. On a pu constater les très grandes similitudes entre certaines courbes obtenues, et on a pu définir 4 grandes zones que nous avons supposées homogènes :

- la zone du Nord-Est du Bénin correspond au plateau gréseux de Kandi.
- La région des monts de la région de Djougou.
- La zone située sur le socle correspondant aux affluents béninois du Niger et au haut bassin de l'Ouémé.
- La zone située sur le socle correspondant à l'Ouémé moyen et du bassin de

l'Okkarara.

2.2 LA REGIONALISATION DES RESULTATS

Sur les 100.000 km² correspondant aux zones non deltaïques du Bénin, il n'y a que 20 stations hydrométriques dont près de la moitié ne contrôle que des bassins inférieurs à 1000 km². La description des régimes hydrologiques à ces seules stations ne pouvait donc suffire et il fallait s'efforcer de régionaliser les résultats. Nous avons ici limité nos ambitions à l'estimation en tout point du pays des distributions des lames écoulées annuelles et des débits maximaux.

a) lame écoulée annuelle

Dans les zones homogènes, nous avons constaté l'étroite similitude entre les distributions des lames écoulées annuelles observées sur les différents bassins contrôlés et cela quel que soit leur taille. Cette observation étaye les hypothèses énoncées pour l'élaboration du modèle hydropluviométrique et nous autorise à l'utiliser pour régionaliser les distributions des lames écoulées annuelles. Nous avons procédé de la façon suivante :

- Sur une grille d'un quart de degré de définition, nous avons calculé en utilisant le modèle, la chronique des lames écoulées à partir de celle de la pluviométrie et des cartes de paramètres de la loi des fuites ajustées aux pluies mensuelles.
- Nous avons ajusté, pour chaque noeud de la grille, à chaque chronique reconstituée, une loi des fuites qui donne d'excellents résultats.
- Nous avons pu alors cartographier les paramètres des lois ajustées ce qui correspondait à l'objectif suivi.

b) débits maximaux

Lors de l'étude fréquentielle des régimes hydrologiques observés aux stations hydrométriques, nous avons pu constater que dans la quasi totalité des cas, c'était la loi des fuites qui donnait les meilleurs résultats tant pour les distributions des modules annuels que pour celles des débits maximaux.

On a pu mettre en évidence une relation très étroite entre les paramètres des lois ajustées :

$$Q_x = \text{mod}^{1.26} \cdot \text{Su}^{-0.25} \cdot 408 \quad (R^2 = 0.98)$$

$$H_x = H_m^{1.10} \cdot \text{Su}^{-0.36} \cdot 154 \quad (R^2 = 0.97)$$

avec

Q_x et mod , moyenne des distributions des débits maximaux et des modules (m³/s)

H_x et H_m , paramètres d'échelle des distributions des débits maximaux et des modules (m³/s)

Su = Surface du bassin (km²)

Les cartes citées au paragraphe précédent et ces relations permettent donc d'estimer sur n'importe quelle rivière du pays la distribution des débits maximaux, ce qui était l'objectif recherché.

2.3 LES VARIATIONS INTERANNUELLES

L'étude des variations interannuelles des précipitations avaient montré une légère tendance à la baisse depuis 1968. La nature de la relation entre pluie et écoulement, conduit à une amplification de cette tendance tant sur les modules que sur les débits extrêmes. Il était donc important de préciser les conséquences de ce phénomène sur les distributions des modules, des débits maximaux et des étiages.

Pour les deux premières distributions, nous n'avons d'une part fait la synthèse des observations faites aux stations hydrométriques et d'autre part utilisé la chronique des lames écoulées reconstituées au noeud de la grille dont nous avons parlé plus haut pour préciser les différences entre les distributions observées avant et après 1968.

Par ailleurs, pour permettre d'appréhender de façon globale les variations interannuelles, nous avons décrit les écoulements observés lors de quelques années exceptionnelles.

3. LES EAUX DU DELTA DE L'OUEME

Le delta de l'Ouémé avait fait l'objet d'une étude intensive vers les années 60. Les résultats de ces études avaient été publiés dans la "Monographie du delta de l'Ouémé" de SIRCOULON - RODIER et dans diverses publications de DOSSEUR.

Depuis, il n'y a eu aucune autres observations complémentaires. Nous nous sommes donc contentés de résumer ces travaux.

4. LES EAUX LAGUNAIRES

Le système lagunaire du Bénin est très étendu, il est situé en outre dans une zone très peuplée et sa mise en valeur est d'un enjeu économique important. Bien que les méthodes d'analyse de ce type de milieu ne sont pas celles employées classiquement en hydrologie, il aurait été anormal qu'une partie de la monographie ne lui soit pas consacrée.

Ce travail a été confié à B. MILLET, chercheur hydrologue spécialiste des lagunes, et à H. TEXIER qui a animé une équipe de chercheurs de l'U.B.N. travaillant sur le sujet. La partie qu'ils ont rédigée s'articule en 5 thèmes principaux :

- Description du système lagunaire
- Les régimes hydrologiques des plans d'eau
- L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux.
- L'étude de la répartition spatiale des sédiments.
- L'étude de la répartition écologique de la végétation.

MONOGRAPHIE DU LAC TCHAD

Les contributions de G. VUILLAUME, décédé en 1988, et de A. CHOURET qui demandaient à être harmonisées sont devenues trop anciennes pour être publiées sans une actualisation des données sur la décennie 80.

Ceci a été fait à Montpellier par J.C. OLIVRY en 1988 et 1989. La réalimentation de la cuvette Nord du Lac Tchad après la crue de 1988 a été étudiée par LEMOALLE et une contribution complémentaire vient de nous parvenir.

Actuellement, le manuscrit est pratiquement entièrement saisi, de même que les figures de l'ouvrage.

On se trouve confronté à des problèmes d'édition et de mise en page qui doivent être réalisés à ce stade par un hydrologue averti. Il faut en outre trouver les crédits pour une édition de qualité pour un ouvrage qui pourrait marquer un retour en force de l'ORSTOM dans cette région d'Afrique.

MONOGRAPHIE DE L'OUBANGUI

La rédaction de cette monographie a connu de nombreuses vicissitudes. PIEYNS puis RIBSTEIN qui l'ont eu en charge ont été affectés à d'autres tâches. Après quelques travaux récents de mise au point par J.P. THIEBAUX à Bangui, c'est J. CALLEDE qui a accepté de s'en charger à Montpellier en 1989. Il en situe l'état d'avancement comme suit:

Le Milieu physique (géologie, végétation, pédologie) est en cours d'élaboration avec l'aide de Y. BOULVERT. Les documents concernant le ZAIRE ont été rassemblés et vont être expédiés à BANGUI.

La Climatologie est bien avancée. Les données ont été saisies et analysées: le bassin va du Climat tropical au Climat équatorial. Il reste à reprendre toute la partie Evapotranspiration potentielle, en corrigeant les valeurs établies par DIZIAIN (utilisation systématique de la Formule de PENMANN sans se préoccuper des mesures sur bac).

La pluviométrie mensuelle, nécessaire pour le calcul du déficit d'écoulement, est saisie: elle sera complétée très prochainement. Le programme de calcul par la méthode de THIESSEN, va être réécrit par mes soins de façon à pouvoir fonctionner sur PC. Une étude des pluies journalière a déjà été faite par S. PIEYNS et P. RIBSTEIN. Un certain nombre de données concernent le ZAIRE mais elles ne sont pas nombreuses, hélas...

Le calcul des débits s'achève, grâce à la présence d'un stagiaire nicaraguayen qui m'aide dans cette tâche. Malheureusement, il n'y a RIEN sur le ZAIRE.

Les mesures systématiques des transports solides sur l'Oubangui à BANGUI ont été retrouvées... dans les archives de MONTPELLIER. Le traitement pour la détermination des quantités de terre transportée journallement est terminé.

REGIMES HYDROLOGIQUES DE MADAGASCAR

Cette étude est réalisée par P. CHAPERON (UR 2A) avec la collaboration de J. DANLOUX et L. FERRY.

Longtemps abandonnée, elle a dû être entièrement reprise, en particulier au niveau des précipitations. P. CHAPERON prévoit l'échéance de ce travail pour la fin de l'année 1990. Des financements pour l'édition devront être trouvés. P. CHAPERON présente ci-après les points forts de ce travail:

L'étude des régimes hydrologiques de Madagascar comporte trois parties :

1 - Facteurs conditionnels des régimes :

- facteurs géographiques : géologie, relief, sols, couverture végétal et réseau hydrographique
- facteurs climatologiques : circulation des masses d'air, saisons, vents, températures, humidité, évaporations, insolation, précipitations, régions climatiques.

Cette première partie est essentiellement basée sur des documents et données élaborés par des géographes et climatologues extérieurs à l'ORSTOM sans que la contribution des chercheurs de l'ORSTOM soit négligeable en particulier pour les études concernant les sols et l'évaporation. Elle a été rédigée par M. ALDEGHERI.

2 - Analyse des données hydrométriques

Cette analyse concerne une quarantaine de stations de base du réseau géré entre 1950 et 1975 par la section hydrologique de Madagascar de l'ORSTOM. Les bassins étudiés sont repartis sur toute l'île et permettent une bonne caractérisation de la diversité des régimes malgaches. Cependant, deux grands bassins du versant occidental (l'ONILARY et la SOFIA) restent peu connus (observations fragmentaires de faible durée).

Les fichiers opérationnels des débits des stations ont été entièrement révisés (correction des courbes de tarage pour les plus forts débits).

D'autre part, nous disposons pour ces bassins des tableaux de pluviométrie moyenne mensuelle couvrant partiellement (ou dépassant) la période des observations hydrométriques. Les valeurs mensuelles ont été calculées par la méthode de THIESSEN et essentiellement corrigées à partir des isohyètes. Lorsque la densité et la répartition des postes utilisés sont satisfaisantes et prononcées, les résultats sont convenables. Pour un certain nombre de bassins, essentiellement situés sur le versant oriental, les postes utilisés sont situés en bordure des bassins et sur les voies de communication et prennent mal en compte les effets de relief et d'altitude : la pluviométrie moyenne est généralement très sous-estimée et a du être corrigée (à partir des isohyètes interannuelles et en attribuant aux bassins des déficits d'écoulement régionalement homogènes).

- Pour l'ensemble des bassins étudiés, et pour les années concomitantes, les liaisons

statistiques ont été effectuées à l'échelle mensuelle pour répondre à un triple objectif.

- Vérifier sur deux échantillons réalisés indépendamment la fiabilité des données. Les résultats des regressions ont été généralement satisfaisants et ont permis de constater la bonne qualité moyenne des données hydro-pluviométriques.

- Etudier (à partir des coefficients de corrélation) les influences respectives des précipitations et débits antérieurs sur les différents débits mensuels en saison des pluies et en saison "sèche", première approche des mécanismes de bassin.

- Permettre à partir des modèles linéaires simples ou multiples le complément des données mensuelles manquantes (ou leur correction dans le cas d'anomalies flagrantes).

Des corrélations à l'échelle annuelle entre modules et précipitations ou entre modules de bassins voisins ou emboîtants ont permis d'étendre les échantillons sur une période voisine de 30 ans.

L'analyse des données est pratiquement terminée.

3 - Synthèse régionale des éléments caractéristiques des régimes.

Cette synthèse portera sur les apports annuels, les crues maximales, les débits de basses eaux etc... en regard des caractéristiques géographiques conditionnelles et aboutira à la sectorisation géographique des différents régimes de l'île. Cette synthèse est actuellement en cours.

La date d'achèvement de la monographie est prévue pour la fin du 1er semestre 1990.

Les principaux résultats, exposés de façon sommaire, sont les suivants :

Pluviométrie

Les précipitations moyennes interannuelles d'environ 300 postes (dont la moyenne partie a fait l'objet d'une homogénéisation sommaire par correction d'hydraulicité) ont permis de tracer une carte des isohyètes interannuelles de Madagascar.

Le tracé des isohyètes prend en compte les effets océographiques et nous avons tenu à rectifier certaines anomalies constatées sur les cartes antérieurement publiées.

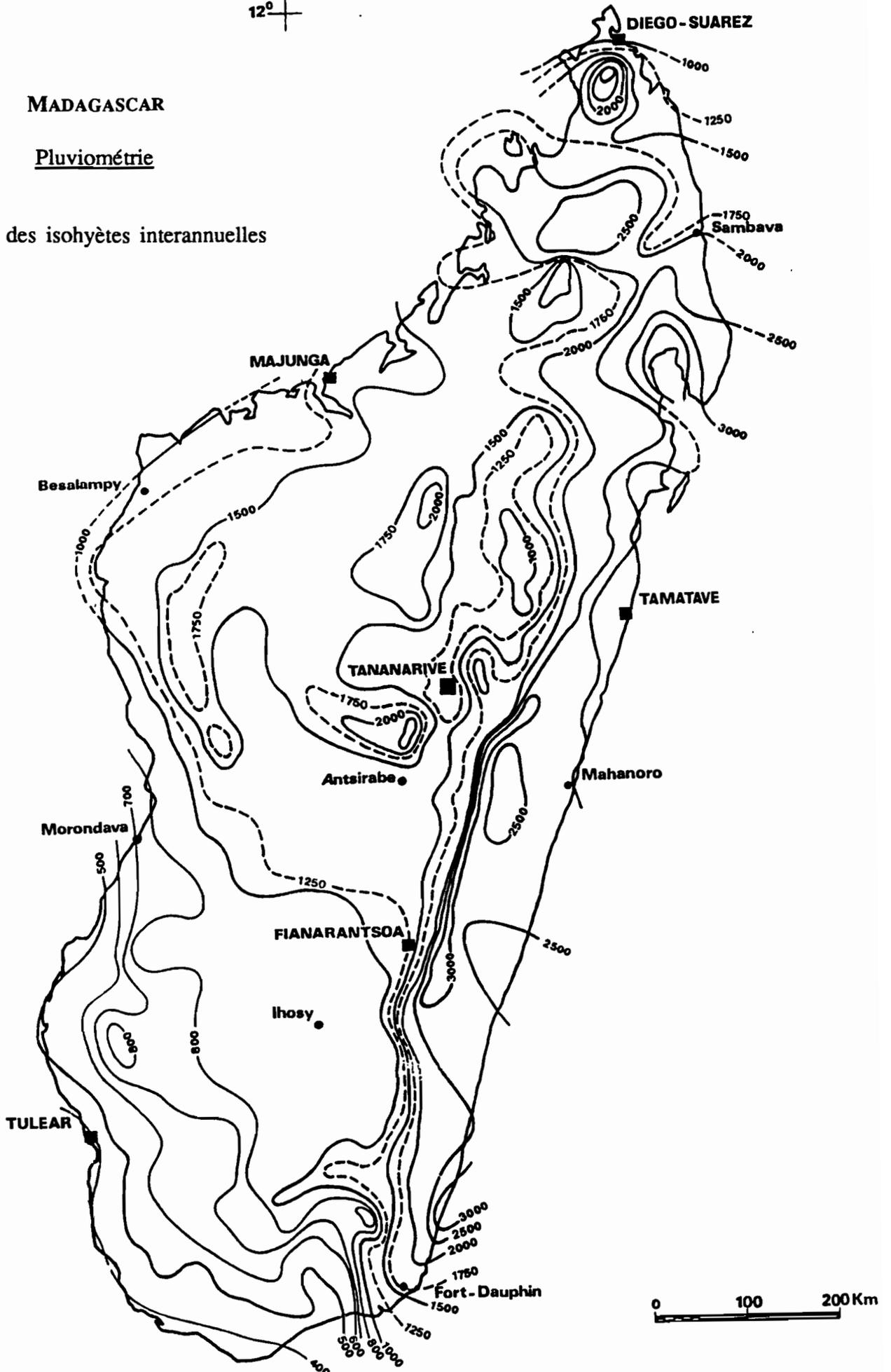
Par exemple, en l'absence de stations pluviométriques sur le massif de TSARATANANA, la pluviométrie de ce secteur est généralement caractérisée par un "thalweg" inférieur à 1500 mm (!) encadré par des zones de fortes pluviométries à l'est (baie d'ANTONGIL) et à l'ouest (littoral du canal de Mozambique). Cela constitue manifestement une contre-sens climatologique. Le massif d'altitude élevée (MAROMOKOTRO : 2876 m) est en effet frappé sur sa façade sud-est par l'alizé humide, sur sa façade nord-ouest par le contre-alizé ("mousson" du canal de Mozambique). Les lames écoulées mesurées sur certains des tributaires du massif (SAMBIRANO, LOKOHO, etc) sont relativement fortes (1500 à 2000 mm). Nous avons donc été conduit à attribuer au massif une pluviométrie moyenne supérieure à 2500 mm et très probablement, pour la partie australe, supérieure à 3500 mm.

12° 46°

MADAGASCAR

Pluviométrie

carte des isohyètes interannuelles



Bilan annuel hydrologique des principaux bassins

Le tableau ci-joint rassemble les données principales des bassins (pluviométrie moyenne interannuelle, lame écoulée, déficit d'écoulement) - Les valeurs entre parenthèses, corrigées, sont approximatives.

Les bassins présentent des caractéristiques régionales assez nettes (déjà mises en évidence par PELLERAY (1953) et ALDEGHERI (1972) répondant à la sectorisation climatologique (cf. carte des régions climatiques établie par J. RIQUEUR - Article de HERVIEU in cahiers ORSTOM - série Pédologie 1967).

Les bassins du versant oriental sont de faible développement et à fort relief. Ils sont situés dans la région climatique "perhumide" (pluviométrie comprise entre 1500 et 3500 mm - ETP comprise entre 900 et 1300 mm, ETR, voisine de l'ETP). Pour ces bassins (RIANILA, MANANJARY, NAMORONA, FARAONY, etc.) les lames annuelles sont généralement supérieures à 1000 mm et peuvent approcher les 2000 mm (Ke : 40 à 60%). Les déficits d'écoulement (équivalents à l'ETR) sont de l'ordre de 1000 à 1200 mm. Les valeurs estimées du déficit d'écoulement de l'IVOANANA et de la NAMORONA (1340 et 1405 mm?) sont probablement un peu fortes (surestimation de 5 à 10% de la pluviométrie moyenne des bassins, assez mal définie) et constituent probablement la limite supérieure de l'ETR à Madagascar.

Quelques bassins de la côte Est échappent à ce schéma. Il s'agit du MANINGORY et du MANGORO-ALAOIRA (zone climatique "humide" pluviométrie comprise entre 1200 et 1500 mm). Le déficit d'écoulement de ces bassins est réduit à 800 et 900 mm.

De la même façon, les formateurs de la MANANARA du Sud, situés sous le vent de la prolongation de la "première falaise", ont une pluviométrie de l'ordre de 1100 mm. Le déficit d'écoulement, voisin de 600 mm, se rapproche des valeurs observées dans le sud de l'île.

Les bassins du sud de Madagascar, d'orientation générale nord-sud sont situés dans la zone climatique "semi-aride" ou "sèche", sous le vent de la chaîne Anosyenne - à l'exception des hauts bassins tributaires des contreforts sud et ouest du MANAMBY et de l'ANOSY ; la pluviométrie moyenne est inférieure à 800 mm. L'ETR est fortement réduite et comprise entre 400 et 600 mm. Les écoulements de saisons sèches sont faibles et peuvent s'annuler certaines années.

Les bassins du versant occidental correspondent aux plus grands fleuves malgaches (ONILAHY, MANGOKY, TSIRIBIMINA, BETSIBOKA) à régimes mixtes : hauts bassins en climat "humide" ou "sub-humide", bassins inférieurs en climat "sub-humide" à "semi-aride".

Pour le MANGOKY, la pluviométrie est comprise entre 1100 et 1200 mm (ZOMANORO, MANANTANNANAN, etc) et 800 mm pour le bassin inférieur ; le déficit d'écoulement est compris entre 600 et 700 mm.

La pluviométrie moyenne de la TSIBIMINA est comprise entre 1700 mm (haut bassin) et 1000 mm (bassin inférieur). Le déficit d'écoulement est compris entre 1000 mm (haut bassin) et 600 mm (ensemble du bassin).

Le bassin de la BETSIBOKA, presque entièrement situé sur les hauts plateaux et d'orientation sud-nord, est caractérisé par un faible gradient pluviométrique de l'amont vers l'aval (1300 à 1500 mm). Le déficit d'écoulement est compris entre 600 et 800 mm.

Les bassins du nord, en raison de la forte pluviométrie du massif de TSARATANANA, se rapprochent des régimes observés sur le versant oriental : pluviométrie annuelle comprise entre 2500 et 3000 mm (à l'exception du MAEVARANO supérieur situé dans la cuvette de l'ANKAIZINA où la pluviométrie est inférieure à 1500 mm) et le déficit d'écoulement compris entre 1000 et 1100 mm. Ils s'en distinguent par une pluviométrie moins importante en saison "sèche" (avril-octobre).

Bilans hydrologiques mensuels et mécanismes de l'écoulement

Pour un certain nombre de bassins, les bilans hydrologiques (précipitations, évapotranspirations potentielles et réelles, lames écoulées, stockages et destockages) ont été établis à l'échelle mensuelle. L'évapotranspiration potentielle et sa répartition mensuelle ont été évaluées à partir des données régionales (stations climatologiques, bassins versants expérimentaux). Le bilan est calculé par la méthode de THORNTHWAITE simplifiée : pour la commodité du calcul, les deux réservoirs (nappes phréatiques et réserve utile des sols) ont été confondus sans vouloir attribuer une dimension arbitraire à la réserve utile. Seuls figurent les variations de stock en fin de mois, après transferts. Le mécanisme général est le suivant :

- En saison des pluies (décembre à mars en général), les excédents pluviométriques, une fois satisfaits l'ETR (égale à l'ETP) et l'écoulement, permettent la recharge des différentes réserves (stockage) et en particulier les zones altérées du socle situées sous les latérites. En fin de saison des pluies, la réserve mobilisable est comparée à la lame écoulée en saison "sèche" (avril-octobre en général). Cette réserve peut satisfaire entièrement l'écoulement de saison sèche et dégager éventuellement un excédent dans la réserve utile pour le soutien de l'ETR. Dans certains cas (bassins du versant oriental), les écoulements de saison "sèche" sont alimentés conjointement par les nappes et par la pluviométrie encore abondante.

Les bassins de la Côte Est (RIANILA - FARAONY - MANANRA du Sud) recueillent des précipitations abondantes de décembre à mars qui, une fois satisfaits l'ETR (égale à l'ETP) et l'écoulement, permettent la constitution, fin mars, d'un stock abondant (400 mm à 150 dans le sud du versant oriental). D'avril à novembre, la pluviométrie est plus réduite mais encore abondante avec une amorce pour les bassins les plus arrosés, d'une seconde "saison des pluies" en juillet-août (tendance alimentée conjointement par les précipitations et la vidange des réserves. L'ETR peut être équivalente à l'ETP 9 à 10 mois sur 12 et ne connaît qu'une relativement faible réduction (80 à 90% dans le nord, 60% dans le sud). Le comportement de SAMBIRANO (cote nord-ouest) est assez voisin bien que les précipitations de saison "sèche", beaucoup moins importantes que sur le versant oriental, ne participent que faiblement à l'écoulement de mai à octobre. L'ETR est réduite (83% de l'ETP) mais bénéficie du soutien d'une réserve utile importante.

Dans le sud de l'île, les bassins ne recueillent qu'une pluviométrie relativement faible (moins de 800 mm) et sont caractérisés par une absence quasi-totale de réserves mobilisables. La MANANARA (affluent du MANDRARE) ne dispose d'aucun réservoir de nappe. L'écoulement est réduit aux ruissellements sur les zones imperméables et l'ETR est réduite pour les douze mois. Le MANDRARE a un comportement très voisin. Un stockage réduit (de l'ordre de 20 mm) dans certains compartiments fracturés et dans les formations alluviales encaissant le lit majeur permet un faible report de drainage en février. L'écoulement de mars à novembre est ensuite réduit à une faible fraction des averses ruisselant sur certaines zones imperméables. L'ETR est très réduite (60% ETP) et n'égale l'ETP que deux mois sur douze.

Les grands bassins du versant occidental (MANGOKY, BETSIBOKA etc.) ont une pluviométrie intermédiaire (1000 à 1500 mm) présentant un contraste très marqué entre la saison des pluies (décembre à mars) et la saison sèche (mai à octobre) qui ne représente que 10 à 20% du total annuel. Les excédents pluviométriques de la saison des pluies stockés dans les réservoirs du socle altéré (forte latéritisation) permettent de soutenir des débits encore relativement importants en saison sèche (les lames écoulées mensuelles sont voisines ou même supérieures aux précipitations mensuelles entièrement mobilisées pour satisfaire l'ETR). Celle-ci, bien que bénéficiant pendant le début de la saison sèche d'un soutien de la réserve utile des sols, est assez fortement réduite (60% de l'ETP).

Bassin	Eivière	Station	Latitude S	Longitude E	S ₂ km ²	P mm	H mm	DE mm	Ke%
---	SAMBIRANO	AMBANJA	13 41	48 27	2830	(2500)	1502	(998)	60
	PAMENA	AMBODIMANGO	13 45	48 30	1080	(3000)	1900	(1100)	63
---	MIEVARANO	AMBODIVOHITRA	14 30	48 34	2585	1730	577	1153	33
---	T'ONDRO	RINGA-RINGA	18 11	49 15	2560	(2500)	1320	(1180)	53
	RIANILA	Bac PETRAOMBY	18 40	48 56	1863	(3270)	(2070)	(1200)	(63)
	VOHITRA	ANDEKALEKA	18 30	48 30	2615	(2700)	1710	(990)	63
---	RIANILA	BRICKAVILLE	18 48	49 48	6000	2900	1840	1060	63
	VOHITRA	ROGEZ	18 48	48 36	1910	(2200)	1145	(1055)	52
---	MANGORO	MANGORO GARE	19 00	48 00	3600	1500	769	731	51
	OHIVE	TSINJOARIVO	19 37	47 42	3200	1590	721	869	45
	AMBOROMPOTSY	ANTSAMPANORAN	19 30	47 03	95	(2000)	891	1109	45
---	NAMANJARY	ANTSINDRA	20 58	47 43	2260	(2850)	1653	(1197)	58
	IVOAMANA	FATIMITA	21 03	47 45	835	(3200)	1860	(1340)	58
---	MAMINGORY	ANOROMBA	17 24	48 38	6850	1200	310	890	26
---	MAMORONA	VOHIPARARA	21 14	47 23	445	(2300)	895	(1405)	39
---	FARAOMY	VOHILAVA	21 46	47 55	2005	(3000)	1840	(1160)	61
---	MAMANARA-SUD	MAROANGATY	22 57	46 55	14160	1125	507	618	45
---	EFAHO	FANJAHIRI	24 54'36	46 53'46	196	(3100)	2068	(1032)	67
	MANDRARE	ANDABOLAVA	24 00	46 30	4045	820	304	516	37
---	MANDRARE	AMBOASARY	25 02	46 27	12435	790	184	606	23
	MAMANARA	BEVIA	24 51	46 27	1085	600	179	421	30
---	MAMANBOVA	TSIHOMBE	24 30	45 30	2712	585	54	531	9
---	MEMARANORA	TRANOROA	24 42	45 04	5330	760	189	571	25
	IHOZY	IHOZY	22 23	46 07	1500	923	336	587	36
	ZOMANDAO	ANKARAMENA	21 56'41	46 39'00	610	1296	574	722	44
	MAMANTANARA	TSITONDROINA	21 19	45 59'32	6510	1104	441	663	40
	MATSIATRA	HALAKIALINA	20 57	45 51	11715	1294	625	669	48
---	MANGOKY	BANTAN	21 49	44 15	50000	994	311	683	31
---	MOPONDAVA	DABARA	21 00	45 00	4640	(1000)	(350)	(650)	35
	MANTA	FASIMENA	20 17	48 48	6795	1680	735	945	44
	MARADONA	SAHANIVOTRY	20 08	47 05	1450	1530	615	915	40
	SAHANIVOTRY	PK 197	20 06	47 05	432	1690	681	1009	40
---	TSIRIBIHINA	BETOMBA	19 39	44 57	45000	1320	695	625	53
	SISAONY	ANDRAMASINA	19 11	47 35	318	1250	578	672	46
	ANDROMBA	TSINSONY	19 08	47 31	350	1460	835	625	57
	IKOPA	AMBONINA-							
		NAMBOLA	18 56'43	47 35'56	1407	1310	620	690	47
	IKOPA	PONT DE-							
		MAHISTY	18 51'47	47 27'29	1780	1315	545	770	41
	IKOPA	BEVOMANGA	18 48'30	47 19'12	4290	1320	575	745	44
	IKOPA	BAC DE-							
		FIAOANANA	18 09'45	46 56'54	9450	1385	587	798	42
	IKOPA	ANTSATRAMANA	17 26	46 53	18645	1515	770	745	50
	ISINKO	AMBODIROKA	16 56'56	46 57'39	600	1760	1115	645	63
---	BETSIBOKA	AMBODIROKA	16 55	46 57	11800	1500	780	720	52

REGIMES HYDROLOGIQUES AU GABON

Ce travail est réalisé par Jacques LERIQUE, en poste à Montpellier; il est en voie d'achèvement et une bonne partie est déjà saisie; les figures fort nombreuses illustrent le propos bien détaillé sur la critique, l'analyse et l'interprétation des données.

Ci-après, J. LERIQUE présente quelques grandes lignes sur le travail effectué et des tableaux mentionnant quelques résultats importants.

L'équivalence de près de 900 stations années de relevés limnimétriques ou limnigraphiques et de 1 700 mesures de débits comprises en quelques litres/secondes et 13 500m³/s est un capital important de données. C'est pour valoriser ces dernières que la monographie des fleuves et rivières du Gabon a été entreprise.

Chaque station hydrométrique a été traitée de la façon suivante:

- . caractéristiques géographiques et physiques;
- . Etude des hauteurs, qualité de relevés, méthodes de contrôle des hauteurs, relation hauteur débit (extrapolation) Etudes des modules: irrégularité interannuelle, analyse fréquentielle, relations éventuelles avec les stations voisines. Les débits moyens mensuels, les débits extrêmes et caractéristiques, Etude des basses eaux (tarissement étiage principal avec variations interannuelles, étude fréquentielle relation avec les débits caractéristiques d'étiage, date d'apparition en relation avec les stations voisines) - l'étiage secondaire, la crue maximale annuelle, la crue de printemps et la crue d'automne ont été traitées de la même façon - Un bilan hydrologique a été réalisé pour toutes les stations principales -

Le traitement a été effectué pour l'ensemble du cours principal de l'Ogooué; et pour les bassins de l'Ivindo et de la Ngounié II reste à étudier les principaux tributaires directs de l'Ogooué et les fleuves côtiers.

VARIABILITE DU CLIMAT ET DES REGIMES

Le Gabon situé en pleine zone équatoriale ne reflète aucunement les caractères d'uniformité et d'homogénéité que lui confère sa situation géographique. Généralement il est décrit à travers une définition simpliste: pays d'altitude moyenne, chaud et humide, sans écart notable de température, soumis à de fortes précipitations et couvert par la grande forêt équatoriale.

Cette généralité est à nuancer fortement à travers, d'une part l'élément climatique et en particulier la pluviométrie et d'autre part, l'action des éléments physiques (géopédologie, végétation et influence maritime) sur moins de 700 km, du nord au sud, on observe une variation progressive du climat, consécutive à la position géographique du territoire par rapport à l'équateur thermique et aux centres d'actions qui régissent les mouvements saisonniers d'air atmosphérique établi de part et d'autre des basses pressions équatoriales.

Au nord, on est en présence d'un régime équatorial pur à deux saisons des pluies et

deux saisons sèches alternées et quasi symétriques - lorsque l'on se dirige vers le sud, une transition progressive s'établit - La saison sèche, d'août-septembre qui est d'à peine deux mois dans le Nord augmente pour atteindre près de quatre mois dans le Sud, voire cinq dans la région sud ouest (Mayumba).

La seconde séquence sèche de décembre-janvier a tendance à s'amortir, pour dans l'extrême sud ne présenter qu'un faible ralentissement des précipitations entre les deux épisodes pluvieux qui l'encadrent (octobre-novembre et avril-mai).

Dans cette zone, on est sous un régime équatorial de transition à forte dominante australe se rapprochant ainsi du régime tropical à une saison des pluies et une saison sèche - Les écoulements tributaires de la pluviométrie suivent la même progression et les hydrogrammes sont homothétiques des histogrammes pluviométriques -

Dans le nord, deux crues et deux étiages, la crue d'octobre-novembre est en principe la plus forte et l'étiage de juillet-août le plus sévère.

Lorsque l'on se dirige vers le sud, la période de l'étiage s'allonge, l'intervalle entre les deux crues d'automne et de printemps a tendance à se rapprocher et le maximum se situe plutôt en avril-mai.

Quand à l'étiage secondaire de janvier, février devient de plus en plus fort et atteint des valeurs supérieures à 1,5 à 2 fois le débit du mois le plus faible dans l'extrême sud -

Cette variabilité progressive s'établissant selon la latitude, les éléments physiques induisent en particulier pour les hauts bassins des régimes originaux typiques; quelques exemples sont repris ci-dessous -

Les formations sablo-gréseuses du Pays Batéké à très forte capacité de rétention laminent en partie les crues et stockent une grande partie des précipitations qui est restituée aisément à travers un réseau hydrographique lâche et très encaissé, assurant une régularisation naturelle avec un débit de base soutenu et un étiage relativement fort avoisinant les $15 \text{ ls}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Le relief aplani, les sols profonds et les importantes interfluves subhorizontales des larges vallées à fond plat des hauts bassins des plateaux du nord-est impliquent un amortissement relatif des deux pointes de crue. La vidange des larges vallées et le destokage de nappe provoquent une descente régulière et en principe sans à coup. L'hydrogramme n'est pas trop perturbé sans dents de scie notables et se présente sur l'année hydrologique sous forme de deux cloches accolées - la pointe d'octobre-novembre est généralement la plus forte - Les deux étiages sont faibles ($3 \text{ à } 5 \text{ ls}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Celui de juillet-août étant le plus sévère.

Contrairement à la formation précédente, les écoulements des zones dites "montagneuses" (monts de Cristal, Monts de Ndjolé, Chaillu, Mayumbé...) sont importants, les crues rapides et pointues. Malgré une granulométrie assez hétérogène, la faible profondeur des formations de couverture, assure une restitution rapide du peu d'eau retenu. Les étiages sont très modérés.

L'ensemble du bassin Francevillien et les formations gréseuses de l'Ikoundou présentent, quant au ruissellement, des qualités diverses, fonction de la teneur en argile de la couverture pédologique.

L'ensemble des "plaines" de la Ngounié et de la Nyanga, situé sur le schisto-calcaire ont des sols peu profonds, où s'est établie la savane arbustive. Le relief karstique de la roche mère provoque une accumulation souterraine des eaux qui s'équilibre au niveau du réseau hydrographique avec restitution en décrue et surtout à l'étiage.

LES MODULES										
Cours d'eau	Stations	S en km ²	F : 0,5 m ³ /s	F : 0,5 l/s:Km ²	F 1/10 sec m ³ /s	F 1/10 sec l/s:Km ²	F1/10 humide m ³ /s	F1/10 humide l/s:Km ²		
Ogooué	Lendendoungou	6 900	216	31.3	191	27.7	249	36.1		
	Franceville	8 665	251	29.0	213	24.6	295	32.0		
	Lastoursville	47 700	1 320	27.7						
	Booué	129 600	2 730	21.1	2 300	17.7	3 240	25.0		
	Portes de l'Okanda	140 000	2 900	20.7	2 500	17.9	3 300	23.6		
Ivindo	Ndjolé	158 100	3 120	19.7	2 560	16.2	3 730	23.6		
	Lambaréné	203 500	4 560	22.4	3 780	18.6	5 540	27.2		
	Makokou	35 800	588	16.4	462	12.9	741	20.7		
	Loa Loa	48 500	792	16.3	641	13.2	959	19.7		
	Ngounié	Mouila	15 900	478	30.6	387	24.3	598	37.6	
	Fougamou	22 000	693	31.5	560	25.5	868	39.5		
			ETIAGES ABSOLUS				CRUES MAXIMALES			
			F 0,5 m ³ /s	F:0,5 l/s/km ²	F1/10 sec m ³ /s	F 1/10 sec l/s/km ²	F.O,5 m ³ /s	F.O,5 l/s/km ²	F 1/10 humide m ³ /s	F 1/10 humide l/s/km ²
Lendendoungou			99.1	14.4	77.9	11.3	448	64.9	539	78.1
Franceville			112	12.9	91.3	10.5	507	58.5	612	70.6
Booué			1 010	7.8	799	6.2	5 590	43.1	7 040	54.3
Portes de l'Okanda			1 080	7.7	923	6.6	6 120	43.7	7 150	51.1
Ndjolé			1 200	7.6	947	6.0	6 480	41.0	8 050	50.9
Lambaréné			1 610	7.9	1 190	5.8	8 380	41.2	10 920	53.7
Makokou			107	3.0	46.5	1.3	1 480	41.6	1 830	51.1
Loa Loa			147	3.0	92.7	1.9	1 840	37.9	2 160	44.5
Mouila			122	7.7	74.8	4.7	1 320	83.0	1 630	103
Fougamou			145	6.6	100	4.5	1 880	85.5	2 350	107

STATIONS	P sur le bassin en mm	Lame écoulée en mm	Deficit en m	Coefficient de ruissellement
Ogooué à Franceville	1985	921	1064	46.4
Ogooué à Booué	1774	669	1105	33.7
Ogooué à Lambaréné	1840	716	1124	38.9
Ivindo à Makokou	1653	525	1128	31.8
Ivindo à Loa-Loa	1653	537	1116	32.5
N'Gounié à Mouila	2020	967	1053	47.9
N'Gounié à Fougamou	2055	1013	1042	49.3

TRAVAUX DE RÉGIONALISATION DES PARAMÈTRES HYDROLOGIQUES

Il s'agit là de travaux nouveaux en hydrologie visant à définir spatialement par une cartographie aussi précise que possible la distribution de paramètres hydrologiques spécifiques ou sans dimension à partir des données déterminées dans les synthèses hydrologiques effectuées ou à faire.

Notre ambition est d'établir cette cartographie pour des régions de pluviométrie annuelle supérieure à 800-1000 mm en extrapolant sur les régions hydrologiquement peu connues sur la base des quelques informations dont on dispose et des considérations d'ordre climatique, géologique et géographique.

La réalisation d'Atlas hydrologiques ne se justifie par rapport aux synthèses classiques que si ceux-ci permettent de définir avec une bonne approximation l'ensemble des paramètres importants en matière de connaissance de la ressource en eau pour des bassins versants non connus sur le plan des écoulements. Les paramètres peuvent être des valeurs médianes de l'écoulement annuel, des précipitations, de certains débits moyens mensuels, des étiages, des valeurs de recurrences données (decennales ou autres), des rapports (coefficient d'écoulement, k_3 , etc...).

L'étude des fleuves et rivières du Cameroun a été l'occasion d'aborder sommairement ces questions en fin d'ouvrage. Je les ai de nouveau développées dans un article à Budapest en 1986. L. LE BARBE nous promet dans sa monographie une réponse à l'échelle du Bénin.

J'ai confié en 1989 à Birahim AW un exercice de ce genre sur l'Afrique Centrale, avec pour première tâche celle d'homogénéiser les séries étudiées sur la norme OMM actuelle 1951-1980 étant entendu que les normes sont situées par rapport aux séries longues de stations de référence. L'exercice (mémoire de D.U.) est resté embryonnaire puisqu'il arrivait un peu tôt, la monographie de l'Oubangui n'étant pas achevée et les synthèses récentes du Congo se limitaient aux données de la Likouala (THIEBAUX 1987). Il a cependant montré son intérêt et permis immédiatement de mettre en évidence pour un même régime pluviométrique l'incidence de la couverture géologique.

Sur le plan de la cartographie, j'ai été tenté par l'introduction d'une cartographie numérisée à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest et Centrale devant permettre d'identifier les paramètres hydrologiques pour n'importe quel bassin pointé sur le réseau hydrographique correspondant. Il paraît plus raisonnable de se limiter au traçage automatique des isolignes à partir des données existantes ou complétées et à l'utilisation manuelle des cartes obtenues.

La cartographie ne constitue bien sûr qu'un aspect de la synthèse globale dont nous rêvons sur l'hydrologie de l'Afrique.

LES ECOULEMENTS FLUVIAUX SUR LA FACADE ATLANTIQUE DE L'AFRIQUE

Cette étude a débuté dans le courant de 1989 et fait suite à des travaux effectués dans le cadre d'un mémoire de DEA en 1987. Le cadre est celui d'une thèse (Paris XI) avec directions scientifiques partagées entre J.Ch. FONTES et moi-même. Gil MAHE, chargé du sujet, dont l'intitulé se complète par: ETUDE DES ELEMENTS DU BILAN HYDRIQUE ET VARIABILITE INTERANNUELLE, ANALYSE DE SITUATIONS HYDROCLIMATIQUES MOYENNES ET EXTREMES, a pour le moment consacré l'essentiel de son temps à la collecte des données Précipitations, Températures et Débits, en particulier dans les pays hors de l'aire traditionnelle de l'ORSTOM.

Le plan de ce travail prévoit deux parties, l'une de synthèse hydrologique, l'autre d'analyse de l'évolution des situations hydroclimatiques. Dans le détail, il est prévu:

1) TRAITEMENT DES DONNEES

PLUIE

Etude détaillée du régime des précipitations sur le bassin-versant global des fleuves étudiés. Pas de temps mensuel si possible.

Avancement:

Les données des pays francophones sont disponibles à l'ORSTOM, sur la période 1951-1980, et peuvent être aisément mises à jour.

Dans les autres pays, on a pu faire les acquisitions suivantes:

ANGOLA:	moyennes mensuelles interannuelles
GUINEE BISSAU:	pluies mensuelles de 1951 à 1974
RIO MBINI:	moyennes mensuelles interannuelles
LIBERIA:	pluies mensuelles de 1951 à 1978
SIERRA LEONE:	pluies mensuelles de 1951 à 1978
GHANA:	pluies mensuelles de 1951 à 1989 (200 Dollars)
AFRIQUE DU SUD:	contacts en cours
NAMIBIE:	contacts en cours
NIGERIA:	pluies mensuelles de 1953 à 1976
ZAIRE:	contacts en cours

L'essentiel des données de précipitations est acquis.

DEBITS

Constitution d'une banque de données de débits mensuels de tous les fleuves africains tributaires de l'Atlantique:

- 1 critique des observations
- 2 calcul des débits manquants
- 3 mise à jour
- 4 analyse statistique des échantillons

Les stations:

au moins une station sur chaque bassin proche de l'exutoire et autres stations si celles-ci permettent de préciser la cartographie des écoulements.

Avancement

les fleuves des pays étudiés par l'ORSTOM sont bien connus et il ne reste souvent que les phases 2 et 3 à traiter.

Pour les fleuves des autres pays, on a obtenu les acquisitions suivantes:

ANGOLA et GUINEE BISSAU:	débits moyens mensuels ou annuels
RIO MBINI:	débits moyens mensuels et annuels
LIBERIA:	20 ans de débits mensuels
SIERRA LEONE:	6 ans de débits mensuels
GHANA:	20 à 30 ans de débits mensuels (OMM + annuaires)
AFRIQUE DU SUD:	débits mensuels du fleuve Orange depuis 1935
NAMIBIE:	apports très faibles à l'Atlantique
NIGERIA:	débits moyens mensuels ou annuels de quelques stations
ZAIRE: (excepté le fleuve)	cotes hydrométriques de la décennie 1950

Remarques

Des contacts sont en cours avec le GHANA qui pourraient être concluants. Wallingford et la Gibb and Partner ne possèdent pas de données sur les anciennes colonies anglaises.

2) REGIONALISATION ET CARTOGRAPHIE

* Cartographie des écoulements en terme de lame d'eau écoulee permettant:

- la régionalisation des paramètres,
- l'estimation de la lame d'eau écoulee dans des régions peu étudiées.

* Cartographie des précipitations, du déficit d'écoulement et de l'ETP:

- bilan hydrique global et par régions.

3) EVOLUTION DES SITUATIONS HYDROCLIMATIQUES

- * Analyse des variations annuelles ou saisonnières des paramètres étudiés.
- * Quantification des déficits ou des excédents des années exceptionnelles, en termes de débits ou de précipitations.
- * Comparaison de l'évolution dans le temps de ces paramètres avec l'évolution des séries de données d'autres paramètres climatiques tels la vapeur d'eau ou la température de surface de l'océan.
- * Relations continent océan.

4) BILAN DES APPORTS HYDRIQUES DE L'AFRIQUE A L'OCEAN ATLANTIQUE

- *Bilan et quantification des apports fluviaux saisonniers, annuels ou durant des épisodes climatiques exceptionnels, à l'échelle de l'Afrique ou régionalement.

En conclusion, l'intérêt de ce travail doit être souligné sur le plan économique. On a en particulier mis en évidence des relations Pêche-Environnement très serrées et les halieutes sont très demandeurs de ce type de travaux.

EROSION EN ZONE SENSIBLE DES ALPES DU SUD - PROJET "PACA"

Je ne reviens pas sur les difficultés "politiques" qui n'ont pas permis un déroulement aussi optimal que possible du Projet; elles ont été évoquées dans un précédent rapport. Si l'on peut regretter que cette étude n'ait pas eu tous les développements souhaitables, on doit lui reconnaître un rôle déterminant dans le "faire-savoir du savoir faire" en matière d'érosion de l'ORSTOM auprès de nos collègues français ou d'autres organismes européens (Italie, Espagne) et maghrebins (Tunisie, Algérie).

Quant aux objectifs, réalisés pour l'essentiel, leurs résultats ont été présentés dans un compte-rendu de fin d'études de 1988 au M.R.T. qui a totalement financé les travaux avec la participation de la Région PACA. Ce compte-rendu, avec 367 pages, propose une partie particulièrement pertinente d'analyse géomorphologique des bassins étudiés; géologie, géochimie, pédologie complètent la définition de la vulnérabilité des marnes noires. L'analyse des événements hydropluviométriques et des transports de matière (suspension et charriage) qui y sont liés aboutit à proposer des modèles d'estimation des bilans d'érosion dans ce type de zones sensibles à climat contrasté.

Côté ORSTOM, l'étude a été effectuée par J.C. OLIVRY et J. HOORELBECK, avec la collaboration de R.E. QUELENNEC et M. BUFALO du côté BRGM. Plusieurs communications dans des colloques ont été faites et une nouvelle thèse est en cours à Lyon II sur des aspects plus complets des mesures effectuées (Luc DESCROIX, Agré gé de géographie Docteur 3e cycle), sous ma direction scientifique.

J'indique dans les lignes qui suivent quelques résultats partiels obtenus sur le site de Savournon, en présentant grossièrement la région:

1. Généralités

L'ORSTOM et le BRGM ont réalisé de 1985 à 1988 une étude sur l'estimation des bilans d'exportation de matières solides en zones sensibles à l'érosion, dans les Alpes du Sud. Les travaux, localisés aux vallées du Buëch et de la moyenne-Durance, ont porté notamment sur deux bassins emboîtés (75 et 7,8 ha) suivis à Savournon près de SERRES.

La région se caractérise par des formations lithographiques très vulnérables à l'érosion météorique, marnes ou "Terres Noires" du jurassique supérieur ; les bassins de Savournon sont creusés dans les horizons marneux du Callovien inférieur et moyen homogène dans la région (calcite : 14%, fraction argileuse : 60% dont 16% argiles gonflantes...).

Cette région des Préalpes du Sud connaît un climat méditerranéen et montagnard marqué par la sécheresse estivale, par l'irrégularité interannuelle des précipitations, par un fort ensoleillement entraînant de fortes amplitudes thermiques diurnes et un grand nombre d'alternances gel/dégel et par ses précipitations nivales et ses températures hivernales (plus de cent jours de gel par an). La normale des précipitations annuelles (1951 - 80) est de 912 mm à SERRES (Alt. 665 m).

Les bassins étudiés sont caractérisés par un paysage dominant de

roubines (ou bad-lands) aux terres nues ou à faible couvert végétal. Les ravines y sont actives et constituent autant de drains de ruissellement et de transport des produits d'érosion. Les pentes sont très fortes et dépassent souvent 50% en tête de bassin et 35% sur les zones de ravines productives.

2 - Les observations ; mesures et processus de l'érosion

Sur la période d'étude, plus de 74% des précipitations journalières mesurées à Savourmon sont inférieures à 10 mm et 14% comprises entre 10 et 20 mm. L'apparition de l'écoulement n'est pas observée pour les averses de moins de 10 mm. Un deuxième seuil est celui de l'intensité de la pluie (20 mm h⁻¹). Peu d'événements sont susceptibles d'avoir un pouvoir érosif. Les paramètres de la pluie (hauteur, intensité, durée de la pluie utile) en jouant sur le volume de la crue et son maximum ajoutent à leur incidence érosive sur les versants, une incidence déterminante dans la capacité de transport et d'érosivité au niveau du réseau hydrographique. Pour des événements pluviométriques très importants, on observe sur les deux bassins des coefficients d'écoulement pouvant aller jusqu'à 50 et 60%, soit un ruissellement de 80 à 90% sur les terres nues de roubines.

L'étude des suspensions et du charriage montre qu'il n'y a pas de relation nette entre tonnages exportés en suspension et ceux piégés après identification de la part de gros matériaux. A Savourmon II (75 ha) la part des "fines", (particules inférieures à 0,5 mm) peut passer de 90 à plus de 95% de la charge solide totale alors que pour Savourmon I (7,8 ha), la part de la fraction "charriage" est plus forte. Le transport hydrique est trop court pour détruire toute la cohésion du matériel grossier. Pour les plus fortes averses, la charge en matériau grossier peut atteindre 30 à 40% de la charge totale et on a même pu observer de véritables laves torrentielles.

L'analyse des événements "pluie-crue-exportation de matière" a montré une grande dispersion des phénomènes à l'échelle d'événements ponctuels. On a noté les plus fortes crues au printemps et des concentrations très fortes (>400, 500 g⁻¹) en fin d'été ou en automne (disponibilité du matériau par dessiccation de la surface d'altération des versants). De fortes pluies étalées dans le temps (>60 mm) ne montrent pas de production notable de sédiment à l'exutoire des bassins, mais ont souvent des effets différés (coulée de boue, glissements).

La plupart des phénomènes et processus d'érosion décrits par les géomorphologues sur ce type de milieu ont été observés sur ces bassins.

L'intégration de tous ces phénomènes, plus ou moins aléatoires ou plus ou moins spécifiques aux différentes composantes géomorphologiques, suppose bien que les bilans d'érosion de ces paysages de roubines soient directement mesurés à l'exutoire de bassins d'une taille minimale (de l'ordre de 10 ha ou plus).

Les mécanismes les plus fréquents paraissent s'ordonner suivant le schéma suivant : En début d'averse, l'effet splash mobilise les particules libres à la surface des marnes sèches et par ruissellement apporte à la station la première pointe de concentration. Puis l'imbibition des marnes provoque rapidement par gonflement des argiles, la fermeture des fissures et une plus grande cohésion des marnes ; avec la diminution de l'infiltration, le ruissellement s'intensifie et l'érosion qui avait diminué va de nouveau se développer suivant les filets et rigoles des versants en suivant en intensité le hyétogramme de l'averse. Lorsque l'imbibition a gagné en profondeur, des mottes de

marnes altérées peuvent se détacher du versant ou atteindre leur limite de liquidité et rejoindre le lit du ruisseau. A ce niveau d'ailleurs, l'importance de l'écoulement, en augmentant son pouvoir, va exporter des dépôts précédemment stockés et faciliter l'érosion des bas de versants.

En définitive, l'incidence des différents paramètres sur des pas de temps différents explique que l'analyse du transport solide à partir des caractéristiques des crues soit particulièrement délicate. Il peut y avoir un décalage important dans le temps entre la mobilisation des matériaux et leur exportation. Il paraît donc difficile d'appréhender avec une précision acceptable l'exportation des matières d'un bassin à l'échelle de l'averse même si au niveau du versant ou de la ravine élémentaire des corrélations apparaissent. La recherche d'un modèle d'évaluation de la dégradation d'un bassin ou du comblement d'une retenue doit se faire en terme de bilan annuel.

3 - Bilan annuel des transports solides, dégradation spécifique des Terres Noires

Le bilan global des exportations de matière sur les deux bassins montre sur les 3 années, une valeur moyenne de la charge en suspension de 460 tonnes/an sur Savournon I et de 2550 tonnes/an pour Savournon II, soit un facteur 5,55 pour un rapport des superficies totales de 9,6 et un rapport des bad-lands productif de 6,66. La moyenne annuelle des exportations totales (suspension et charriage est de 536 tonnes à S I et de 2716 tonnes à S II). Ramenée à la superficie des bassins, la dégradation spécifique moyenne serait de 68 T. ha⁻¹ an⁻¹ à S I contre 36 T ha⁻¹ an⁻¹ à S II. On a constaté que les marnes protégées par une végétation de pelouses et de landes n'ont qu'une contribution négligeable dans le bilan total d'érosion. Seules les roubines de Terres Noires dénudées ou à végétation clairsemée sont productives mais dans des proportions bien évidemment différentes.

En ne prenant en compte que ces surfaces inégalement réparties en terres nues (52% à S I, 19% à S II) et en roubines à végétation clairsemée (30% à S I, 38% à S II) et en effectuant un transfert d'échelle entre les deux bassins sur les résultats des bilans annuels, on en a déduit que l'érodabilité des roubines faiblement végétalisées ne représentait que le 1/3 de celle des terres nues.

La dégradation spécifique des terres noires dénudées a varié de 75 T ha⁻¹ an⁻¹ à 140 T ha⁻¹ an⁻¹ sur la période d'observation. La relation entre la dégradation spécifique D et la hauteur annuelle de Précipitation P s'écrit $D = 0,12 P$.

Ainsi Savournon devrait connaître, avec $P_{moy} = 920$ mm, une dégradation interannuelle des roubines dénudées de 113 tonnes par hectare, ce qui correspond à une épaisseur d'ablation des roubines de 8,7 mm par an (avec une densité de l'altérite de 1,3). L'estimation du tonnage interannuel de sédiments (TS) exportés par un cours d'eau de ces terres noires se ramènerait à la seule détermination, sur photo aérienne des superficies des bassins occupés respectivement par des bad-lands nus (BLN) ou à végétation clairsemée (VC).

$TS_{tonne} = 0,12P [S_{BLN} + 1/3 S_{VC}]$ avec P en mm et S en ha.

4 - Mesures de l'ablation sur les versants et comparaison avec les bilans d'érosion

L'ablation des versants a été mesurée à Savournon I sur plusieurs sites, de pentes, expositions et morphologies variables, suivant une méthodologie et un appareil mis au point par les auteurs. Celui-ci est constitué d'une règle permettant de suivre l'évolution de microprofils topographiques sur les sites retenus d'une manière particulièrement simple et économique. Utilisée avec prudence, la méthodologie donne

de bons résultats ; ceux-ci doivent être ramenés à des moyennes statistiques et les différents sites doivent comprendre des profils en tête, milieu et bas de versant ; plusieurs échelles de temps paraissent pouvoir être utilisées, y compris l'épisode journalier pour les très fortes précipitations.

Le tableau ci-dessous permet de comparer pour différentes périodes de mesures les résultats de l'ablation moyenne des versants obtenue à partir des microprofils, à celle obtenue par les tonnages de matière ayant transité à l'exutoire du bassin S I (dégradation ramenée aux superficies équivalentes Terres nues).

Période	Hauteur de pluie correspondante	Microprofils Lame érodée	Exutoire		Ecart %
			Dégradation	Lame érodée équivalentes	
	mm	mm	t/ha	mm	
1 jour le 16/5/88	71	3,0	77,8	6,0	- 50
1 mois Août-Sept 86	78	4,4	46,9	3,6	+ 22
1 an Avril 87-Mars 88	1232	16,0	145	11,1	+ 44
Période de suivi 1985-1988 (2,7 ans)	2536	17,0	301	23,2	- 26,7

Il est tout à fait net que les résultats sur microprofils ne constituent qu'une approximation ; les différents états hydriques de l'altérite au moment des mesures, les mouvements de masse et reprises de sédiments dans les drains expliquent probablement ces anomalies.

Compte tenu de leur faible coût, ces mesures peuvent toutefois fournir une indication précieuse à terme (plusieurs années) dans les régions à forte érosion des bassins de montagne méditerranéens (en particulier le Maghreb).

Ici, à Savourmon, sur l'ensemble de la période, l'approximation par rapport aux mesures faites à l'exutoire dépasse à peine 25%, ce qui nous ramène à l'échelle de l'année moyenne à 8,6 mm pour la lame érodée obtenue à partir des bilans exutoires contre 6,3 mm par la méthode de microprofils.

5 - Conclusions

Sur d'autres sites des Terres Noires des Alpes du Sud (Laragne, Digne, La Motte du Caire), la dégradation spécifique interannuelle est également de l'ordre de 100 T.ha⁻¹.

Cette érodabilité formidable des marnes jurassiques de cette région compte parmi les plus fortes valeurs observées dans le monde.

FLUX PARTICULAIRES ET DISSOUS SUR LE FLEUVE SÉNÉGAL

Il s'agit du Programme Avant- Barrages de l'UR 2A en matière d'érosion, de transport solide et de transport dissous sur le bassin du Fleuve Sénégal.

Ce programme a été largement décrit dans le rapport de 1987 (pp. 45-46 et pp. 96-101) sous l'appellation générique globale: Le bilan de l'eau et de la matière dans les grands bassins tropicaux - Géodynamique récente et actuelle des principaux bassins versant de l'Afrique de l'Ouest.

Outre les nombreux articles publiés sur le sujet, se répartissant sur plusieurs axes:

- dynamique actuelle des vieux paysages latéritiques du Fouta Djalon,
- transfert des flux de matière de l'amont à l'aval des bassins,
- organisation de la chaîne sédimentaire,
- caractérisation des intrusions salines,
- régulation hydrogéochimique des dispositifs fluvio-lacustres,
- intrants extérieurs aux bassins: les brumes sèches, leur part dans les flux particuliers,

ce programme dirigé et animé par J.Y. GAC doit déboucher sur une nouvelle thèse (juin 1990) soutenue par Didier ORANGE à Strasbourg (Direction J.Y. GAC).

Ce programme est donc en voie d'achèvement; à quelques mois près, il aurait fait l'objet de larges développements ici. Ce travail et ses résultats prendront toute leur importance dans le suivi du nouveau programme EQUASEN qui traite de l'après Barrages.

FLUX PARTICULAIRES ET DISSOUS SUR LE FLEUVE GAMBIE

Dans la mouvance de la thématique évoquée précédemment, les études effectuées sur le bassin de la Gambie sur la géochimie des transports de matière par l'équipe de J.Y. GAC ont abouti à une remarquable synthèse sur les mesures effectuées et leur compréhension sur le plan de la géodynamique des paysages latéritiques du Fouta Djallon.

Publiée comme contribution à la monographie du Fleuve Gambie, cette synthèse de 124 pages, particulièrement bien documentée, fournit aussi une information hydrologique détaillée que l'on regrette de ne pas retrouver au niveau de la monographie du Fleuve Gambie proprement dite.

L'intérêt de stations de référence comme Kedougou nous était apparu dans le cadre d'un contrôle soudanien (Afrique sèche) de l'évolution hydroclimatique de la région hors effets anthropiques importants. Cela n'a pas été possible dans le cadre de PIRAT; c'était en outre difficile faute d'appoint en personnel du côté de Dakar.

Ces mesures sur le Sénégal et la Gambie devraient être valorisées dans le cadre d'études de télédétection des états de végétation sur une banque de clichés NOAA couvrant la décennie 1980 dans la région. Une convention d'études entre l'ORSTOM et l'ISPRA (S. PIEYNS) doit permettre de développer l'étude de corrélation entre le fonctionnement hydrologique et des transports solides et les états de végétation. Un mémoire de DEA (Orsay Paris XI) est prévu en 1990.

HYDROLOGIE ET FLUX DE MATIÈRES EN GUYANE

Ce programme, lancé en 1987 avec Marc LOINTIER avait pour objectif d'identifier le fonctionnement biogéodynamique des fleuves de Guyane afin de les comparer à celui des fleuves sous forêt équatoriale congolaise (Ngoko, Likouala, etc...). Il s'inscrivait dans notre esprit dans la thématique de l'Opération Grands Bassins Fluviaux de PIRAT et préluait avec Le PHICAB en Bolivie à de futures interventions en Amazonie brésilienne.

Les moyens ORSTOM mis à disposition de cette opération sont restés modestes mais ont permis à M. LOINTIER, en adhésion secondaire à l'UR 2A, de mettre en place un réseau fiable de prélèvement d'eau, les analyses étant effectuées au Centre ORSTOM de Cayenne.

Un rapport de H.X. HUMBEL (VSN) a été produit en septembre 1989; il donne quelques résultats sur la chimie des eaux fluviales de Guyane ainsi que sur la qualité physicochimique des eaux estuariennes (Sinnamary).

Le programme demanderait un renfort en personnel si on veut le voir se développer corrélativement à une mise à jour des régimes hydrologiques qui ne peut être envisagée du côté des responsables du programme HYDRA.

M. LOINTIER a retenu actuellement en routine trois sites de prélèvement en Guyane:

- La Comté à Saut-Bief (1760 fm²)
- Le Lawa à Maripasoula (28285 km²)
- L'Oyapock à Saut Maripa (25120 km²)

La logistique de prélèvements de ce programme est en grande partie soutenue par la Gendarmerie (Maripasoula et Comté) et par le lecteur d'échelle de Saut Maripa. Les échantillons d'eau et une filtration de contrôle sur le terrain sont ramenés à Cayenne par la route (Comté) et par Air Guyane. Seul le lecteur de Maripa ne fait pas les prélèvements comme prévu et rappelé; ses données manqueront de régularité. Le traitement des données se fait pour l'instant avec "Supercalc" et Addad. Le logiciel Piper de A. LARAQUE sera utilisé. L'interprétation des résultats se fait de concert avec Mme GRIMALDI, géochimiste de l'ORSTOM. Des liaisons plus étroites doivent être entretenues avec M. LOINTIER au niveau des protocoles suivis au Congo ou en Bolivie.

La définition du Programme doit être réaffichée dans la prospective amazonienne du Programme PIRAT.

PROGRAMME EQUESSEN : PROJET CEE-ORSTOM N° TS2 0198 F

Ce programme sur l'Environnement et la Qualité des Eaux du fleuve SENEGAL est une étude pluridisciplinaire sur l'Après-Barrages du Fleuve Sénégal. Les propositions de recherches ont été présentées par J.Y. GAC à qui revient le mérite d'avoir fédéré les différentes actions programmées par l'ORSTOM et les partenaires de l'Université de Dakar, de l'ISRA et de la Fondation Universitaire du Luxembourg. En France, les aspects techniques du Projet ont été réglés par J.C. OLIVRY et nos interlocuteurs de la CEE.

Logiquement, ce projet fait suite aux projets de mise à jour de la Monographie du fleuve Sénégal et au programme de Didier Orange sur les Transports solides et dissous du fleuve Sénégal... dont les résultats situent l'état des lieux de l'Avant Barrages... Mais les financements font que le projet CEE s'intéresse aux problèmes actuels de la vallée... étant bien entendu que les références antérieures devront être définies tôt ou tard si l'on veut étudier l'évolution de l'environnement du fleuve.

L'ensemble du Projet EQUESSEN intéresse les partenaires suivants :

a) UR 2 A de l'ORSTOM (Dakar)

Etude des flux de matières et de la qualité des eaux dans l'ensemble du dispositif, fluvio-lacustre - Relations eaux de surface, eaux souterraines.

b) Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL, Belgique)

Etude de la gestion globale des eaux du lac de Guiers et mise au point d'un modèle mathématique pour la valorisation du potentiel agricole du milieu.

c) Université de Dakar (Département de Géographie, Sénégal)

Etude géomorphologique du façonnement des paysages, de l'évolution géomorphologique et sédimentologique de l'estuaire et des transformations dans les zones en voie d'aménagement.

d) Centre de recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT/ISRA, Sénégal)

Etude de la structuration des masses d'eau, de l'hydrodynamique et de la production primaire.

Les thèmes développés par la FUL et l'Université de Dakar sont étudiés en étroite collaboration avec l'équipe de l'UR 2 A. Par contre le quatrième volet, dit du CRODT/ISRA mais conduit par Millet et Cecchi de l'ORSTOM (UR 2 D), est réalisé tout à fait indépendamment du reste et d'ailleurs terminé par le retrait des intéressés dès 1990.

Avant de donner quelques éléments d'information sur les actions de l'UR 2 A dans ce projet qui devrait se poursuivre jusqu'au début de 1992, il convient de souligner que les travaux n'ont fait que commencer en 1989 et sont sérieusement menacés par la tension politico-militaire qui règne sur les berges du fleuve entre la Mauritanie et le Sénégal.

Les participants ORSTOM au projet sont : J.Y. GAC, J.L. SAOS, J.L. APPAY, B. LABROUSSE avec pour partenaires extérieurs A. KANE et X. COGELS. Le renfort de J.P. THIEBAUX est prévu dans le courant de l'année 90. On peut regretter que les hydrologues n'apparaissent pas davantage dans ce projet si ce n'est sous l'aspect d'une participation "documentaire" (OMVS-Lamagat).

I - ETUDE DES FLUX DE MATIERES DISSOUTES ET PARTICULAIRES ET DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE DANS L'ENSEMBLE DU DISPOSITIF FLUVIO-LACUSTRE

Responsable scientifique : J.Y. GAC (ORSTOM)

1. LES FLUX DE MATIERES PARTICULAIRES.

1.1. Synthèse des études antérieures.

Elle a été achevée en décembre 89 par la diffusion d'un document sur "l'évolution géodynamique d'un vieux paysage latéritique : le Fouta-Djalou". Ce massif où se situent les sources du Sénégal est assujéti aux processus d'érosion mécanique et d'altération chimique qui contrôlent les flux de matières dissoutes et particulaires. L'importance de ces deux mécanismes concurrentiels dans l'approfondissement des sols est en cours de quantification pour la période 1980-1988. Cette étude doit beaucoup aux travaux de Didier ORANGE, cité par ailleurs.

Une autre source d'apport terrigène, concernant cette fois-ci non plus le haut bassin du Sénégal mais sa vallée alluviale, est observée depuis 1984 : les aérosols désertiques. Cette dynamique éolienne d'origine externe au bassin du fleuve Sénégal engendre chaque année le transit et le dépôt de poussières sahariennes en quantité non négligeable par rapport aux alluvions fluviales. Ces apports sont mesurés quotidiennement dans deux sites : le lac de Guiers et la presqu'île du Capt Vert.

1.2. Observations sur les transports solides au cours de la crue de 1989 (de juin à octobre).

Elles ont pu être réalisées par la mise en place d'un dispositif lourd de mesures aux deux stations clefs du réseau hydrographique du fleuve Sénégal : Bakel (exutoire amont du bassin amont qui contrôle les apports particuliers des trois branches-mères du Sénégal) et Richard Toll (exutoire aval situé au débouché de la vallée alluviale à 150 km de l'embouchure de fleuve et qui permet aussi de quantifier les flux particuliers vers la dépression du lac de Guiers).

Deux missions de longue durée ont donné lieu à des prélèvements quotidiens de près de 200 litres d'eau : du 22 juin au 11 octobre 1989 à Bakel et du 17 juillet au 19 septembre à Richard Toll.

Par ailleurs, une mission ponctuelle d'une semaine a été réalisée par J.Y. GAC à partir de la France sur le site de Bakel du 29 août au 6 septembre 89, au moment de la pointe maximale de la crue qui s'est produite le 30 août 1989.

Les dépouillements des résultats sont en cours d'exploitation pour la station aval de Richard-Toll. Les mesures partielles obtenues à l'amont au site de Bakel apportent les renseignements suivants :

- le maximum de la crue 1989 se situe le 30 août avec une hauteur d'eau de 8,20 m à l'échelle de crue et un débit de pointe de 3000 m³/s. Ces valeurs ne situent naturellement pas l'importance de la crue par suite du stockage réalisé à Manantali dans le réservoir amont. La comparaison avec les crues antérieures nécessite de connaître le

plan de gestion du barrage de retenue amont (laches quotidiennes, temps de propagation de la crue entre Manantali et Bakel).

- l'écoulement artificiel au cours du cycle hydrologique 89/90 devrait être de l'ordre de 400 m³/s, pour un module moyen interannuel d'environ 700 m³/s observé sur 87 ans entre 1903 et 1989.

- la concentration maximale de matières en suspension a été observée le 12 juillet 1989 avec une valeur de 1,51 kg/m³. Elle est du même ordre de grandeur que celles des années précédentes.

- la crue artificielle engendre des modifications sensibles dans la chronologie classique des événements : maximum du transport solide, maximum de la crue, maximum du transport dissous. Ceci sera précisé au moment du calcul du bilan quantitatif sur les flux particuliers (tonnages exportés) et les phénomènes d'érosion.

Remarque : le dispositif allégé de mesures du transport solide prévu dans les quatre stations secondaires de la vallée à Ngoui, Saldé, Guédé et Podor n'a pu être mis en place. Les événements entre le Sénégal et la Mauritanie sont trop récents : on espère que les observations y seront possibles avant la crue de 1990.

1.3. Observations sur la dynamique éolienne : les poussières sahariennes.

L'étude des aérosols désertiques se poursuit sans discontinuité depuis 1984 sur la presqu'île du Cap Vert (station de Dakar) et depuis juillet 1987 sur le lac de Guiers (station de Ngnith).

Les observations sont quotidiennes à l'aide de capteurs pyramidaux situés à environ 5 m du sol. Les retombées gravitaires de poussières sont exprimées en g/m²/jour.

Les mesures effectuées depuis avril 1989 mettent en évidence un très net affaiblissement des apports éoliens comparativement aux années précédentes. A Dakar comme à Ngnith les concentrations moyennes mensuelles oscillent entre 0,2 et 0,8 g/m²/jour.

La sédimentation d'origine éolienne et de source saharienne représente, malgré une nette diminution des phénomènes de brumes sèches, l'une des composantes essentielles des dépôts qui garnissent le fond de la dépression du lac de Guiers. En termes de bilan, les aérosols désertiques sont équivalents aux apports d'alluvions par le fleuve Sénégal au moment où la liaison fleuve-lac est établie (de l'ordre de quelques centaines de milliers de tonnes). Leur étude mérite d'être approfondie car ils constituent dans les carottes lacustres les archives des climats qui se sont succédés depuis des millénaires.

Les relations qui pourront être établies entre les enregistrements horaires de la visibilité au sol et les dépôts d'aérosols sont de nature à permettre éventuellement des interprétations paléoclimatiques et la reconstitution des paléoenvironnements.

2. LES FLUX DE MATIERES DISSOUTES - QUALITE CHIMIQUE DES EAUX DE SURFACE.

2.1. La synthèse des études antérieures.

En ce qui concerne le bassin amont et les observations au poste de Bakel réalisées pendant quatre années consécutives, les dépouillements des flux de matière dissoute (en solution) sont en cours et devraient être achevés pour la remise du second

visibilité au sol et les dépôts d'aérosols sont de nature à permettre éventuellement des interprétations paléoclimatiques et la reconstitution des paléoenvironnements.

2. LES FLUX DE MATIERES DISSOUTES - QUALITE CHIMIQUE DES EAUX DE SURFACE.

2.1. La synthèse des études antérieures.

En ce qui concerne le bassin amont et les observations au poste de Bakel réalisées pendant quatre années consécutives, les dépouillements des flux de matière dissoute (en solution) sont en cours et devraient être achevés pour la remise du second rapport scientifique en avril 90.

Pour la zone aval comprenant les données sur la qualité chimique des eaux du Sénégal aux quatre stations secondaires (Saldé, Ngoui, Guédé et Podor), l'échéance est plus lointaine. Plus près de l'embouchure, l'exploitation des observations antérieures à Richard Toll et à Saint Louis est en cours. Dans cette synthèse de l'avant-barrage figure également la modélisation de l'intrusion saline qui affectait autrefois la vallée du Sénégal à plus de 200 km en amont de son embouchure. Il est également prévu de revoir dans leur ensemble l'intégralité des données physico-chimiques sur le lac de Guiers entre 1979 et 1982 (voir programme C du projet).

2.2. Observations sur les transports dissous et la qualité physico-chimique des eaux du Sénégal au cours de la crue 1989.

2.2.1. Qualité chimique des eaux du Sénégal.

Les stations d'observation n'ont pu être mises en place depuis le début du projet (financement trop tardif et différend frontalier entre le Sénégal et la Mauritanie). Elles pourraient être fonctionnelles dès le premier trimestre de 1990. Cependant la station de Richard Toll a été l'objet de quelques campagnes ponctuelles lors des échantillonnages réalisés sur le lac de Guiers et la vallée de Ferlo.

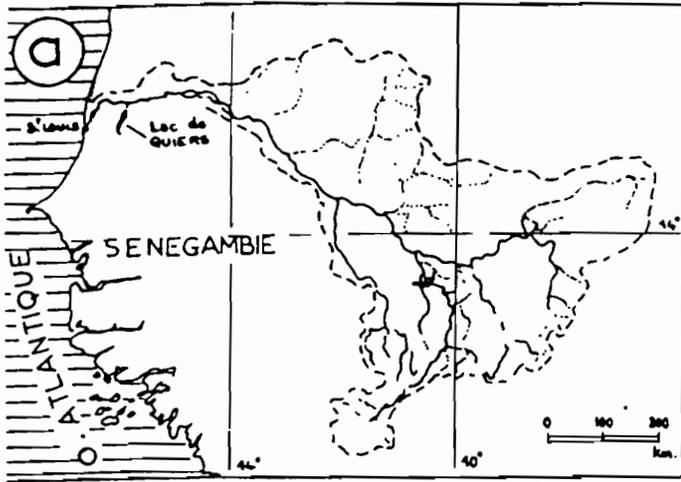
2.2.2. Qualité chimique des eaux du lac de Guiers.

La physico-chimie des eaux du lac de Guiers est évolutive dans l'espace et dans le temps. Les phases de concentration et de dilution des solutions se succèdent au rythme de fonctionnement du lac en système ouvert ou fermé, et de l'évolution du niveau du plan d'eau (Fig. 3).

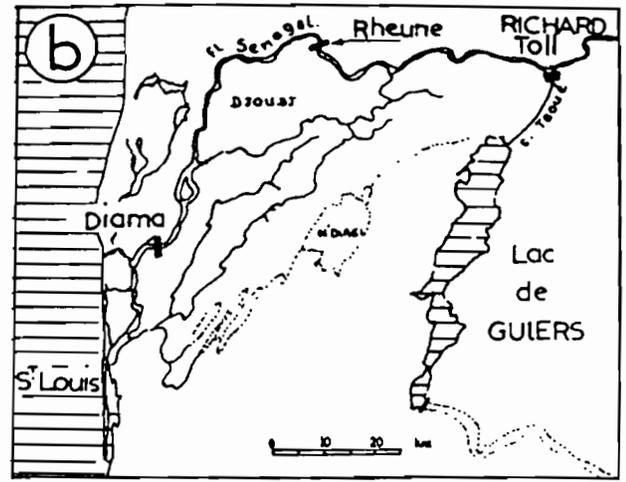
2.2.2.1. Formulation nouvelle d'abaques reliant la surface et le volume du lac à la hauteur d'eau.

Les cotes du lac de Guiers sont observés quotidiennement à la station de Ngnith. Le zéro de l'échelle limnimétrique correspond au zéro IGN. Les anciens abaques avaient été établis pour le lac de Guiers. Il a été tenu compte du réaménagement du bouchon de Keur Momar Sarr dans la partie sud du lac en la repoussant au point de départ prévu pour le futur canal de Cayor. Le lac s'allonge ainsi de quelques 15 km dans la boucle du Ferlo à la hauteur du village de Lambaye (ou Diatmel).

2.2.2.2. Campagnes d'échantillonnages des eaux du lac de Guiers.

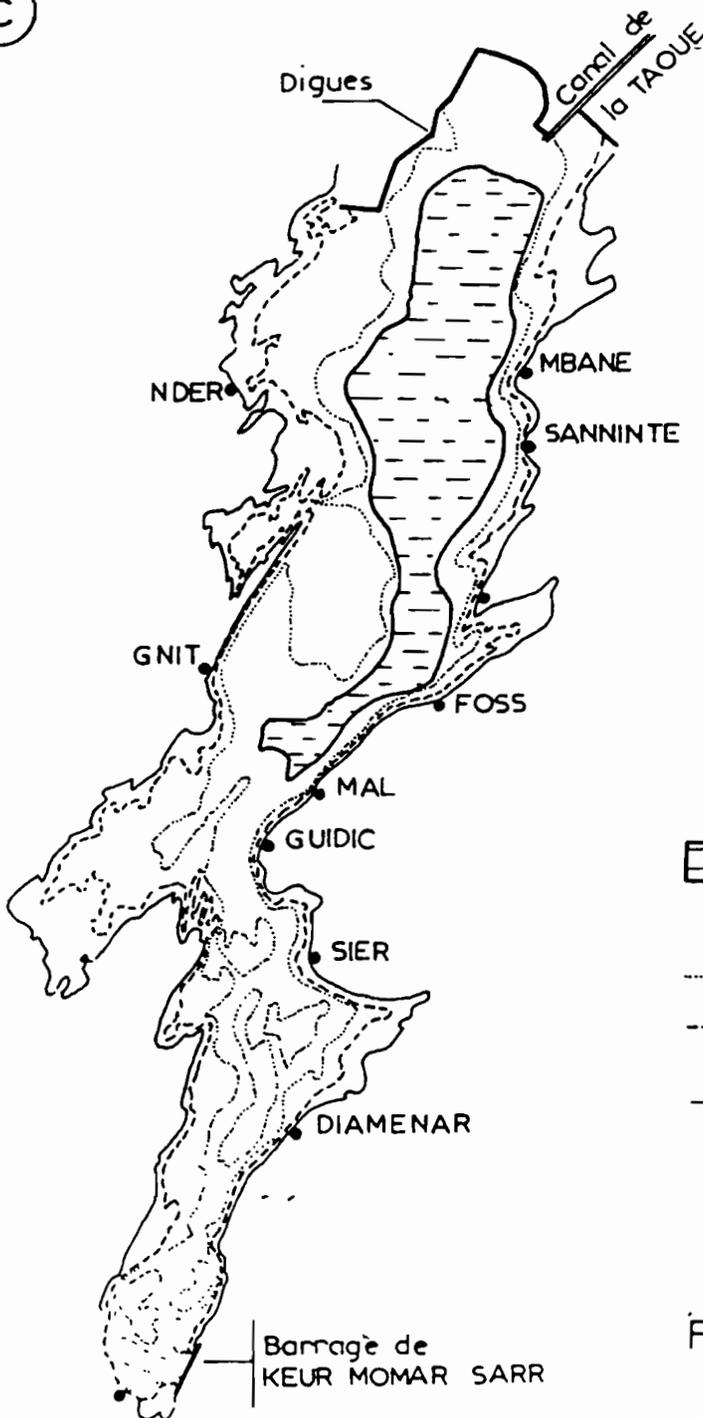


Le bassin versant du fleuve Sénégal



Le lac de Guiers et l'embouchure du fleuve.

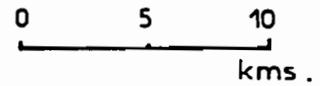
(c)



✂ barrages



● DIAGLE



▨ Surface du lac (cote -1,15)

..... Niveau 0

----- Extension maximale du lac au cours de la dernière décennie (cote +1,8)

— Limite du bassin versant (+4m)

Fig 1 Situation géographique

0,02 m ; -0,18 m ; -0,22 m) et une seconde phase de dilution avec un nouveau remplissage du lac par la crue du fleuve Sénégal (hausses successives du niveau : +0,05 m ; +0,27 m ; +0,67 m).

Le dépouillement des résultats analytiques est en cours. Les paramètres mesurés sont le pH (acidité des solutions), la conductivité et les éléments majeurs (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, CO₃ et la Silice).

Les faits marquants sont les suivants :

- la minéralisation des eaux du lac de Guiers entre janvier et juillet 89 a varié de 100 mg/l à 4 g/l.

- il existe un gradient de salinité croissant entre la zone nord et la partie sud du lac.

- les eaux de la station de Ngnith semblent être représentative de la composition chimique moyenne des eaux du lac.

- les éléments majeurs suivent au cours de la phase de concentration des itinéraires chimiques divergents : les chlorures, les sulfates, le potassium et le sodium suivent des voies parallèles et ne participent à aucune précipitation chimique ; les bicarbonates, le calcium, le magnésium et la silice s'organisent dans la néoformation de calcite et de silicates magnésiens.

- les eaux du lac de Guiers restent basiques toute l'année.

Ces premiers résultats mettent en évidence un fait particulier : les campagnes de prélèvements ne peuvent être programmées à échéances régulières comme cela avait été prévu. Elles le seront encore moins dans l'avenir lorsque fermeture et ouverture des barrages se succéderont à un rythme imprévisible.

2.2.3. Qualité chimique des eaux de la lame de submersion de la vallée morte du Ferlo.

L'inondation de la vallée morte du Ferlo, prolongement naturel de la partie sud du lac de Guiers, constitue un fait nouveau qui, s'il était prévisible dans le contexte de l'après-barrages, ne l'était certes pas à si brève échéance. Dans le cadre du projet EQUÉSEN, l'étude de cette éventuelle lame de submersion n'était prévue que pour 1990/1991. La programmation des missions a dû être modifiée et prendre en compte cette importante nappe d'eau qui à son maximum d'extension en janvier 1989 s'étendait sur plus de 50 km. Le 15 juillet 1989, par le jeu de l'évaporation et de l'infiltration la superficie inondée se réduisait à une mare résiduelle de quelques km², au sud de la digue de Keur Momar Sarr.

Le suivi des différentes phases de retrait et de l'évolution concomitante de la physico-chimie des eaux de la lame de submersion a été réalisé au cours des mêmes campagnes de prélèvements sur le lac de Guiers. Au moment de l'extension maximum, en janvier 1989, l'échantillonnage approximativement effectué tous les 2 km comprenait 28 stations ; il était réduit à 5 lors de la phase ultime de retrait fin juillet 1989.

Bien que la totalité des résultats analytiques ne nous soit pas encore parvenue, plusieurs faits marquants peuvent être signalés :

- les eaux du Ferlo sont plus fortement minéralisées que celles du lac de Guiers. La salinité a oscillé entre 0,5 et 15 g/l.

- le caractère basique est demeuré une constante remarquable autour d'une valeur moyenne du pH de 8,5 toutes eaux confondues dans le temps et dans l'espace. Contrairement aux prévisions, il n'y a pas eu d'échanges réciproques entre les eaux de surface et les eaux souterraines pourtant situées à faibles profondeurs (entre -1 m et -2 m). La présence, en particulier, d'une mangrove fossile en rive Ouest, (contenant des eaux fortement acides à pH 2 et 3) n'a en rien modifié le caractère basique des eaux de surface. Ce résultat nouveau, d'une importance capitale dans la perspective du futur canal du Cayor, demande à être confirmé par l'étude d'une seconde lame de submersion. En effet les déversements du lac et l'inondation du Ferlo sont de nouveau d'actualité : les vannes de la digue de Keur Momar Sarr ont été pour la seconde fois ouvertes entre le 25 août et le 20 octobre 1989. L'inondation est bien plus importante que celle de 1988 : elle s'étend sur près de 80 Km.

- la détermination des activités des différents constituants en solution et le calcul des états d'équilibre réalisés sur quelques eaux du Ferlo montrent que les solutions sont saturées vis à vis de la calcite, du gypse, du talc, de la magnésite et de l'halite dans les ultimes phases de concentration.

- la séquence de sels précipités sera précisée lors du suivi de la qualité des eaux des mares résiduelles et éphémères de la seconde submersion (entre août 89 et juillet 90).

II - RELATIONS EAUX DE SURFACE - EAUX SOUTERRAINES

Responsable Scientifique : J.L. SAOS (ORSTOM)

1. DESCRIPTION DES TRAVAUX

1.1. Principales actions

Afin de définir les principaux paramètres et de recueillir les principales données nécessaires à cette étude, un certain nombre d'actions sont entreprises sur le fleuve, les aquifères superficiels, les échanges fleuve - nappes, les échanges avec les aquifères profonds. Ces actions sont menées le plus souvent en étroite collaboration avec les autres programmes du projet EQUÉSEN ou d'autres études.

1.1.1. Le fleuve Sénégal

- Régime, variation du plan d'eau (OMVS, JP. Lamagat).
- Qualité des eaux (programme GAC).
- Chronique isotopique (AIEA, JF Aranyossy).
- Interface eau/sédiments, colmatages, eaux interstitielles (Université de Dakar : projet CAMPUS).

1.1.2. Les aquifères superficiels

- Caractéristiques : nature, transmissivité, emmagasinement.
- Géométrie, structure, limites (ORSTOM/TOA : M. Ritz).
- Qualité des eaux (Université de Dakar).

1.1.3. Les échanges fleuve - nappes alluviales

- Suivi des variations spatio-temporelles : piézométrie (OMVS/USAID, chimie, isotopies (AIEA).
- Influence de la crue, étude de la diffusivité (Université).
- Les zones inondées, leur influence qualitative et quantitative sur la recharge des nappes (CAMPUS et Laboratoire de Télédétection).

OMVS : Organisation de la Mise en valeur du Fleuve Sénégal.
AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique.
DEH : Direction des Etudes Hydrauliques.

1.1.4. Relation avec les aquifères profonds

- Structure et position du toit des aquifères profonds (ORSTOM, géophysique).
- Etude chimique et isotopique (DEH et AIEA).

1.2. Méthodologie

Parallèlement à l'approche hydrogéologique classique, la définition des aquifères sera réalisée au cours de campagnes de prospection géophysique par audio-magnétotellurie, la distinction des échanges et l'évaluation des transits par analyse isotopique.

1.2.1. Géophysique

1.2.1.1. Produits attendus

Détermination de la nature et de la géométrie des aquifères (composition, épaisseur, extension latérale, volumes, réserves, etc...), épaisseur de la zone saturée, distinction et positions de l'interface eau douce - eau saumâtre, reconnaissance des aquifères multicouches et des zones de communications possibles.

1.2.1.2. Méthode

L'investigation géophysique des zones superficielles est maintenant possible par l'utilisation de la méthode MT dans la gamme audio-fréquence (1- 5000 Hz). Le but de la technique audio-magnétotellurique (AMT) est de mesurer, à une station donnée, le champ électromagnétique naturel en surface ce qui permet de préciser à la verticale de cette station et en fonction de la fréquence utilisée, la résistivité apparente du sous-sol. La répartition de ces résistivités sur un profil donné permet d'obtenir un modèle géoélectrique sous forme de coupes qui aboutissent à l'interprétation géologique.

La résistivité des roches dépend de plusieurs facteurs. Dans un bassin sédimentaire par exemple, la perméabilité et la porosité des séquences sédimentaires ainsi que la résistivité des fluides (eau le plus souvent) qu'elles contiennent, sont les facteurs qui déterminent le plus largement les résistivités apparentes mesurées par la méthode AMT. Ainsi la résistivité décroît avec l'augmentation de la porosité et de la fracturation de la roche, ou, pour un même volume des vides de l'encaissant, avec l'augmentation de la teneur en sel des fluides qu'il renferme, et pour une même minéralisation de ces fluides avec l'accroissement de la température.

La technique AMT permet en outre de déterminer des directions d'anisotropie du sous-sol qui peuvent être liées à des facteurs structuraux ou tectoniques (fracturation). La connaissance de ces facteurs peut s'avérer primordiale. Par exemple, celle de la fracturation pour la détermination des directions préférentielles d'écoulement de l'aquifère dans un réservoir carbonaté ou gréseux fissuré.

1.2.1.3. Moyens

L'équipe de géophysique du département TOA affectée à l'ORSTOM de Dakar va disposer dès janvier 1990 d'un appareillage de prospection AMT. Celui-ci est partiellement financé par le projet CEE a hauteur de 25 000 FF (soit environ 3500 écus).

1.2.1.4. Programme d'exécution

Etude d'une zone test. Corrélation avec les forages et les puits, carottages à la tarière (janvier 90).

Etude de l'extension des nappes salées dans le delta du Sénégal (février/mars 90).

Campagnes de mesures dans le secteur lac de Guiers-ferlo et recherche des fractures. Etude de la paléo-vallée alluviale du Ferlo (d'avril à juin 1990).

Campagnes de mesures dans la zone de recharge possible des aquifères profonds (secteur de Matam de janvier à mars 1991).

Etudes complémentaires sur les sites étudiés (fin 1991).

1.2.2. Etude isotopique

1.2.2.1. Produits attendus

Mise en évidence des mécanismes de recharge naturelle des nappes alluviales de la vallée et des aquifères sédimentaires qui les jouxtent.

Estimation des conséquences de la régularisation du débit du fleuve sur la recharge des nappes.

Malgré le peu de données préliminaires sur les autres composants du système, on peut à partir d'études régionales voisines (fleuve Niger au Mali et à Niamey) espérer mettre en évidence les phénomènes suivants :

- variation isotopique saisonnière des eaux fluviales,
- évolution spatiale de la teneur isotopique,

et aboutir à l'interprétation et à la reconnaissance :

- du mode et de la période privilégiée d'alimentation des nappes alluviales,
- des zones d'alimentation directe fleuve-nappes sédimentaires,
- des régions de drainage nappes alluviales-nappes sédimentaires.

1.2.2.2. Méthode

L'étude est basée sur la détermination des caractères isotopiques (Oxygène 18, Deutérium, Tritium et Carbone 14) des divers composants du système hydrologique local.

1.2.2.3. Moyens

L'étude est menée avec la participation de l'AIEA dans le cadre du programme régional RAF 8/012. Elle s'appuie sur l'importante infrastructure mise en place par l'OMVS (cellule eaux souterraines OMVS/USAID) et sur les installations hydrologiques de l'ORSTOM le long du fleuve.

L'échantillonnage des ouvrages des aquifères régionaux se fait avec le concours de la DEH et de l'Université de Dakar.

Les analyses sont effectuées au laboratoire de l'AIEA de Vienne, prises en charge par l'agence (50 %) et par le projet EQUASEN (50 %).

1.2.2.4. Programme d'exécution

Il comprendra :

- Profil longitudinal isotopique de Manantali à Diama soit environ sur un parcours de 1200 km. Prélèvement des eaux de surface pendant l'étiage pour analyse O_{18} et Deutérium en 15 stations (Manantali, Bafoulabé, kayes, Kidira, Bakel, Matam, Kaédi, Saldé, Bogué, Guédé, Podor, Dagana, Lac de Guiers, Rosso et Diama).

- Chronique isotopique : prélèvements mensuels en 3 stations (Bakel, Kaédi et Richard-Toll) pendant un cycle annuel et des prises plus fréquentes pendant les crues. Analyses de O_{18} et Deutérium.

- Relations fleuve-nappes : prélèvement sur 2 sections transversales dans les piézomètres et puits placés dans les formations alluvionnaires et sédimentaires avec 10 analyses Deutérium, O_{18} et éventuellement 5 Tritium.

- Cartographie isotopique : échantillonnage dans les sites choisis pour une cartographie isotopique avec 60 échantillons prélevés dans les puits et piézomètres ; analyse O_{18} et Deutérium. Complément d'études avec 20 analyses de Tritium et 10 analyses de Carbone 13 et 14.

2. ETAT D'AVANCEMENT AU 1er NOVEMBRE 1989

La lenteur de la mise en place des crédits (délégation en octobre 1989) et les difficultés liées au différend frontalier sénégal-mauritanien ont retardé certains travaux. Le suivi précis du comportement des nappes pendant la crue n'a pu se faire en 1989, mais le matériel nécessaire, en cours de commande, sera installé et opérationnel pour la crue 90. Les tournées d'échantillonnage dans le lit majeur du fleuve (interface eau/sédiments) ont été reportées.

Nous avons cependant pu travailler sur les données antérieures en particulier grâce à la banque de données de la cellule des eaux souterraines de l'OMVS de Saint-Louis et collecter les mesures mensuelles effectuées sur le réseau de piézomètres implanté par le projet OMVS/USAID.

Les données recueillies sont encore trop fragmentaires pour en tirer des résultats significatifs. Les premières observations font cependant apparaître le caractère dépressif des nappes, les niveaux piézométriques sont presque toujours négatifs, malgré une légère fluctuation au voisinage du fleuve. Ils sont la conséquence de la longue période de sécheresse qui a marqué profondément cette région du Sahel.

Grand Programme EQUERRE

Pays : CONGO, CENTRAFRIQUE,
CAMEROUN, FRANCE

Programme INSU/ORSTOM PIRAT

OPÉRATION GRANDS BASSINS FLUVIAUX

Cette opération, constituant un des 3 volets du Programme PIRAT (aujourd'hui largement connu à l'ORSTOM et à l'INSU), est actuellement le projet de recherche de notre unité le plus élaboré au niveau des participations extérieures et, par suite, du champ couvert dans le domaine de la biogéohydrodynamique d'un bassin fluvial. Du fait même de ces nombreux participations, il a été aussi un des plus difficiles à organiser, à gérer et à dynamiser. La compétition entre les différents volets du programme PIRAT, au niveau des budgets, les réticences de certains hydrologues à confronter leur expérience à d'autres spécialistes sur des champs de recherche complémentaires ont freiné un temps le développement du Programme.

Aujourd'hui, l'Opération "Grands Bassins Fluviaux" est rodée ; beaucoup reste à faire au niveau de l'organisation et de la publication des résultats mais un savoir faire a été acquis dans ce type de collaboration INSU/ORSTOM. Les bénéfices retirés par les partenaires scientifiques, l'intérêt du sujet laissent penser que l'opération sera pérennisée pour quelques années encore et développée au Brésil. La part croissante de notre budget au sein du budget du programme PIRAT est par ailleurs très encourageante.

Laboratoires collaborant au projet :

- * Laboratoire d'Analyse de l'ORSTOM de Bondy (MM. SONDAG, RIANDEY, FOURNIER)
- * Laboratoire de Recherches Sédimentologie Marine-Université de Perpignan (MM. GIRESSÉ, GADEL, OUNETINGUE, SERVE)
- * LGBA - Université de Bordeaux (MM. JOUANNEAU, LATOUCHE)
- * Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopique-Orsay (M. FONTES, Mme GASSE)
- * Laboratoire de Géologie de la matière organique-Université d'Orléans (MM. TRICHET, GUILLET, ALBERIC)
- * Centre de sédimentologie et de géochimie de la surface-Strasbourg (MM. FRITZ, PROBST)
- * Laboratoire de Physique et Chimie marine - Université Paris V (MM. SALIOT, SCRIBE)
- * Laboratoire de Géochimie et Cosmochimie - IPG Paris (MM. DUPRE, NEGREL)
- * Centre de recherches Hydrologiques - IRGM - Yaoundé (Cameroun) (MM. NAAH; SIGHA)
- * Carbon Unit Center (Hambourg)
- * University of South Florida (St Petersburg).

I - DOSSIER SCIENTIFIQUE

1) Raisons et originalité du projet

Poursuite d'une opération de recherche fédérant depuis 2 ans dans le cadre du Programme PIRAT les activités multidisciplinaires d'études déjà engagées par l'ORSTOM et quelques laboratoires universitaires ou du CNRS sur les transports de matière en milieu intertropical.

L'originalité du projet tient d'abord dans le regroupement de divers laboratoires intervenant à des titres divers sur une démarche commune (nécessitant bien évidemment un minimum de concertation, mais excluant aussi des interventions en ordre dispersé). L'ORSTOM, de par l'importance des équipes impliquées, ses implantations géographiques et l'existence d'accords bilatéraux avec les pays concernés, assume un rôle important dans l'animation de l'opération et sa logistique.

L'originalité de cette opération tient à la durée du partenariat que supposent ces recherches ; ceci constitue un élément particulièrement favorable à la réalisation de thèses dans le cadre du programme, aux tâches de formation et de développement dans les pays hôtes.

2 Situation dans le contexte international :

L'opération constitue une première au niveau du bassin du deuxième fleuve mondial (Congo-Zaïre) et projette de compléter l'approche faite par les équipes américaines sur le bassin de l'Amazone et, par suite, la connaissance sur les flux particuliers et dissous issus des grands bassins équatoriaux périallantiques.

La notion d'observatoires permanents et de mise en oeuvre de réseaux de mesure (stations automatiques) sur ces grands bassins aux fins de surveillance sur des stations de référence des fluctuations des régimes hydroclimatiques a été développée par l'ORSTOM ; elle trouve ici une application dans le contrôle d'éventuelles modifications du milieu (dégradation) et permet d'identifier les processus majeurs intervenant dans les exportations de matière. Le suivi méthodologique mis en oeuvre et que l'on se propose de continuer, éventuellement d'améliorer, permet une détermination rigoureuse des différents paramètres relatifs aux flux de matière (représentativité spatiotemporelle de l'échantillonnage et par suite le calcul précis des bilans (il s'agit là encore d'une première au plan international). Enfin, certains thèmes abordés en Sédimentologie, chimie minérale et organique par les laboratoires de l'INSU (CNRS et Université) sont particulièrement porteurs par les approches nouvelles et originales qui ont été faites.

3) Objectifs

Au sein du programme PIRAT, l'opération "Grands Bassins Fluviaux" constitue le volet "Phénomènes actuels" devant permettre d'approcher dans le domaine continental périallantique les cycles paléoclimatiques et les bilans érosion-sédimentation inscrits dans les "archives du passé".

L'objectif poursuivi est donc d'établir :

- un bilan global précis des exportations vers l'Océan Atlantique des matières dissoutes et particulières transportées par le fleuve Congo-Zaïre
- les fluctuations saisonnières et interannuelles de ces transports et de leur

- composition, en liaison avec les fluctuations hydroclimatiques et leur variabilité interannuelle en terme de statistique
- la part relative des éléments et matières provenant de l'altération continentale, du CO₂ atmosphérique et de la biomasse (matière minérale et organique)
 - une relation entre les régimes d'exportation de matières, les processus biogéodynamiques et les régimes hydrologiques.

Cette opération doit permettre de compléter dans les régions intertropicales le réseau actuellement mis en place pour le contrôle de l'écoulement continental global par un certain nombre d'observatoires de l'environnement. Mis en place pour de longues périodes, ces observatoires sur les flux de matières serviront de stations de référence dans le futur pour la mise en évidence d'éventuelles dégradations du milieu par l'homme, en les caractérisant au niveau des différents écosystèmes.

4) Références bibliographiques de travaux sur le sujet

Les premiers résultats des travaux réalisés par les équipes du projet ont fait l'objet de présentations dans différents symposiums et colloques et sont cités dans les documents donnés en Annexes. Un certain nombre d'articles réalisés par les équipes INSU/ORSTOM sont actuellement soumis à publication, d'autres sont en préparation. Les notes d'information internes n° 2 et n° 3 en donnent un aperçu provisoire.

II PLAN DE RECHERCHE ET CALENDRIER

1) Cadre Général

Dans le cadre de cette opération, l'ORSTOM et l'INSU (CNRS et Universités) s'étaient engagés à mettre en oeuvre conjointement les moyens nécessaires au suivi pendant une dizaine d'années des flux particuliers et dissous à l'exutoire d'un nombre limité de grands bassins intertropicaux et, à l'occasion d'études de courte durée ou d'interventions ponctuelles, à identifier les caractéristiques du régime des transports de matière de grandes unités biogéodynamiques représentées sur ces grands bassins ou à préciser leur fonctionnement par l'identification des apports des principaux tributaires.

Situation

L'opération souhaitait prendre en compte les deux grands bassins équatoriaux de l'Amazone et du Congo-Zaïre. De fait, si des développements sur l'Amazone restent dans le fil logique du programme, les délais de mise en oeuvre avec les partenaires brésiliens et l'expérience probatoire de notre savoir-faire sur le bassin du Congo-Zaïre expliquent que ceux-ci aient été différés par le Conseil Scientifique de Piral.

L'opération s'est donc limitée au bassin du Congo (Zaïre) : avec pour stations principales

- . la station de Brazzaville (ou Kinshasa),
- . la station de Bangui sur l'Oubangui,

stations opérationnelles depuis trois ans.

Par ailleurs, des études complémentaires portant sur une période de quelques années doivent permettre de caractériser tel ou tel écosystème représenté dans les grands bassins :

Pour le Congo-Zaïre, on a notamment pris en compte un suivi de

- la Léfini à Bwembe (savane équatoriale sur grès et sables types Batéké et Kasai)
- la Ngokoo-Dja à Moloundou (Cameroun), bassin sous forêt équatoriale dense.

En outre, des campagnes de mesures spécifiques, notamment en hautes eaux, sont effectuées sur le Congo-Oubangui entre Brazzaville et Bangui depuis 1988. (Deux campagnes).

Nature et fréquence des mesures et prélèvements :

Toute station de mesure prise en compte suppose nécessairement un suivi hydrologique complet (relevé des hauteurs d'eau journalières, mesures de débit, exploitation des chroniques existantes).

La grande taille des bassins étudiés (de quelques milliers ou plus souvent de quelques centaines de milliers à quelques millions de kilomètres carrés) implique une démarche de suivi des variations saisonnières et du bilan des matières transportées. Une précision acceptable suppose que les prélèvements soient faits avec une fréquence suffisante pour saisir les variations significatives de la charge solide (les bilans établis sur 3 ou 4 valeurs annuelles -cf. Amazone- n'ont pas de signification au niveau de la variabilité interannuelle).

Pour les stations principales, le principe général d'un suivi d'une dizaine d'années s'appuie également sur une fréquence de 12 prélèvements par an. Cette fréquence de base s'applique à des prélèvements d'un volume suffisant pour répondre aux besoins des analyses qualitatives sur la matière organique et minérale particulière (analyse en routine). Elle implique un appareillage de préparation des échantillons qui est opérationnel à Brazzaville et Bangui, mais qui reste à mettre en œuvre avec nos partenaires camerounais (Ngoko).

Pour certaines analyses, cette fréquence peut être considérablement réduite (jusqu'à une fois par an) et même ne pas se prolonger sur de très longues années.

Par contre, la fréquence mensuelle reste très insuffisante pour tout ce qui est quantitatif et doit conduire aux bilans globaux de matière ; un suivi par stations automatiques (turbidité et conductivité) ou préleveurs automatiques doit être fait à l'échelle journalière pour étude statistique des variations des concentrations en matière dissoute et en suspension.

Ce programme aux stations principales suppose un engagement bien défini des participants ; il est actuellement en routine sur Brazzaville et Bangui.

Pour les études complémentaires indispensables à une valorisation des simples données de bilan des exutoires et à une compréhension du régime des transports de matière sur les Grands Bassins, la durée, la fréquence des mesures et analyses sont définies dans le sous-programme par les opérateurs. Leur prise en compte se justifie dès lors que ces études s'intègrent à la thématique de l'Opération "grands Bassins Fluviaux".

Les prélèvements, consécutifs à une exploration de la section de mesures ou au choix d'une verticale représentative après mesure du champ des vitesses du courant, aboutissent à des échantillons moyens pour mesure et identification des constituants de la

matière dissoute et des suspensions.

D'autres prélèvements sont effectués au fond pour mesure des transports par saltation et par charriage.

Enfin, on effectue des prélèvements d'eau de pluie de l'océan jusqu'au Nord-Est du Bassin du Congo.

Sur le plan de la méthodologie, l'Opération nécessite :

- La mise au point ou l'amélioration de protocoles de prélèvement répondant aux critères statistiques d'obtention de valeurs moyennes des concentrations de la charge solide (ceux-ci, opérationnels sur le Bassin du Congo, supposent d'être adaptés sur l'Amazone mais des développements ultérieurs impliquent l'homogénéité des méthodes).
- La mise au point d'appareillages permettant d'effectuer des prélèvements d'eau importants sans perturbation du fluide jusqu'à de fortes profondeurs.
- Une technologie appropriée aux grands fleuves pour la mesure du charriage et de la saltation (bennes et pièges de prélèvement).
- La mise en oeuvre de préleveurs automatiques de conception simplifiée et la construction de stations automatiques (multicapteurs) avec stockage ou télétransmission de l'information.

Sur le plan de la mesure et des analyses, l'opération s'appuie sur les points suivants :

- Contrôle des relations hauteurs-débits aux stations de prélèvements (jaugeages, tarage) et collecte des données hydropluviométriques.
- Analyse statistique de la variabilité spatiale des concentrations dans la section ; corrélations avec mesures de surface et paramètres mesurés aux stations automatiques.
- Caractérisation in situ des paramètres physiques des eaux.
- Préparation des échantillons (filtration, centrifugation, conservation) en liaison avec les laboratoires d'analyses.
- Mesures de la turbidité des eaux et de la charge en suspension (matière minérale et organique).
- Mesures de la turbidité des eaux et de la charge en suspension (matière minérale et organique).
- Mesures de la composition chimique des eaux (éléments majeurs, silice, aluminium, fer, alcalinité, conductivité, matières humiques en solution...).
- Mesures de la composition isotopique des éléments dissous ou en suspension dans les eaux (Soufre 34, Azote 15, Carbone 13, rapport Strontium 87/86, etc.).
- Mesures de la composition isotopique des eaux (Oxygène 18 et deutérium).
- Mesures des teneurs en éléments traces (Sm, Nd etc.).
- Datation des humus au carbone 14 ou autre méthode.
- Mesures de la composition minéralogique et chimique des matériaux minéraux et de leur granulométrie, ainsi que des matières organiques en suspension ; détermination des colloïdes organo-minéraux, des matières organiques particulières (pigments, hydrocarbures naturels).
- Mesures de concentration des polluants et micropolluants.
- Analyse d'eau de pluie (Cl, ...isotopes).
- Recherche de diatomées.

2) Calendrier

la phase actuelle doit se poursuivre avec les stratégies d'échantillonnage et les protocoles analytiques définis en 1989. En 1990, une deuxième phase tirera les conclusions critiques des premières années de mesure et procédera à un réajustement des propositions sur l'ensemble de l'Opération pour une poursuite du projet dans un cadre élargi sur le plan géographique.

Le calendrier prévoit :

- Missions mensuelles de prélèvement sur les stations de Bangui, Brazzaville et Moloundou suivant protocoles complémentaires définis. Missions spécifiques deux à trois par an. Mise en place de stations automatiques ; traitement et expédition d'échantillons aux différents laboratoires. Analyses.
- Missions de hautes-eaux. Fleuve Zaïre, Oubangui et autres tributaires (identification des charges dissoutes ou en suspension) Novembre.
- Reconnaissances sur le Kasai, l'Uele et le Haut-Zaïre pour prélèvements (4 valeurs dans l'année).
- Démarrage des mesures de salinité et des charriages sur le Congo.
- Mission de coordination avec autorités brésiliennes à Brasilia, Belem et Recife (DNAEE, SUDAM...) pour développement du programme dans le cadre de la convention ORSTOM/DNAEE (comprennent le suivi des trois stations majeures du milieu amazonien dont Obidos et la station du Jaguaribe à Iguat-Nordeste) (suite des initiatives de 1988, protocole d'accord en préparation).
- Publication sous forme d'Annales de l'ensemble des résultats de mesures, observations et analyses.

III MOYENS AFFECTES AU PROJET

PARTICIPATIONS EN CHERCHEURS

ORSTOM

. OLIVRY J.C. DR	Montpellier	Responsable	20 %	
. GAC J.Y.	DR	Dakar		10 %
. BRICQUET J.P.	CR	Brazzaville		90 %
. COLOMBANI J.	DR	Brazzaville		10 %
. BOURGES J. CR	La Paz		20 %	
. DELAUNE M.	CR	Bondy		10 %
. MATHIEU	DR	Yaoundé		10 %

avec la collaboration des ITA des Laboratoires de Bondy (RIANDEY, SONDAG, FOURNIER), du Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier (RANDON, DUBOIS), des Centres ORSTOM (THIEBAUX, BERTHELOT, BOUCHEZ, SEYLER en accueil).

Chercheurs associés : NAAHE., SIGHA., Cameroun, MOUKOLO, MAZIEZOULA, Congo.

Université et CNRS (INSU) :

. GIRESSÉ P. Professeur	Université Perpignan	10%	
. GADEL F. CR	CNRS Perpignan		10%
. LATOUCHE C. CR	CNRS Bordeaux		10%

.	JOUANNEAU J.M.	CR		CNRS Bordeaux	20%
.	FRITZ B.	DR		CNRS Strasbourg	10%
.	PROBST J.L.	CR		CNRS Strasbourg	20%
.	TRICHET J.	Professeur	Université Orléans	10%	
.	GUILLET B.	DR		CNRS Orléans	10%
.	ALBERIC	CR		CNRS Orléans	20%
.	FONTES J.C.	Professeur	Université Orsay	10%	
.	GASSE F.	DR		CNRS Orsay	10%
.	SALLOT A.	Professeur	Université P. et M.		
				Curie Paris	10%
.	SCRIBE P.	CR		CNRS Paris	10%
.	DUPRE B.	CR		IPG Paris	10%
.	NEGREL P.	AR		IPG Paris	80%
.	BOULEGUE J.	Professeur	IPG Paris	5%	

Chercheurs associés : OUNETINGUE (Congo).

IV BREF APERCU DES MESURES ET ANALYSES SUR LES FLUX DE MATIERES DU FLEUVE CONGO

Avec un module avoisinant $41.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ pour un bassin de $3,7 \times 10^6 \text{ km}^2$, le Congo (ou Zaïre) est le deuxième fleuve du monde après l'Amazone. Le grand programme scientifique (PIRAT Opération Grands Bassins Fluviaux) (ORSTOM/INSU) étudie les variations des flux de matières particulaires et dissoutes du bassin du Congo à dominante forestière équatoriale et cherche à caractériser son hydrologie et l'érosion mécanique et biogéochimique. Les mesures actuelles portent sur le Congo à Brazzaville, l'Oubangui à Bangui et la Ngoko à Moloundou. Les suspensions sont évaluées sur un échantillonnage représentatif dans la section et dans le temps sur la base des mesures montrant une stratification certaine des suspensions sur chaque verticale - les concentrations étant les plus fortes près du fond - mais peu de variation sur la largeur en dehors de la proximité immédiate des rives.

1. PREMIERS RESULTATS

Les premiers résultats proposés ici correspondent à la première phase de mise en route du programme ; ils sont basés sur un échantillon mensuel sur le Congo et un échantillon hebdomadaire sur l'Oubangui. Ils ont fait l'objet de plusieurs articles et sont repris et augmentés dans les notes d'information 2 et 3.

1.1. Les concentrations de la charge solide en suspension sur le Congo et l'Oubangui

L'amplitude des concentrations n'a pas dépassé 15 mg l^{-1} sur le Congo) Brazzaville ; sur l'Oubangui, par contre, cette amplitude a atteint 50 mg l^{-1} , les concentrations minimales des suspensions n'étant alors que de 3 mg l^{-1} alors qu'elles sont toujours plus fortes sur le Congo (minimum supérieur à 15 mg l^{-1}).

Ces différences illustrent d'abord celles du régime hydrologique des deux cours d'eau ; les débits de l'Oubangui ont varié en 1987 de 1 à 25 entre basses et hautes eaux ; sur le Congo, le rapport des débits extrêmes est à peine supérieur à 2 en 1987. Alors que sur l'Oubangui la saison de basses eaux, sans précipitation, correspond à un arrêt quasi-total de l'érosion météorique sur le bassin et donc des transports particulaires, le régime complexe du Congo ne suppose jamais un arrêt général de la production de sédiments.

Les variations saisonnières des concentrations montrent sur l'Oubangui le cycle

classique des régions tropicales.

Pour le Congo, le schéma est plus complexe dans la mesure où l'on n'observe pas sur l'année étudiée de véritable cycle.

1.2. Bilan et variations saisonnières des flux particuliers:

Sur le Congo :

La charge solide globale présente deux maximums en février et en novembre (1200 à 1400 kg s⁻¹), les minimums survenant en mai puis en août avec, pour ce dernier mois, seulement 430 kg s⁻¹.

Le bilan des exportations de matières en suspension est en 1987 de 31 millions de tonnes, pour un volume des apports liquides de 1220 milliards de m³. La dégradation spécifique correspondante serait de 8,86 t km⁻² an⁻¹.

Sur l'Oubangui :

Sur deux cycles annuels (1986/1987 et 1987/1988), les mesures de la charge solide en suspension effectuées sur l'Oubangui aboutissent à des résultats très voisins, tant au plan global que des variations saisonnières. Les débits solides minima sont de l'ordre de 10 kg s⁻¹, tandis que le maximum annuel atteint en octobre des valeurs voisines de 320 et 340 kg s⁻¹.

Sur ces deux années, l'exportation de matières en suspension a totalisé 2,9 et 3 millions de tonnes pour des écoulements de 84 et 83 milliards de m³ (dégradation spécifique de 6 à 6,2 t km⁻² an⁻¹).

1.3. Matières en suspension, matières dissoutes et matières organiques

La charge dissoute a totalisé, en 1987, 72 millions de tonnes pour le Congo et respectivement, pour l'Oubangui, 3,7 et 4,09 millions de tonnes sur les deux années observées.

Le rapport des suspensions sur la charge totale est de 30 % pour le Congo à Brazzaville, 43 % pour l'Oubangui à Bangui (moyenne des deux années). Cette évolution, qui traduit, lorsque l'on passe du climat tropical au climat équatorial, une part croissante de l'érosion chimique, est surtout due à l'importance de la matière organique dans la charge globale exportée. La production de matière organique est maximale au niveau de la grande forêt congolaise.

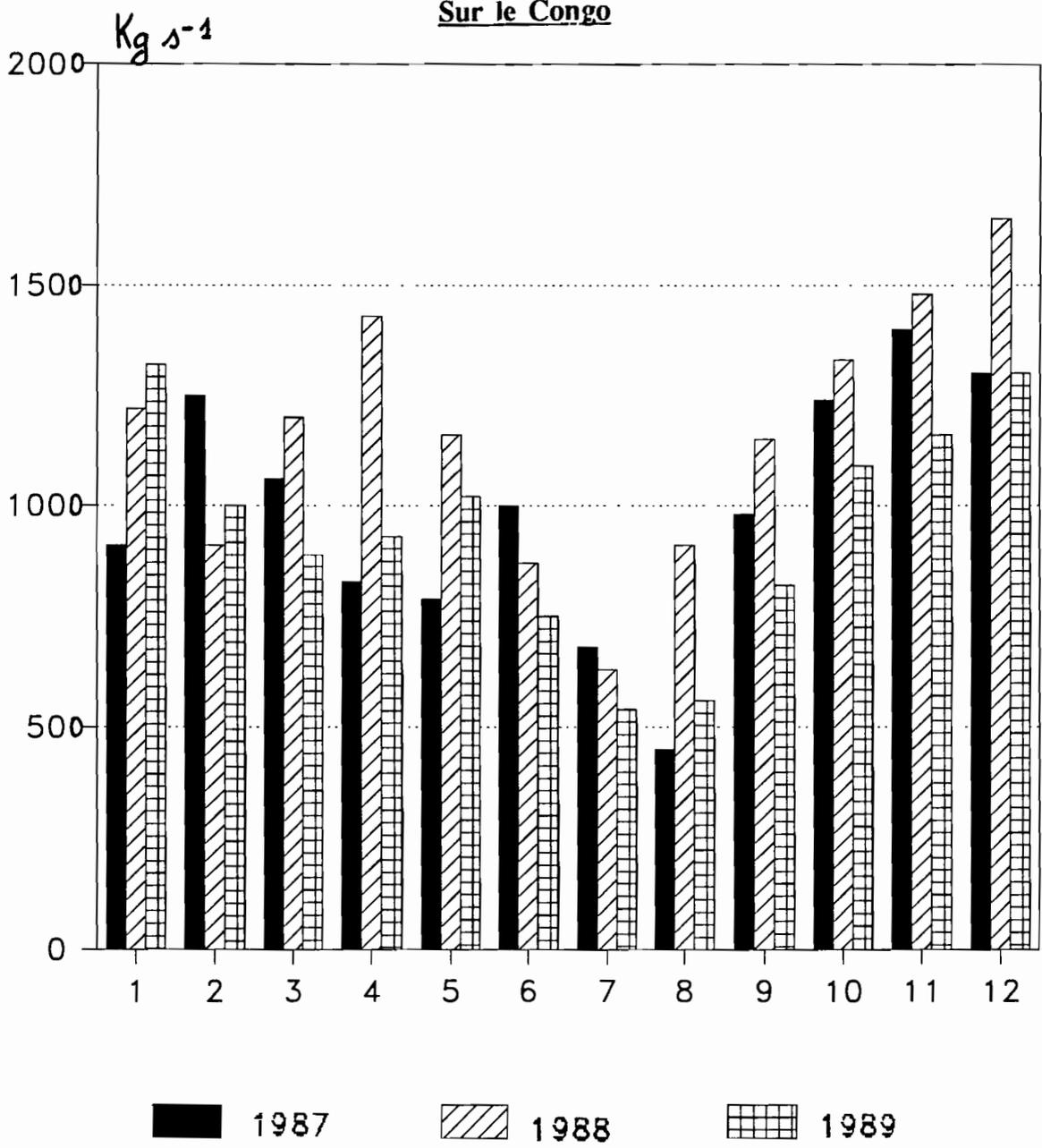
Sur le Congo, la matière organique représente 15 % de la charge annuelle en suspension (1 et 2,5 mg l⁻¹), de concentration moyenne en 1987) serait constituée pour 30 % à 40 % de matière organique.

Une comparaison rapide entre le Congo et l'Amazonie montre l'énorme différence qu'il y a dans le régime des flux particuliers des deux fleuves. La dégradation spécifique est 9 fois plus forte sur l'Amazonie ; des précipitations plus abondantes donnent un module spécifique 2 fois supérieur à celui du Congo et les concentrations moyennes des suspensions y sont donc de 4 à 5 fois plus fortes. Enfin, avec un bassin de superficie de

Suspensions

Variations mensuelles

Sur le Congo

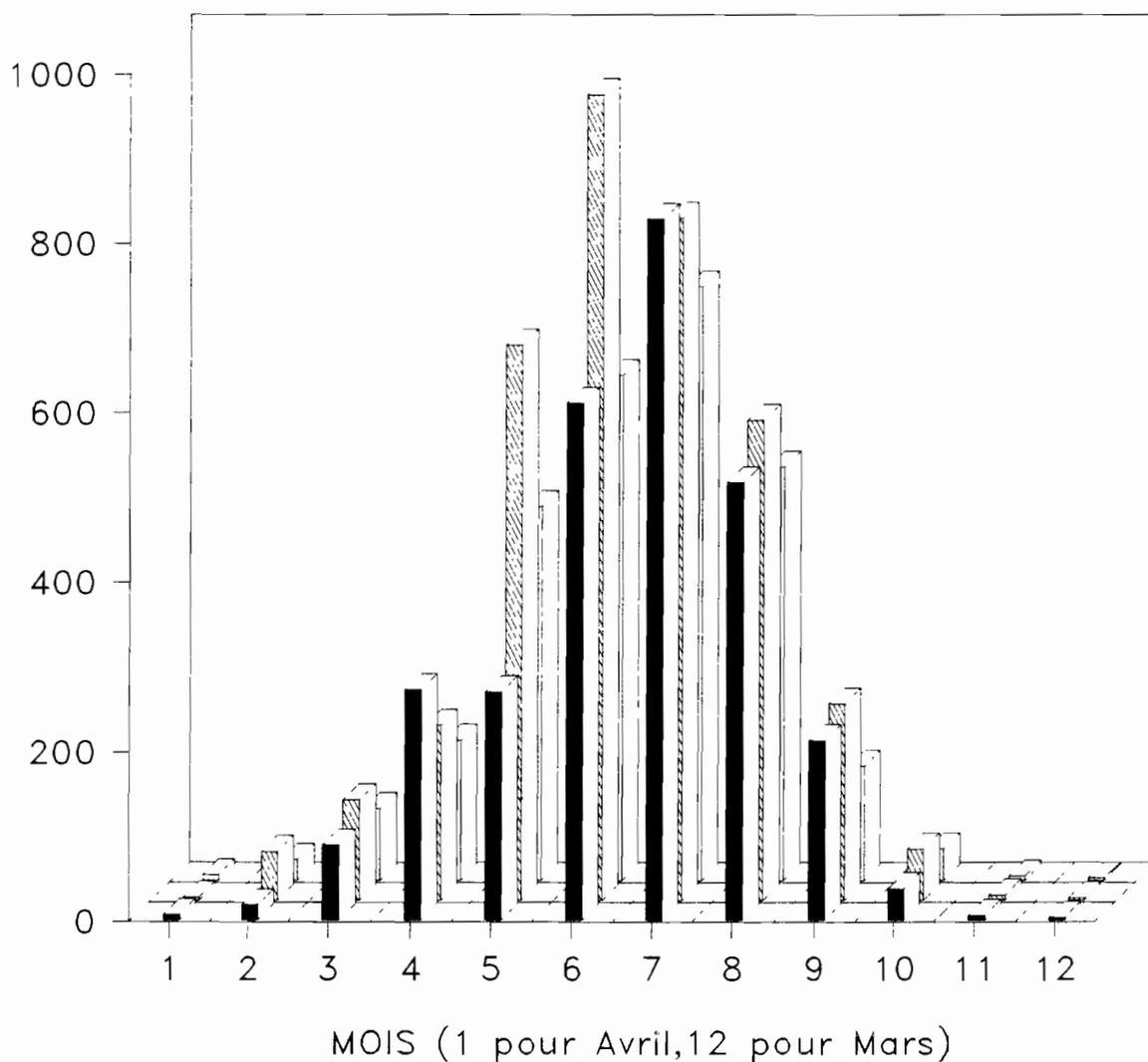


Années 1987-88-89

MATIERES EN SUSPENSION de l'OUBANGUI

Tonnage mensuel à BANGUI

Milliers de tonnes



Année 1987-88
 Année 1988-89
 Année 1989-90

1987 à 1990

près du double de celui du Congo, les apports particuliers de l'Amazone à l'Océan seraient en moyenne de l'ordre de 500 à 600 millions de tonnes soit 16 à 20 fois les apports du fleuve Congo. Celui-ci aurait un régime se rapprochant, côté Amazonie, du régime du Rio Négro.

Il n'en reste pas moins que le Congo, important par ses apports hydriques (52 % des apports africains à l'Océan Atlantique, 38 % de l'ensemble du continent), l'est aussi par ses exportations de matière (40 % de la charge dissoute), mais seulement 7 % de la charge en suspension pour tout le continent).

2. ANALYSE DES RESULTATS ET PROBLEMES RENCONTRES

Quoique sommaire dans ce document, cette analyse reflète les éléments principaux de la réflexion des différents participants sur les problèmes rencontrés et les solutions proposées.

2.1. Sédimentologie

Giresse pose le problème de la silice biogène. un contact direct avec F. GASSE est nécessaire pour s'accorder sur des mesures et les identifications des différentes formes de diatomées. il insiste sur la nécessité de normaliser les méthodes d'analyses (Traitement à l'eau oxygénée par exemple). Une publication Jouanneau-Giresse pourrait aboutir rapidement.

Sur le Congo, il indique que seule la silice biogène est fluctuante alors que les composants principaux varient peu dans le temps. Une comparaison granulométrique des mensuels (CNG) et des hebdomadaires (BAD) à l'aval de Brazzaville serait intéressante pour définir une reprise des berges du Stanley Pool, surtout si comme l'avait dit Bricquet en avril 1989, les bilans annuels sont quasi identiques. On aimerait ainsi établir une relation liquide/solide et reconstituer un chronique de débits solides.

Les répétitions d'analyses ne devraient plus avoir lieu. Jouanneau ferait la géochimie des particules (minéraux lourds) et Dupré se propose de faire les majeurs.

Olivry cherche à rapprocher les prélèvements mensuels, hebdomadaires et journaliers pour établir un réseau automatique de veille des suspensions. Négrel évoque le problème du non mélange au niveau du BAD pris dans les rapides du Djoué en février 1989. On précise que les prélèvements habituels sont faits 8 km plus à l'aval, là où le Congo ne forme qu'un seul bras.

2.2 Chimie

Là aussi des divergences de résultats apparaissent et sont peut-être dues à des protocoles d'analyses différents. Si les résultats IPG et Bondy sont concordants pour des doublons 88-89, ceux de Strasbourg divergent avec Bondy pour la période 87-88 mais cela s'améliore pour 88-89.

Riandey montre qu'il n'y a pas de différence si l'eau est filtrée soit à Brazzaville soit à Bondy ou même centrifugée.

les méthodes par colorimétrie sont à proscrire. Les résultats sur l'alcalinité ne peuvent être pris en compte.

Les balances ioniques ne bouclent pas.

Les résidus secs de Brazzaville (évaporation à 150°C) collent bien aux analyses du dissous et reflètent donc bien la minéralisation totale de l'eau y compris la matière organique (cf. échantillons complets).

2.3. Matières organiques

Albéric présente des résultats sur les échantillons 87 (les mêmes que ceux de Gadel note 3). Les valeurs de C.O.D. d'Orléans sont plus faibles que celles de Bondy mais suivent les mêmes variations ; on remarque que la littérature indique des valeurs plus faibles donc là aussi il y aurait artefact méthodologique. Il faudrait contrôler la méthodologie utilisée à Bondy.

Scribe présente des résultats préliminaires des analyses moléculaires des lipides associés aux suspensions du fleuve, note sortie trop tardivement pour être jointe à la note 3.

De la discussion avec les organiciens, il ressort que les phénols et les Acides aminés aromatiques permettraient une différenciation des origines de la matière organique (lignee étant plutôt forestière, algale étant du fleuve).

Les problèmes de prélèvements "propres" et de traitement à Brazzaville sont une nouvelle fois évoqués. Gadel pourrait lyophiliser le culot CNG. Scribe a défini un protocole lourd qui nécessite 40 à 50 litres d'eau supplémentaires, à rapporter le plus vite possible au labo, lors du prélèvement mensuel.

Bricquet rappelle les impératifs du prélèvement mensuel : une heure aller par zodiac, une heure de prélèvement (250 l) proprement dit puis une heure retour le tout par 35°C. Il rappelle également les difficultés de conservation à -80°C à cause de problèmes électriques ainsi que la rareté de la carboglace pour effectuer le retour de ces échantillons.

3. CONCLUSION

L'ensemble de l'Opération Grands Bassins Fluviaux constitue un programme de recherche exemplaire par le niveau de la structuration, de ses échanges scientifiques entre différentes disciplines et de sa disciplinarité effective. L'opération en est arrivée au seuil d'une collecte de résultats minimum débouchant sur la publication de nombreux articles et à un niveau crédible lui permettant de développer un volet Amazonie.

Grand Programme EQUERIE

Pays : BOLIVIE

PROGRAMME PHICAB : HYDROLOGIE DU BASSIN AMAZONIEN DE BOLIVIE

Ce programme dirigé du côté ORSTOM par M.A. ROCHE qui l'a conçu et mis sur pied avec nos partenaires boliviens a près de huit ans d'existence. L'échéance finale a été reportée à la fin de 1991 pour la publication de la synthèse. Depuis la création de l'Unité de Recherche un important financement a été consenti sur ce programme qui comprend trois volets complémentaires : Régimes hydrologiques, Bilans hydriques, Qualité des eaux et érosion.

Une équipe dynamique constituée du côté ORSTOM par M.A. ROCHE, J. BOURGES, J.L. GUYOT et R. HOORELBECKE a valorisé le projet devenu exemplaire tant sur le plan de la production scientifique que des relations de partenariat qui ont été développés.

La bibliographie témoigne de l'importante production actuelle du Programme PHICAB qui complète celle que nous avons donnée dans notre précédent rapport ; même s'il y a une certaine redondance des articles publiés, cela témoigne d'une émulation entre chercheurs de l'équipe dont la synergie conduit à "occuper le terrain" dans leur domaine scientifique sur le continent sud américain, en France et dans le monde. L'équipe de Bolivie pour être au top niveau de sa présence (et de celle de l'ORSTOM) dans de multiples manifestations internationales ne se limite pas à de simples articles. Outre la synthèse globale attendue (sous la Direction de M.A. ROCHE), deux thèses de Doctorat sont en préparation (J.L. GUYOT à Bordeaux avec J.M. JOUANNEAU et J. BOURGES à Grenoble avec Mme H. VIVIAN).

De nombreuses thèses d'ingénieur de l'Université de La Paz et les participations boliviennes aux articles et rapports donnent la preuve d'un partenariat scientifique de qualité.

De telles collaborations ne disparaissent pas du jour au lendemain. Outre l'intérêt d'un suivi de la Bolivie amazonienne pour rattacher ces mesures au bassin brésilien du Madeira et de l'Amazonie dont l'étude est en cours de démarrage, l'équipe ORSTOM a développé d'autres opportunités de recherche en Bolivie (Titicaca, Erosion à La Paz...) et dans les pays voisins (Chili).

J'emprunte à Bourges, Guyot et Roche l'essentiel de la présentation du Programme PHICAB qui a été proposée au Colloque de Belem en octobre 1989.

Le programme hydrologique de la Cuenca Amazonica de Bolivia (PHICAB) a été créé en 1982 (Roche, 1982) par l'ORSTOM en collaboration avec un partenaire bolivien, le Service National de la météorologie et hydrologie (SENAMHI).

Initialement destiné à l'étude de la climatologie, de l'hydrologie, de la physicochimie et des transports en suspension de cette région, il a progressivement élargi sa zone d'intervention à l'ensemble de la Bolivie avec une attention spéciale au bassin amazonien.

Après sa création, d'autres institutions boliviennes se sont jointes au projet en signant des conventions de coopération scientifique :

- Institut d'hydraulique et d'hydrologie (IHH) de l'Université Mayor de San

Andrès de la Paz en 1984 ;

- Institut de Recherche en Chimie (IIQ) de l'Université Mayor de San Andrès de la Paz en 1986 ;
- Service Hydrographique de la Navale (SHN) en 1988 ;
- et la Mairie de La Paz, dont la convention est actuellement en cours de signature.

En dehors de ces conventions est assurée, dans le cas de projets précis, une coopération scientifique avec d'autres services tels que ENDE (Empresa Nacional de l'Electricidad), SEMENA (Servicio de Majoramiento de la Navegacion Aérea).

Zone d'étude

La zone d'étude prioritaire recouvre une superficie d'environ 750000 Km² représentant le bassin amazonien de Bolivie, drainé par les quatre grands rios formateurs du rio Madeira. Trois sont d'origine andine : le Beni, le Madre de Dios, le Mamoré et le dernier, prend sa source dans le bouclier brésilien, l'Itenez-Guaporé. Ces rios au cours de leur trajet vers le Madeira, traversent une grande diversité d'écosystèmes depuis les glaciers des Andes où ils prennent naissance, jusqu'à la forêt tropicale humide de la plaine amazonienne, en passant par les vallées humides et chaudes des Andes, les Yungas. Par rapport à l'ensemble du bassin du Madeira (900000 Km²), incluant les parties en territoire brésilien et péruvien, la région amazonienne représente les trois quarts de la superficie totale.

Programme

Dans cette région, qui représente le futur pôle de développement de la Bolivie, se fait cruellement sentir le besoin de connaissance sur les milieux et les ressources disponibles. Cette absence de données, dans des domaines aussi essentiels, pénalise ou reporte la mise en place des projets de développement et toute la mise en valeur de cette région. Un des objectifs du PHICAB est de colmater ces lacunes.

Le programme de recherche se développe autour de trois pôles importants (Roche et Canedo, 1983) : climatologie, hydrologie, transport-érosion, et leurs interrelations.

Le domaine climatologique ressortant partiellement de l'UR B1, recouvre :

- Etude des distributions spatio-temporelles en Bolivie des paramètres climatologiques : pluie, température, pression, vent, humidité, insolation, évaporation.
- Etude isotopique des précipitations en fonction de l'altitude et dans les eaux superficielles.
- Etude des anomalies climatologiques en Bolivie par rapport aux situations météorologiques définies par les circulations atmosphériques sur l'Amérique Latine.

Le volet hydrologie a pour objet l'étude des régimes hydrologiques des quatre formateurs principaux du Madeira, en s'intéressant en particulier :

- aux variations spatio-temporelles des paramètres hydrologiques depuis le sommet

des Andes à l'Amazonie,

- à l'analyse statistique des crues et à l'influence des facteurs géomorphologiques et climatiques sur les écoulements.

Ce programme implique aussi l'établissement des bilans hydriques de ces grands bassins avec une synthèse au niveau du pays, en relation avec le PHI de l'UNESCO.

Enfin la partie hydrochimie, transport et érosion a pour objet :

- d'étudier les régimes hydrochimiques et de transport de sédiments dans les mêmes rios, en particulier leurs variations dans le temps et dans l'espace ;

- d'établir le bilan des transports, surtout au niveau des projets de retenue ;

- de caractériser les différents milieux aquatiques d'un point de vue physico-chimique.

Moyens humains et matériels

Pour réaliser ce programme on dispose de plusieurs réseaux d'observation :

- les réseaux de stations climatologiques exploitées par le SENAMHI et l'AASANA ;

- les réseaux de stations hydrométrique sur lesquels sont effectués les lectures limnimétriques et prélèvements d'eau ; sur le bassin du Mareina, 115 stations installées dans la partie andine sont exploitées par le SENAMHI et les 15 stations implantées dans la plaine amazonienne sont à la charge du PHICAB ;

- à ces observations permanentes s'ajoutent des campagnes de mesures et de prélèvements ponctuelles sur l'ensemble des bassins versants.

Ces réseaux de collecte fournissent une masse énorme de données que seuls permettent de traiter des moyens informatiques. L'utilisation de logiciels spécifiques (HYDROM, STATGRAPHICS...) ou le développement de logiciels répondant aux besoins immédiats du PHICAB (CLIMAR 2, DATCHIM) sont les seuls moyens, à partir de banques de données, de les traiter et de fournir les premiers résultats nécessaires à l'interprétation.

Mais la maintenance d'un réseau qui s'étend sur 750000 Km², dont 85 % en Amazonie bolivienne ne va pas sans certaines difficultés : accessibilité, isolement des stations, absence des moyens de communications, parfois vandalisme... En ce qui concerne le réseau PHICAB, sa maintenance est assurée par une équipe de terrain mixte (ORSTOM/SENAMHI/SHN) qui effectue des tournées de plus de 1500 Kms uniquement sur les rios. Outre le contrôle des observateurs, sont effectuées des mesures de débit et des prélèvements. Ces mêmes opérations sont assurées dans les Andes par des brigades du Service National.

L'élaboration des données et l'interprétation des résultats s'effectuent au sein de petites équipes binationales qui publient conjointement leurs résultats. Participent à ce programme trois chercheurs et un technicien français, affectés à temps plein, ainsi que cinq ingénieurs boliviens, ou plus selon les études.

Résultats

Suite aux difficultés d'exploitation de ce réseau et à l'isolement des observateurs, la qualité des données collectées, souvent médiocre, exige un soin particulier lors de la phase de préparation et de critique de ces données.

En dépit de période d'observations hétérogènes d'une station à l'autre, ou entrecoupées de lacunes importantes qui rendent malaisée l'interprétation, de nombreuses études ont déjà été menées à bien.

Climat et précipitations

Le climat de Bolivie et les variations spatio-temporelles des paramètres climatiques s'expliquent par les circulations atmosphériques et les effets orographiques (Roche 1986-1988 ; Ronchail 1985-1989).

Ainsi, durant l'hiver austral, la ZITC étant située au large du Venezuela, l'influence des anticyclones remonte vers le Nord et maintient sur l'Amazonie bolivienne de hautes pressions. Hormis quelques averses convectives, c'est la saison sèche.

En été austral, la descente vers le sud de la ZITC avec une forte incursion au niveau de l'Amazonie provoque sur la Bolivie, une oscillation des masses d'air. Au nord, les masses d'air humide d'origine amazonienne, et au sud, des masses d'air plus sec, venant de l'Atlantique et sud Pacifique qui ont perdu une grande partie de leur humidité lors de leur passage sur le continent.

La déviation de masses d'air par les reliefs andins et leur blocage dans certaines "biais" du relief, explique les fortes disparités constatées dans la pluviométrie : de 6000 à 7000 mm dans les zones du Chapare ou du Haut Madre de Dios, et de 300 à 600 mm dans les zones situées derrière la barrière andine : les bassins des rios Grande et La Paz.

D'une façon générale, l'étude climatique de la Bolivie est réalisée par le tracé de cartes de précipitations, de températures et d'évaporation. Les documents dressés au 1/1000 000 concernent l'ensemble de la Bolivie et les pays voisins, selon un découpage correspondant aux huit grands bassins versants que comprend le pays :

- 4 en Amazonie : Mamoré (Garcia, 1985) ; Beni (Espinoza, 1985) ; Itenez-Guaporé (Cruz, 1987) ; Madre de Dios (Abasto, 1988).
- 2 pour le Rio de La Plata : Pilcomayo (Arellano, 1988) ; Bermejo (Frias, 1989).
- 2 pour l'Altiplano : Lago Poopo (Mariaca, 1985) ; Lago Titicaca (Lozada, 1985).

Des études à plus petites échelles ont été menées sur des bassins versants des Andes boliviennes (Herbas, 1987).

Du point de vue de la pluviométrie, une carte de précipitations au 1/4000 000 pour l'ensemble de la Bolivie, harmonisée avec les données des pays limitrophes et notamment le Brésil a été tracée.

L'hétérogénéité la plus forte est observée sur le bassin du Mamoré où les précipitations varient de 500 mm (amont du rio Grande) à 6000 mm (bassins andins du

Chapare). Dans la plaine, la pluviométrie décroît du Nord au Sud avec des moyennes de 1800 mm sur les bassins du Mamoré et du Beni, et plus de 2000 mm sur celui du Madre de Dios.

Sur la période 1968/70 - 82, les précipitations moyennes sur les grands bassins amazoniens de Bolivie sont :

Mamoré	: 1700 mm
Itenez	: 1370 mm
Beni	: 1760 mm
Madre de Dios	: 2400 mm.

La totalité du bassin, qui forme le rio Madeira, a reçu une hauteur de pluie moyenne de 1700 mm.

Régimes hydrologiques

Le PHICAB étant de création récente, la plupart des stations hydrométriques implantées en Amazonie bolivienne ne sont observées que depuis 1983, avec, dans certains cas, des lacunes importantes. Les plus anciennes stations, situées à la sortie des Andes, bénéficient de périodes plus longues : 10 ans pour Abapo et 20 ans pour Angosto del Bala.

Le régime des écoulements, conséquence de la saison des pluies sur le versant andin, met en évidence deux époques : en tête de bassin, la saison sèche de Mai à Septembre et la saison de hautes eaux, de octobre à avril dans les Andes, qui se décale dans le temps au fur et à mesure de la descente vers le Madeira, de façon différentielle selon la morphologie du lit du rio. Ainsi, sur le Beni à Cachuela Esperanza, les hautes eaux s'étalent de décembre à mai. Sur le Mamoré à Guayamerin, plus long et de pente plus faible, elle dure de janvier à juin avec un maximum en avril (Bourges et al., 1988). Ce déphasage entre les deux grands tributaires du Madeira permet de mieux étaler la crue et de réduire l'amplitude du maximum à l'aval.

En fait, le retard de l'onde de crue issue du Mamoré est dû en grande partie, comme en atteste la forme arrondie et lisse de l'hydrogramme à Guayamerin, à l'effet tampon des zones d'inondations échelonnées le long de son lit en amont de Puerto Siles ainsi qu'à l'apport modérateur des affluents de plaine. L'hydrogramme, très découpé à Puerto Villarroel, se lisse progressivement le long du parcours jusqu'à former une onde unique.

Au cours de la période observée (1983-1987), les variations interannuelles des modules (débit moyen annuel) sont relativement faibles : sur les rios d'origine andine, les écarts par rapport au module moyen sont de l'ordre de 10% sur le Beni et 15 % sur le Mamoré. Ils sont beaucoup plus forts sur les bassins de plaine où ils peuvent atteindre 25 % (Orthon, Itenez).

Les débits spécifiques ont fait l'objet d'une première évaluation pour l'ensemble des grands bassins du haut rio Madeira sur la période 1968-70 - 1982 (Roche et al., 1986, 1988). Sur la période 1983-1987, les valeurs moyennes annuelles de ces débits varient sensiblement d'une zone à l'autre du bassin, en général en fonction de la pluviométrie. L'hydraulicité la plus forte est observée dans la zone du Chaparé où prennent naissance les rios Ichilo, Chimoré, Chapare et Isoboro. Les débits spécifiques avoisinent 60 à 70 l s⁻¹ km⁻² sur le Mapiri et le Kaka) et le haut Madre de Dios (42 l

$\text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ à sa confluence mais probablement plus de $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ en tête de bassin).

Ces débits diminuent lorsqu'on s'éloigne de la Cordillère : dans la plaine du Beni et le long du Mamoré il n'est plus que de $15 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ et sur l'Itenez il ne dépasse pas $7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Le cas particulier du haut du rio Grande ($5,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) s'explique par des conditions orographiques particulières.

Les crues, violentes et rapides à la sortie des Andes, ont tendance à s'intégrer lors de leur parcours dans la plaine. Outre des raisons d'hydraulique, ce phénomène est accentué dans le cas du Mamoré, comme souligné précédemment, par la configuration du lit et en particulier par le remplissage et la vidange des zones d'inondations.

Les plus fortes crues mesurées en cinq ans ont été observées dans le Chapare sur l'Ichilo avec un débit spécifique de $300 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Dans le bassin du Beni, la crue maximale, sur une période plus longue, mesurée au débouché du rio dans la plaine présente un débit spécifique de $250 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, pour une superficie de bassin de 67000 km^2 . Au niveau de bassins plus étendus, on relève $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ en cinq ans sur le Madre de Dios. Dans le cours moyen du Mamoré et sur l'Orthon ce débit varie de 30 à $50 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ alors qu'il ne dépasse pas $20 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ sur l'Itenez-Guaporé.

Au niveau de leur confluence, les caractéristiques des débits charriés par le Beni et le Mamoré sont assez proches, bien que les superficies de bassin versant soient très différentes.

Les valeurs de récurrence centennale des débits moyens annuels, calculés sur l'année calendaire, sont les suivantes (Bourges et al., 1987) :

Modules annuels de récurrence 100 ans (m^3/s)

	BENI	MAMORE
Année sèche	4.500	5.500
Année humide	12.500	11.400

Au niveau des débits maximums, la configuration différente du bassin du Beni se traduit par des valeurs plus élevées :

Débit maximums instantanés de fréquence donnée (m³/s)

	BENI	MAMORE
Fréquence décennale	26.000	20.000
Fréquence centennale	33.000	23.500

En étiage sévère les débits peuvent descendre, dans les deux cas, au dessous de 1000 m³/s.

Bilans hydriques

Les bilans hydriques ont été l'objet d'une première évaluation pour les bassins du rio Mamoré (Garcia, 1985), du rio Beni (Espinoza, 1985), du rio Itenez-Guaporé (Cruz, 1987), du rio Madre de Dios (Abasto, 1988) et de différents rios (Roche et al., 1986). Une première synthèse des pluies, des débits et de l'évapotranspiration de l'ensemble du haut bassin du rio Madeira, a été réalisée pour la période 1968/70 - 1982 (Roche et al., 1986, 1988). Selon leur situation dans les Andes ou dans la plaine et les disponibilités en eaux, l'évapotranspiration réelle est évaluée entre 600 et 1350 mm pour des lames précipitées comprises entre 750 et 3000 mm.

Les coefficients de ruissellement des rios andins décroissent du Nord au Sud, de plus de 50 % pour le Madre de Dios à 42 % sur le Mamoré. A la sortie des Andes, ces coefficients sont de l'ordre de 60 % (Beni et Chapare) à l'exception du rio Grande qui est d'environ 20 %.

Dans la plaine, la végétation et l'absence de relief, induisent des coefficients d'écoulements de 22 % sur l'Orthon à 15 % sur l'Itenez-Guaporé.

A l'exutoire du bassin, quand se forme le Madeira ce coefficient est de 38 %.

Matières en suspension et en solution.

Erosion-Sédimentation

La variation saisonnière des concentrations de matières en suspension montre une forte influence du régime hydrologique. Aux périodes de hautes eaux correspondent les teneurs maxima, l'essentiel de l'exportation de sédiments va donc se produire lors de la saison de hautes eaux (Guyot, Bourges et al., 1988 - Guyot, Bourges et al., 1989). Pour chaque bassin les concentrations maxima en matières en suspension (MES) sont observées à la sortie des Andes : 1100 mg/l à Angosto del Bala et 7500 mg/l à Abapo (Tableau 2). Ensuite, ces concentrations diminuent sous l'effet de dilution dues aux apports des fleuves de plaine.

Malgré des apports hydriques différents, les flux de sédiments mesurés à la sortie des Andes sur les rios Alto-Béni et grande sont du même ordre de grandeur, compte tenu des différences de concentrations.

Dans le cas du rio Beni, le volume de sédiments exportés à Cachuela Esperanza est voisin de celui observé à Angosto del Bala. Seulement 20 % des matières en suspension semblent se déposer depuis le piedmont des Andes (Angosto del Bala) jusqu'au confluent du rio Madre de Dios (Portachuelo) situé 600 kms à l'aval, en plaine amazonienne (Guyot, Bourges et al., 1988).

Dans le cas du rio Mamoré, plus de 50 % des sédiments issus des Andes, essentiellement par le rio Grande, n'arrivent pas à la station de Puerto Siles (Guyot, Bourges et al., 1989). Cette différence de comportement observée entre les rios Beni et Mamoré est vraisemblablement liée à l'extension des zones inondées. Pour la période 1983-1987, l'apport de matières en suspension au rio Madeira a été estimée à $213 \cdot 10^6$ t an⁻¹, soit un taux d'érosion mécanique de $240 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$.

La variation saisonnière des teneurs en matière dissoute, montre une légère influence du régime hydrologique. Aux périodes de basses eaux, correspondent les concentrations maxima (Roche et al., 1986, 1988). Mais la faible amplitude de ces variations en regard des variations saisonnières du débit, fera que l'essentiel de l'exportation de matières dissoutes aura lieu en période de hautes eaux (Guyot, Roche et al., 1988).

L'ensemble des cours d'eau présente des minéralisations inférieures à 500 mg/l et le même phénomène de dilution des Andes vers la plaine amazonienne est observé. Toutefois, les flux de matière dissoute augmentent de l'amont vers l'aval, traduisant un apport en solutions de la plaine amazonienne. Pour la période 1983-1987, l'apport de matières dissoutes (ions et silice dissoutes) au rio Madeira a été estimé à $41 \cdot 10^6$ t an⁻¹, soit 5 fois moins que de matières en suspension, et qui représente un taux d'érosion chimique global de $47 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$.

Formation

L'élaboration de résultats scientifiques n'est pas le seul objectif du programme. L'aspect formation revêt une grande importance puisqu'il permet d'assurer une continuité à l'échéance du projet. Cette formation s'exerce à plusieurs niveaux :

- au niveau technique par l'enseignement et la pratique de méthodologies de terrain ;
- au niveau du traitement des données par la formation à la pratique de logiciels spécifiques ;
- au niveau des études par la création d'équipes de travail binationales ;
- au niveau de la formation universitaire par l'encadrement de jeunes étudiants de l'IHH qui préparent leur thèse post-grade dans le cadre du PHICAB ;
- au niveau de la spécialisation par l'envoi en formation spécialisée en France de jeunes ingénieurs.

CONCLUSION

Ces résultats, bien que difficilement comparables par suite de l'hétérogénéité des périodes d'observations (1968-1982 pour la climatologie, 1983-1987 pour les autres paramètres), fournissent une première estimation des régimes climatiques et hydrologiques ainsi que des bilans hydriques et de matières, depuis le piedmont des Andes, jusqu'à la frontière brésilienne en plaine Amazonienne. Cette information sera complétée par la

mise à jour jusqu'en 1990 des données provenant du réseau PHICAB, ainsi que par l'utilisation critique de données anciennes émanant d'autres institutions (AASANA, ENDE, SENAMHI).

L'ensemble des résultats ainsi obtenus, devrait permettre à terme, de mieux comprendre les phénomènes climatiques et hydrologiques dans les Andes et la plaine amazonienne de Bolivie. Enfin, les bilans de matières permettront d'apprécier la vitesse de l'érosion actuelle de la chaîne andine, puis d'évaluer les taux de sédimentation en plaine amazonienne.

Resultados

Resultados (1983-1987)

Estação	Rio	Alt (m)	Área dr. (10 ³ km ²)	Chuva ^(*) (mm)	Descarga		Mineralização		Sedimentos	
					(m ³ /s)	(10 ⁹ m ³ /yr)	(mg/l)	(10 ⁶ t/yr)	(mg/l)	(10 ⁶ t/yr)
Angosto del Bala	Alto Beni	280	67	1.720	2.200	69	100	6,9	1.140	150
Portachuelo	Beni	140	119	1.750	3.000	95	92	8,4	890	120
Miraflores	Madre de Dios	140	124	2.380	5.250	166	72	11	310	61
Caracoles	Orthon	130	32	2.000	480	15	66	0,9	130	1,8
Cachuela Esperanza	Beni	125	282	2.060	9.300	293	76	22	360	150
Abapo	Grande	450	59	750	330	10	400	2,5	7.500	110
Puerto Villarroel	Ichilo	170	7,6	3.000	560	18	54	1,0	220	5,1
Puerto Almacen	Ibare	150	5,3	1.850	(140)	(4)	84	(0,4)	78	(0,3)
Puerto Ganadero	Mamoré	150	159	1.480	3.540	112	100	10	460	61
Puerto Siles	Mamoré	130	216	1.700	5.660	178	110	16	260	53
Campamento More	Itenez	130	340	1.370	2.240	71	47	2,7	30	1,3
Guayaramerin	Mamoré	125	590	1.520	8.950	282	79	19	220	63
Confluência	Madeira	120	872	1.700	18.250	575	--	41	--	213

(*) Dados de pluviometria correspondente ao período 1968-1982

A bacia amazônica da Bolívia corresponde à alta bacia do Rio Madeira, um dos maiores rios do mundo, que drena uma superfície de 850.000 km², 24% dos quais situados nos Andes.

O conjunto desta bacia recebe precipitações que vão de 350 a 7.000 mm/ano.

A descarga média do Rio Madeira é de 18.000 m³/s sendo 51% provenientes do rio Beni e 49% do rio Mamoré. A contribuição dos Andes representa 25% deste volume.

O rio Madeira recebe um fluxo de matérias dissolvidas de 41.10⁶ toneladas/ano e 210.10⁶ toneladas de matérias em suspensão, sendo 70% provenientes do rio Beni. A totalidade dos sedimentos e o essencial da mineralização provêm dos Andes.

3) Grand Programme HYDRA

Six opérations seulement ressortent de ce grand programme, dont on a déjà souligné la place secondaire au sein de l'Unité de Recherches.

Une valorisation de ce programme de gestion et d'assistance aux réseaux hydrométriques, sans autre motivation que celle de suppléer à des services techniques inexistants, supposerait que cette mission soit affichée comme un objectif de coopération fondamentale et que HYDRA regroupe l'ensemble des actions de ce type - et en particulier celles qui se rapportent aux réseaux modernes de télétransmission - avec l'appui des énergies du Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier.

Hors de ce schéma, HYDRA continuera d'être un programme marginal de l'UR 2A. Ceci ne signifie pas, bien au contraire, que l'UR ne soit pas attachée à la collecte directe des données et aux mesures hydrométriques qui les accompagnent, mais dès lors qu'il y a valorisation de ce type de travail par la programmation de recherches scientifiques bien définies, nous avons convenu de rattacher ces actions à la phase travaux de terrains d'opérations EQUERRE.

Qu'il soit clair également qu'en matière de mesures hydrométriques l'UR 2A réalise à elle seule la majeure partie des travaux du Département Eaux Continentales.

Les activités des hydrologues de la Guadeloupe liées aux programmes de l'UR2A s'inscrivent dans le cadre :

- de la gestion du réseau hydropluviométrique
- de l'étude du transport solide du Bras David

Elles sont dirigées par Marc MORELL, en adhésion secondaire à l'UR 2A.

GESTION DU RÉSEAU HYDROPLUVIOMÉTRIQUE DE LA GUADELOUPE

La dernière convention de gestion du réseau hydropluviométrique de la Guadeloupe passée entre l'ORSTOM et le Conseil Général assisté de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt portait sur les années 1988 et 1989.

Cet accord a permis de poursuivre en 1989 l'observation de 18 stations limnigraphiques en Basse-Terre, de 4 stations limnigraphiques en Grande-Terre et de plus de 30 pluviographes répartis sur les deux îles.

Les études, dont la liste des rapports est donnée plus loin, ont été réalisées sur la base des données acquises sur le réseau.

La banque hydrométrique informatisée a été actualisée et donnera lieu à la publication au début de l'année 1990 d'un rapport de synthèse. 10 stations limnigraphes sont en cours d'automatisation (PH18). La signature de la convention de gestion 1990 permettra de parfaire l'automatisation du réseau.

Dès à présent, l'ORSTOM peut s'engager à remettre le réseau à la fin de l'année 1990. Il est prévu de mettre à la disposition de la structure départementale, qui devrait prendre la relève en 1991, certains de nos techniciens.

Transport solide du Bras David

Dans le cadre d'une étude confiée à l'ORSTOM, dont le texte de convention est actuellement à la signature du Conseil Général, François DUGAS a réalisé au cours de l'année 1989 deux missions de deux mois en Guadeloupe (avril-mai et septembre-octobre).

Cette étude porte sur le transport solide du Bras David et le risque de comblement de la retenue qui doit être aménagée sur ce cours d'eau. Une analyse granulométrique a été réalisée sur de nombreux prélèvements des profils du bief ont été effectués. Un rapport relatif à la première mission a été rédigé. La question de la poursuite de cette étude est posée avec le décès de F. DUGAS en décembre 1989.

RÉSEAU HYDROMETRIQUE-FICHIERS, SYNTHÈSE RÉGIONALE

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

La gestion du réseau hydrométrique de la Martinique avait été confiée à l'ORSTOM car il était apparu souhaitable qu'un seul organisme soit chargé de l'exploitation et de la diffusion de l'ensemble des résultats obtenus.

Il n'entre pas dans les fonctions de base de l'Institut d'entretenir et de suivre un réseau hydrologique départemental mais faute de structure appropriée susceptible de prendre la relève, l'ORSTOM continue à faire le nécessaire au mieux de ses possibilités.

La densité d'ensemble du réseau est plutôt satisfaisante et son implantation est représentative des principaux bassins.

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.

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. C'est aussi la première phase d'une recherche: la synthèse régionale des ressources en eau de surface d'un ensemble îlien volcanique de petite taille.

Le traitement et l'analyse de l'ensemble des données antérieures à 1972 avait permis l'élaboration d'une première synthèse. Les résultats dégagés et les lacunes qui subsistent dans la connaissance du régime des eaux ont légitimé la mise en place d'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 certaines conclusions dont l'aspect provisoire avait été signalé. La prise en compte des 15 années d'observations pluviographiques dans le sud de l'île aurait dû permettre d'infirmer 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 justifier une révision de l'analyse des crues et des modules aux principales stations hydrométriques.

Faute d'informations sur le sujet on peut s'interroger sur la réelle production de l'équipe

de Fort de France (qui vient seulement fin 1989 de rallier l'UR 2A) vous réserve d'inventaire, on ne peut s'empêcher de manquer d'optimisme sur les développements scientifiques des programmes. Quoi qu'il en soit, la reprise du réseau par le DDA (SRAE) impliquera de revoir l'engagement de l'UR dans ce département.

RÉSEAU HYDROMÉTRIQUE DE GUYANE

R. GOUYET est responsable de ce programme qui doit, à terme, aboutir à une remise de réseau de la DAF. Les renseignements obtenus se limitent à la préparation de conventions d'étude qui seront gérées par le GIE dès 1990. R. GOUYET indique succinctement dans le compte-rendu ci-après les activités de ce programme :

Les crédits de l'UR 2A en 1989 ont permis l'achat d'un ensemble informatique complémentaire.

Une (subvention réseau) du département a permis d'acheter du matériel hydrologique de base de remplacement.

Des ressources extérieures du programme ont progressé. Les différentes administrations techniques locales (DAF, DDE, EDF, etc...) ont proposé différentes études.

L'étude des ressources en eau pour l'alimentation des populations côtières se poursuit normalement. Les services techniques me consultent fréquemment ces derniers temps, car il est urgent d'engager la construction d'un nouvel ensemble pour alimenter l'île de CAYENNE (coût prévu : 90 000 000 F) et les seules mesures dont on dispose sont une série que j'ai réalisée en novembre 1988, la saison sèche 1989 ayant été inexistante.

Les relations se poursuivent dans de bonnes conditions avec EDF pour la mise au point d'une convention pour le suivi du SINNAMARY en amont du barrage de PETIT SAUT. Il est prévu l'installation de quatre PH18, cinq pluviographes et une station de réception. Ceci suppose toutefois la possession par l'ORSTOM d'un minimum de matériel (Zodiac, émetteurs-récepteurs).

Sous maîtrise d'oeuvre de la DAF, deux petites conventions semi-alimentaires augmenteront la banque de données (Savane MATITI, alimentation en eau de SINNAMARY).

Une lettre de commande récente du CIRAD-CTFT pour l'installation de deux limnigraphes PH18 sur les bassins versants ECEREX permettraient le retour de l'Hydrologie ORSTOM dans cette opération, d'où il est incompréhensible qu'elle soit sortie, ce qui a entraîné une baisse considérable de la qualité des données recueillies, bien mise en évidence par Hatem CHAHED, élève de l'ENGREF.

Au titre des régions défavorisées de l'Europe, une demande de crédits a été adressée à la CEE, par le biais d'A. OTHILY (DRIR CAYENNE), visant à rénover le réseau par l'installation de vingt PH18 et d'une centrale de réception. Les crédits demandés sont assez importants (3 900 000 F sur cinq ans). Cette opération s'intégrerait au Plan de Développement Régional.

Des propositions ont été à la Mairie de CAYENNE pour l'installation d'un réseau de mesures et la création d'une banque de données sur les inondations, en prévision de

l'assainissement de la zone.

Il est probable aussi qu'une étude de simulation de pollution sur le moyen SINNAMARY (région d'ADIEU-VAT) soit demandée par le BRGM, dans le cadre de la remise ne service d'une mine d'or, avant submersion par le lac du barrage de PETIT-SAUT.

Le transfert de l'Hydrologie, à la DAF dans le cadre d'un SRAE fait l'objet de conversations qui n'en sont encore qu'au stade préparatoire. La multiplication des conventions et les crédits non négligeables qu'elle permet de drainer, incite à la prudence.

PROJET FAC "GESTION DES RESSOURCES EN EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES".

Au début de l'année 1989, la Direction de l'Hydraulique du Bénin et l'ORSTOM ont signé une nouvelle convention d'une durée de 27 mois pour l'exécution de la troisième et dernière tranche de ce projet.

Dans le cadre de ce projet, début avril, R. GUALDE a accompagné en stage de spécialisation à l'ORSTOM Montpellier et à CEIS/ESPACE Toulouse les deux techniciens supérieurs prévus pour l'exploitation de la station de réception ARGOS, de la banque de données et du suivi du réseau hydrométrique.

Au retour du stage, un complément de matériel informatique plus performant, pour améliorer l'exploitation des données, a été acheté. Actuellement, la station de réception ARGOS et la banque de données possèdent l'équipement nécessaire pour travailler dans les meilleures conditions.

Sur le réseau, ont été installés deux limnigraphes OTT X sur deux stations limnimétriques anciennes : le Magou à Thiélé, l'Agdabo à Savalou avec les plates-formes devant recevoir les Chloé avec balises.

Normalement, on aurait dû installer cette année les cinq Chloé + ARGOS commandées courant avril 1989 et toujours pas reçues à la fin décembre 1989. Ces appareils devraient être installés aux stations suivantes :

- ADJIRO à BANOU
- BEFFA à VOSSA
- IRANEE à KOUTAKROUKROU
- SOTA à KOUBERI
- ALPOURO à BORI

Les installations terminées, le réseau hydrométrique devrait se composer de :

- 14 Chloé + ARGOS
- 2 limnigraphes SEBA + ARGOS
- 6 limnigraphes OTTX + ARGOS
- 9 limnigraphes OTTX + R12
- 1 station limnimétrique.

En projet et offert par un bureau d'études, une chloé + ARGOS pourrait être installée sur le site du futur barrage de Kétou sur l'OUEME.

L'expérience d'automatisation menée sur le réseau hydrométrique paraît concluante et en particulier le fonctionnement des sondes Chloé C. En deux ans, une seule panne de carte logique Chloé au moment de l'installation. Jusqu'à présent, les erreurs de cotes enregistrées ne dépassent pas les 4 cm, malgré des variations enregistrées de près de 12 mètres.

Actuellement, le service hydrologie, composé de deux ingénieurs et trois techniciens supérieurs repose principalement sur :

- Monsieur ALE, Ingénieur, Chef du Service Hydrologique,
- Monsieur DESSOUASSI : Informatique et Réseau,

- Monsieur GOHONGOSSOU : Réseau.

Monsieur MOUGINOT, Ingénieur et Conseiller du FAC à la Direction de l'Hydraulique pour ce projet, a démissionné à la fin novembre 1989 ; il devrait normalement être remplacé au courant du 1er semestre 1990 par un autre conseiller du FAC actuellement en poste à la Direction de l'Hydraulique de Bamako M. OSTERE, ayant une grande expérience en hydrologie. Il devrait venir en mission à COTONOU, au courant du 1er trimestre 1990, pour s'informer sur les différents problèmes avant le départ du Bénin de R. GUALDE.

GESTION ET RATIONALISATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE TOGOLAIS**PRESENTATION DU PROGRAMME**

En 1972, l'ORSTOM s'est engagé par convention à gérer une partie du réseau hydrométrique togolais. Cette convention prévoyait la reprise en charge progressive des stations de l'ORSTOM par la Direction de l'Hydraulique togolaise qui n'a pu 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. L'ORSTOM a dénoncé la convention en 1988 sans grande réaction du côté togolais.

DESCRIPTION DES TRAVAUX ET COLLABORATIONS

Le projet est devenu à ce point marginal dans les activités de l'équipe ORSTOM qu'aucun rapport d'activité n'a été fourni en 1989.

Pour les années précédentes on peut rappeler que:

- 1°) On a réduit la fréquence des tournées sur le réseau à une tous les deux mois.
- 2°) La saisie des données limnimétriques du Togo avec HYDROM est pratiquement à jour.
- 3°) 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 été présenté au FAC et au Chef de la Division d'Hydrologie. Un projet chiffré a été préparé pour la demande de financement au FAC.
- 4°) 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 dernières données.

MOYENS EN PERSONNEL

BADER, chercheur (hors UR2A)
BOREL, technicien

RESEAU HYDROMETRIQUE DU CONGO

En assistance complémentaire à la subvention congolaise destinée à la maintenance du Réseau hydrométrique, l'UR 2A participe à ce programme dont la reprise totale par le CONGO avait été envisagée. En 1989, ce réseau connaît un souffle nouveau avec le financement de stations automatiques de télétransmission dans le système METEOSAT CONVENTION Min Coop.).

Responsable: Bienvenu MAZIEZOULA

Co-responsable: Jacques COLOMBANI

PRESENTATION DU PROGRAMME

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

Installation de plates formes automatiques, mise en place d'une station de réception à Brazzaville.

MOYENS EN PERSONNEL

MAZIEZOULA {
BAMBA { Chercheurs associés
MOUKOLO {

BOUCHEZ J. Techniciens
BERTHELOT M.

CONCLUSION

Le Programme METEOSAT devrait assurer une dynamisation des actions de réseau et, en dépassant le seul cadre du Congo (RCA et Zaïre), intéresse au plus haut point le Programme PIRAT/GBF.

4) Projets, orientations et conclusions

Dans le vaste ensemble qui précède, on a vu que plusieurs grosses opérations en étaient seulement à leur phase initiale; elles devraient se poursuivre sur deux, trois années ou même davantage et occuperont encore une partie non négligeable de nos énergies. D'autres opérations sont pratiquement terminées; les chercheurs et ingénieurs qui s'y consacraient vont être disponibles, mais l'intérêt de recherches suppose un certain renouvellement des sujets ou au moins un approfondissement de la réflexion scientifique. C'est cependant sur la base de cette disponibilité que l'on peut espérer développer de nouveaux programmes et en particulier ceux qui traitent de régionalisation des paramètres hydrologiques.

-Parmi les projets qui pourraient orienter le futur de l'Unité de Recherche, Les études de Régionalisation, de Synthèse hydrologique globale du Continent Africain apparaissent comme un pôle d'intervention pertinent susceptible de redonner à l'ORSTOM chez nos partenaires internationaux une place de premier plan incontestée dans le domaine. Dans cette mouvance, des conventions comme "Water Assessments" avec la Banque Mondiale supposent une implication de l'UR 2A.

Ce type de projets, l'édition des synthèses en cours justifient une participation financière significative du Ministère de la Coopération, sans qu'il soit besoin de remonter à des requêtes individuelles des Etats, l'intérêt de telles publications n'échappant pas aux bailleurs de fonds.

-L'Opération Grands Bassins Fluviaux de PIRAT doit se poursuivre. L'opération a recueilli les encouragements du Conseil Scientifique PIRAT réuni en février 1990: ..."Le projet est bien mené et bien présenté. Il devrait cependant tenir compte du paramètre "matière organique dissoute". Ce projet ne doit pas avoir à pâtir de son effort de regroupement sur le plan du financement qui est proposé au niveau de la demande (540 KF) [400 KF accordé pour 1990]. Cela doit permettre la continuation de l'acquisition de données sur le Congo (sous couvert forestier et savane) et d'ouvrir un observatoire Brésil". Il a été souligné "l'importance de la réflexion méthodologique du fait du regroupement" ..."M. MELFI signale que le CENA brésilien est intéressé par ce travail en Amazonie". "La bonne marche" de l'opération et la position du Conseil Scientifique de PIRAT apportent donc une caution au démarrage d'actions au Brésil.

Ces actions ont été présentées au DNAEE de Brasilia dans un document traduit par G. HIEZ et ont recueilli l'accord du DNAEE. Les interventions de J.C. LEPRUN et P. SECHET ont oeuvré globalement pour un accueil favorable de nos propositions. Avec dans le courant de 1990, la stabilisation politique consécutive aux élections, le projet va donc pouvoir démarrer (avec l'affectation au Brésil début 1991 de J.L. GUYOT).

Mais d'ores et déjà, la présence

-de M. MOLINIER à Brasilia projette le développement des actions de l'UR 2A sur le Bassin de l'Amazone avec une participation DNAE/ORSTOM au programme "BILAN HYDRIQUE de l'AMAZONE" résultant des décisions prises par les 8 pays du Traité de Coopération Amazonienne. Ce bilan serait établi en suivant les normes UNESCO prévoyant le calcul des trois termes du bilan hydrologique de surface, Pluies, Débits, Evapotranspiration réelle.

-Dans le cadre de l'Observatoire du Sahara et du Sahel nous projetons d'intervenir sur un projet de contrôle des Apports hydriques au Sahel (quantité et qualité) par les grands fleuves d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale. Il s'agirait de créer des observatoires sur le Bassin Supérieur du Niger (le Sénégal est déjà suivi dans le projet EQUENSEN) pour l'Afrique de l'Ouest sur le Bassin du Chari-Logone pour l'Afrique Centrale avec le débouché sahelien dans le Delta intérieur pour le Niger, dans le Lac Tchad pour le Chari.

Dès 1990, sur le Bassin du Niger, l'UR 2A procédera à un échantillonnage suivi des eaux prélevées sur le Niger à Banankoro, sur le Bani à Douna et dans le Delta Central du Niger pour mesures des suspensions et analyses chimiques, en plus du suivi hydrologique traditionnel. A terme, le développement de ce programme pourra s'inspirer de l'opération Grands Bassins Fluviaux de PIRAT pour certaines collaborations extérieures mais il ne devrait prendre en compte qu'une part réduite des propositions faites par ailleurs par Y. TARDY.

Cet observatoire de surveillance de l'environnement devra être rapproché des études de télédétection sur le Haut-Bassin (ISPRA-CEE) et des études des halieutes sur le Delta Central (avec possibilités d'analyses par télédétection).

Côté Tchad, le projet suppose d'abord un retour de l'ORSTOM dans ce pays et les financements extérieurs nécessaires.

Avec la poursuite d'EQUENSEN au Sénégal, l'avenir immédiat de l'UR 2A se projette donc sur quatre poles géographiques principaux:

- le bassin du fleuve Zaïre (Congo)
- le bassin de l'Amazone
- le bassin du Niger
- le bassin du Sénégal

Bien qu'au niveau du DEC, les projets ne soient pas encore assez mûrs et n'aient pas impliqué l'UR 2A dans leur préparation, des perspectives d'intervention sur le Fleuve Jaune en Chine et sur le Mékong en Asie du Sud Est laissent supposer que l'Unité de Recherche des Grands Fleuves sera partie prenante de certains des aspects des programmes qui restent à définir.

-Un dernier aspect de nos projets se situe au niveau de ce que j'ai appelé "La Veille hydroclimatique" et qui ne peut impliquer la seule UR 2A.

Nous souhaitons en collaboration avec Le Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier - qui gère par ailleurs la banque de données hydrologiques alimentée par nos équipes outre-mer - retenir un certain nombre de stations hydrologiques de référence sur le continent africain, autant que possible équipées en télétransmission pour pouvoir être reçues à la station de réception de Montpellier, et traiter en "temps réel" cette information. Ce suivi permanent des situations hydrologiques, complété par des transmissions d'information par Rio Messor ou télécopie, devrait permettre d'évaluer pour l'Afrique de l'Ouest et Centrale l'évolution hydroclimatique saisonnière. Une note d'information mensuelle prendrait alors tout son intérêt.

La réalisation de ce projet suppose peu de choses,

- qu'un peu de bonne volonté chez nos correspondants outre-mer (information hebdomadaire ou décadaire) et chez les responsables de la station de réception,
- qu'un responsable en accueil de l'UR 2A se charge de la rédaction du bulletin avec régularité et sérieux.

L'ORSTOM aurait tout à gagner dans la diffusion d'une telle information ...sans compter un aspect "vitrine" complémentaire au Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier.

En conclusion, bien que l'UR soit en voie d'aboutir dans son programme de synthèses hydrologiques sur les bassins fluviaux d'Afrique de l'Ouest et Centrale, il ne semble pas que son champ d'action se rétrécisse pour autant. On peut même parler de développement de l'espace géographique étudié et d'élargissement du champ thématique.

Avec la traduction globale des modifications de l'environnement dans le suivi des grands bassins fluviaux, il est certain que si les orientations de nos travaux seront amenées à changer, le champ d'étude restera particulièrement vaste. Mais au delà de la problématique de l'UR, il faut voir avec réalisme les problèmes qui se posent sur le plan des moyens en personnel. Ceux-ci ne sont pas renouvelés, les champs d'études se situent souvent dans des pays difficiles à vivre avec peu de candidats à ces expatriations ...la mobilité des ORSTOMIENS n'est plus ce qu'elle a pu être. Il faut sans doute réinventer de nouvelles formules ...et à défaut de déplacer les fleuves du Centre de l'Afrique, développer l'automatisation et la transmission d'un maximum d'informations en ne laissant sur place que des missions techniques et en prévoyant de fréquentes missions scientifiques au départ de France... Cela suppose l'existence d'équipes solides et soudées, après l'exercice trop souvent solitaire de l'hydrologie tel qu'on l'a vu dans la dernière décennie ...et nous ramène à "l'hydrologie en question".

A Bamako, le 14 avril 1990

Jean Claude OLIVRY

BIBLIOGRAPHIE 1987 - 1990 DE L'UR 2A

- ABASTO (N.)-1987- Balance hidrico superficial de la cuenca del Rio Madre de Dios, Amazonia, Bolivia, Peru. PHICAB : CONAPHI. IHH-UMSA, ORSTOM. Tesis UMSA, La Paz, 295 p.
- ARELLANO (R.)-1988- Balance hidrico superficial de la cuenca des Rio Pilcomayo. Rio de la Plata, Bolivia. PHICAB : CONAPHI, IHH-UMSA, ORSTOM, SENAMHI. Tesis UMSA, La Paz, 101 p.
- AW (B.) -1989-Essai de Régionalisation des paramètres hydrologiques en Afrique Centrale - Mémoire DU-USTL-ORSTOM Montpellier, 16 p. + fig. et annexes.
- BENAVIDEZ (C.F.)-1988- Influencia de los cambios en el uso del suelo sobre el escurrimiento y las erosion en la cuenca del Rio Pirai. Amazonia Andina, Bolivia. PHICAB : IHH-UMSA, ORSTOM. Tesis UMSA, La Paz, 241 p.
- BOURGES (J.)-1987- Projet de Cachuela Esperanza. Etude sommaire des apports. PHICAB : ORSTOM, SENAMHI, 20 p.
- BOURGES (J.)-1988- Necesidad de una red hidrométrica para el desarrollo. Aplicacion al embalse de Cachuela Esperanza. Deuxième Symposium de la Recherche Française en Bolivie, La Paz, Avril 1988 : 90-97.
- BOURGES (J.),CARRASCO (M.) -1989- Traduction en espagnol de "Hydrom", logiciel de banques de données hydrométriques. PHICAB : ORSTOM, SENAMHI, 135 p.
- BOURGES (J.)-1989- La investigacion hydrologica en el Beni : ejemplos de aplicacion para el desarrollo de infraestructuros y prevision de crecidas. 3è Simposio de la Investigacion Francesa en Bolivia. Santa Cruz Bolivia juin 89, 15 p.
- BOURGES (J.),GUYOT (J.L.), ROCHE (M.A.) -1989- Climatologia, Hidrologia, Hidroquimica e sedimentos na bacia amazonica da Bolivia. Colloque International Amazonia na Franca produca scientifica et cultural. Belem Oct. 1989, 17 p.
- BRICQUET (J.P.)-1989- Transports en solution et suspension par le Bassin du Fleuve Congo. Bilan à Brazzaville en 1987. in 4ème Journées Hydrologiques ORSTOM de Montpellier -Sept. 1988- Colloques et Séminaires. Ed. ORSTOM Paris, pp. 131-146.
- COGELS (F.X.),GAC (J.Y.) -1988- La gestion hydrologique et la valorisation des ressources du lac de Guiers (Sénégal) par l'utilisation d'un modèle mathématique.II Colloque de limnologie Française, Aussois (mai 1988), 12 p.

- CORBIN (D.), GUYOT (J.L.), CALLE (H.), QUINTANILLA (J.) -1988- Données physico-chimiques sur les milieux aquatiques de la zone du Mamoré central, région de Trinidad, Amazonie bolivienne. PHICAB : IIQ-UMSA, ORSTOM, SENAMHI. ORSTOM Bolivie, 58 p.
- COSANDEY (C.), OLIVRY (J.C.) -1988- Matières dissoutes dans les eaux de surface (bilans, mécanismes et transferts) Bull. CNFGG - Paris, 8 p.
- CRUZ(C.) -1987- Balance hydrico superficial de la Cuenca del Rio Itenez, Amazonia, Bolivia, Brasil. PHICAB : CONAPHI, IHH-UMSA, ORSTOM, SENAMHI. Tesis UMSA, La Paz, 218 p.
- DACOSTA (H.)-1989- Précipitations et écoulements sur le bassin de la Casamance. Thèse de Doctorat de 3ème cycle en Géographie-Physique. Université Cheick Anta Diop. Dakar et ORSTOM, 278 p.
- DIOP (E.S.), BARUSSEAU (J.P.), SALL (M.), SAOS (J.L.) -1989- Modifications de l'environnement dans les estuaires et mangroves de l'Afrique de l'Ouest : influence des phénomènes naturels et impacts humains. Quaternary International Vol I. Maxwell Pergamon Mac Millan ple. Londres, 9 p.
- DIOP (E.S.),-1990- La côte ouest africaine - Du Saloum (Sénégal) à la Mellacorée (Rép. de Guinée) coll. Etudes et Thèses ORSTOM Paris, 379 p. + cartes.
- DELAUNE (M.), HARLE (J.) -1989- Granulométrie et minéralogie de suspensions solides des fleuves Congo et Oubangui. Premiers résultats. ORSTOM Bondy, 15 p.
- DUGAS (F.)-1989- Réflexions sur la mesure de la charge solide en suspension dans l'Oubangui à Bangui. in Note GBF/PIRAT no 3 pp. 29-44.
- DUGAS (F.)-1989)- Etude du transit sédimentaire par charriage dans le Rhône entre Beaucaire et Arles - ORSTOM Montpellier, 65 p.
- DUGAS (F.), DELAUNE (M.) -1989- Problèmes rencontrés en sédimentométrie sur les échantillons du Congo. in Note GBF/PIRAT no 3 pp. 60-63.
- ELHAIJ (A.)-1987- Hydrologie-Erosion BV PACA - Rapport de stage ORSTOM INPG-ENS Hydraulique Grenoble, 100 p.
- FANTHOU (T.), MARQUET (A.) -1987- Erosion des terres noires des pays de Buëch et de la Moyenne Durance - Etudes géomorphologiques des bassins de Savournon, St-Genis et Mison - Mémoire de maîtrise, Paris V, 150 p.

- FERNANDEZ JAUREGUI (C.A.), ROCHE (M.A.), ALIAGA (A.), PENA (J.)
-1987- Los recursos hidricos en Bolivia. PHICAB : CONAPHI, IHH-UMSA, ORSTOM, SENAMHI, 20 p.
- FERRY (L.)-1988- Contribution à l'étude des régimes hydrologiques de l'Ile de Tahiti. Thèse de Doctorat Sciences de la Terre. Université de Paris Sud, 330 p.
- FLOURCH (C.)-1989- Rapport de stage à l'ORSTOM Guadeloupe, Utilisation d'HYDROM, ORSTOM/ISIM -Pointe-à-Pitre, août 1989.
- FRIAS (R.)-1989- Balance hidrico superficial de la cuenca de los rios Bermejo y Grande de Tarija, Rio de la Plata, Bolivia. PHICAB : CONAPHI, IHH-UMSA, ORSTOM, SENAMHI. Tesis UMSA, La Paz, 263 p.
- GAC (J.Y.)-1988- Bibliographie des zones humides et des lacs peu profonds d'Afrique de l'Ouest. In "African Wetlands and shallow water bodies" (B. DAVIES and F. GASSE Ed.) - Travaux et Documents ORSTOM, n° 211, pp. 101-178.
- GAC (J.Y.),COGELS (F.X.), APPAY (J.L.), BOUCHEZ (J.M.), DUPRAY (J.L.), LABROUSSE (B.), ORANGE (D.) -1989- Reconnaissance géochimique sur les eaux de la lame de submersion de la vallée morte du Ferlo (Sénégal). Rapport ORSTOM, Dakar, 86 p., (proposé à Etudes et Thèses, ORSTOM).
- GAC (J.Y.),TRAVI (Y.), FONTES (J.C.), FRITZ (B.) -1987- Reconnaissance chimique et isotopique des eaux de pluie du Sénégal. Géodynamique II, 1, pp. 43-53.
- GAC (J.Y.),BOUCHEZ (J.M.), BAMBA (B.S.), CARN (M.), ORANGE (D.), DUVERT (P.) -1987- Géochimie des eaux du Fouta-Djalou. Flux dissous et particulaires en haute Gambie (Kédougou et Gouloumbou). Contribution à la Monographie de la Gambie. Rapp. ORSTOM, Centre de Dakar, 124 p.
- GAC (J.Y.),COGELS (F.X.), VINCKE (P.P.) -1987- African Wetlands land shallow water bodies "Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique" (M.J. BURGIS, J.J. SYMOENS). Part. III : l'Afrique Occidentale. Trav. et Doc. ORSTOM, Paris, n°211, pp. 155-230.
- GAC (J.Y.)-1987- Le lac Retba (Sénégal). in Part III of "African wetlands and shallow water bodies" Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique" (M.J. BURGIS, J.J. SYMOENS). Trav. et Doc. ORSTOM, Paris, n°211, pp. 201-203.
- GAC (J.Y.),COGELS (F.X.), VINCKE (P.P.) -1987- Le lac de Guiers, in Part III of "African wetlands and shallow water bodies - Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique" (M.J. BURGIS, J.J. SYMOENS). Trav. et Doc. ORSTOM, Paris, n°211, pp. 204-211.

- GAC (J.Y.), APPAY (J.L.), LABROUSSE (B.) - 1990- L'intrusion des eaux océaniques dans la basse vallée du Sénégal au cours du XXème siècle. Rapport ORSTOM Dakar, 52 p. (proposé à Etudes et Thèses, ORSTOM).
- GAC (J.Y.), APPAY (J.L.), LABROUSSE (B.) -1990- L'intrusion des eaux océaniques dans la basse vallée du Sénégal au cours du XXème siècle. Projet CEE Equesen, 52 p.
- GAC (J.Y.), COGELS (F.X.), APPAY (J.L.), BOUCHEZ (J.M.), DUFREY (J.L.), LABROUSSE (B.), ORANGE (D.) -1990- Reconnaissance géochimique sur les eaux de la lame de submersion de la vallée de Ferlo (Sénégal). Projet CEE Equesen, ORSTOM, Dakar, 88 p.
- GOUZE (P.H.), FERHI (A.), FONTES (J.C.), ROCHE (M.A.) -1987- Composition isotopique (^{18}O) de la matière organique des tourbières actuelles et holocènes en Bolivie. Résultats préliminaires et perspectives d'application en paléoclimatologie. Séminaire "Paléolacs-Paléoclimats", ORSTOM, Bondy, 29-30. Géodynamique 2(2) : 113-116.
- GUYOT (J.L.), BOURGES (J.), HOORELBECKE (R.), ROCHE (M.A.), CALLE (H.), CORTES (J.) (in press). Transports of suspended sediments to the Amazon by an andine river : The Mamore river -Bolivia. IRTCES International Symposium on River Sedimentation, Pekin, November 1989.
- GUYOT (J.L.), BOURGES (J.), HOORELBECKE (R.), ROCHE (M.A.), CALLE (H.), CORTES (J.), BARRAGAN (M.) -1988- Exportation de matière en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Rio Beni, Bolivie. IAHS Symposium on Sediment Budgets, Porto Alegre, December 1988. IAHS Publ. 174 : 443-451.
- GUYOT (J.L.), CALLE (H.), CORTES (J.), BARRAGAN (C.) -1988- Aportaciones por el rio Beni a los sitios potenciales de presas. Deuxième Symposium de la Recherche Française en Bolivie, La Paz, Avril 1988 : 107-113.
- GUYOT (J.L.), CALLE (H.), QUINTANILLA (J.), CALLICONDE (M.) - 1987- Resultados de una campana de muestreo en periodo de aguas bajas en la Amazonia Boliviana. Rev. Bol. Quimica, 7(1) : 36-50.
- GUYOT (J.L.), HERAIL (G.) -1989- Mining operations and modification of the physical-chemical nature of the waters of the Rio Kaka drainage basin (Andes, Bolivia). Sediment and the environment, IAHS Third Scientific Assembly, Baltimore, May 1989. IAHS Publ. 184 : 115-121.
- GUYOT (J.L.), ROCHE (M.A.), BOURGES (J.) -1988- Etude de la physico-chimie et des suspensions des cours d'eau de l'Amazonie bolivienne : l'exemple du Rio Beni. Journées hydrologiques de

l'ORSTOM, Montpellier, Septembre 1988.

- GUYOT (J.L.), ROCHE (M.A.), NORIEGA (L.), CALLE (H.), QUINTANILLA (J.) (in press). Salinities and sediment loads on the bolivian highlands. Jour. of Hydrology.
- GUYOT (J.L.), ROCHE (M.A.), QUINTANILLA (J.), CALLICONDE (M.), NORIEGA (L.), CALLE (H.), CORTES (J.) -1989- Cargas en suspension, salinidades y transportes de materia sobre el Altiplano Boliviano. PHICAB : IIQ-UMSA, ORSTOM, SENAMHI, 20 p.
- GUYOT (J.L.), BOURGES (J.), ROCHE (M.A.) -1989- Transporte de Sedimentos y materias disueltas en la cuenca amazonica de Bolivia. 3è Simposis de la Investigacion Francesca en Bolivia - Santa Cruz. Juin 1989, 8 p.
- HUMBEL (H.X.)-1989- Qualité et Dynamique des eaux fluviales de Guyane Française. ORSTOM, Cayenne, 35 p.
- MAHE (G.)-1988- La variabilité des apports fluviaux au Golfe de Guinée utilisés comme indice climatique - Séminaire "Pêche et Climat", décembre 1988, ORSTOM, Dakar, 24 p.
- MAHE (G.), OLIVRY (J.C.), LERIQUE (J.) - La variabilité de régime des tributaires du Golfe de Guinée: indice de crises ou de changements climatiques? in "géodynamique de l'Hydrosphère Continentale", ORSTOM, Montpellier, pp. 115-120.
- MALOU (R.)-1989- Etude hydrologique de l'aquifère superficiel de la vallée de Baïla (Basse Casamance), Bilan hydrique 1987-1988. Mémoire DEA géologie Appliquée. Université Cheick Anta Diop Dakar, ORSTOM, 60 p. et annexes.
- MALOU (R.), MUDRY (J.), SAOS (J.L.) -1990- Recharge de l'aquifère superficiel de la vallée de Baïla (Basse Casamance - Sénégal) in Actes journées Scientifiques de Ouagadougou Mars 1990. Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride.
- MOBECHE (J.P.), ADELE (G.), JUBENOT (A.) -1988- Débits d'étiage des cours d'eau de Martinique pendant le carême 1987 - ORSTOM, Fort de France, 47 p.
- MOBECHE (J.P.), ADELE (G.), JUBENOT (A.) -1989- Débits d'étiage des cours d'eau de Martinique pendant le carême 1988 - ORSTOM, Fort de France, 48 p.
- MORELL (M.), JOUVE (D.), CALVEZ (R.) - 1989- Hydrogrammes de crue de la Petite Rivière à Goyaves à la cote 15 m. ORSTOM, Pointe-à-Pitre, janvier 1989, 15 p., 16 fig.

- MORELL (M.),-1989- Quelques aspects sur les crues et inondations en Guadeloupe. Rencontres "Ecole et Développement" des 24 et 25 octobre 1989. Etats généraux de la culture scientifique industrielle et technique. ORSTOM - CONSEIL GENERAL, Pointe-à-Pitre, octobre 1989.
- MORELL (M.),BRIZIO (M.) -1989- Etude hydrologique du bassin versant de la ravine GACHET. Campagne 1988 et recapitulatif. ORSTOM - Pointe-à-Pitre, novembre 1989.
- MOUKOLO (N.),BRICQUET (J.P.) -1990- Bilan du Régime hydrologique et des flux particuliers et dissous du fleuve CONGO et de ses affluents de rive droite (Programme PIRAT/GBF, ORSTOM-INSU). Rapport des activités scientifiques 1987, 1988, 1989, ORSTOM, Brazzaville, 17 p.
- NAAH (E.)-1989- Hydrologie du Grand Yaere du Nord Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat, Mention Sciences. Université de Yaoundé.
- OLIVRY (J.C.),-1987- Géodynamique de l'Hydrosphère continentale 1983-1987. Rapport d'activité de l'UR 107. ORSTOM, Montpellier, 127 p.
- OLIVRY (J.C.),HOORELBECK (J.) -1988- Erosion des Terres Noires de la Vallée du Buech (Alpes du sud). Bassins sur roubines de Savournon. BRGM - ORSTOM, Montpellier, 20 p.
- OLIVRY (J.C.)-1988- Géomorphologie et Dynamique des Bassins Versants élémentaires en régions méditerranéennes. Mesure et estimation des bilans d'exportation de matière solide en zones sensibles à l'érosion. Table ronde de Poitiers Dec. 1987 - Etudes Méditerranéennes Fasc.12, CIEM Poitiers.
- OLIVRY (J.C.),QUELENNEC (R.E.), HOORELBECK (J.), BUFALO (M.) - 1988- Erosion des terres noires de la Vallée du Buech (Alpes du Sud). Compte-rendu de fin d'études. 367 p. Planches couleurs. BRGM/ORSTOM, Montpellier.
- OLIVRY (J.C.),BRICQUET (J.P.), THIEBAUX (J.P.), SIGHA (N.) -1988- Transport de matière sur les grands fleuves des régions intertropicales : Les premiers résultats des mesures de flux particuliers sur le bassin du fleuve Congo. in proceedings of the Porto Alegre Symposium "Sediments Budgets" Dec. 1988. IAHS Publ. n° 174, pp. 509-521.
- OLIVRY (J.C.),BRICQUET (J.P.), THIEBAUX (J.P.) -1989- Bilan annuel et variations saisonnières des flux particuliers du Congo à Brazzaville et de l'Oubangui à Bangui. In transports de sédiments SHF Paris Nov. 1988. La Houille Blanche, n° 314, pp. 311-315.
- OLIVRY (J.C.)-1989- (avec la collaboration de J. LERIQUE, R. CALVEZ, R. GALLAIRE, R. HOORELBECKE, E. SERVAT, Y. LE

TROQUER et R. RANDON) - Hydrologie de l'archipel du Cap Vert. Etude de l'île de Sao Nicolau. Nbre pl. fotogr. n. et coul. Collection Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris, 312 p.

- OLIVRY (J.C.)-1989- Transport de matière sur le bassin du fleuve Congo. Communication à l'Assemblée générale du CNFSH/CNFGG, Paris, janvier 1989.
- OLIVRY (J.C.),NAAH (E.) -1989- Transports solides et qualité des eaux au Cameroun in 4èmes journées Hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier - Sept. 1988 - Colloques et Séminaires. Ed. ORSTOM, Paris, pp. 163-173.
- OLIVRY (J.C.)-1989- Présentation du programme de mesure de flux particuliers et dissous sur les grands bassins fluviaux équatoriaux - périalantiques (Programme PIRAT et Opération GBF) in 4ème Journées Hydrologiques ORSTOM de Montpellier. Coll. Sém. Ed. ORSTOM, Paris, pp. 129-130.
- OLIVRY (J.C.)-1989- Transports solides sur l'Oubangui in 4ème Journées Hydrologiques ORSTOM de Montpellier. Coll. Sém. Ed. ORSTOM, Paris, pp. 147-154.
- OLIVRY (J.C.),HOORELBECK (J.) -1989- Erodibilité des terres noires de la vallée de Buëch (France, Alpes du Sud) Cah. ORSTOM, série Pedol. vol. XXV no 1-2, pp. 97-112.
- Opération Grands Bassins Fluviaux - Note d'information n°1 Fév. 1988, publiée sous la direction de J.C. OLIVRY, PIRAT INSU, ORSTOM, Montpellier, 48 p.
- Opération Grands Bassins Fluviaux - Campagne Oubangui Congo (nov. 1988). Note d'information n°2, sept. 1989, publiée sous la direction de J.C. OLIVRY, PIRAT INSU, ORSTOM, Montpellier, 49 p.
- Opération Grands Bassins Fluviaux - Premiers résultats. Note d'information n°3, sept. 1989 publiée sous la direction de J.C. OLIVRY, PIRAT INSU, ORSTOM, Montpellier, 142 p.
- ORANGE (D.),BOUCHEZ (J.M.), GAC (J.Y.) -1989- Flux dissous et particuliers en Haute Gambie. Reconnaissance géochimique des eaux du Fouta Djallon (Guinée, Afrique de l'Ouest). Géodynamique (sous presse), 24 p.
- ORANGE (D.),GAC (JY.) -1989- Bilan géochimique des apports atmosphériques en domaine sahélien et soudano-guinéen d'Afrique de l'Ouest. géodynamique, 25 p. (accepté le 08/01/90, sous presse).
- ORANGE (D.),GAC (JY.) - 1987- Vers une prédiction des flux annuels exportés par le fleuve Sénégal et son exutoire de Bakel. Rapp. ORSTOM, Centre de Dakar, 24 p.

- PEYRONNET (J.)-1988- Caractérisation de l'érosion dans les Alpes du Sud (région PACA) - Mémoire de DEA, ORSTOM, USTL, 73 p. + annexes.
- Projet EQUÉSEN-1989- Environnement et Qualité des Eaux du Sénégal. Rapport Scientifique n°1 (programme CEE-ORSTOM), ORSTOM, FUL, ISRA, Univ. Dakar, 37 p.
- QUINTANILLA (J.), CALLICONDE (M.), GUYOT (J.L.), ROCHE (M.A.), NORIEGA (L.), CALLE (H.), CORTES (J.) -1989- Cargas en suspensión, salinidades y transportes de materia sobre el Altiplano Boliviano. Revista de Ingeniera Sanitaria 4(5) : 54-59.
- ROCHE (M.A.)-1987- Les bilans hydriques des Andes et de l'Amazonie, Bolivie. Séminaire sur les "Paléolacs et Paléoclimats en Amérique Latine et en Afrique", ORSTOM, Bondy, janvier 1987. Géodynamique 2(2) : 97-98.
- ROCHE (M.A.),FERNANDEZ JAUREGUI (C.) -1987- Ressources hydriques, salinités et exportations salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. PHICAB : CONAPHI, IHH-UMSA, ORSTOM, 30 p.
- ROCHE (M.A.),FERNANDEZ JAUREGUI (C.) -1988- Water Resources, Salinity and Salt Exportations of the Rivers of the Bolivian Amazon. Journal of hydrology, 101 : 305-331.
- ROCHE (M.A.)-1988- Las aplicaciones del proyecto PHICAB al desarrollo de Bolivia. Deuxième Symposium de la Recherche Française en Bolivie, La Paz, avril 1988, 77-88.
- ROCHE (M.A.)-1989- Water quality control in the humid tropics. UNESCO International Colloquium on the Development of Hydrologic and Water Management Strategies in the Humid Tropics, Townsville, Australia : 62 p.
- ROCHE (M.A.),BOURGÉS (J.), GUYOT (J.L.) -1989- Hydrology, hydrochemistry and sediment yields in the Bolivian Amazon drainage basin. Poster and extended abstract. Regional characterization of water quality, Third IAHS Scientific Assembly, Baltimore, May 1989 : 5 p.
- ROCHE (M.A.)-1989- Présentation générale des études sur la physico-chimie des eaux à l'hydrologie ORSTOM - 4e journée Hydrologique ORSTOM de Montpellier, septembre 1988, Colloques et Séminaires ORSTOM, Paris, pp. 3-9.
- ROCHE (M.A.)-1989- Investigación para la preservación y la recuperación de la calidad del agua. 4è Cong. Nac. de Ingeniera Sanitaria y ambiental. Simposio sobre la preservación del Medio ambiente . La Paz, octubre 89, 14 p.

- SAOS (J.L.),DACOSTA (H.), LE TROQUER (Y.), OLIVRY (J.C.) -1987- Le Marigot de Baila (Basse Casamance). Pluviométrie et écoulements (Résultats des campagnes 1983, 1984, 1985, 1986). ORSTOM, Dakar, 55 p.
- SAOS (J.L.),FLORY (J.), GAC (J.Y.), LE TROQUER (Y.), OLIVRY (J.C.) - 1987- Etudes hydrologiques dans la Région de Thyse Kaymor (Sine Saloum). Résultats de la campagne 1986. ORSTOM, Dakar, 72 p.
- SIRCOULON (J.),OLIVRY (J.C.) -1988- Impact des changements climatiques sur les ressources en eau de surface en Afrique de l'Ouest et Centrale. UNESCO - THE SAHEL FORUM, novembre 1988, Ouagadougou IWRA Urbana Illinois, pp. 691-701.
- SIGHA (N.),SEYLER (P.), BEDIAN (B.), NAAH (E.) -1989- Bilan Hydrochimique et fonctionnement d'un bassin forestier tropical humide : exemple du bassin de la Ngoko (Cameroun). BRGM/CRH Yaoundé, 17 p.
- THIEBAUX (J.P.)-1987- Hydrologie du bassin de la Likouala Mossaka. ORSTOM, Brazzaville, 274 p.
- THIEBAUX (J.P.)-1990- Mission Oubangui-Congo 1989. Rapport préliminaire de Mission. PIRAT INSU, ORSTOM Bangui, 27 p.
- TURQUET de BEAUREGARD (J.) -1989- Rapport pour le Prix Juvenal Dessaignes de la Société de Géographie sur l'ouvrage de J.C. OLIVRY "Fleuves et Rivières du cameroun", novembre 1988 - in Acta Geographica n°77, Paris, pp. 72-73.
- WASSON (J.G.),GUYOT (J.L.), DEJOUX (C.), ROCHE (M.A.) -1989- Regimen termico de los rios de Bolivia. PHICAB : ORSTOM, SENAMHI, UMSA, 35 p.