

LES RESSOURCES EN EAUX SUPERFICIELLES

DE LA
RÉPUBLIQUE
DU BÉNIN

Luc Le Barbé
Grégoire Alé
Bertrand Millet
Hervé Texier
Yves Borel †
René Gualde



OPSTOM
Éditions

Institut
français
de recherche
scientifique
pour le
développement
en coopération

Direction
de
l'hydraulique
du
Bénin

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
ORSTOM
INSTITUT FRANÇAIS
DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION
DÉPARTEMENT « EAUX CONTINENTALES »

RÉPUBLIQUE DU BÉNIN
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES
ET DE L'HYDRAULIQUE
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE
SERVICE DE L'HYDROLOGIE

LES RESSOURCES EN EAUX SUPERFICIELLES DE LA RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

L. LE BARBÉ
G. ALÉ
B. MILLET
H. TEXIER
Y. BOREL †
R. GUALDE

Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION
Collection MONOGRAPHIES HYDROLOGIQUES N° 11
PARIS 1993

Les auteurs

L. LE BARBÉ, chargé de recherche à l'ORSTOM ;
G. ALÉ, chef du Service de l'Hydrologie du Bénin ;
B. MILLET, chargé de recherche à l'ORSTOM ;
H. TEXIER, maître de conférence, Université de Caen ;
Y. BOREL †, ingénieur à l'ORSTOM ;
R. GUALDE, ingénieur à l'ORSTOM.

Monographies hydrologiques déjà parues

- 1 - *Le bassin du fleuve Sénégal* - C. Rochette - 141 p., 3 cartes annexes (ISBN : 2-7099-0344-X)
- 2 - *Le bassin du fleuve Chari* - B. Billon, J. Guiscafne, J. Herbaud, G. Oberlin - 450 p., 5 cartes annexes (ISBN : 2-7099-0329-6)
- 3 - *Le bassin de la rivière Sanaga* - P. Dubreuil, J. Guiscafne, J.-F. Nouvelot, J.-C. Olivry - 350 p., 4 cartes annexes (ISBN : 2-7099-0361-X)
- 4 - *Les ressources en eau de surface de la Martinique* - J. Guiscafne, J.-C. Klein, F. Moniod - 392 p., 9 cartes annexes (ISBN : 2-7099-0392-X)
- 5 - *Le bassin du fleuve Volta* - F. Moniod, B. Pouyaud, P. Séchet - 514 p., 4 cartes annexes, 6 microfiches (ISBN : 2-7099-0469-1)
- 6 - *Le bassin de la Mejerdab* - J. A. Rodier, J. Colombani, J. Claude, R. Kallel - 452 p., 7 cartes annexes, 4 microfiches (ISBN : 2-7099-0595-7)
- 7 - *Les ressources en eau de surface de la Guadeloupe* - P. Chaperon, Y. L'Hôte, G. Vuillaume - 2 t. : 834 p., 3 cartes annexes (noir et blanc), 1 carte (couleurs), 4 microfiches (ISBN : 2-7099-0761-5)
- 8 - *Monographie hydrologique du fleuve Niger* - Y. Brunet-Moret, P. Chaperon, J.-P. Lamagat, M. Molinier - 2 t. : 396 p. + 506 p., 13 cartes (ISBN : 2-7099-0790-9 et ISBN : 2-7099-0792-5)
- 9 - *Fleuves et rivières du Cameroun* - J.-C. Olivry - 736 p., 2 cartes annexes (dont 1 couleurs) (ISBN : 2-7099-0804-2)
- 10 - *Fleuves et rivières de Madagascar* - P. Chaperon, J. Danloux, L. Ferry - 874 p., 2 cartes annexes (ISBN : 2-7099-1168-X)

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Table des matières

	Page
<u>AVANT-PROPOS</u>	11
<u>INTRODUCTION</u>	13
<u>1^o partie : LE MILIEU PHYSIQUE</u>	15
<u>Ch. 1 GEOLOGIE</u>	17
I. Histoire géologique du Bénin	17
II. Les formations géologiques	18
<u>Ch. 2 PEDOLOGIE</u>	23
I. Les processus pédogénétiques	23
II. Les sols du Bénin	24
<u>Ch. 3 RELIEF ET HYDROGRAPHIE</u>	27
I. Les unités de relief	27
II. Le réseau hydrographique	28
1. Le bassin de la Pendjari	28
2. Le bassin du Niger	30
3. Les hauts bassins de la Kéran et de la Kara	34
4. Le bassin de l'Ouémé	34
5. Le bassin du Couffo	38
6. Le bassin du Mono et de la Sazue	38
<u>Ch. 4 VEGETATION</u>	41
I. La zone sèche littorale	41
II. La zone sèche continentale	42
III. La zone très sèche continentale	42

<u>2° partie : LES PRECIPITATIONS ET LES PRINCIPAUX PARAMETRES CLIMATIQUES</u>	47
<u>Ch. 1 LES MECANISMES DU CLIMAT</u>	51
I. La circulation générale de l'atmosphère	51
II. Schéma de la circulation atmosphérique sur l'Afrique de l'Ouest	56
III. Les facteurs pluviogènes	59
IV. Présentation des climats du Bénin	59
<u>Ch. 2 LES PRECIPITATIONS</u>	63
I. Les données disponibles	63
II. Description d'une année moyenne	63
1. La pluviométrie annuelle	63
2. Répartition moyenne mensuelle des pluies	66
III. Les variations inter annuelles	73
1. Les totaux annuels	73
2. La répartition spatio-temporelle	73
3. Description de quatre années exceptionnelles	78
4. Conclusions sur les variations inter annuelles des précipitations	83
IV. Etude fréquentielle des précipitations	83
1. Les méthodes employées	83
2. Etude fréquentielle des totaux annuels	84
3. Etude fréquentielle des totaux mensuels	87
4. Etude fréquentielle des totaux calculés sur des périodes inférieures au mois	87
5. Etude fréquentielle des pluies maximales journalières	95
<u>Ch. 3 LES AUTRES PARAMETRES CLIMATIQUES</u>	97
I. Les données utilisées	97
II. Les vents et la température de l'océan	97
III. Les températures	102
IV. L'insolation	105
V. L'humidité	105
VI. L'évaporation	107

<u>3^o partie : LES ECOULEMENTS</u>	111
<u>Ch. 1 ANALYSE DES DONNEES COLLECTEES SUR LE RESEAU HYDROMETRIQUE</u>	115
I. Les données, les objectifs, les méthodes	115
II. Bassin du Niger	125
1. La Mekrou à Kompongou	125
2. La Mekrou à Barou	132
3. L'Alibori au pont de la route Kandi-Banikoara	138
4. Le Niger à Malanville	144
5. La Sota à Gbasse	151
6. L'Irane à Koutakroukrou	157
7. La Sota à Coubéri	163
III. Bassin de la Volta	171
1. Le Magou à Tiélé	171
2. La Pendjari à Porga	175
3. La Binaho à Dompago	181
4. La Tanéka à Tanekakoko	182
IV. Bassin de l'Ouémé	183
1. La Wéwé à Wéwé	183
2. L'Ouémé à Bétérou	189
3. La Beffa à Vossa	195
4. L'Ouémé au pont de Save	196
5. L'Okpara à Nanon	203
6. L'Okpara à Kaboua	206
7. L'Ouémé à Sagon	212
8. L'Omini à Pira	220
9. Le Klou à Logozohe	226
10. L'Agbado à Savalou	232
11. Le Zou à Atcherigbe	236
12. Le Zou à Domé	242
13. L'Ouémé à Bonou	251
V. Bassins du Mono et du Couffo	259
1. Le Mono à Athiémé	259
2. Le Couffo à Lanta	267
<u>Ch. 2 ANALYSE DES DONNEES COLLECTEES SUR LES BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX</u>	273
I. Le bassin versant de Bokoumbé	274
II. Le bassin versant de la Téro	278
III. Le bassin versant de la Lhoto	283
IV. Conclusion	289

<u>Ch. 3 SYNTHÈSE RÉGIONALE. ESTIMATION DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES AUX SITES NON JAUGES</u>	291
I. Les unités hydrologiques	291
II. Etude régionale des apports annuels	293
III. Etude régionale des crues	300
IV. Etude régionale des répartitions mensuelles des apports	303
V. Etude régionale des étiages et des tarissements	304
 <u>Ch. 4 ECOULEMENTS ET VARIATIONS CLIMATIQUES</u>	 307
I. Variations inter annuelles des apports	307
1. Description des chroniques	307
2. Analyse fréquentielle	314
3. Description de quelques années remarquables	316
4. Conclusion	317
II. Variations inter annuelles des étiages	325
 <u>Ch. 5 LE DELTA DE L'OUÈME</u>	 329
I. L'hydrographie du delta	329
II. L'hydrologie du delta	332
1. Pentes des lignes d'eau de l'Ouémé	333
2. Propagation de la crue de l'Ouémé	336
3. Apports et pertes le long de l'Ouémé	336
4. Les étiages	341
5. Schéma de fonctionnement du delta	342
6. Les variations inter annuelles	344
III. La salinité des eaux	344

<u>4^e partie : LE DOMAINE PARALIQUE MERIDIONAL</u>	355
<u>Ch. 1 ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE</u>	359
I. Situation géographique	359
II. Environnement géologique et pédologique	359
III. Paléomorphologie du littoral Béninois	362
IV. Géomorphologie des plans d'eau lagunaires	362
1. La lagune côtière et le lac Ahémé	362
2. Les plans d'eau de Toho et Todouba	364
3. Le lac Nokoué	364
4. La Lagune de Porto-Novo	367
<u>Ch. 2 REGIMES HYDROLOGIQUES DES PLANS D'EAU</u>	369
I. Observations limnimétriques sur la lagune côtière	369
II. Régime hydrologique du lac Ahémé	369
III. Régime hydrologique du lac Nokoué	372
<u>Ch. 3 TRACEURS DU REGIME HYDROLOGIQUE DES SYSTEMES LAGUNAIRES</u>	375
I. Evolution de la physico-chimie des eaux	375
1. Système lagunaire du lac Nokoué	375
2. Lagune de Porto-Novo	378
3. Système lagunaire côtier	378
4. Système lagunaire du lac Ahémé	380
5. Plans d'eau de Toho et Todouba	382
II. Répartition spatiale des sédiments superficiels	385
III. Répartition écologique de la végétation riveraine	390
<u>CONCLUSION</u>	392

	<u>ANNEXES</u>	397
<u>ANNEXE M1</u>	LA METHODE DU VECTEUR REGIONAL	399
<u>ANNEXE M2</u>	LA METHODE C.A.H	409
<u>ANNEXE M3</u>	APPLICATION DE LA LOI DES FUTTES A L'ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE	413
<u>ANNEXE M4</u>	APPLICATION DE LA FORMULE DE PENMAN	421
<u>ANNEXE M5</u>	LE MODELE HYDRO-PLUVIOMETRIQUE	425
<u>ANNEXE M6</u>	BREVS RAPPELS SUR LES PRINCIPALES LOIS STATISTIQUES CLASSIQUEMENT UTILISEES EN HYDROLOGIE	429
<u>ANNEXE R1</u>	PROFILS EN LONG DES PRINCIPALES RIVIERES DU BENIN	433
<u>ANNEXE R2</u>	PLUVIOMETRIES MENSUELLES OBSERVEES SUR LES 5 ZONES DEFINIES AU CHAPITRE 2 DE LA DEUXIEME PARTIE	459
<u>ANNEXE R3</u>	PARAMETRES DES LOIS DES FUTTES AJUSTEES AUX TOTAUX MENSUELS OBSERVES AUX STATIONS PLUVIOMETRIQUES DU BENIN	465

AVANT-PROPOS

Le présent document a été réalisé dans le cadre d'une Convention Particulière signée le 4 février 1985 entre la Direction de l'Hydraulique du Bénin (DH) et l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (Orstom) sur financement du Ministère Français de la Coopération (Convention n° 193/C/DPL/84/BEN).

Au terme de cette Convention Particulière, la DH a confié à l'Orstom qui l'a acceptée, la réalisation des travaux suivants :

- la publication rapide sous forme d'annales des données hydrologiques du Bénin ;
- la restauration du réseau hydrométrique de base ;
- la formation et l'encadrement du personnel du Service de l'Hydrologie de la DH ;
- l'élaboration d'une monographie des ressources en eau de surface du Bénin ;
- la constitution d'une banque informatisée de données hydrologiques ;
- l'étude critique du réseau pour rechercher les moyens de l'optimiser et de réduire les coûts de son exploitation.

Le traitement de toutes les données hydrologiques depuis l'origine des observations jusqu'à l'année 1984 a effectivement permis de constituer une importante banque de données qui a été largement exploitée pour l'élaboration de la présente monographie.

La rédaction de ce document n'a été possible que grâce au travail quotidien des observateurs des stations hydrométriques du Bénin, travail effectué la plupart du temps dans des conditions très difficiles. Nous leur adressons ici nos vives félicitations et nos remerciements sincères. Qu'il nous soit permis de rendre un hommage particulier à Messieurs Assouma Daouda, Sero-Ngoye Sanni et Kalifa Djimilla, respectivement observateurs des stations de Kaboua sur l'Okpara, de Kompongou sur la Mékrou et de Porga sur la Pendjari pour leur sérieux notoire et leur persévérance à la tâche.

Par ailleurs, l'entretien et l'étalonnage des stations hydrométriques et le contrôle du travail des observateurs ont été successivement l'oeuvre de Messieurs Jarre, Thiébaut, Moyon, Mailhac et Gualde de l'Orstom d'une part et d'autre part de Messieurs Afouda Abel, Vodji Louis, Abouki Mamadou, Alé Grégoire, Adisso Pierre, Ahokpossi Marius, Missinhoun Rigobert, Sedjame Julien, Sossa Codjo, Lanhoussi Flavien,

Dessouassi Robert, Gohoungossou Antoine, Agoïga Nestor, Monteiro Louis, Attinkpedjou Rogatien, Ahissou Houessou, Houenoumadin François, Djakpa Fidèle et Chari Simon de la Direction de l'Hydraulique.

Que tous reçoivent ici l'expression de notre gratitude.

Les auteurs principaux de cet ouvrage sont Messieurs Luc Le Barbé, Grégoire Alé. Ils ont bénéficié de la collaboration de Messieurs Yves Borel et René Gualde pour la réalisation des chapitres relatifs à la description du milieu physique, à l'étude de la pluviométrie et des écoulements. Le chapitre sur le domaine paralytique méridional a été rédigé par Messieurs Bertrand Millet et Hervé Texier.

INTRODUCTION

Cette monographie traite des ressources en eaux superficielles du Bénin et se propose d'en dresser l'inventaire le plus complet possible et d'évaluer les paramètres nécessaires à leur mise en valeur. Le terme "eaux de surface" englobe la pluie, les écoulements et les eaux stockées dans les lagunes.

La pluie constitue la première des ressources en eaux, mise en valeur par l'agriculture pluviale à l'endroit même où elle tombe. En ruisselant et en se concentrant dans les rivières, elle est aussi à l'origine de tous les autres types de ressource. Sa description doit donc, et satisfaire les exigences des agronomes, et faciliter l'étude des écoulements. Dans le premier cas, il s'agira surtout de décrire les distributions des totaux ponctuels sur différents pas de temps, dans le second cas, il sera indispensable de prendre en compte l'aspect spatial.

Les écoulements représentent à la fois une ressource qu'il convient d'évaluer pour la gérer au mieux des besoins et un danger contre lequel il faut se prémunir. La description des écoulements doit donc comporter une analyse des apports (importance et répartition saisonnière) et des crues.

Les lagunes sont une zone d'échange entre les eaux continentales, douces, et les eaux marines salées. L'importance de ces échanges conditionne la salinité des eaux et donc la production halieutique et leur utilisation pour l'irrigation. La description du milieu lagunaire se pose donc autant en termes de quantité qu'en termes de qualité et doit comprendre une analyse des mécanismes qui régissent ces échanges.

La réalisation d'un tel inventaire n'est possible que si l'on dispose de chroniques d'observations suffisantes. Si c'est à peu près le cas pour la pluie, ce ne l'est pas pour les écoulements et encore moins pour les eaux lagunaires. En effet le réseau hydrométrique béninois, mis en place vers les années cinquante, ne contrôle que les rivières les plus importantes du pays et les observations sur les lagunes sont fragmentaires.

Les résultats que nous allons présenter dans cette monographie ne doivent donc pas être considérés comme complets et intangibles. Ils ne correspondent qu'à l'état actuel des connaissances. Ils permettront, nous l'espérons, d'identifier les mesures à prendre pour en combler les lacunes.

Cet ouvrage comporte quatre parties :

- le milieu physique ;
- les précipitations et les principaux paramètres climatiques ;
- les écoulements ;
- le domaine paralique¹ méridional.

¹ du grec : para (à côté) et halios (le sel, par extension la mer)

PREMIERE PARTIE :

LE MILIEU PHYSIQUE

Chapitre 1

GÉOLOGIE

Dans ce chapitre, nous allons présenter succinctement la géologie de la République du Bénin. Pour le rédiger, nous avons largement puisé dans les notices explicatives des cartes géologiques de la couverture au 1/500 000, écrites entre 1957 et 1959, par P. Picard, R. Pognet et M. Slansky.

I. Histoire géologique du Bénin

Les plus anciennes formations rencontrées au Bénin constituent l'étage Dahomeyen du Précambrien. A l'origine, cette formation était probablement constituée d'une part, d'une épaisse série sédimentaire de plusieurs milliers de mètres comprenant des niveaux argileux, argilo-calcaires ou arkosiques, et d'autre part, d'une série plutonique intrusive formée de roches granitiques, granodioritiques, dioritiques ou gabbroïques.

Ces formations ont ensuite subi un métamorphisme intense d'âge Dahomeyen qui a abouti à leur transformation en micaschistes et surtout en gneiss divers paras et orthos. A la base de l'étage, apparition de migmatites formées aussi bien aux dépens des roches de la série sédimentaire que de celles de la série plutonique. L'ensemble de la série est ensuite affecté par un cycle orogénique d'âge Dahomeyen.

Après érosion, se déposent en discordance des formations gréseuses avec quelques intercalations argileuses, l'Atacorien. Puis se dépose ensuite une formation argileuse, la série de Kandé-Boukombé. Cet ensemble subit lui aussi un métamorphisme donnant naissance à des quartzites et à des micaschistes. Elle est affectée ensuite par une phase orogénique qui intéresse aussi les formations dahomeyennes sous-jacentes. C'est à cette époque que se seraient mis en place les granites syntectoniques concordants observés dans l'Atacorien et le Dahomeyen.

Après l'Atacorien, intrusion de batholites de granites puis de roches basiques.

Après érosion, dépôt d'une nouvelle série sédimentaire, le Buem, composée de schistes et de grès et qui subira un léger métamorphisme.

En discordance avec le Buem, dépôt d'une nouvelle série sédimentaire, le Voltaïen, composée de schistes et de grès et qui est datée du Cambro-Ordovicien. Après une phase d'érosion, dépôt au Crétacé supérieur d'une série sédimentaire continentale puis marine.

Survient alors une régression accompagnée d'une reprise de l'érosion.

A l'Eocène, une transgression marine se traduit par une nouvelle série sédimentaire composée d'argiles, de marnes et de calcaires.

A la fin du Lutétien, intervient une nouvelle régression marine et une reprise de l'érosion.

En discordance avec les séries précédentes, se dépose au Tertiaire la série continentale dite du "Continental Terminal".

Enfin, à l'époque récente, se déposent les formations marines du cordon lagunaire et les alluvions fluvio-lacustres des deltas du Mono et de l'Ouémé et de la vallée du Niger.

II. Les formations géologiques

1. Le socle ancien

On définit par le terme "socle ancien" l'ensemble des formations très métamorphisées du Dahomeyen, de l'Atacorien et de la série de Kandé-Boukombé, et des roches éruptives concordantes ou intrusives contenues dans ces formations. L'ensemble du socle a subi les orogénèses Dahomeyenne et/ou Atacorienne et présente une orientation générale NNE - SSW.

1.1. Le Dahomeyen

Cette formation est constituée de divers groupes pétrographiques tous très métamorphiques, comprenant essentiellement des migmatites et des gneiss.

1.1.1. Le groupe de Pira

Il s'agit de migmatites formées aux dépens des gneiss de la série du Dahomeyen et dont on observe souvent encore la trame. Ce groupe est formé :

- d'embranchites : à 2 micas (région de Ouari Maro et de l'Okpara), à biotite (Région de Kandi et de Pira) et à amphiboles (monts de Ouari Maro),
- d'anatexites plus localisées (massif de Bante, par exemple).

1.1.2. Le groupe de Kouandé

Ce sont des orthogneiss formés à partir de batholites, de granites, de granodiorites ou de diorites. Les roches sont localisées dans des massifs peu étendus et sont constituées de gneiss à biotite et de gneiss à amphibole.

1.1.3. Le groupe de Dérourarou

Ce sont des orthogneiss formés aux dépens de massifs intrusifs de diorite ou de gabbros. On ne rencontre ces roches que dans la région de Dérourarou à l'ouest de Banikoara. Ce groupe comprend :

- des gneiss à diopsides,
- des amphibolopyroxénites,
- des gneiss à augite et à hypersthène.

1.1.4. Le groupe de Badagba

Ce groupe est constitué de quartzites et forme les collines qui s'échelonnent selon une direction NNE-SSW entre Abomey et Gogounou.

1.1.5. Le groupe de Kandi

Ce groupe très étendu est constitué de paragneiss plutôt sombres : gneiss à biotite, gneiss à biotite et amphibole, gneiss à amphibole seule.

1.1.6. Le groupe de Djougou

Ce groupe couvre également de grandes surfaces. Il est constitué essentiellement de roches claires : gneiss à muscovite, gneiss à deux micas, leptynites de la vallée de l'Alibori. Il faut signaler cependant l'existence de petits massifs d'amphibolites intercalés dans ces formations.

1.1.7. Le groupe de Sansoro

Ce groupe localisé uniquement dans la région de Sansoro à l'ouest de Kandi est formé de micaschistes dans lesquels on observe de nombreux filons de quartz et de pegmatites.

1.2. L'Atacorien

L'Atacorien forme le Massif de l'Atakora au nord-ouest du Bénin. Il est constitué essentiellement de quartzites et de micaschistes. L'ensemble de la formation présente une orientation générale à peu près identique à celle du Dahomeyen : NNE-SSW à NE-SW.

1.3. La série de Kandé-Boukombé

Cette formation affleure au Nord-Ouest du Bénin dans la région de Boukombé entre l'Atacorien et le Buem. Elle se compose essentiellement de schistes, de micaschistes et de séritoschistes.

1.4. Les roches éruptives

1.4.1. *Les granites syntectoniques*

Très étendus, ils sont concordants ou sub-concordants avec les séries du Dahomeyen. Les granites sont caractérisés par une grande hétérogénéité pétrographique à l'intérieur d'un même massif.

1.4.2. *Les granites postectoniques*

Ils se présentent sous forme de batholites de faibles étendues discordantes avec les roches encaissantes.

On peut distinguer les granites porphyroïdes des granites grenus ou microgrenus.

Les premiers forment les batholites alignés suivant une direction NNE-SSW le long de la vallée de l'Alibori et celui de Gobada au sud de Savalou. Les batholites forment en général des reliefs assez mous.

Les seconds forment les massifs alignés également suivant une direction NNE-SSW à l'ouest de Dassa (Massif de Fita - Bifur). Ces granites très compacts et durs forment des reliefs assez marqués.

1.4.3. *Les roches basiques*

Ces roches forment des massifs peu étendus : massifs d'Affon, de Dérourarou, et d'Okpa (sur l'Ouémé en amont de la confluence avec l'Okpara).

2. Les séries sédimentaires

Il s'agit ici des séries qui se sont déposées après les dernières manifestations granitiques. Si on excepte celles du Buem (Précambrien Supérieur), toutes ces séries ne sont pas métamorphisées.

2.1. Le Buem (Précambrien Supérieur)

Cette série est formée de grès, de jaspes et de schistes. Les grès quartzitiques et les jaspes dominent, sous formes de collines étroites et allongées, les formations schisteuses. Au Bénin on ne rencontre cette série qu'à l'ouest de l'Atacorien.

2.2. Le Voltaïen (Cambro-ordovicien)

On ne rencontre au Bénin que le faciès schisteux de cette formation. Il est localisé dans la basse vallée de la Pendjari où il est difficile de le distinguer des schistes du Buem.

2.3. Les formations du Crétacé Supérieur

2.3.1. *Les grès de Kandi*

Ces formations constituent le plateau situé au N-E du Bénin. A la base de cette série, se trouve un conglomérat de galets de quartz à ciment siliceux ; on trouve ensuite une série de grès variés à stratifications entrecroisées attestant de l'origine continentale de la formation.

2.3.2. *Le Crétacé supérieur du bassin côtier*

Cette formation de près de 300 m d'épaisseur est constituée à la base d'un faciès continental (sableux à argilo-sableux) surmonté d'un faciès maritime (argileux, grésocalcaire, sableux). Le faciès argilo-marneux de cette formation affleure au niveau de la dépression de Lama.

2.4. Les formations éocènes

A la base de cette formation de près de 300 m d'épaisseur, se trouve un faciès sableux qui devient ensuite grésocalcaire, puis argilo-marneux. On rencontre ensuite un niveau calcaire de 5 m d'épaisseur qui est surmonté d'une épaisse série argilo-marneuse avec quelques intercalations calcaires. Au sommet de cette formation, on trouve deux formations phosphatées encadrant le Lutétien.

Cette formation est sub-affleurante dans la dépression de Lama.

2.5. Le Continental Terminal

On désigne par le terme "Continental Terminal" les formations continentales post-éocènes. Ces formations dépassent rarement une centaine de mètres et présentent un faciès sableux avec des niveaux plus ou moins argileux et gréseux. Les faciès du Continental Terminal inférieur sont généralement plus fins.

Ces formations affleurent d'une part dans le sud du pays où leur altération a abouti à ce que l'on a coutume d'appeler "les terres de barre", et d'autre part le long de la vallée du Niger qu'elles dominent.

2.6. Les formations récentes

Il s'agit, d'une part, des formations littorales d'origine marines (sable de plage avec en profondeur des niveaux d'argiles vaseuses) et, d'autre part, des alluvions du Niger et des basses vallées du Mono et de l'Ouémé où elles peuvent atteindre plus de 100 m d'épaisseur.

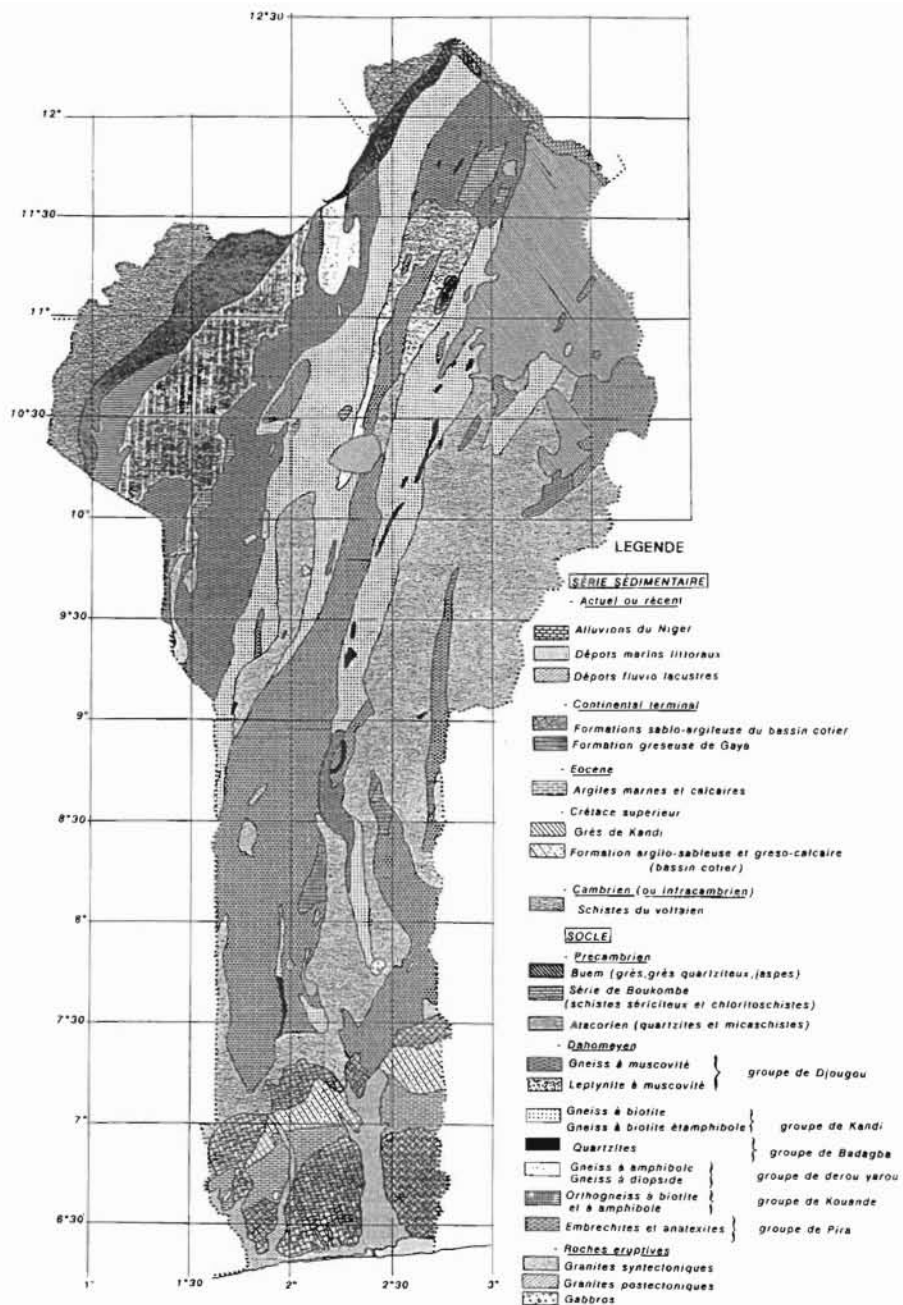


Fig - P.I.1 - ESQUISSE GEOLOGIQUE DU BENIN

Chapitre 2 PEDOLOGIE

Dans ce chapitre, nous allons présenter succinctement les principales caractéristiques des sols du Bénin. Pour le rédiger, nous avons largement puisé dans les notices explicatives des cartes pédologiques de la couverture au 1/200 000 (Orstom), écrites par D. Dubroeuq, P. Faure, M. Viennot, B. Wolkoff et P. Willaime (1976 à 1978).

Les sols étant classés d'après des critères morphogénétiques, il nous est apparu nécessaire de rappeler brièvement les principaux processus pédogénétiques rencontrés au Bénin, ce qui par ailleurs nous permettra de mieux comprendre la répartition des différents types de sols.

I. Les processus pédogénétiques

1. La ferralitisation

C'est le processus typique des climats tropicaux humides sous un couvert végétal important. Il se caractérise essentiellement par une dominance des actions physicochimiques (hydrolyse, dissolution, drainage, oxydation) qui altèrent profondément les minéraux de la roche mère (seul le quartz subsiste). Les bases et la silice sont éliminées et il y a formation de produits de synthèse : argiles kaolinitiques, sesquioxides de fer et d'alumine.

Les sols issus de ce processus sont en règle générale caractérisés par une grande profondeur, une différenciation progressive des divers horizons et une coloration accentuée et homogène sur l'ensemble du profil.

2. La ferruginisation

C'est le processus typique des régions tropicales chaudes à saisons contrastées. Les réactions physico-chimiques sont moins poussées que dans le cas de la ferralitisation. Les argiles néoformées ne sont plus exclusivement kaolinitiques. Il y a également un entraînement et une redistribution des produits d'altération avec accumulation de ces produits aux endroits des profils (ou du versant) où leur transfert s'est bloqué (porosité plus faible par exemple). Ces sols se caractérisent par des horizons bien marqués : les horizons supérieurs, lessivés, sont peu colorés, les horizons inférieurs d'accumulation sont plus colorés et plus massifs avec parfois formation de concrétions et de cuirasses, les horizons plus profonds sont souvent marqués par l'hydromorphie.

3. Le concrétionnement - l'induration

Les processus de durcissement peuvent apparaître dans les horizons d'accumulation qui sont soumis à des alternances de détrempe et de dessiccation. Quand ces phénomènes d'induration sont discontinus, on parle de concrétions, quand ils sont continus de cuirasse.

Ces processus vont être d'autant plus importants que la roche mère est riche en ferromagnésiens.

4. L'hydromorphie

L'hydromorphie se développe sous l'influence d'un engorgement temporaire ou permanent de la totalité ou d'une partie du profil. Lorsque l'engorgement est suffisamment prolongé, les hydroxydes de fer peuvent être réduits d'où une couleur grisâtre caractéristique (gley).

5. La vertisolisation

Ce processus nécessite des conditions de développement très particulières : alternance marquée du pédoclimat, richesse en bases calciques et magnésiennes de la roche mère, drainage très réduit. Ces conditions réalisées aboutissent à la synthèse en forte proportion de minéraux argileux gonflants montmorillonitiques. Ces sols desséchés présentent de grandes fentes qui se bouchent au fur et à mesure de leur humectation. Ce phénomène favorise le brassage de la matière minérale.

II. Les sols du Bénin

1. Les sols minéraux bruts ou peu évolués

Ces sols se rencontrent au sommet des massifs des roches les plus résistantes à l'érosion et à l'altération : quartzites de l'Atacorien, quartzites de la série de Badagba, granites micro-grenus de Fita-Bifur, et sur les anciennes cuirasses qui se sont développées essentiellement sur les séries les plus basiques du Dahomeyen (groupes de Kandi et de Dérourou notamment).

2. Les sols ferralitiques

Au sud du pays, les conditions climatiques sont relativement favorables au développement de ce type de sols ; on les rencontre sur de grandes étendues sur les formations du Crétacé et du Continental Terminal où ils constituent les "terres de barre".

Au nord, les conditions climatiques actuelles ne permettent plus un processus de ferralisation. Les sols ferralitiques rencontrés couvrent des surfaces beaucoup plus restreintes et qui correspondent aux zones où la pédogénèse ferralitique amorcée sous les climats antérieurs plus humides a pu être entretenue par la réalisation de certaines conditions favorables (couvert végétal, drainage, etc.). On les trouve essentiellement sur les sommets des reliefs possédant une couverture végétale relativement importante.

3. Les sols ferrugineux tropicaux

Ces sols occupent la quasi totalité de la superficie au nord de la latitude 7°30' qui correspond à peu près à la limite nord du plateau du Continental Terminal du bassin côtier. A l'intérieur de cette classe de sols, de nombreux groupes et sous-groupes vont se différencier suivant l'importance du lessivage, des concrétions et de l'hydromorphie. Il n'est pas possible dans le cadre de cette monographie de rentrer dans le détail de cette classification. Signalons cependant qu'en règle générale, les phénomènes de concrétions et d'indurations sont d'autant plus importants que la roche mère sera basique et riche en ferromagnésiens. Ces phénomènes seront notamment très importants sur les embréchites à biotites et à amphiboles du groupe de Pira et sur les gneiss du groupe de Kandi.

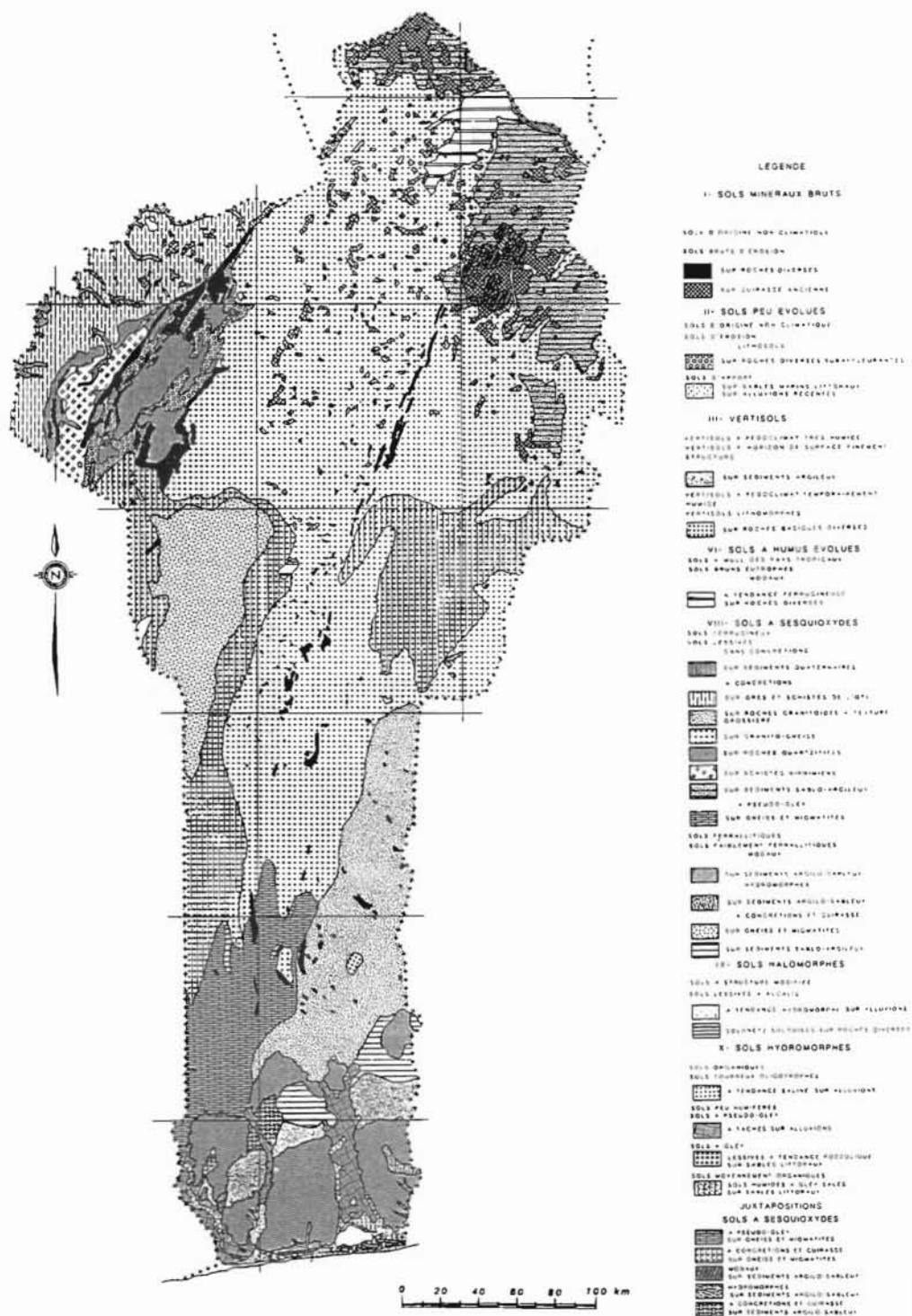
4. Les vertisols

Ils couvrent la quasi totalité de la dépression de Lama et se sont développés à partir des formations de l'Eocène.

5. Les sols hydromorphes

On les rencontre essentiellement dans les bas-fonds des basses vallées du Mono, de l'Ouémé et de la Kouffo et dans les zones marécageuses du sud Bénin.

Fig- P.II.1 - ESQUISSE PÉDOLOGIQUE DU BÉNIN



Chapitre 3

RELIEF ET HYDROGRAPHIE

I. Les unités du relief

On peut distinguer au Bénin, cinq unités de relief :

- la dépression de l'Oti-Pendjari ;
- le massif de l'Atacora ;
- le plateau gréseux de Kandi ;
- la pénéplaine Dahomeyenne ;
- le bassin sédimentaire côtier constitué de deux plateaux séparés par la dépression de Lama.

1. La dépression de l'Oti-Pendjari

Cette zone s'étend sur les formations du Buem et du Voltaïen, des contreforts ouest du massif de l'Atacora jusqu'à la rivière Pendjari. L'altitude y est faible et diminue progressivement de 250 m au pied des falaises de l'Atacorien, à moins de 150 m dans le lit de la Pendjari. Il s'agit d'un vaste glacis dominé par endroits par des reliefs correspondant aux roches les plus résistantes à l'érosion :

- les collines entre Boukombé-Tanguieta sur les schistes quartzeux ;
- les collines plus escarpées (qui culminent entre 400 et 500 m) situées au sud de Kobli et au nord-ouest à l'intérieur de la boucle de la Pendjari. Ces collines correspondent aux jaspes et aux grès du Buem.

2. Le Massif de l'Atacora

Cette chaîne de montagnes correspond aux formations quartzitiques de l'Atacorien. Elle domine par des falaises la plaine de l'Oti à l'ouest et par des escarpements la pénéplaine Dahomeyenne à l'est.

Elle a une direction sensiblement SW-NE. En suivant cette direction, la chaîne perd de l'altitude et se rétrécit : elle culmine à 650 m dans la région de Natitingou et a 50 km de large. Au nord du Bénin, elle ne dépasse pas 400 m d'altitude et n'a plus que 5 km de largeur.

Au sud de Natitingou, la chaîne se prolonge suivant une direction nord-sud par les monts de Birni et Taneka qui sont des chainons quartzitiques (point culminant 650 m).

Au nord de Natitingou, le massif prend l'aspect de deux bourrelets séparés par une plaine centrale où coule la haute Pendjari.

3. Le plateau gréseux de Kandi

Cette zone située au N-E de Kandi correspond aux surfaces couvertes par les grès continentaux du Crétacé. Cette roche résistant bien à l'érosion, s'est développée en un relief "en creux" où des vallées rares et encaissées sont dominées par des plateaux d'altitude relativement élevée.

4. La pénéplaine Dahomeyenne

Cette unité de relief couvre la majeure partie du pays. Deux éléments marquent le paysage. Ce sont les suivants :

- un "bombement" d'axe E-W au niveau de la latitude 10° N qui sépare le bassin hydrographique du Niger de ceux de l'Ouémé et du Mono,
- une série de collines correspondant aux roches les plus dures du Dahomeyen et qui suivent de ce fait les directions géologiques ; il s'agit :
 - . des collines sub-quartzites du groupe de Badagba : collines de Bassilla, monts Adjandja, collines de Savalou, de Bétérou de Bimbéréké,
 - . des granites post-tectoniques micro-grenus (collines de Dassa-Zoumé),
 - . des cuirasses anciennes sur les roches basiques du groupe de Pira et de Kandi essentiellement (interfluve entre la Mekrou et l'Alibori, collines de Bante).

5. Le bassin côtier

Les terres de barre sur le Continental Terminal forment des plateaux qui sont profondément entaillés, d'une part par les vallées N-S du Couffo, du Zou et de l'Ouémé et d'autre part par une dépression SW-NE, la dépression de Lama.

Cette dépression d'une altitude moyenne de 50 m, a une largeur variant de 5 km à l'ouest à 25 km à l'est. Elle est tapissée par les vertisols provenant des formations de l'Eocène. Le réseau hydrographique y est quasi inexistant. On y rencontre des zones d'endoréisme caractérisées avec les lacs de Togbadji et de Toho à l'ouest.

Les vallées qui entaillent les plateaux se présentent comme de larges dépressions où le réseau hydrographique se dégrade.

Au sud de cet ensemble, une zone marécageuse bordée par le cordon littoral et où existent des lacs (lac Nokoué et Ahémé) et des lagunes.

II. Le réseau hydrographique

(cf. *Annexe R1*)

1. Le bassin de la Pendjari (420 km au Bénin)

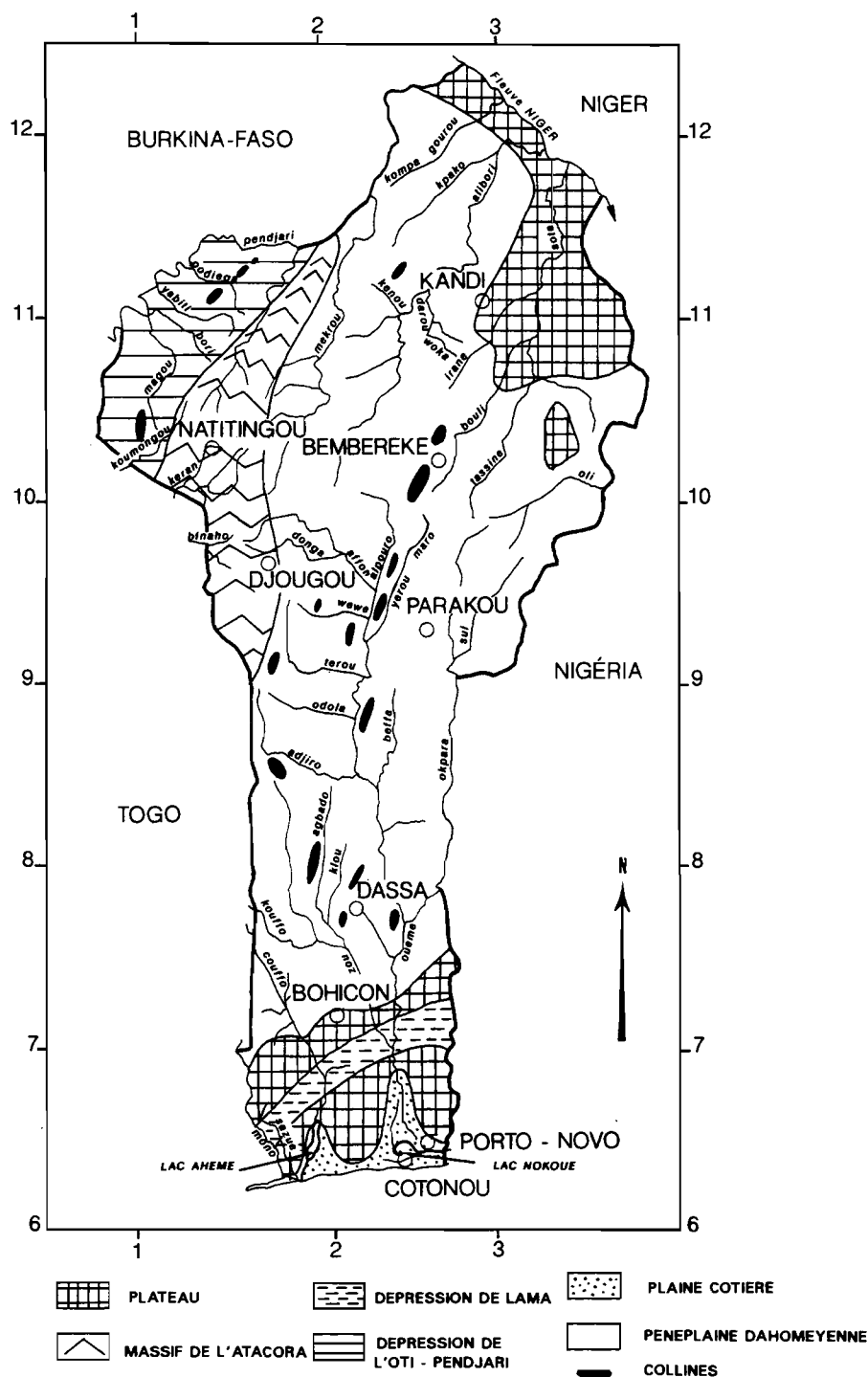
Les eaux de ruissellement sur les versants nord des hauts plateaux de la région de Natitingou vont converger vers la boutonnière de l'Atacora. On distingue trois axes principaux de drainages :

- la Kounne : 550 km² pour une longueur de 46 km et 200 m de dénivelée,
- la Tigou : 317 km² pour une longueur de 27 km et 300 m de dénivelée,
- la Sarga : 567 km² pour une longueur de 48 km et 300 m de dénivelée.

La Kounne et la Tigou vont se rejoindre pour former la Pendjari qui va recevoir 22 km plus loin la Sarga. A partir de la confluence Tigou-Kounne et jusqu'à la sortie de l'Atacora 62 km plus loin, la Pendjari suit une direction SSW-NNE et a une pente de 1,5 m/km. Elle va ensuite entailler les falaises de l'Atacora ; elle a alors une pente plus forte (3,7 m/km en moyenne). La Pendjari contourne ensuite les massifs montagneux (grès et jaspes du Buem) du Parc National en décrivant une large boucle : elle suit d'abord une direction SSW-NNE jusqu'à la frontière du Burkina-Faso, puis s'oriente sur 53 km d'est en ouest pour adopter ensuite une direction NE-SW qu'elle conservera pour traverser le Togo.

RÉPUBLIQUE DU BÉNIN **Grandes unités du relief et hydrographie**

Fig- P.III.1



Les ressources en eaux superficielles du Bénin

Dès la sortie de l'Atacora, la pente du lit diminue : sur les formations du Buem, soit jusqu'à la frontière burkinabé, elle est de 0,36 m/km. Sur les schistes du Voltaïen, elle n'est plus que de 0,16 m/km. La Pendjari décrit alors de nombreux méandres et le lit s'étale par endroits dans de vastes zones d'inondations.

A la sortie des formations du Buem, le bassin drainé, entièrement situé eau Bénin, a une superficie de 3 795 km². Il est de 22 280 km² à la station de Porga, 37 km avant la frontière togolaise. Dans l'intervalle, en effet, la Pendjari a reçu les apports :

- en rive droite, des affluents burkinabé, présentant une superficie de plus de 13 500 km², et dont les plus importants sont le Kourtiagou, le Doudodo et le Singou ;
- en rive gauche, des affluents béninois, beaucoup moins importants provenant des collines du Parc National et du versant ouest de l'Atacora. Citons la Podiega (777 km²), le Yabiti (911 km²), le Bori (398 km²) et le Magou (2 005 km²).

Pour toutes ces rivières, l'arrivée dans les schistes du Voltaïen se traduit par une dégradation du réseau hydrographique.

2. Le bassin du Niger

Sur 135 km, le fleuve Niger constitue la frontière avec l'état du Niger. Son bassin versant est, dans cette région, voisin de 1 000 000 km². Sur ce court parcours, le Niger a un tracé rectiligne orienté NW-SE et reçoit en rive droite les apports de quatre affluents qui sont d'ouest en est :

- la Mekrou (10 500 km²),
- le Kompa Gourou (1 980 km²),
- l'Alibori (13 740 km²),
- la Sota (13 360 km²).

Au sud-est du bassin de la Sota se trouvent les hauts bassins des affluents nigériens notamment la Wara et l'Oli.

2.1. La Mekrou (480 km)

La Mekrou prend sa source à 460 m d'altitude environ, sur les flancs N-E des monts de Birni.

Sur les 70 premiers kilomètres sur les roches acides du groupe de Djougou, elle va suivre une direction SSW-NNE. Elle va décrire ensuite une série de coudes brusques suivant tantôt la direction SSW-NNE, tantôt celle perpendiculaire. Ce tracé est à mettre en rapport avec la nature des roches traversées, plus dures et plus résistantes à l'érosion : anatexites et gneiss à biotite du groupe de Kandi, quartzites de l'Atacorien, grès du Buem et du Continental Terminal.

La pente du lit est toujours modérée : des pieds des Monts de Birni à la confluence avec le Niger, elle est en moyenne de 0,45 m/km. Signalons cependant les chutes de Koudou et les rapides de Barou au passage des quartzites de l'Atacorien.

Le réseau hydrographique est dans l'ensemble très peu dense sauf dans la partie amont. Les seuls affluents notables sont ceux provenant de l'Atacora : le Tikoudarou (505 km²), le Yaourou, le Kourou (572 km²).

2.2. Le Kompa Gourou (100 km)

Ce petit affluent du Niger prend sa source à 300 m d'altitude au niveau des reliefs constitués par les hautes cuirasses qui se sont développées sur les gneiss à biotite et amphibole de la série de Kandi. Après 66 km de parcours, il atteint les formations du Continental Terminal ; son lit devient alors encaissé et est dominé par les plateaux correspondant aux zones cuirassées de cette formation.

La pente du lit est toujours modérée : entre 1 et 0,3 m/km.

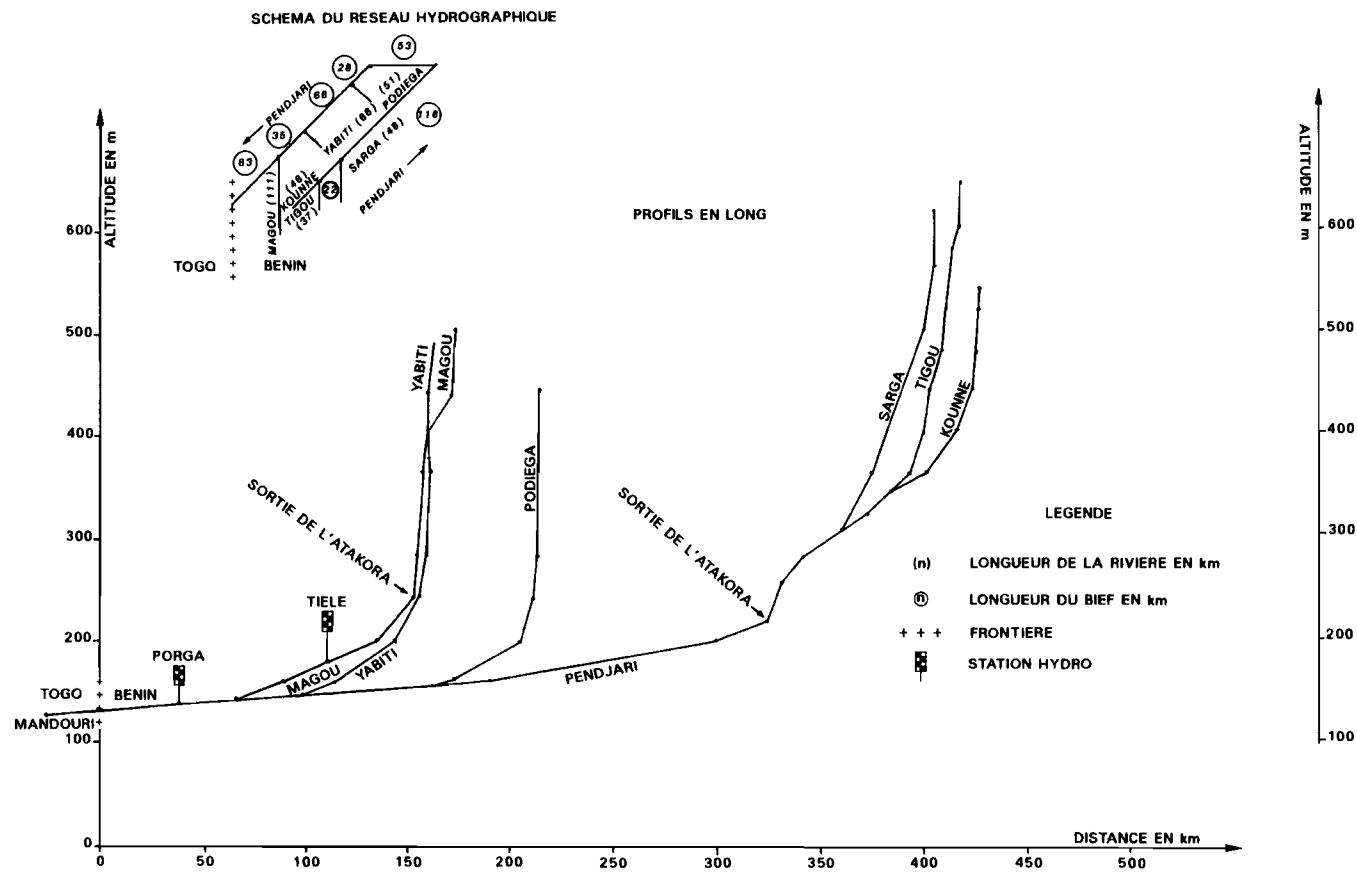
Le réseau hydrographique est peu dense et aucun affluent notable n'est à signaler.

2.3. L'Alibori (427 km)

L'Alibori prend sa source à 360 m environ d'altitude dans le massif granitique de Kita. Il va d'abord suivre une direction SSW-NNE puis contourner le massif granitique de Sinnendé. 90 km après sa source, l'Alibori va couler sur les leptynites et les gneiss du groupe de Djougou, qui sont en cet endroit très diaclasés et très mylonitisés. Tout en conservant une direction générale SSW-NNE, le lit de la rivière va alors décrire de nombreux coudes. Si la pente moyenne du lit est faible, de 0,5 à 0,2 m/km, il y a cependant de nombreux rapides. 35 km avant sa confluence avec le Niger, l'Alibori va buter contre les escarpements des grès du Continental Terminal et suivre alors une direction NWW-SEE.

Le bassin de l'Alibori est bordé : à l'ouest par les reliefs correspondant aux roches les plus basiques du groupe de Kandi ; à l'est par les collines quartzitiques du groupe de Badagba dans la région de Bembéréké puis par les reliefs sur les roches du groupe de Kandi. De ces reliefs, descendent divers affluents relativement peu importants qui constituent un réseau hydrographique "en arête" à peu près symétrique. Parmi ces rivières citons, d'amont vers l'aval :

- en rive gauche : le Morokou, la Kpare, le Kénou, le Konekoga, le Kpako,
- en rive droite : le Souedarou, le Saredarou, le Darou Woka.



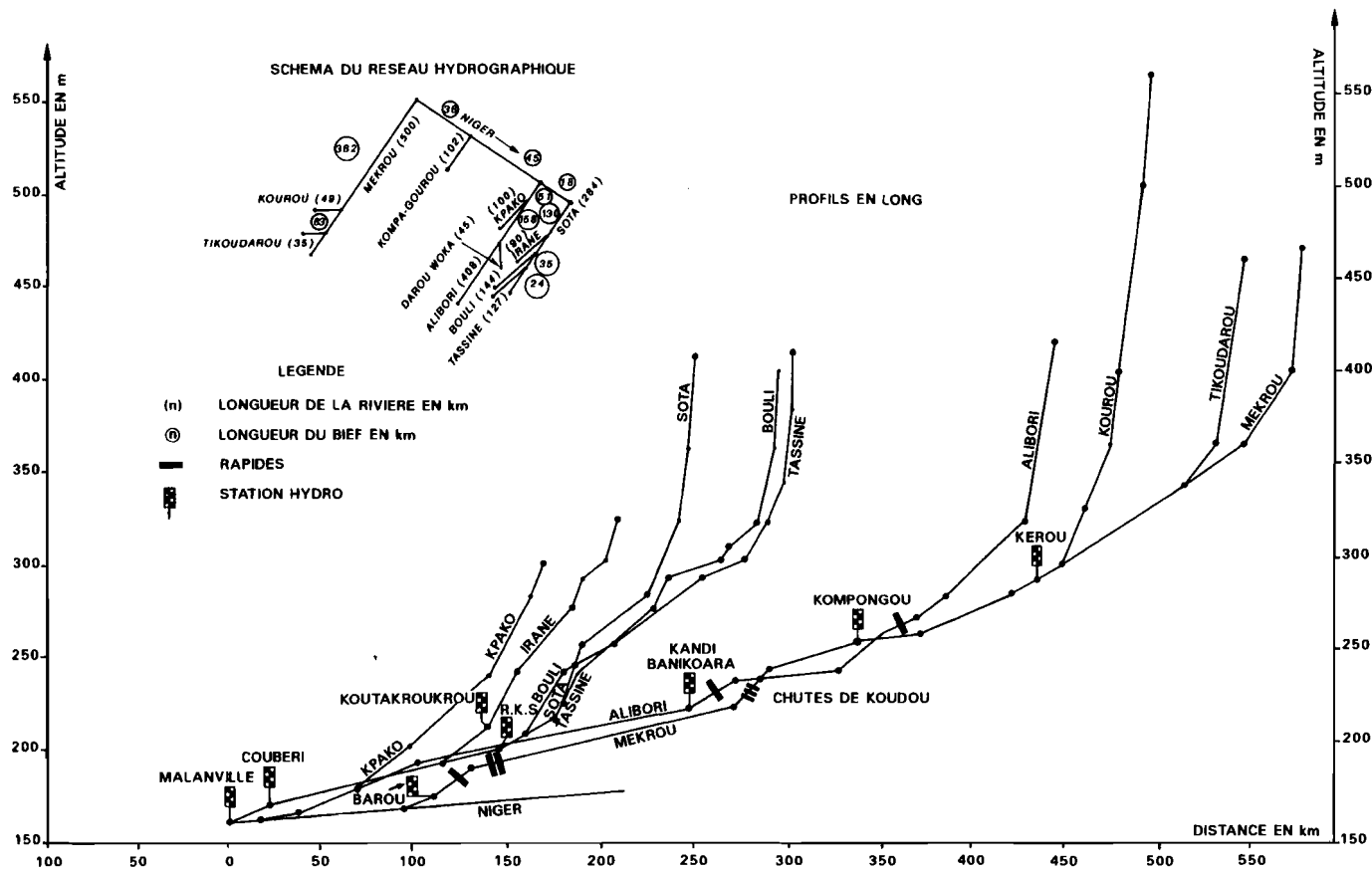


Fig - P.III.3 - PARTIE BENINOISE DU BASSIN DU NIGER

2.4. La Sota (254 km)

La Sota prend sa source à plus de 400 m d'altitude sur les flancs est du plateau gréseux de Kalale qu'elle va contourner par le nord avant d'emprunter la direction SSW-NNE sur les formations du socle. 90 km après sa source, elle pénètre dans les formations gréseuses du Crétacé qu'elle entaille assez profondément et rejoint après 254 km de parcours, le Niger, 1 km à l'aval de Malanville.

Sur les 20 premiers km de son parcours, les pentes sont élevées (8 à 4 m/km), elle deviennent ensuite très modérées sauf au contact embréchites-gneiss de Djougou (3,7 m/km).

Sur les formations gréseuses, le réseau hydrographique est très peu dense et aucun affluent en provenance du plateau de Kandi, n'a d'importance notable.

En revanche, sur les granites et sur les formations gneissiques, le réseau hydrographique va être beaucoup plus dense. Trois rivières importantes en provenance de ces zones sont à signaler :

- le Tassine : 3 031 km² pour une longueur de 102 km ;
- la Bouli : 2 380 km² pour une longueur de 145 km ;
- l'Irane : 1 832 km² pour une longueur de 95 km.

Ces deux dernières entaillent elles aussi le plateau gréseux avant de rejoindre la Sota.

2.5. Les autres affluents du Niger

Au N-E du Bénin, se trouvent les hauts bassins des affluents nigériens du Niger, il s'agit de :

- l'Ilogourou : 360 km² au Bénin, entièrement sur les grès de Kandi ;
- la Wara : 954 km² au Bénin, également sur les grès de Kandi ;
- l'Oli : 2 419 km² au Bénin, sur les granites syntectoniques du Dahomeyen.

Les deux premières rivières suivent à peu près la même direction (SSW-NNE) que la Mekrou, l'Alibori et la Sota ; la dernière a une direction W-E.

3. Les hauts bassins de la Kéran et de la Kara

Il existe sur les flancs sud du Massif de l'Atacora et sur les flancs ouest et sud-ouest des Monts Tanéka, un réseau hydrographique dense et dont les axes principaux sont constitués des premiers tributaires de la Kéran. Les pentes de ces rivières sont très élevées surtout en tête de bassin et aux sorties des formations les plus résistantes : quartzites et micaschistes granitisés de l'Atacorien. C'est en ces zones qu'ont été reconnus de nombreux sites de micro-centrales.

On distingue, du nord au sud :

- la Koumongou, 648 km² au Bénin pour une longueur de 62 km. Cette rivière rejoindra la Kéran 22 km après la frontière Togo-Bénin ;
- la Kéran, 2 475 km² au Bénin pour une longueur de 57 km. L'Ina Isséré (464 km² pour 57 km) et la Wémou (653 km² pour 35 km) se rejoignent pour former la Perma qui après avoir reçu le Tiatiko (468 km² pour 54 km) prendra le nom de Kéran ;
- la Binaho, 385 km² au Bénin pour 34 km.

4. Le bassin de l'Ouémé

On distinguera la partie du bassin de l'Ouémé sur le socle Dahomeyen et que l'on appellera "Ouémé Supérieur", et celle située sur les formations sédimentaires du bassin côtier que l'on appellera "l'Ouémé Inférieur".

4.1. L'Ouémé Supérieur (46 500 km² pour une longueur de 523 km)

On peut diviser le réseau hydrographique de l'Ouémé Supérieur en trois entités :

- le réseau rive gauche, situé à l'est de l'axe N-S constitué par les vallées de l'Alpouro puis de l'Ouémé,
- le réseau nord-ouest, sur les flancs des reliefs de l'Atacora et d'Aledjo,
- le bassin du Zou.

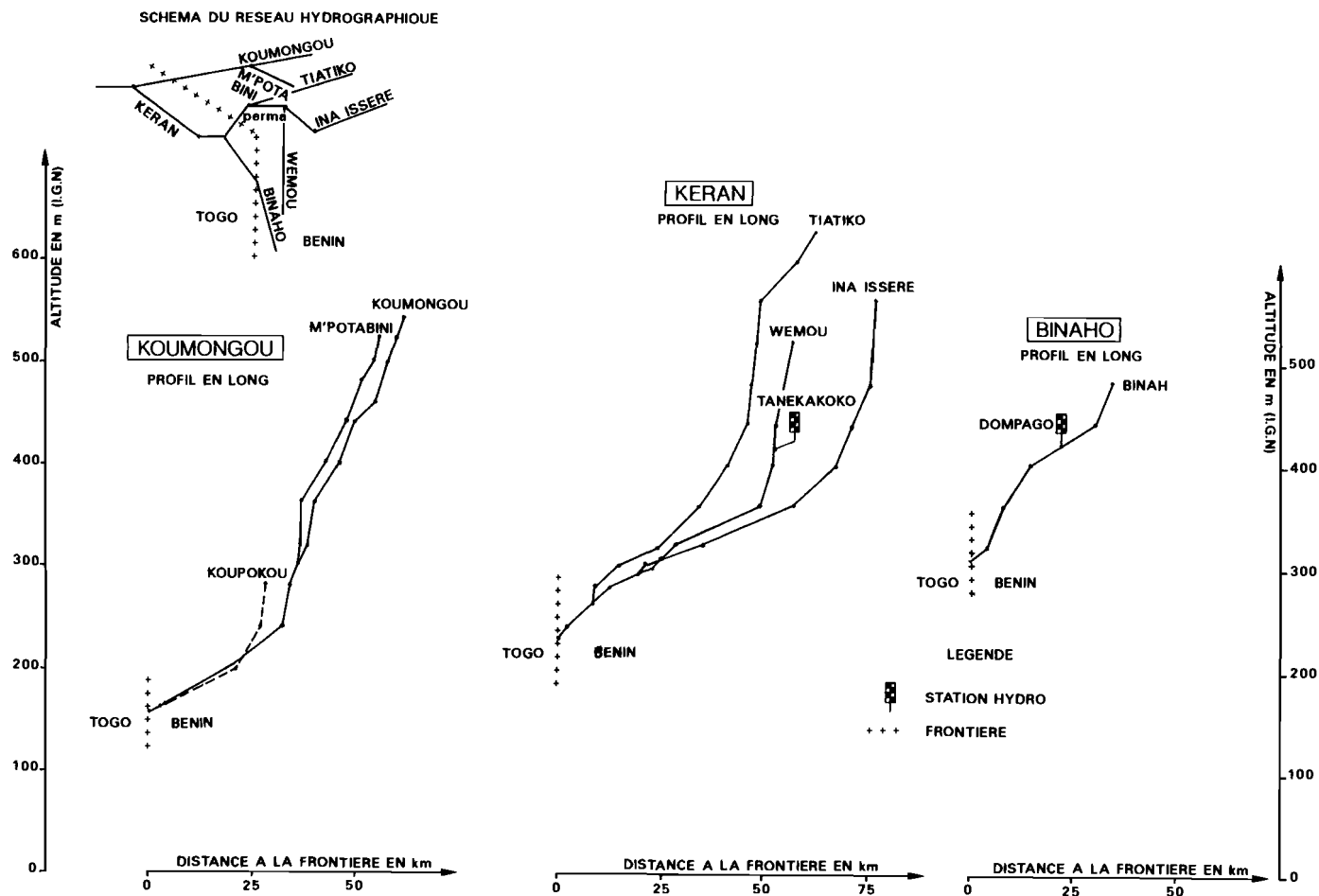
4.1.1. Le réseau rive gauche

Les rivières suivent ici la direction nord-sud imposée par les formations du socle. Les pentes sont relativement importantes (1 à 2 m/km) et peuvent s'accroître au passage d'accidents géologiques, c'est le cas pour l'Ouémé à proximité du Mont Koule-Ekou au passage du contact gneiss de Kandi-gneiss de Djougou et dans la région d'Okpa à la sortie des gabbros. C'est dans ces zones qu'ont été reconnus des sites de barrage.

Les interfluvies sont constitués soit de reliefs "mous" sur granites ou gneiss soit de collines escarpées sur quartzites du groupe de Badagba (interfluve de l'Alpouro et du Yérou Maro).

Parmi les affluents les plus importants, citons d'amont en aval :

- l'Alpouro : 2 010 km² pour une longueur de 86 km,
- le Yérou Maro : 2 590 km² pour une longueur de 120 km,
- la Beffa : 1 990 km² pour une longueur de 78 km,
- l'Okpara : plus de 10 000 km² pour une longueur de 362 km.



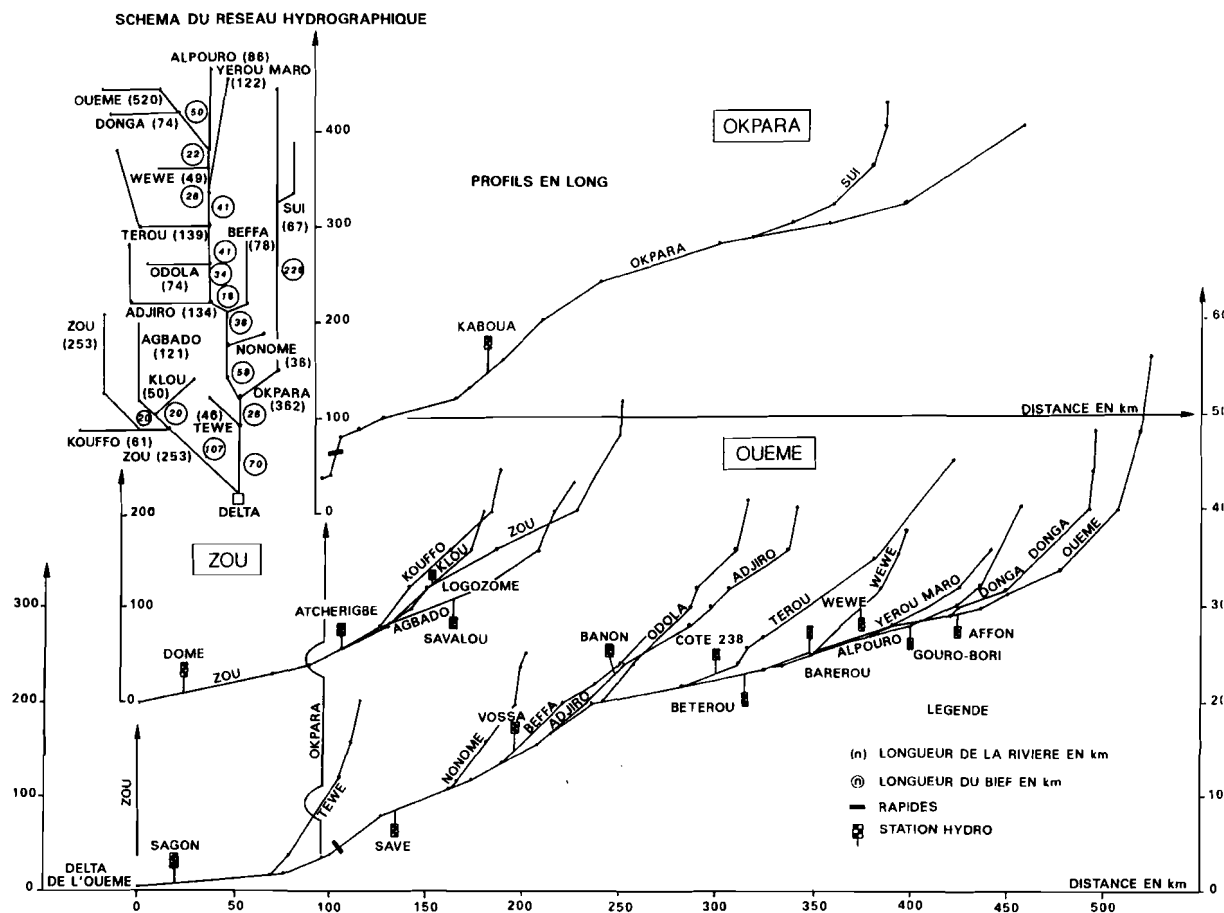


Fig - P.III.5 - BASSIN DE L'OUEME A LA CONFLUENCE DU ZOU

4.1.2. Le réseau Nord-Ouest

Sur les flancs des Massifs de l'Atacora au nord et d'Aledjo à l'ouest, le réseau hydrographique est très dense. Les rivières suivent les directions imposées par les reliefs (W-E et NW-SE) avant de rejoindre l'Ouémé.

En tête de bassin, les pentes peuvent être très élevées et restent ensuite toujours relativement fortes (1 à 2 m/km). Parmi les rivières les plus importantes, citons d'amont en aval :

- l'Ouémé : jusqu'à sa confluence avec l'Alpouro, nommé sur ce parcours Affon :
4 320 km² pour une longueur de 152 km,
- la Donga : 1 285 km² pour une longueur de 74 km,
- la Wéwé : 617 km² pour une longueur de 49 km,
- la Térou : 3 320 km² pour une longueur de 139 km,
- l'Odola : 1 076 km² pour une longueur de 74 km,
- l'Adjiro : 2 151 km² pour une longueur de 160 km.

4.1.3. Le bassin du Zou

Séparé du réseau N-O par un alignement de relief d'axe O-E passant à la latitude de Banté, le réseau hydrographique du Bassin du Zou va d'abord être constitué de deux axes sensiblement parallèles, le Zou (8 440 km² pour 250 km) et l'Agbado (2 703 km² pour 109 km), et qui suivent une direction N-S puis NW-SE. Après 120 km de parcours, le Zou longe sur 15 km les collines quartzitiques de Badagba avant de les traverser, reçoit l'Agbado et suit une direction NNW-SSE pour rejoindre l'Ouémé 107 km plus loin.

Sur les quelques 10 premiers km de leur parcours, les pentes du lit du Zou comme de celles de l'Agbado, sont relativement importantes (4 m/km), puis très rapidement vont devenir très modérées (< 1 m/km).

Des collines de Dassa Zoumé, l'Agbado reçoit le Klou (560 km² pour 49 km) au profil beaucoup plus accentué.

Parmi les autres affluents du Zou, citons d'amont vers l'aval :

- l'Otio : 442 km²,
- la Bogui : 1 450 km²,
- le Kouffo : 806 km²,
- l'Agbla : 479 km².

4.2. L'Ouémé Inférieur

Après sa confluence avec le Zou, l'Ouémé entaille profondément les formations du Continental Terminal. La pente de la rivière devient alors extrêmement faible (5 m de dénivelée sur 85 km) et la vallée de l'Ouémé se présente alors comme une large zone inondable où le système hydrographique est fort complexe : une rivière, la Sô, en rive droite a un cours parallèle à l'Ouémé avec lequel elle est reliée par différents bras tantôt défluent, tantôt affluents : la Zounga, l'Agbagbe, l'Ouovi et la Zouvi. C'est cet ensemble qui forme le Delta de l'Ouémé. La Sô et l'Ouémé se jettent dans le Lac Nokoué respectivement aux environs de Ganvie et à l'ouest de Porto-Novo.

Le Lac Nokoué communique avec la mer par le chenal de la lagune de Cotonou et par les lagunes de Porto-Novo et celles du Nigeria.

Sur les plateaux des terres de barre très perméables, il n'existe quasiment pas de réseau hydrographique. Dans la dépression de Lama très plate, le réseau hydrographique est très dégradé. Il existe de nombreuses zones d'endoréisme.

5. Le Bassin du Couffo (190 km)

Le Couffo prend sa source au Togo à 240 m d'altitude, à proximité de la frontière, près du village de Tchetti. Il suit d'abord une direction NW-SE. Après 100 km de parcours, il entaille les formations du Continental Terminal et prend progressivement une direction N-S. 54 km plus loin, il se jette dans le Lac Ahémé long de 24 km et dont l'exutoire est le complexe lagunaire des "Bouches du Roi".

Le profil en long du Couffo a une allure exponentielle, les pentes passent de 10 m/km en tête de bassin pour atteindre 0,3 m/km en amont du Lac Ahémé.

Le réseau hydrographique sur les granites et les embréchites du groupe de Pira, a une forme foliacée. Les affluents de rive droite comme ceux de rive gauche sont de faible importance et ont des pentes élevées (de 5 à 13 m/km). Citons d'amont en aval :

- l'Aiokpe : 47 km²,
- le Gougou : 36 km²,
- le Honve : 166 km²,
- l'Agougan : 90 km²,
- le Dra : 147 km².

Sur les terres de barre et les formations du Crétacé et de l'Eocène, le réseau hydrographique est inexistant.

6. Le Bassin du Mono (148 km au Bénin) et de la Sazue (105 km)

Sur les 148 km de son parcours au Bénin, le Mono va suivre une direction NNW-SSE. Durant ce trajet, les apports vont être négligeables puisque son bassin versant passe de 20 500 km² à la frontière Togo-Bénin (station de Tététou) à 21 500 km² environ à son embouchure.

Au cours des 35 premiers km au Bénin, le Mono coule sur les embréchites du groupe de Pira, avec une pente relativement élevée (1,5 à 3 m/km). De nombreux rapides jalonnent son cours (rapides de Bélia, Katong, Adjarala, Arandoulé, Adéma, Agbako, Djrekpon).

Le Mono, ensuite, entaille les formations du Continental Terminal et coule dans une large vallée alluviale (10 km environ). La pente du lit va alors devenir très faible (0,06 à 0,4 m/km). Le Mono va décrire de larges méandres à travers des zones inondables avant de rejoindre le système lagunaire des "Bouches du Roi".

Dans la vallée alluviale existe un réseau hydrographique dégradé et complexe, avec la présence de mares et de lacs à sa périphérie. Citons les deux plus importants : les Lacs Togbaji et Toho. Un axe de drainage est cependant bien marqué : celui de Sazue (63 km) formé par la réunion de deux affluents, la Dévédô (22 km) et la Savédô (40 km). Les pentes du lit de la Sazue sont extrêmement faibles.

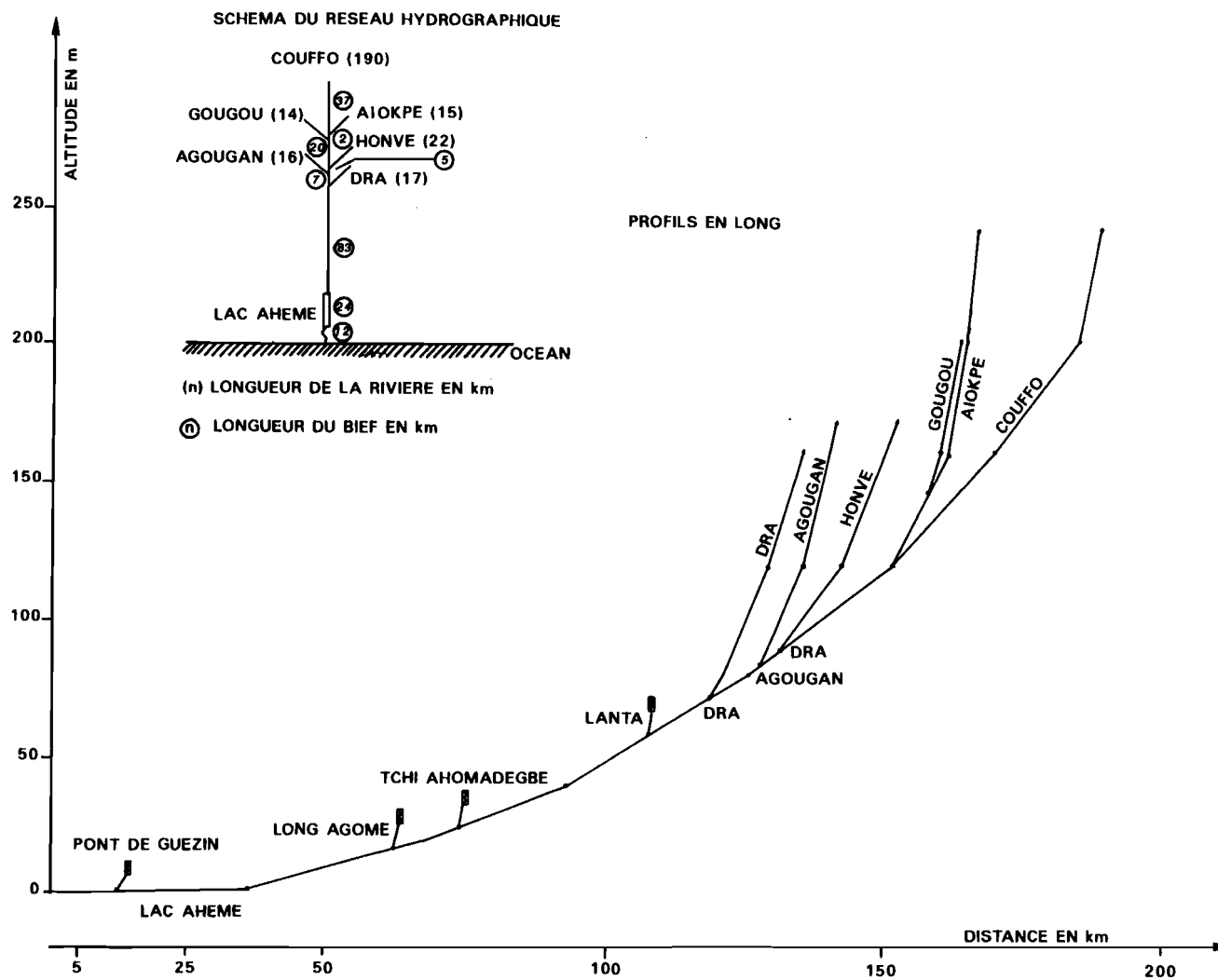


Fig - P.III.6 - BASSIN DU COUFFO

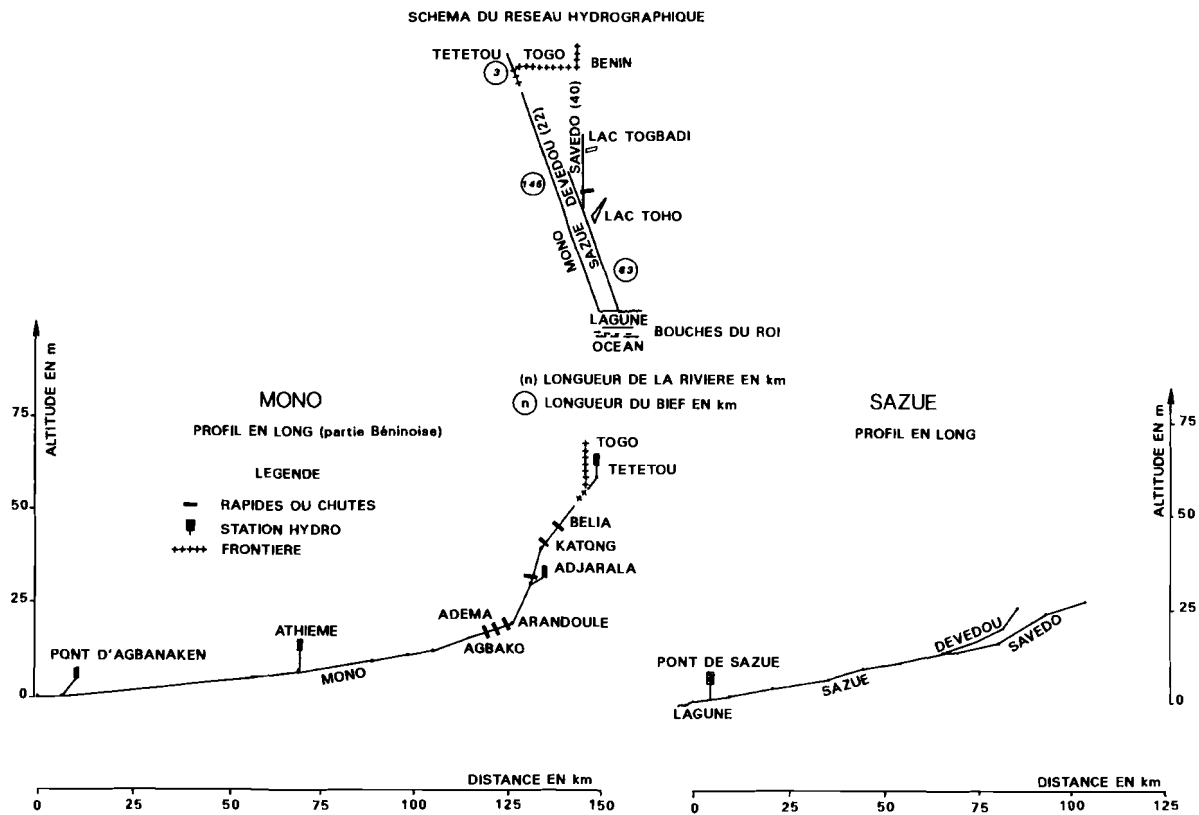


Fig - P.III.7 - BASSIN DU MONO ET DE LA SAZUE

Chapitre 4 VEGETATION

A partir de clichés Landsat, pris entre 1973 et 1976, et dans le cadre du "projet pilote sur la surveillance continue de la couverture forestière tropicale", la FAO a publié en 1980 une carte écologique du couvert végétal du Bénin.

La carte de végétation que nous présentons, est directement inspirée de ce document. Les commentaires ci-après sont également tirés de la notice accompagnant cette carte (Rapport technique 2 UN/6.1102-75-005).

Le premier niveau de classification de la végétation proposée par la Fao est d'ordre climatique. Le Bénin a été divisé en trois zones écologiques :

- la zone littorale sèche qui s'étend approximativement de la côte à la latitude 7°15'N (pluviométrie 850-1 300 mm),
- la zone continentale sèche qui s'étend approximativement entre les latitudes 7°15' et 11°15' (pluviométrie 1 000-1 400 mm),
- la zone continentale très sèche au nord du Bénin (pluviométrie inférieure à 1 000 mm).

A l'intérieur de chacune de ces zones, les différents types de végétation sont différenciés à partir :

- des principales composantes floristiques de la couverture ligneuse uniquement,
- de l'importance relative du couvert ligneux. La terminologie employée est la suivante :
 - . savane arborée entre 2 et 20 % de couverture ligneuse,
 - . savane boisée entre 20 et 50 % de couverture ligneuse,
 - . forêt claire entre 50 et 80 % de couverture ligneuse,
 - . forêt dense plus de 80 % de couverture ligneuse.
- de l'importance des cultures et des jachères.

I. La zone sèche littorale

Dans ces zones très peuplées, ce sont les classes de végétation marquées par l'influence de l'homme qui dominant. Il s'agit :

- de la classe n° 11 sur "terres de barre" constituée d'une mosaïque de cultures et de jachères avec une dominance du palmier à huile (*Elaeis guineensis*),
- de la classe n° 12, plus au nord, constituée également d'une mosaïque de cultures et de jachères avec dominance d'espèces forestières (*Chlorophora excelsa*, *Antiaris africana*, *Triplochiton sclerokylon*).

A côté de ces deux classes qui couvrent près de 80 % de la zone écologique, nous pouvons citer :

- la classe n° 15 des formations riveraines de l'Ouémé et du Mono, constituée d'une part de lambeaux de forêts semi-décidues (*Triplochiton sclerokylon*) et d'autre part de prairies à *Mitragyna mespéiformis*,
- les classes n° 9 et n° 10, à l'extrême nord de la zone, correspondant respectivement à une savane boisée (*Ceiba pentadra*, *Chlorophora excelsa*, *Daniella oliveri*) et arborée (*Daniella oliveri*, *Elaeis guineensis*, *lophisa lanceolata*),
- la classe n° 8 correspondant aux lambeaux de l'ancienne forêt décidue ou semi-décidue (*Afrelia africana*, *Chlorophora excelsa*, *Triplochiton sclerokylon*, *Ceiba pentadra*).

II. La zone sèche continentale

La majeure partie de la zone est couverte de savane boisée (classe n° 2) ou arborée (classe n° 3) avec comme espèces dominantes : *Anogeissus leiocarpus*, *Butyrospermum paradoxum*, *Daniella oliveri*, *Isobertia doka*, *Parkia biglosa*.

Dans les zones les plus peuplées (région de Dassa Zoumé, de Djougou, Natitingou, Kandi, Parakou et le long des grands axes routiers), l'influence de l'homme devient très importante (classe n° 4).

Parmi les autres classes de végétation de cette zone, citons les forêts-galeries le long des principales rivières (*Diospyros mespéiformis*, *Ficus* spp., *Kaya senegalensis*) et les formations saxicoles (*Butyrospermum paradoxum*, *Combretum* spp.) sur les lithosols des quartzites de Badagba ou sur les grès de Kandi.

III. La zone très sèche continentale

La majeure partie de la zone présente une couverture de savane arborée (classe n° 21) avec comme espèces dominantes : *Anogeissus leiocarpus*, *Combretum* spp., *Acacia* spp., *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritania*. En de rares endroits, la couverture ligneuse devient plus dense et forme une savane boisée (classe 20).

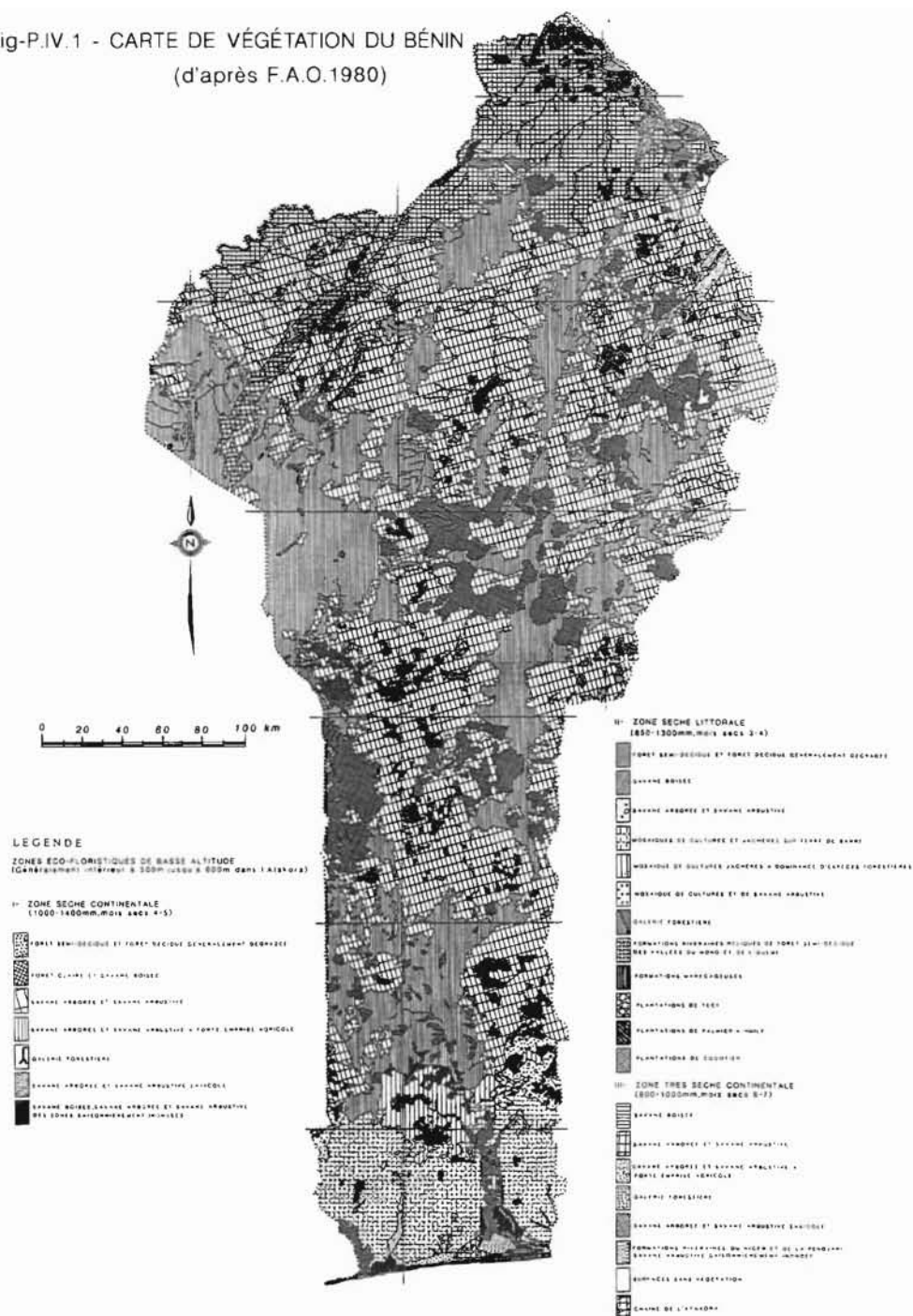
Le long du Niger et en quelques endroits le long de la Pendjari, on rencontre une savane arbustive (classe n° 25) saisonnièrement inondée à *Acacia siebernia*, *Acacia seyal*, *Tamarindus indica*, *Balanites aegyptiaca*, *Borassus aethiopum*.

Dans les zones les plus peuplées (région de Malanville et le long de la route interétats) l'influence humaine est dominante (classe n° 22).

Sur les lithosols sur cuirasses (sur roches basiques ou sur grès), on rencontre une savane arborée ou arbustive à *Adansonia digitata* (baobab) et à *Combretum* Spp..

Enfin, le long des vallées, s'est développée une galerie forestière à *Anogeissus leiocarpus*, *Kharpa senegalensis* et à *Ficus* Spp.

Fig-P.IV.1 - CARTE DE VÉGÉTATION DU BÉNIN
(d'après F.A.O.1980)



Bibliographie

I. GEOLOGIE

BRGM - 1979 - Carte géologique au 1/200 000 du Bénin entre les 9° et les 10° degré de latitude Nord. Feuilles de Bassari-Djougou et Parakou-Nikki.

Pougnnet ; Picard ; Slansky - 1957 - Carte géologique de reconnaissance au 1/500 000. Feuilles de Parakou et de Porto-Novo Est.

II. PEDOLOGIE

Dubroeucq - 1977 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille de Save. Orstom, 46 p.

Dubroeucq - 1977 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille de Parakou. Orstom, 38 p.

Faure - 1977 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille de Djougou. Orstom, 50 p.

Faure - 1977 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille de Natitingou et Porga-Karimana. Orstom, 68 p.

Viennot - 1978 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille de Bimbéréké. Orstom, 46 p.

Viennot - 1978 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille de Kandi. Orstom, 48 p.

Volkoff - 1976 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille de Porto-Novo. Orstom, 40 p.

Volkoff - 1976 - Carte pédologique de reconnaissance du Bénin au 1/200 000. Feuille d'Abomey. Orstom, 40 p.

III. VEGETATION

FAO ; PNUE - 1980 - Système mondial de surveillance continue de l'environnement. Projet pilote sur la surveillance continue de la couverture forestière tropicale. Bénin. Cartographie du couvert végétal et études de ses modifications. Fao, 75 p.

DEUXIEME PARTIE :

LES PRECIPITATIONS ET LES PRINCIPAUX PARAMETRES CLIMATIQUES

La pluie constitue la forme primaire de toutes les ressources en eaux superficielles. C'est aussi et de loin la plus importante et la mieux répartie.

Les précipitations au Bénin comme ailleurs se caractérisent par une forte irrégularité interannuelle dans leur abondance comme dans leur répartition spatio-temporelle. Dans cette partie, après avoir décrit une année "moyenne", nous nous efforcerons de décrire les variations observées par rapport à cette référence. Nous quantifierons ensuite cette irrégularité par une étude fréquentielle des totaux pluviométriques sur différents pas de temps.

Pour apporter des éléments d'explication à la répartition spatio-temporelle des pluies, nous avons fait précéder l'analyse de la pluviométrie d'un bref chapitre sur les mécanismes du climat. Il nous a également paru utile de compléter cette étude par une présentation sommaire des autres paramètres climatiques.

Chapitre 1

LES MECANISMES DU CLIMAT

I. La circulation générale de l'atmosphère

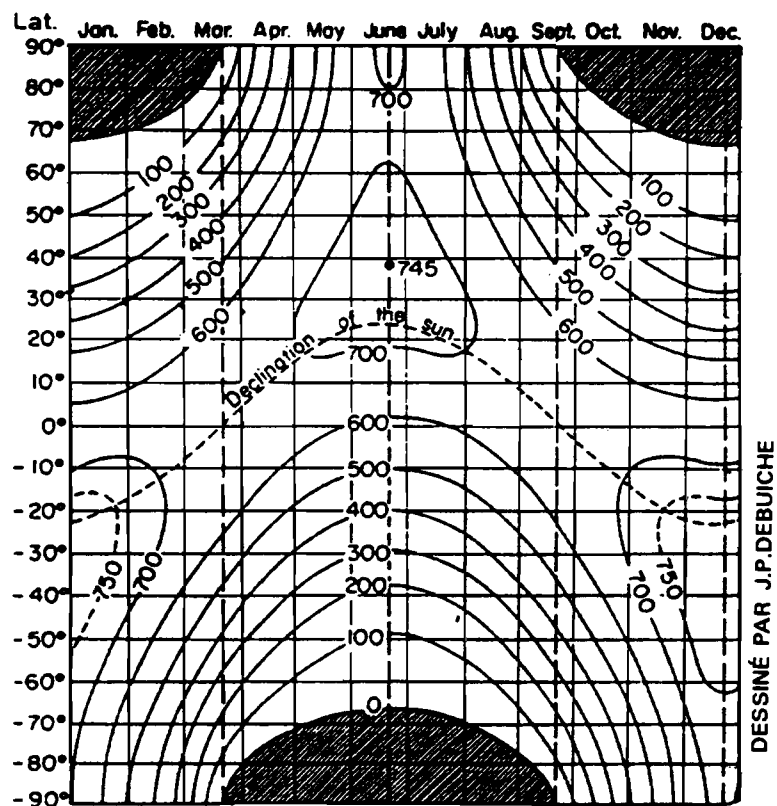
Les caractéristiques de l'orbite terrestre, la forme du globe et l'inclinaison de l'axe des pôles vont entraîner une inégale répartition de l'énergie solaire reçue à la surface de l'atmosphère, en fonction de la latitude et de la période de l'année. Il va en découler des déséquilibres qui vont induire des transferts méridiens d'énergie par l'intermédiaire des courants atmosphériques et marins.

La figure C.I.1 donne la répartition spatio-temporelle de la valeur moyenne du bilan énergétique dû au rayonnement solaire à l'entrée de l'atmosphère. De part et d'autre de la valeur maximale, sous le zénith, des transferts vont se faire vers les pôles et seront d'autant plus importants que les gradients énergétiques seront élevés. Les flux seront donc maximaux en hiver et minimaux en été.

La terre est donc divisée en deux hémisphères, de taille inégale et variable, autonomes d'un point de vue énergétique. La limite entre ces deux hémisphères est appelée l'équateur météorologique (E.M.).

Ainsi, si l'on pouvait négliger la rotation de la terre, la circulation atmosphérique se présenterait sous la forme de deux cellules convectives dont les branches ascendantes se situeraient sur l'E.M. et les branches descendantes sur les pôles.

La terre tournant sur elle-même, les vents dirigés vers l'équateur sont déviés vers l'ouest à l'inverse de ceux dirigés vers les pôles qui sont déviés vers l'Est. Les déviations seront d'autant plus importantes que la vitesse des vents sera élevée. Les vents d'altitude, rapides, dirigés de l'E.M. vers les pôles vont donc subir une déviation vers l'Est. Au bout d'un certain trajet, la déviation sera telle que les vents vont s'organiser en jets de fortes composantes Ouest. Il va en découler une subsidence. C'est l'explication de la ceinture des hautes pressions subtropicales qui sont surmontées des jets subtropicaux et qui suivent la migration de l'E.M..



(d'après H.FLOHN) .

Fig - C.I.1 - ENERGIE SOLAIRE REÇUE A LA SURFACE DE LA TERRE
AU NIVEAU DE LA MER (Cal/cm²/j)
VALEUR CALCULEE EN PRENANT UN COEFFICIENT
DE TRANSMISSION DE 0,7

La figure C.I.2 illustre le schéma pour deux positions extrêmes de l'E.M. :

- en janvier, l'E.M. se trouve dans l'hémisphère Sud, les jets se situent vers 25° de latitude Nord et à 45° de latitude Sud. Au sol, les hautes pressions induites sont localisées sur les bords équatoriaux de ces jets*. Dans l'hémisphère Nord, les gradients thermiques sont beaucoup plus forts que dans l'hémisphère Sud. Les flux sont donc plus importants ; les jets d'Ouest et les hautes pressions subtropicales seront donc beaucoup plus actifs au Nord qu'au Sud ;
- en juillet, la situation est inverse.

Le schéma précédent doit être modifié pour tenir compte des comportements thermiques très différents des océans et des continents, et du rôle joué par la répartition géographique de ces deux substrats.

a) Sur les océans :

La grande inertie thermique des océans va avoir plusieurs conséquences :

- le mouvement de l'E.M. va suivre avec deux mois de décalage et de façon amortie le mouvement apparent du soleil,
- l'échauffement des océans étant modéré, la formation "dynamique" des anticyclones subtropicaux ne va pas être contrariée. Il y a donc une permanence de ces anticyclones sur les océans,
- l'E.M., zone de confluence des vents en provenance des deux hémisphères météorologiques, est à peu près vertical. Les basses couches sont, en effet, peu influencées par les faibles variations de température de l'océan. On dit que l'E.M. a une structure ZIC (Zone Intertropicale de Confluence).

b) Sur les continents :

L'inertie thermique est beaucoup plus faible, donc :

- le mouvement de l'E.M. va avoir une amplitude plus grande et va être déphasé d'un mois seulement avec celui apparent du soleil,
- en été, l'échauffement des terres va empêcher la mise en place dans les basses couches des anticyclones dynamiques subtropicaux qui vont être remplacés par des dépressions d'origines thermiques. L'E.M. va donc, dans les basses couches, être déporté vers les pôles d'été et va s'incliner. On dit alors qu'il a une structure FIT (Front Intertropical). Dans les moyennes et hautes couches peu influencées par le substratum, l'E.M. reste vertical (structure ZIC),
- en hiver, le refroidissement du continent renforce les anticyclones subtropicaux.

* L'ensemble convectif entre l'E.M. et ces hautes pressions tropicales forme ce que l'on appelle "la cellule de Hadley"

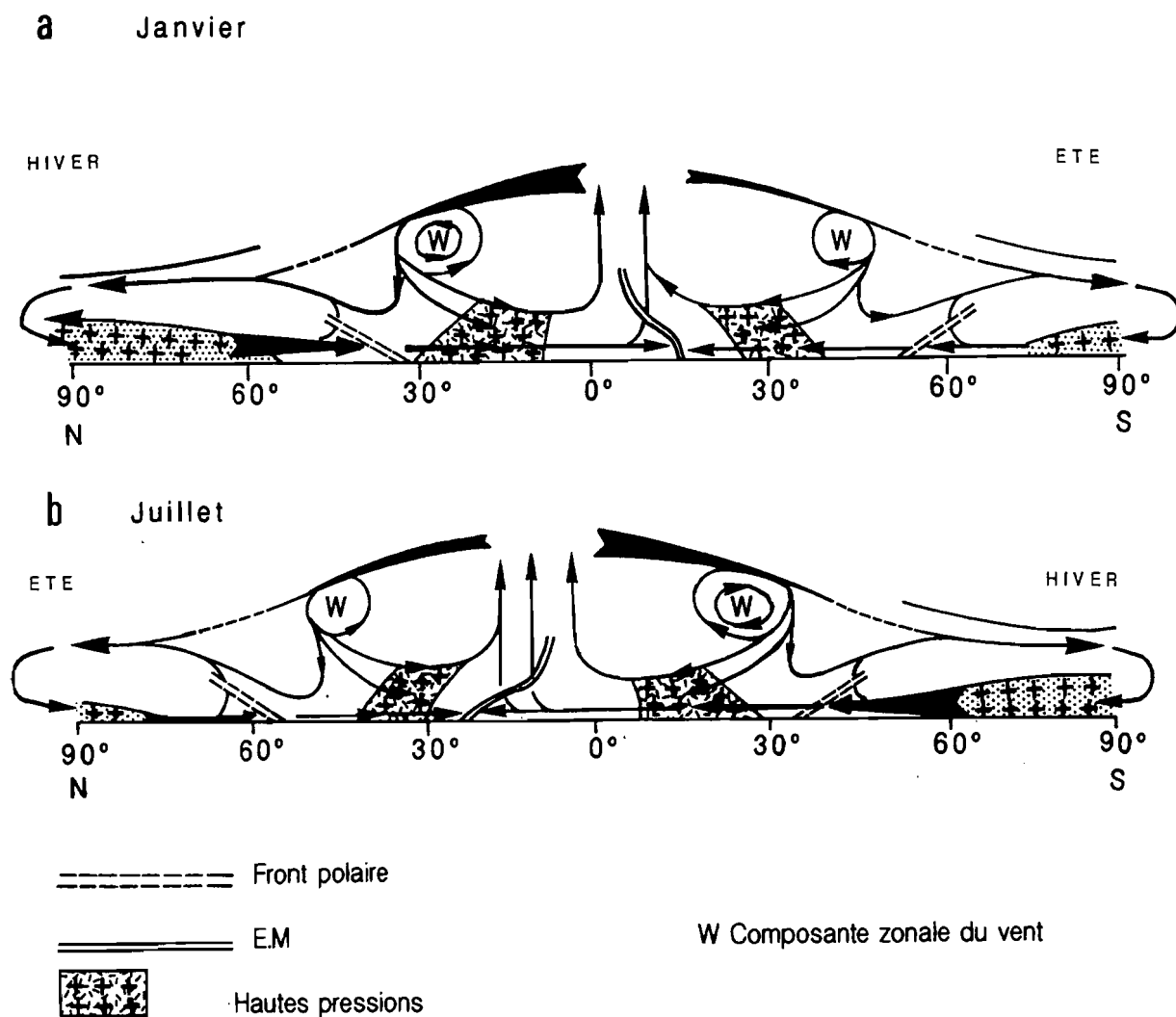


Fig - C.I.2 - VARIATION SAISONNIERES DE LA CIRCULATION MERIDIENNE
(d'après M.LEROUX 1980)

c) L'influence de la répartition océan-continent

Le comportement thermique différent des océans et des continents entraîne, dans certaines zones, des contrastes qui vont induire une circulation atmosphérique non méridienne. Ces phénomènes sont importants dans la zone intertropicale et peuvent être accentués par les facteurs suivants :

- a) sur les océans, la présence de remontées d'eaux froides : les "upwellings",
- b) sur les continents, la présence de reliefs qui s'échauffent davantage et favorisent les ascendances d'où la libération dans les hautes couches de quantités importantes de chaleur latente.

Cette circulation zonale dans la zone intertropicale se fait sous forme de cellules convectives : les cellules de Walker. Seule la cellule pacifique a été bien étudiée. La position des branches ascendantes et descendantes des autres cellules représentées sur la figure C.I.3, sont hypothétiques.

Les variations interannuelles de la circulation de Walker sont responsables d'anomalies météorologiques dont les plus connues sont les phénomènes d'El Niño sur les côtes du Pérou.

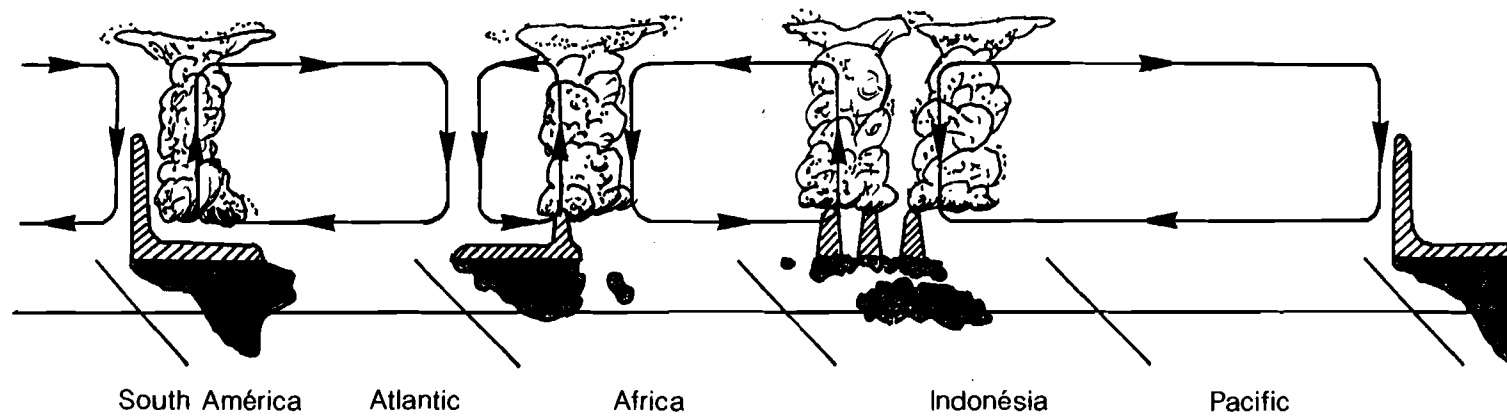


Fig - C.I.3 - CIRCULATION ZONALE DANS LA ZONE INTERTROPICALE (circulation de WALKER)

II. Schéma de la circulation atmosphérique sur l'Afrique de l'Ouest

1. Circulation méridienne (*Cf. fig. C.I.4*)

La circulation méridienne des moyennes et hautes couches de l'atmosphère est peu influencée par la nature du substrat, elle est donc sur l'Afrique de l'Ouest à peu près conforme au schéma présenté au paragraphe précédent. Nous ne détaillerons ici que la circulation méridienne dans les basses couches en considérant les deux situations extrêmes des mois de janvier et août.

- en janvier, l'E.M. occupe sa position la plus méridionale. Les hautes pressions subtropicales Nord (anticyclones des Açores et Egypto-lybien) s'étendent sur l'océan et le continent. Des autres pressions continentales s'écoule un flux d'air sec, l'alizé continental ou Harmattan, dévié vers l'Ouest. Au Sud de l'E.M., l'échauffement du continent empêche la formation des hautes pressions et seuls persistent les anticyclones océaniques de Ste Hélène sur l'Atlantique et les Mascareignes sur l'Océan Indien.

De l'anticyclone Ste Hélène s'écoule un flux d'air humide, les alizés maritimes australs, dévié vers l'Ouest jusqu'à l'Equateur et vers l'Est ensuite. Au niveau de l'Equateur, il y a convergence de ces deux flux.

- en juillet, du fait de l'échauffement du continent, l'anticyclone saharien est remplacé par une dépression d'origine thermique. L'E.M. se trouve alors dans sa position la plus septentrionale et se prolonge dans les basses couches par une structure FIT

Au Sud de l'E.M., les hautes pressions subtropicales s'étendent sur les océans et le continent. De ces anticyclones va s'écouler un flux d'air qui va se charger d'humidité sur l'océan atlantique. Au passage de l'Equateur géographique, les alizés sont déviés vers l'Est. Ils forment alors le flux de "mousson" qui va pénétrer à l'intérieur du continent jusqu'au FIT.

2. Circulation zonale

2.1. Dans la haute troposphère

Au niveau des zones où l'E.M. est le plus actif (reliefs notamment), sont libérées par condensation de grandes quantités de chaleur latente, il s'en suit des gradients zonaux de températures qui induisent des accélérations dans les vents d'Est. De véritables jets peuvent être alors individualisés (*fig. C.I.5*) :

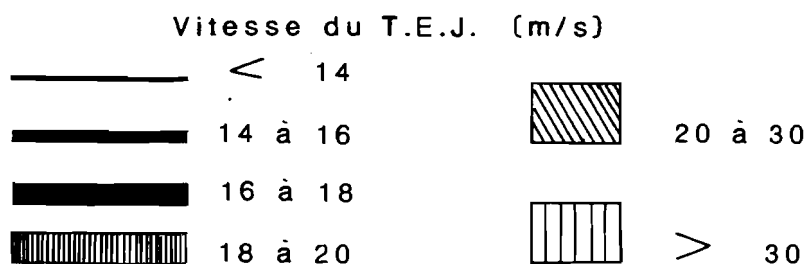
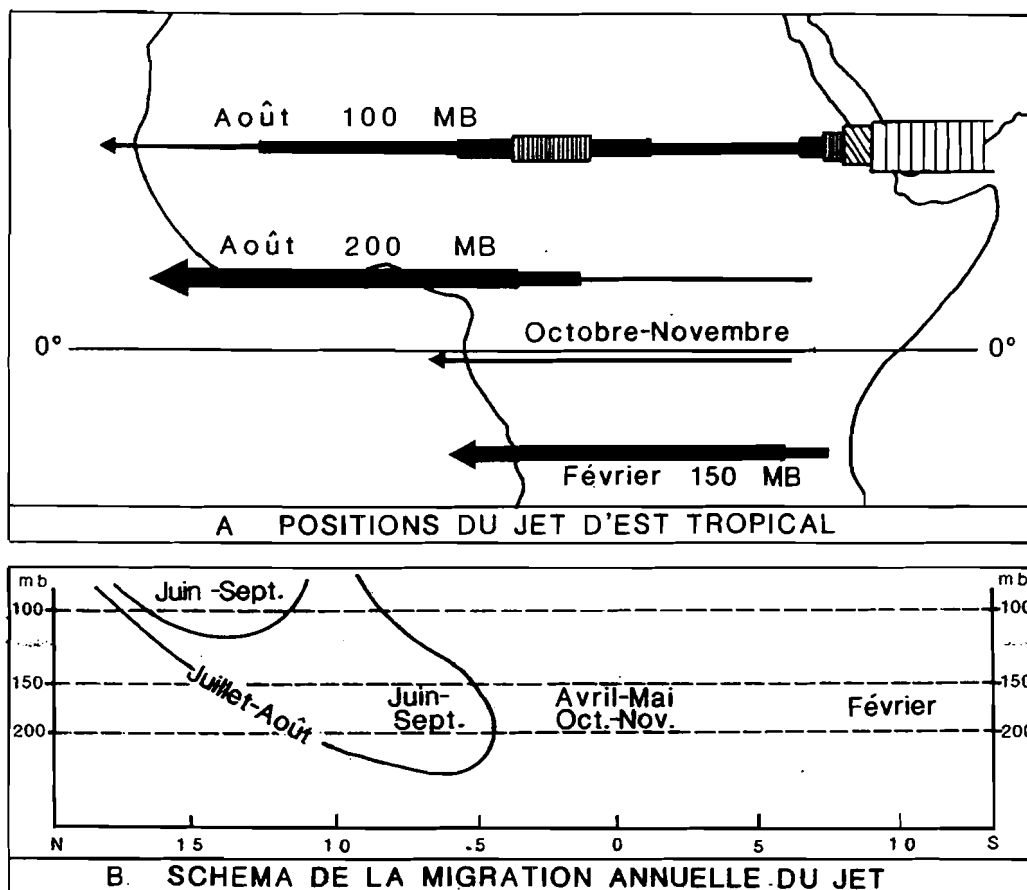


Fig - C.1.5 - LE JET D'EST TROPICAL
(d'après MLEROUX 1980)

- vers 100 mb en juillet-août à 15° N environ, le "Tropical Easterly Jet" TEJ qui prendrait son origine au-dessus du continent indien où les ascendances sont alors très fortes,
- vers 200 mb, le TEJ se prolonge par des jets moins intenses qui accompagnent la migration de l'E.M.

2.2. Dans les couches moyennes de l'atmosphère (500-700 mb)

Les gradients thermiques liés à l'échauffement des reliefs Est Africains entraînent une accélération des flux d'Est : c'est le Jet d'Est Africain Nord (J.E.A.N.) il migre avec l'E.M. : en janvier il est repéré à 5° Nord ; sa vitesse est alors de 30 km/h. En août, il se situe entre 15° N et 17° N avec des vitesses de 40 à 45 km/h. Dès septembre, il migre vers le Sud puis s'affaiblit.

2.3. Dans les basses couches

On peut supposer que la circulation d'Est des hautes et moyennes couches en été, serait due à l'existence d'une cellule convective entre une zone chaude, les reliefs Est africains et une zone froide, l'océan atlantique au niveau du Golfe de Guinée. Dans les basses couches on devrait donc constater d'une part une accélération des flux de secteur SW et d'autre part des mouvements descendants sur les zones froides. Cette subsidence serait renforcée par les upwelling (*cf. fig. C.I.6*) existant à cette période de l'année dans le Golfe de Guinée.

Sur l'Afrique de l'Ouest, ce seraient les variations de la circulation zonale qui entraîneraient les irrégularités de la pluviométrie. On constate en effet, au Sahel qu'au cours des années sèches, le J.E.A.N. est particulièrement intense. Sur la côte du Golfe de Guinée, les mois de juillet-août exceptionnellement pluvieux sont ceux durant lesquels on n'observe pas d'upwelling.

III. Les facteurs pluviogènes

Le schéma de la circulation atmosphérique au niveau de l'Afrique de l'Ouest, tel que nous l'avons présenté, décrit assez bien les mouvements saisonniers observés des deux masses d'air en présence : l'Harmattan sec et la Mousson humide. Il ne permet cependant pas d'expliquer à lui seul la répartition spatio-temporelle des pluies.

Pour qu'il y ait précipitation, en effet, il faut que l'air humide puisse s'élever suffisamment pour devenir saturé en vapeur d'eau et que puissent se former les gouttes de pluies. La notion d'E.M. ne peut donc expliquer que les précipitations observées au niveau de la structure ZIC où les ascendances sont importantes. Cela ne concerne donc qu'une bande étroite de 200 km de largeur environ de part et d'autre de la position moyenne de l'E.M. à 700 mb. Les précipitations ayant cette origine sont appelées "pluies de mousson" ; elles sont abondantes et de longue durée.

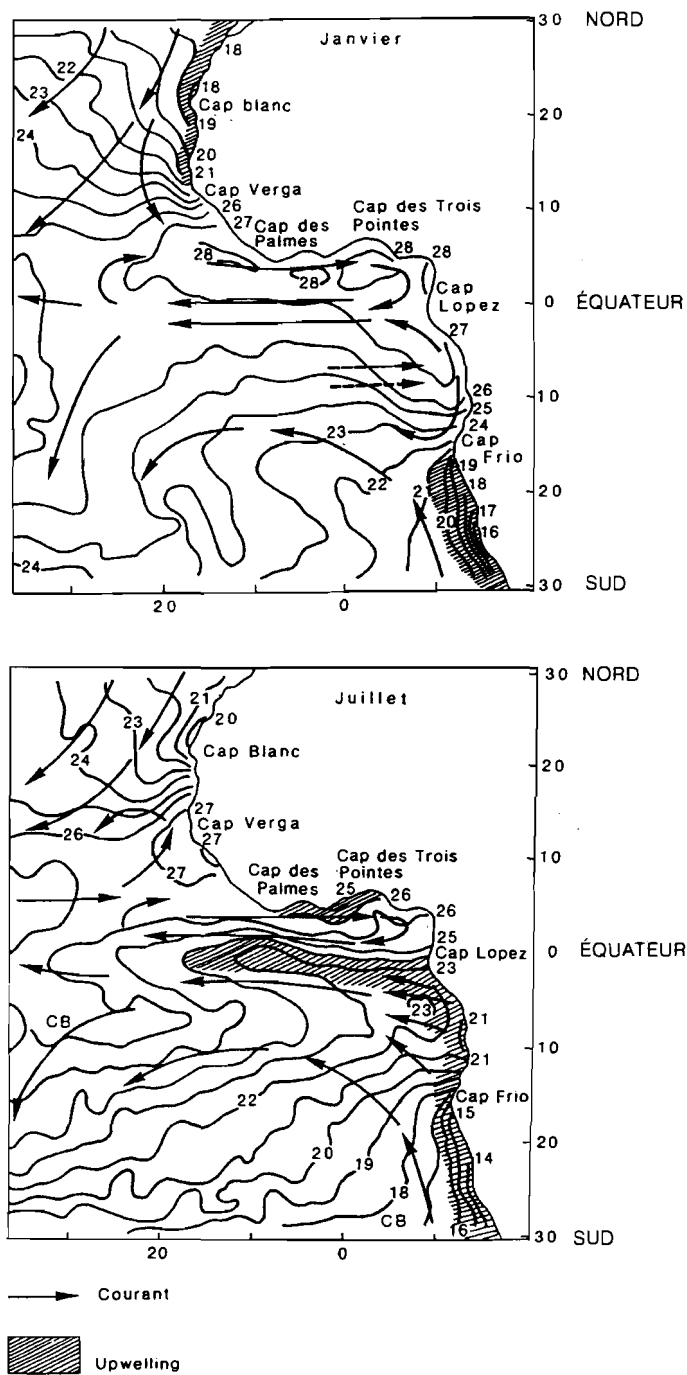


Fig - C.I.6 - TEMPERATURE ET CIRCULATION EN SURFACE DE L'OCEAN ATLANTIQUE DANS LE GOLFE DE GUINEE

Au niveau de la structure du FIT, l'air humide est surmonté d'un courant d'Est qui bloque son ascendance. Il ne pourra donc y avoir précipitation que si des perturbations arrivent à modifier cette structure. C'est ce qui se passe lors des "tornades" et des lignes de grains.

Sur la figure C.I.7 est schématisée la répartition N-S des différents types de précipitations pour une position donnée de l'E.M. :

- au Nord du FIT (zone A) : aucune précipitation mais possibilité de tornades sèches,
- au niveau de la structure FIT (zone B). Zone de tornades et de lignes de grains. La taille de cette zone n'est pas constante, elle est minimale en janvier et va croître avec l'échauffement du continent, elle sera maximale en août,
- au niveau de la structure ZIC de l'E.M. (zone C), les ascendances liées à l'E.M. sont très importantes et génèrent les pluies de mousson,
- au sud de cette zone, les ascendances ne sont plus suffisantes et les précipitations quasi inexistantes.

IV. Présentation des climats du Bénin

L'action des différents mécanismes que nous venons d'évoquer va entraîner une assez grande diversité dans les climats du Bénin. Un clivage très net existe d'abord entre la zone côtière et l'intérieur du pays. Dans chacun de ces deux domaines apparaissent ensuite des nuances liées à la position géographique et au relief des régions.

1. La bande côtière

On pourrait approximativement fixer la limite Nord de cette région à la latitude 6°45'N. Cette zone reste presque toute l'année sous l'influence des alizés océaniques et les amplitudes thermiques y sont très modérées.

La pluviométrie s'explique à la fois par les mouvements de l'E.M. et l'apparition durant les mois de juillet et d'août d'un facteur inhibiteur des précipitations entraînant l'apparition d'une petite saison sèche. Ce facteur inhibiteur est mal défini. Ce pourrait être la mise en place d'une cellule convective zonale dont la branche descendante se situerait sur le Golfe de Guinée. Il semble être lié à l'Upwelling qui apparaît à cette période dans le Golfe. Il est plus intense à l'Ouest qu'à l'Est du pays.

Les précipitations de la bande côtière suivent donc un régime à deux saisons des pluies : la première de mars à juin correspond à la montée de l'E.M., avec un maximum en juin, la seconde de septembre à novembre avec un maximum en octobre. Les deux saisons des pluies sont séparées par une saison sèche de deux mois. A partir du mois de juillet existe un gradient Ouest-Est de la pluviométrie.

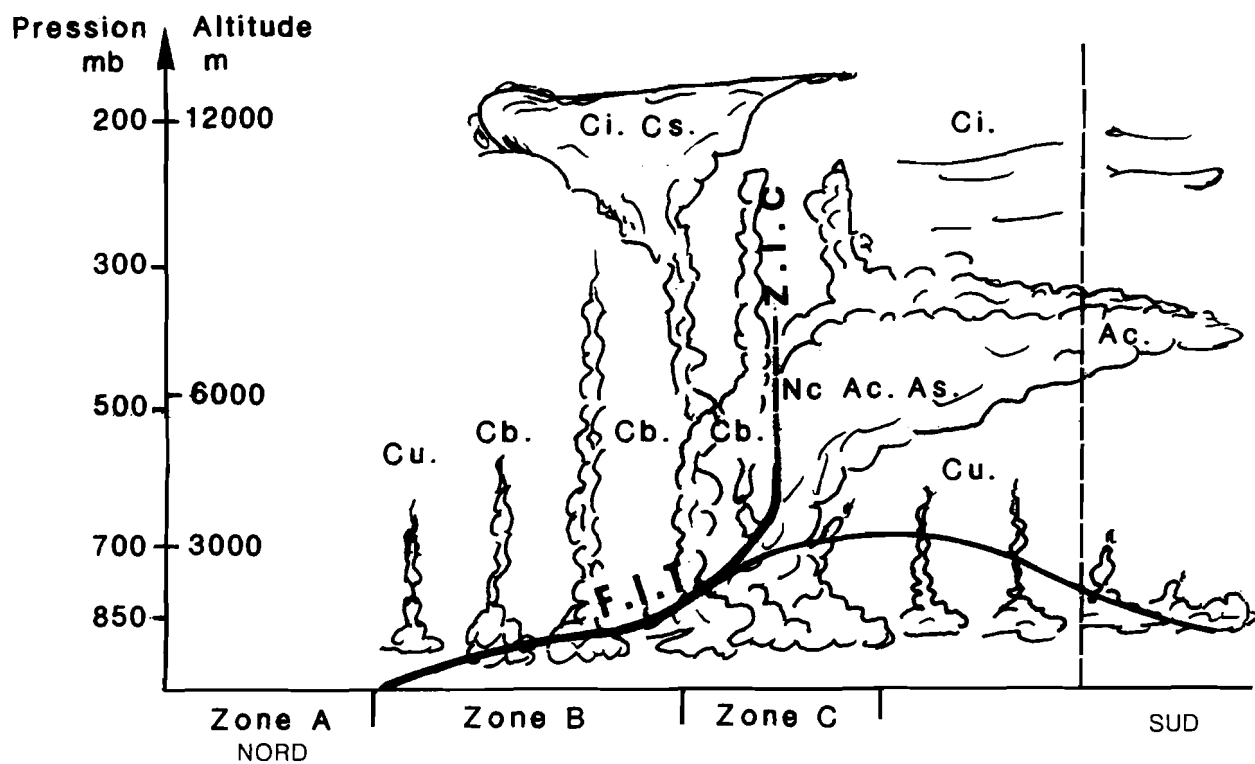


Fig - C.I.7 - STRUCTURE SCHEMATIQUE DE L'ATMOSPHERE SUR L'AFRIQUE DE L'OUEST
PENDANT LA SAISON DES PLUIES

Il est à noter que, certaines années (68, 63, 47), pour des raisons encore mal connues, il n'y a pas apparition en juillet-août du facteur inhibiteur des précipitations évoqué plus haut. L'E.M. a alors une structure ZIC très pluviogène et on observe des précipitations très importantes : 608 mm et 430 mm en moyenne sur la bande côtière en juillet et août 1968. Le gradient pluviométrique est alors très atténué ou même quasiment inexistant. Pour chacune de ces années, l'upwelling estival a été très faible.

2. L'intérieur du pays

Du Sud au Nord, l'influence de l'Harmattan sec va croître, ce qui va se traduire par une augmentation progressive des écarts thermiques et de la durée de la grande saison sèche qui va passer de trois mois (décembre à février) à 7° de latitude Nord, à six mois (octobre à mars) à l'extrême Nord du pays.

Parallèlement, la durée de la petite saison sèche va progressivement s'estomper pour quasiment disparaître, en année moyenne, au delà du 10° parallèle. Le gradient pluviométrique Ouest-Est observé sur la région côtière à partir du mois de juillet va également s'atténuer jusqu'au 9° parallèle où il n'est plus perceptible.

Dans le Nord-Ouest du pays, montagneux, à ces variations liées à la situation géographique, va se superposer l'influence du relief, les pluies vont y être plus abondantes et plus fréquentes et les températures moins élevées.

Chapitre 2 LES PRECIPITATIONS

I. Les données disponibles

Les stations retenues dans cette monographie sont celles qui ont été ou sont encore gérées par la Direction de la Météorologie Nationale (69 postes).

La densité de ce réseau est assez inégale : très serré au Sud, il est beaucoup plus lâche au Nord. La qualité des données aussi n'est pas homogène : si aux stations synoptiques et climatologiques les relevés sont en général fiables, ceux faits aux stations uniquement pluviométriques par un personnel moins qualifié sont parfois douteux. Les périodes d'observation, enfin, varient d'un poste à l'autre comme le montre le tableau suivant :

Date de création du poste	Effectif en %
< 1930	33
1930 - 1939	5
1940 - 1949	12
1950 - 1959	22
1960 - 1969	24
> 1970	4

Pour ces raisons, il était absolument nécessaire avant toute analyse, d'une part de critiquer ces données pour corriger les erreurs flagrantes (erreur d'éprouvette par exemple), compléter certaines lacunes et exclure les années trop douteuses, et d'autre part de rendre homogènes les séries statistiques des relevés faits aux différents postes.

C'est ce que nous avons fait en appliquant aux totaux annuels, la méthode dite du "Vecteur régional" que l'on trouvera décrite en Annexe M1. Au total sur 2 569 stations-années critiquées, 8 % ont dû être éliminées (relevés douteux, lacunes ou séries trop courtes) et 17 % ont été complétées ou corrigées. Le fichier opérationnel ainsi constitué concerne les 53 stations du tableau n° T.C.II.1.

Tableau T.C.II.1 - Réseau pluviométrique du Bénin

Nom des stations	Latitude	Longitude	N° Orstom	N° Asecna	Année de création
Cotonou Aéro	+ 06°21'	- 02°23'	110001	075	1952
Abomey	+ 07°11'	- 01°59'	110004	058	1921
Adjohon	+ 06°42'	- 02°29'	110007	068	1921
Agouna	+ 07°33'	- 01°42'	110009	054	1968
Allada	+ 06°39'	- 02°08'	110010	069	1907
Alfakoara	+ 11°27'	- 03°04'	110011	003	1969
Aplahoue	+ 06°55'	- 01°40'	110013	063	1921
Athiémé	+ 06°34'	- 01°40'	110016	070	1921
Banikoara	+ 11°18'	- 02°26'	110019	004	1954
Banté	+ 08°26'	- 01°53'	110022	045	1942
Bassila	+ 09°01'	- 01°40'	110025	037	1950
Bembéréké	+ 10°12'	- 02°40'	110028	024	1921
Bétérou	+ 09°12'	- 02°16'	110031	036	1953
Birni	+ 09°59'	- 01°31'	110034	026	1933
Bohicon	+ 07°10'	- 02°01'	110037	059	1940
Bonou	+ 06°56'	- 02°30'	110040	061	1964
Bopa	+ 06°31'	- 01°58'	110043	071	1921
Boukombé	+ 10°10'	- 01°06'	110046	025	1923
Cotonou Ville	+ 06°21'	- 02°26'	110049	076	1922
Dassa-Zoumé	+ 07°45'	- 02°10'	110052	051	1941
Djougou	+ 09°42'	- 01°40'	110055	030	1921
Dogbo-Tota	+ 06°45'	- 01°47'	110058	063	1933
Grand-Popo	+ 06°17'	- 01°49'	110061	077	1921
Ina	+ 09°58'	- 02°44'	110064	027	1944
Kalale	+ 10°18'	- 03°23'	110067	022	1957
Kandi	+ 11°08'	- 02°56'	110070	005	1921
Kérou	+ 10°50'	- 02°06'	110073	011	1959
Kétou	+ 07°21'	- 02°36'	110076	056	1950
Koundé	+ 10°20'	- 01°41'	110079	019	1931
Lonkly	+ 07°09'	- 01°39'	110082	060	1953
Malanville	+ 11°52'	- 03°24'	110085	002	1942
Naitingou	+ 10°19'	- 01°23'	110088	020	1921
Djaouli	+ 06°42'	- 02°07'	110091	067	1941
Nikky	+ 09°36'	- 03°12'	110094	028	1921
Okpara	+ 09°28'	- 02°44'	110097	033	1956
Ouessé	+ 08°30'	- 02°23'	110100	042	1964
Ouidah	+ 06°22'	- 02°00'	110103	073	1921
Parakou	+ 09°21'	- 02°37'	110106	034	1905
Partago	+ 09°32'	- 01°54'	110107	032	1969
Pobé	+ 06°56'	- 02°40'	110109	062	1921
Porga	+ 11°02'	- 00°58'	110112	006	1964
Porto-Novo	+ 06°29'	- 02°37'	110115	072	1896
Sakété	+ 06°43'	- 02°10'	110118	066	1921
Savalou	+ 07°36'	- 01°59'	110121	050	1921
Save	+ 08°02'	- 02°28'	110124	049	1921
Sémé	+ 06°22'	- 02°38'	110130	074	1943
Séméré	+ 09°33'	- 01°22'	110131	031	1969
Tanguiété	+ 10°37'	- 01°16'	110133	013	1937
Tchaourou	+ 08°52'	- 02°36'	110136	038	1937
Tchetti	+ 07°49'	- 01°40'	110139	052	1964
Toffo	+ 06°50'	- 02°03'	110142	064	1952
Toui	+ 08°41'	- 02°36'	110145	041	1944
Zagnanado	+ 07°15'	- 02°20'	110148	057	1921

II. Description d'une année moyenne

1. La pluviométrie annuelle

On trouvera représentée sur la figure C.II.1. la carte des isohyètes moyennes annuelles calculées sur une période de 60 ans (1925 - 1984).

A l'extrême Nord du pays, la hauteur annuelle croît régulièrement du Nord au Sud et passe de 800 mm à 12°30 N à 1100 mm à 10°50 N.

Sous l'influence des reliefs de l'Atakora, va apparaître un maximum (> 1300 mm) dans la région de Djougou-Natitingou.

Plus au Sud, au gradient pluviométrique Nord-Sud se superpose un gradient Ouest-Est qui va s'amplifiant jusqu'à la côte : 900 mm à la frontière du Togo, 1500 mm à celle du Nigéria.

2. Répartition mensuelle moyenne des pluies

2.1. Les cartes d'isohyètes mensuelles

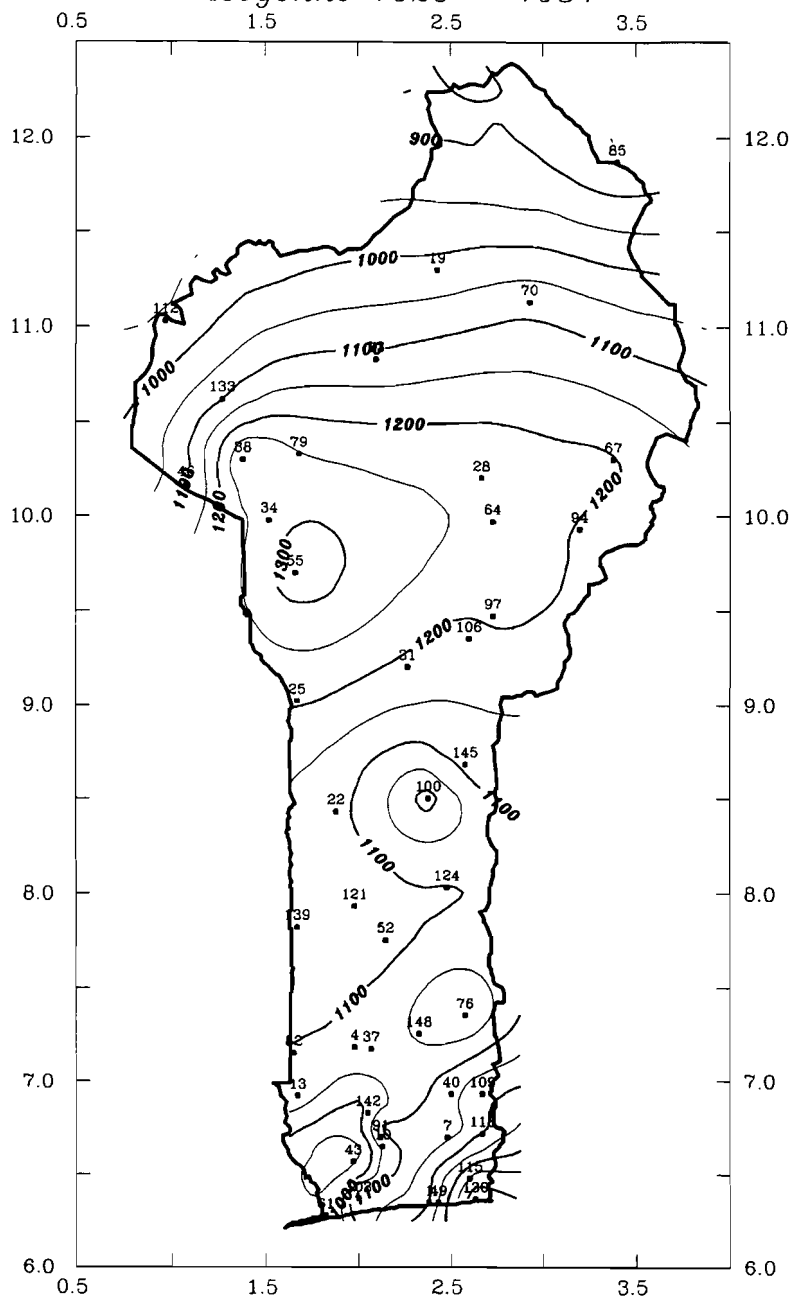
Les cartes des isohyètes moyennes mensuelles calculées sur 60 ans sont représentées sur les figures C.II.2a et C.II.2b. On notera les faits suivants :

- dans le Nord du pays, la montée de la saison des pluies se fait de façon progressive à partir du mois de mars. Elle s'arrête beaucoup plus brutalement en octobre. Si on fait abstraction des reliefs, les isohyètes restent sensiblement parallèles à la direction Ouest-Est ;
- dans le Sud, jusqu'au mois d'avril à quelques détails près, on constate la même évolution que dans le Nord. Au mois de mai et juin en revanche, un "front" de pluviosité progresse de la côte vers l'intérieur avec des gradients élevés : 400 mm en juin à Sémé contre 200 mm 50 km plus au Nord. Cela pourrait correspondre à la montée de la structure ZIC de l'Em. En juillet la pluviométrie chute brutalement et apparaît un gradient Ouest-Est qui va se maintenir durant la petite saison sèche. Le mois d'octobre correspond au maximum de la deuxième saison des pluies avec un gradient Ouest-Est très prononcé et qui va s'étendre sur toute la moitié Sud du pays : au Sud de 9°30 N de latitude Nord, les isohyètes suivent alors une direction grossièrement Nord-Sud.

PLUIE ANNUELLE (mm)

Moyenne 1925 - 1984

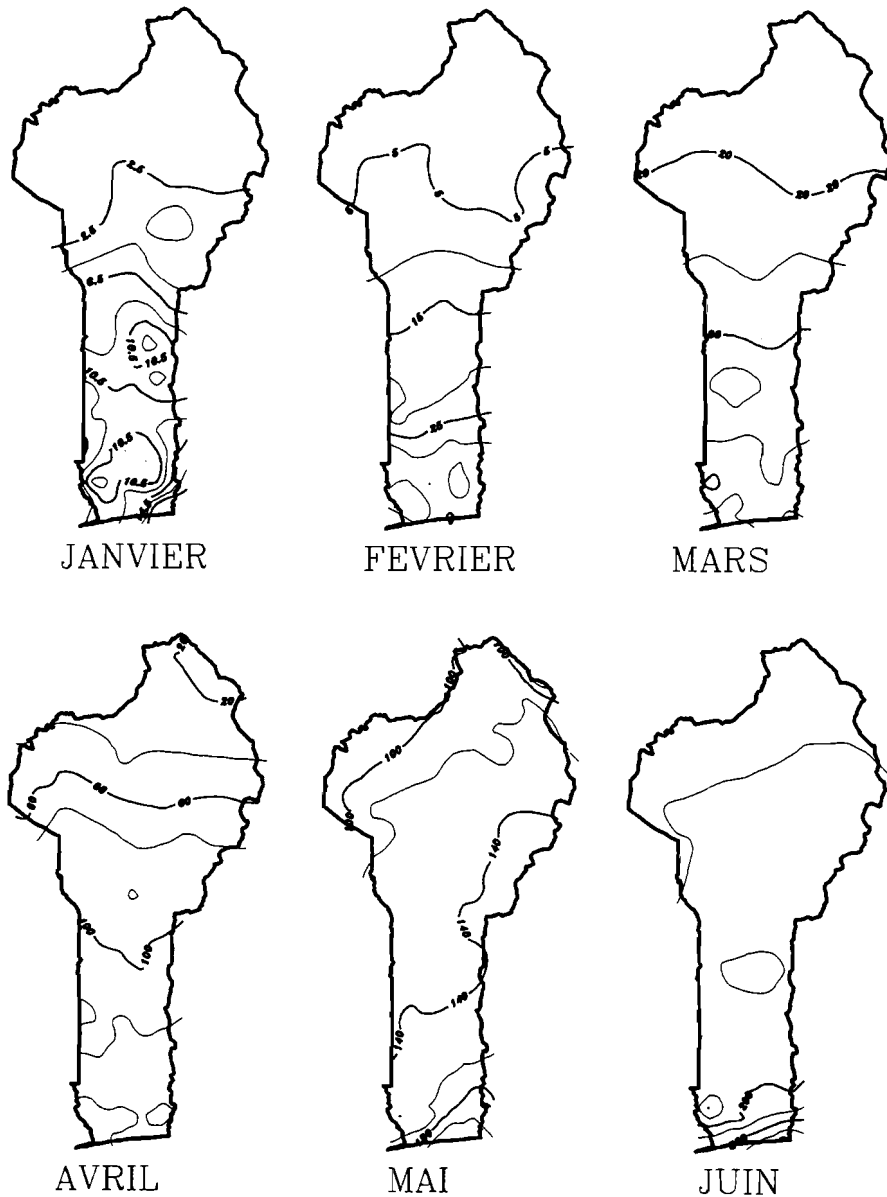
Fig - C.II.1



PLUIES MENSUELLES (mm)

Moyennes 1925-1984

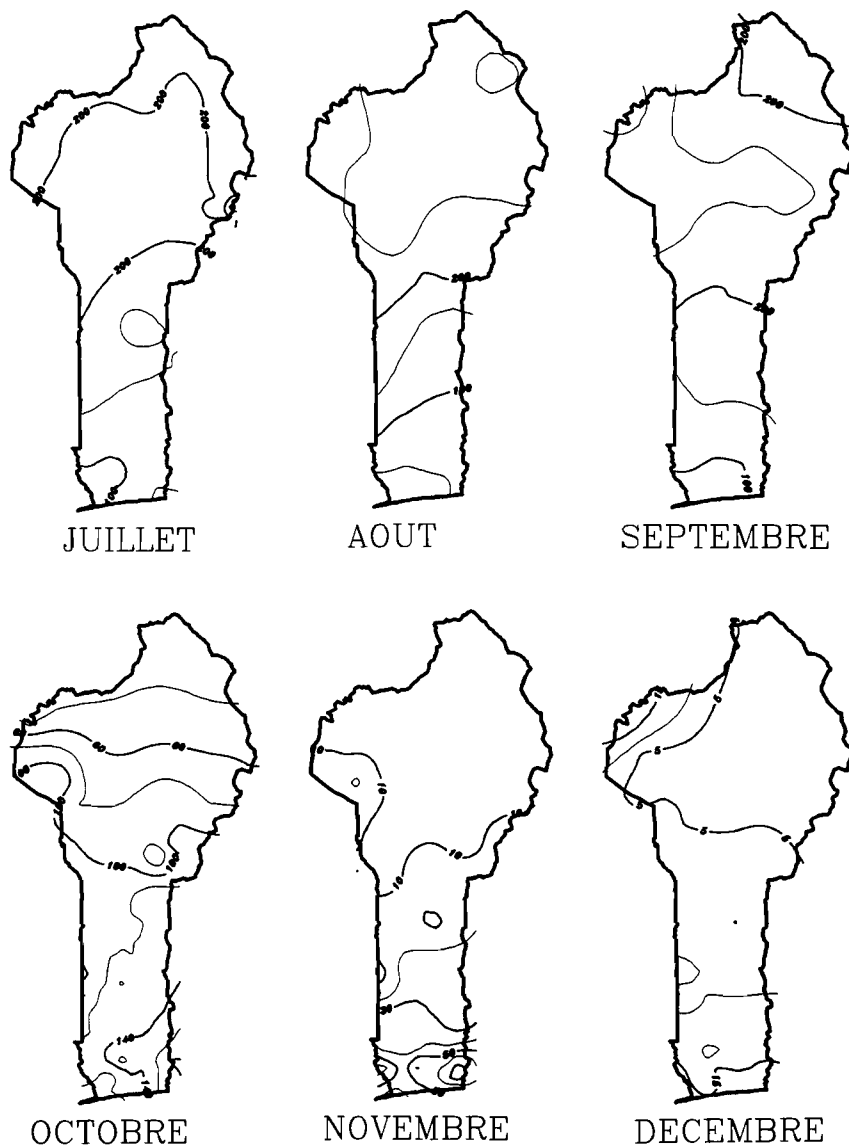
Fig - C.II.2a



PLUIES MENSUELLES (mm)

Moyennes 1925-1984

Fig - C.II.2b



2.2. Les profils pluviométriques mensuels moyens

L'interprétation des cartes d'isohyètes mensuelles présentées au paragraphe précédent est souvent malaisée, les effets d'abondance liés aux conditions locales pouvant masquer ceux liés aux mouvements des masses d'air. C'est pourquoi nous ne considérerons dans ce paragraphe que les "profils pluviométriques mensuels moyens".

Pour un poste, un profil est défini comme étant le vecteur des 12 valeurs mensuelles ramenées au total annuel.

Nous avons essayé de classifier ces profils en utilisant la méthode dite du "classement ascendant hiérarchique" (C.A.H) dont on trouvera exposé le principe en Annexe M2.

Cette méthode, à partir de la partition initiale où chaque classe représente un poste, constitue, par agglomérations successives des classes les plus voisines, de nouvelles partitions. Un des avantages de la méthode est qu'elle permet de quantifier la perte d'information liée à une partition donnée.

Ainsi si on se fixe un seuil de 95 % pour la restitution de l'information, on obtient une partition en douze classes dont les situations géographiques sont schématisées sur la figure n° C.II.3. et dont les profils moyens sont indiqués dans le tableau T.C.II.2.

Cette partition correspond essentiellement à un zonage Sud-Nord du pays et l'on voit le passage progressif d'un régime à deux saisons des pluies à un régime à une seule saison des pluies. On notera entre 7°25' N et 9°00' N, la nuance qui existe de part et d'autre d'une ligne Nord-Est - Sud-Ouest passant par Tchetti : un creux à l'Est de cette ligne en août, et qui n'apparaît pas à l'Ouest.

L'adoption d'un seuil de 91 % pour la restitution de l'information, conduirait à une partition en 5 classes (fig. C.II.4) :

Partition en 5 classes	Partition en 12 classes
5	I
4	II + III
3	IV Ouest + IV Est + V Ouest + V Est
2	VI + VII + VIII
1	IX + X

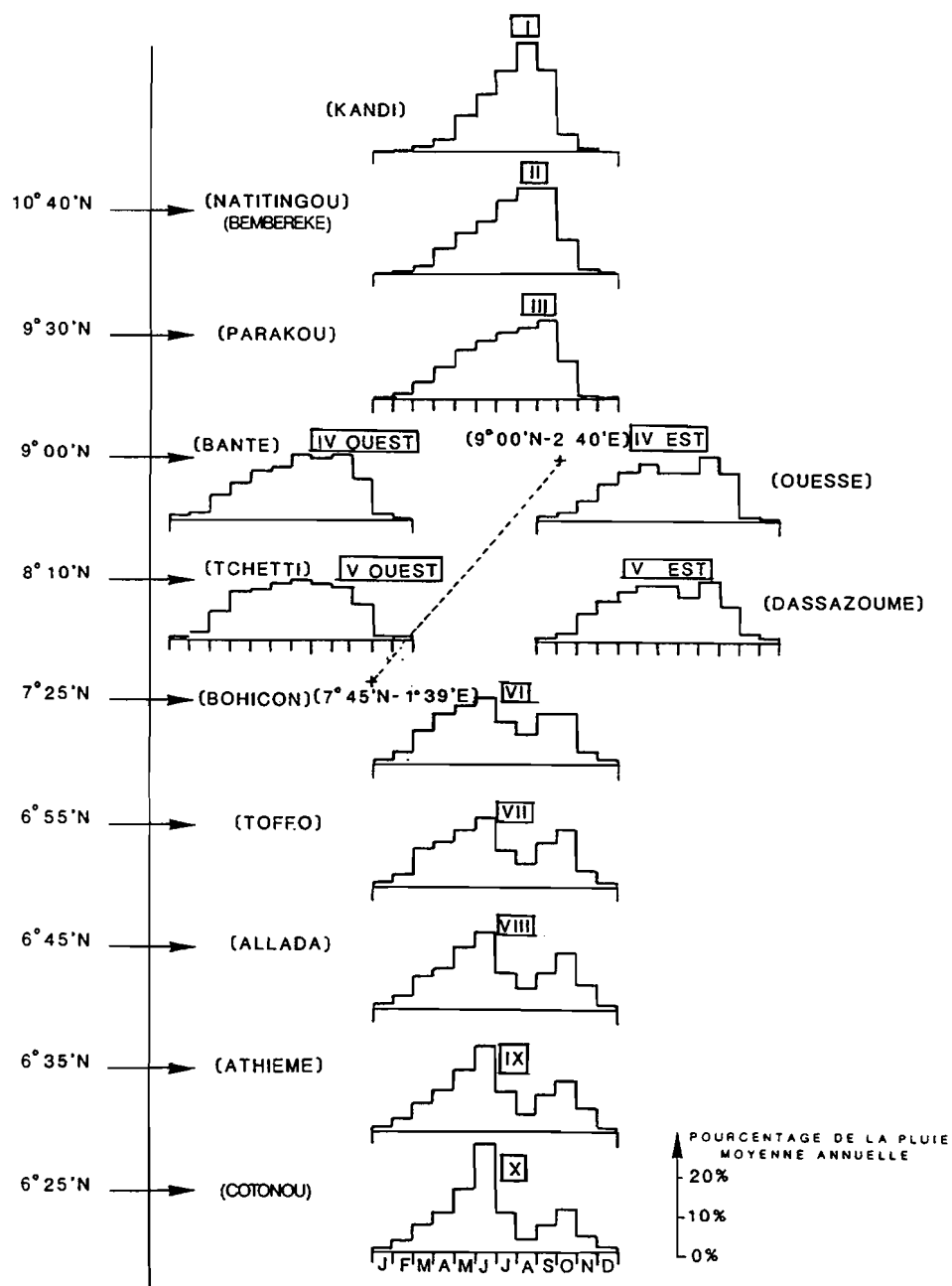


Fig - C.II.3 - CLASSIFICATION DES PROFILS PLUVIOMETRIQUES
MENSUELS MOYENS DU BENIN

**Tableau T.C.II.2 - Classes des profils pluviométriques mensuels moyens
en % du total annuel**

Classe	Limites Nord & Sud	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	12°00- 10°40	0	0,2	0,9	3,2	9,3	14,1	20,3	27,5	20,0	4,1	0,3	0,1
II	10°40- 9°30	0,2	0,4	2,1	6,0	10,2	12,8	17,6	20,6	21,3	7,6	0,9	0,3
III	9°30- 9°00	0,4	1,0	3,6	7,5	11,5	14,0	15,9	17,4	18,5	8,8	0,8	0,6
IV Ouest*	9°00- 8°10	0,6	1,4	5,6	8,8	12,0	13,1	16,0	15,4	15,6	9,6	1,4	0,5
IV Est*	9°00- 8°10	0,9	1,6	5,3	9,1	12,2	13,9	13,2	13,2	16,2	12,4	1,3	0,7
V Ouest*	8°10- 7°25	1,3	2,1	7,1	11,6	12,2	13,9	15,2	13,7	12,6	8,6	0,6	1,1
V Est*	8°10- 7°25	0,8	1,6	6,9	10,1	12,5	14,4	14,3	11,1	14,7	10,6	2,2	0,7
VI	7°25- 6°55	1,1	2,8	7,8	11,8	14,4	15,9	10,7	7,2	12,2	11,9	3,1	1,1
VII	6°55- 6°45	0,8	2,9	9,5	11,2	14,0	17,3	9,4	5,9	10,9	13,5	3,7	1,0
VIII	6°45- 6°35	1,1	2,8	7,9	10,1	14,8	19,6	9,0	4,6	9,4	13,9	5,6	1,3
IX	6°35- 6°25	1,4	2,7	7,3	10,0	14,9	21,8	9,9	3,9	8,7	12,5	5,7	1,4
X	6°25- 6°15	1,3	2,6	6,5	10,2	16,3	27,6	10,2	3,2	6,5	10,6	3,7	1,3

* La limite entre les classes Ouest et Est est constituée par une ligne de direction à peu près Sud Ouest-Nord Est et passant par les points (7°45'N - 1°39'E) et (9°00'N - 2°40'E).

2.3. Diagramme spatio-temporel de la répartition moyenne des pluies

Les profils mensuels des pluies étant, nous l'avons vu, essentiellement liés à la latitude, nous pouvons représenter de façon synthétique la répartition spatio-temporelle moyenne des pluies par un bloc diagramme en trois dimensions : latitude, temps, précipitations.

C'est ce que nous avons fait sur la figure C.II.5 où les intensités de pluies sont exprimées en pourcentage par mois de la pluie annuelle sur l'ensemble du pays.

On y voit très clairement :

- Le passage progressif du régime à deux saisons des pluies à celui à une saison des pluies.
- La décroissance brutale des précipitations entre 6° N et 7° N au cours du maximum du mois de juin.
- Le maximum observé à 7° N du pic du mois d'octobre (2° saison des pluies).

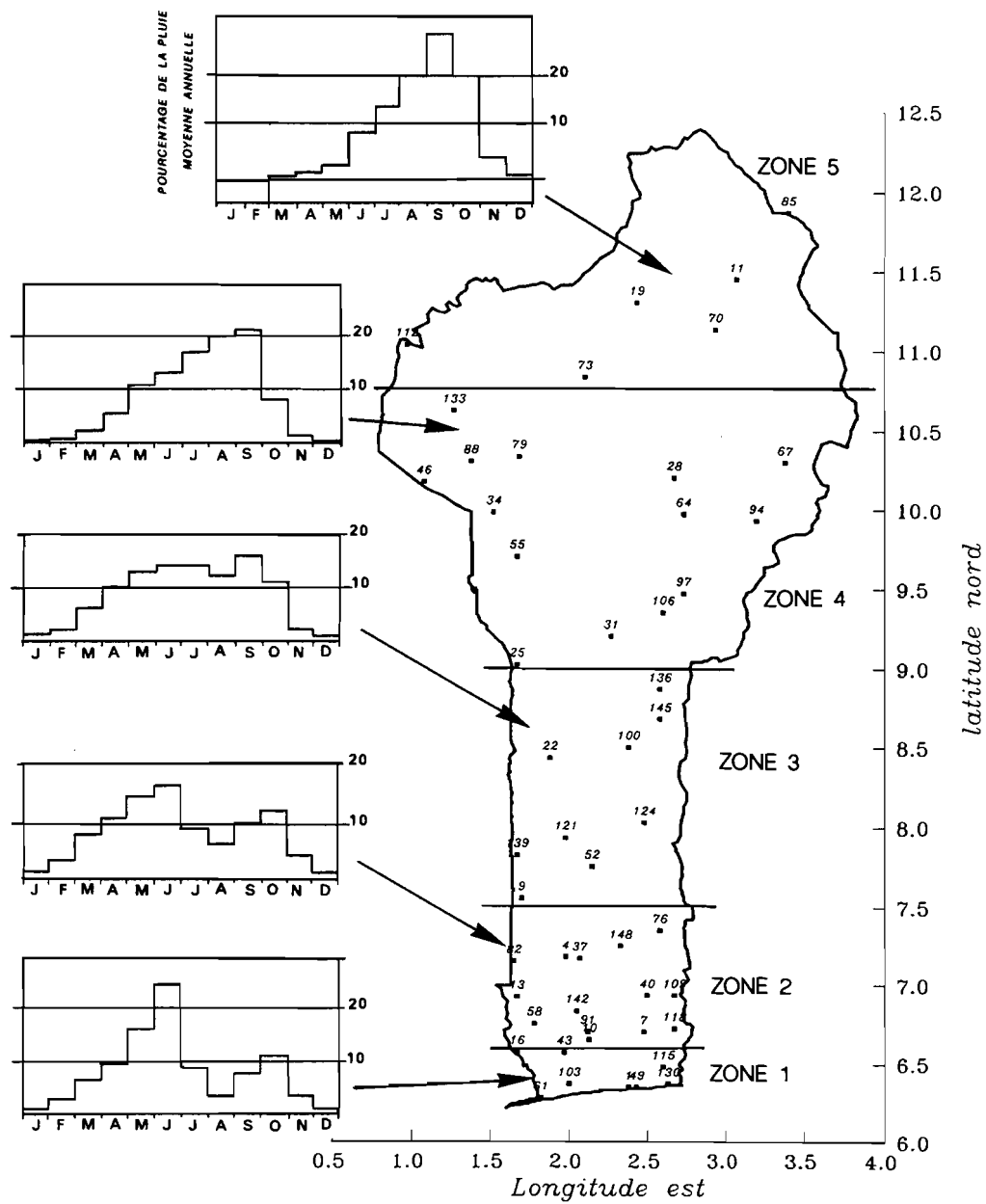


Fig - C.II.4 - PROFILS PLUVIOMETRIQUES MENSUELS MOYENS

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

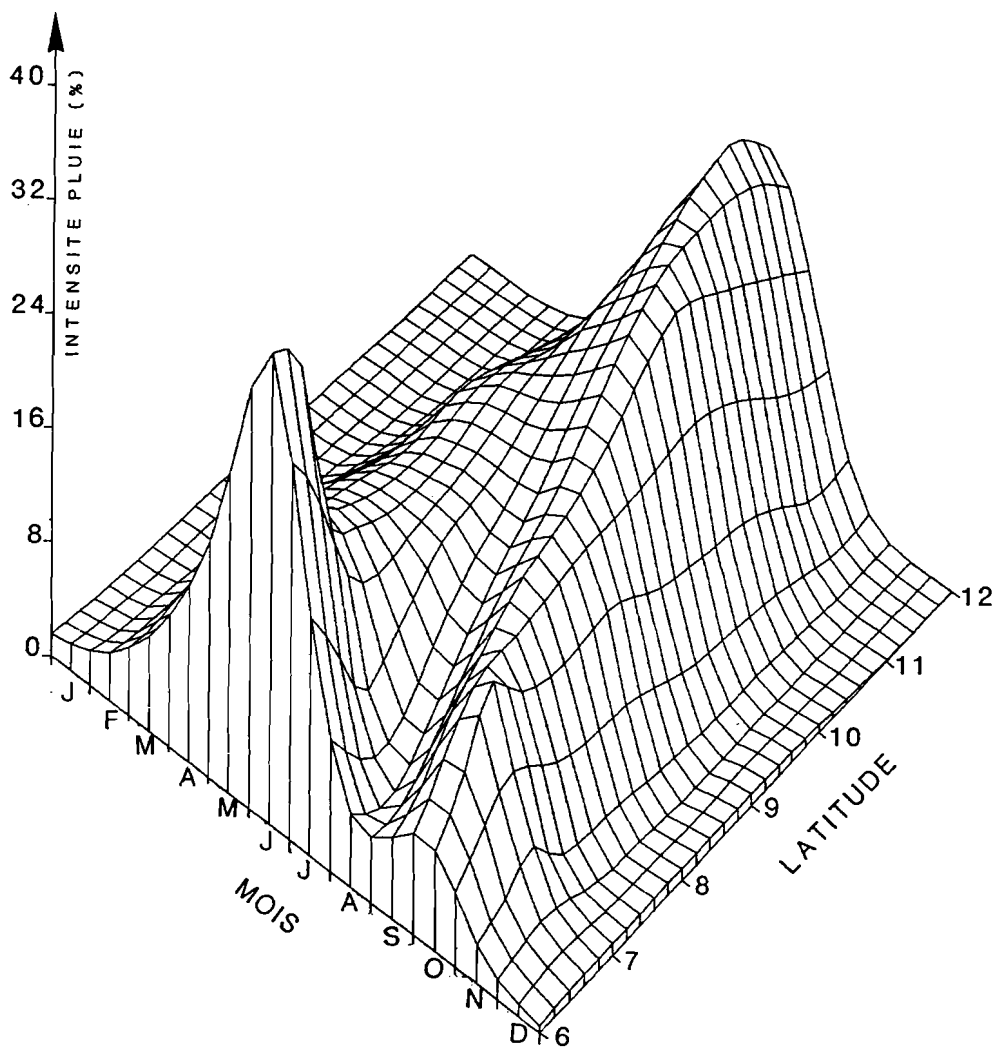


Fig - C.II.5 - REPARTITION STATO - TEMPORELLE DES PLUIES
SUR LE BENIN EN ANNEE MOYENNE

III. Les variations interannuelles

L'année moyenne que nous venons de décrire, ne se réalise quasiment jamais. Nous allons donc maintenant essayer de préciser les variations interannuelles observées aussi bien sur les totaux annuels que sur la répartition spatio-temporelle.

1. Les totaux annuels

On trouvera représentées sur la figure C.II.6. les variations interannuelles sur les zones définies lors de la partition en 5 classes des profils mensuels moyens. On notera les faits suivants :

- a) L'amplitude des variations est beaucoup plus importante au Sud qu'au Nord : 600 - 2400 mm sur la côte contre 800 - 1200 mm en zone 5.
- b) Les variations sont à peu près synchrones sur les différentes zones. Les amplitudes des excédents et déficits, cependant, ne sont pas homogènes sur l'ensemble du pays : ils peuvent paraître s'amortir du Sud au Nord (62, 63, 68, 76, 77) ou alors être plus importants au centre du pays qu'ailleurs (149, 158, 181, 82, 83).
- c) Il n'est pas possible d'isoler des cycles secs ou humides. Tout au plus, pouvons-nous constater que la période 50-70 aurait été en moyenne plutôt excédentaire à l'inverse de la période 70-84 plutôt déficitaire.

2. La répartition spatio-temporelle

La pluviométrie annuelle n'est que le total des hauteurs de pluies tombées au cours des différents événements pluvieux. Les événements, suivant la période de l'année, peuvent avoir des causes très diverses (pluies de tornades, de mousson, etc.).

A deux années ayant un même total annuel, peuvent donc correspondre des réalités complètement différentes. Il n'était donc pas possible d'étudier les variations de la pluviosité sans analyser celle de sa répartition au cours de l'année. Par ailleurs, vu le synchronisme constaté dans les fluctuations du total annuel sur les différentes zones, il ne serait pas logique d'étudier séparément chaque poste ou chaque région pluviométrique.

La démarche qui s'impose alors est celle qui consiste à tracer pour chaque année un diagramme spatio-temporel tel que défini plus haut, d'analyser les similitudes et les différences entre ces figures et d'essayer de classer cet ensemble. C'est ce que nous avons fait en utilisant la méthode "CAH" sur les quarante cinq années de la période 1940-1984 pour laquelle nous disposons de données suffisantes. Chaque diagramme spatio-temporel a

été caractérisé par un vecteur de 41 variables : les valeurs des mois pluvieux sur les cinq zones déterminées dans le paragraphe II.2.2. (et qui figurent en Annexe R2).

On peut isoler sur l'ensemble de ces figures des structures communes dont certaines étaient estompées sur le diagramme correspondant à une année moyenne :

- un premier maximum observé très fréquemment au cours des mois d'avril ou de mai entre 7° et 9° de latitude Nord ;
- la première saison des pluies dont l'intensité décroît du Sud au Nord d'abord très brutalement entre la côte et 7° N, beaucoup plus progressivement ensuite. On note également l'apparition d'un maximum secondaire à environ 9° de latitude Nord décalé d'un mois environ de celui observé sur la côte ;
- la petite saison sèche du Sud avec le passage progressif au maximum de la pluviométrie du Nord ;
- la deuxième saison des pluies du Sud, maximale vers 7° N.

L'importance relative de ces différentes structures peut varier considérablement d'une année sur l'autre. Leurs dates d'apparition peuvent également être décalées. Il en découle une très grande variabilité de la répartition spatio-temporelle des pluies. On peut cependant restituer près de 60 % de l'information, en adoptant une partition en 8 classes que nous allons décrire, en allant de la classe la plus éloignée de la moyenne à celle qui en est la plus proche (Cf. fig. C.II.7).

Classe n° 1 - Années 1947, 1963, 1968

Pour ces années, il n'y a pas eu de petite saison sèche qui a été remplacée au contraire par un maximum de pluviosité. Les pluies du mois de juillet et d'août ont été dans le Sud excessivement abondantes : 785 mm et 707 mm au poste de Sémé par exemple en 1968 le profil pluviométrique est au Sud quasiment symétrique de part et d'autre du maximum du 15 juillet.

Classe n° 2 - Années 1948 et 1978

Pour ces années, les pluies des mois d'avril sont anormalement abondantes 279 mm, 203 mm, 208 mm, 201 mm et 86 mm en moyenne sur les zones 1 à 5 en 1978. La petite saison sèche démarre au Sud également un mois plus tôt. La seconde saison des pluies est également relativement peu abondante.

Classe n° 3 - Années 1940, 1942, 1943, 1946, 1954, 1956, 1958, 1976.

La petite saison sèche est à la fois plus précoce et plus étendue. Elle est encore très nettement sensible à 11° N. Toutes les années qui constituent cette classe sont des années plutôt déficitaires et même parfois très sèches comme 1946, 1958 et 1976.

Classe n° 4 - Années 1949, 1973, 1979, 1980, 1981, 1984

Au Sud, la première saison des pluies commence plus tard et son importance est beaucoup plus faible que la moyenne, la petite saison sèche est très atténuée sur la côte et est peu étendue.

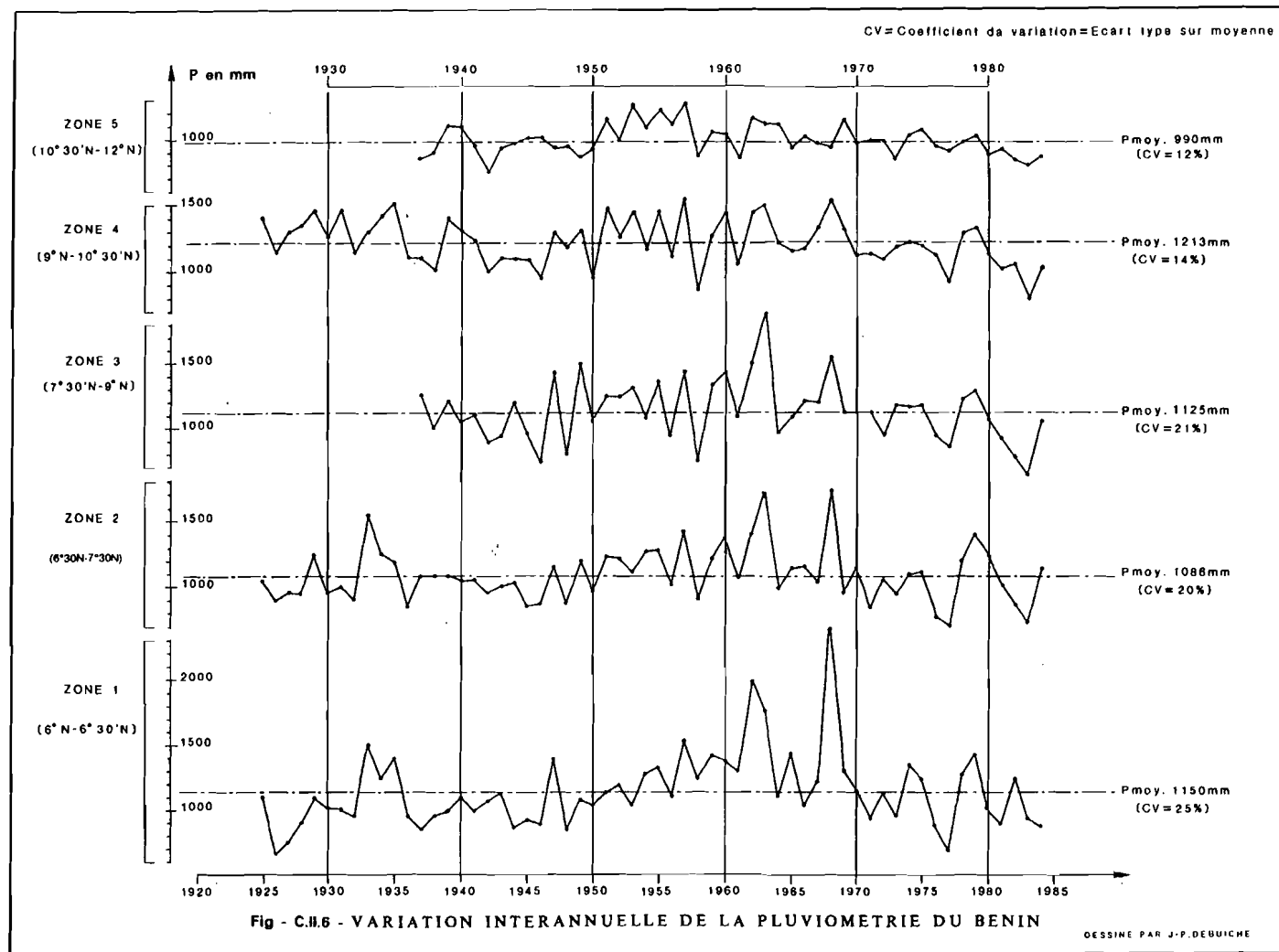
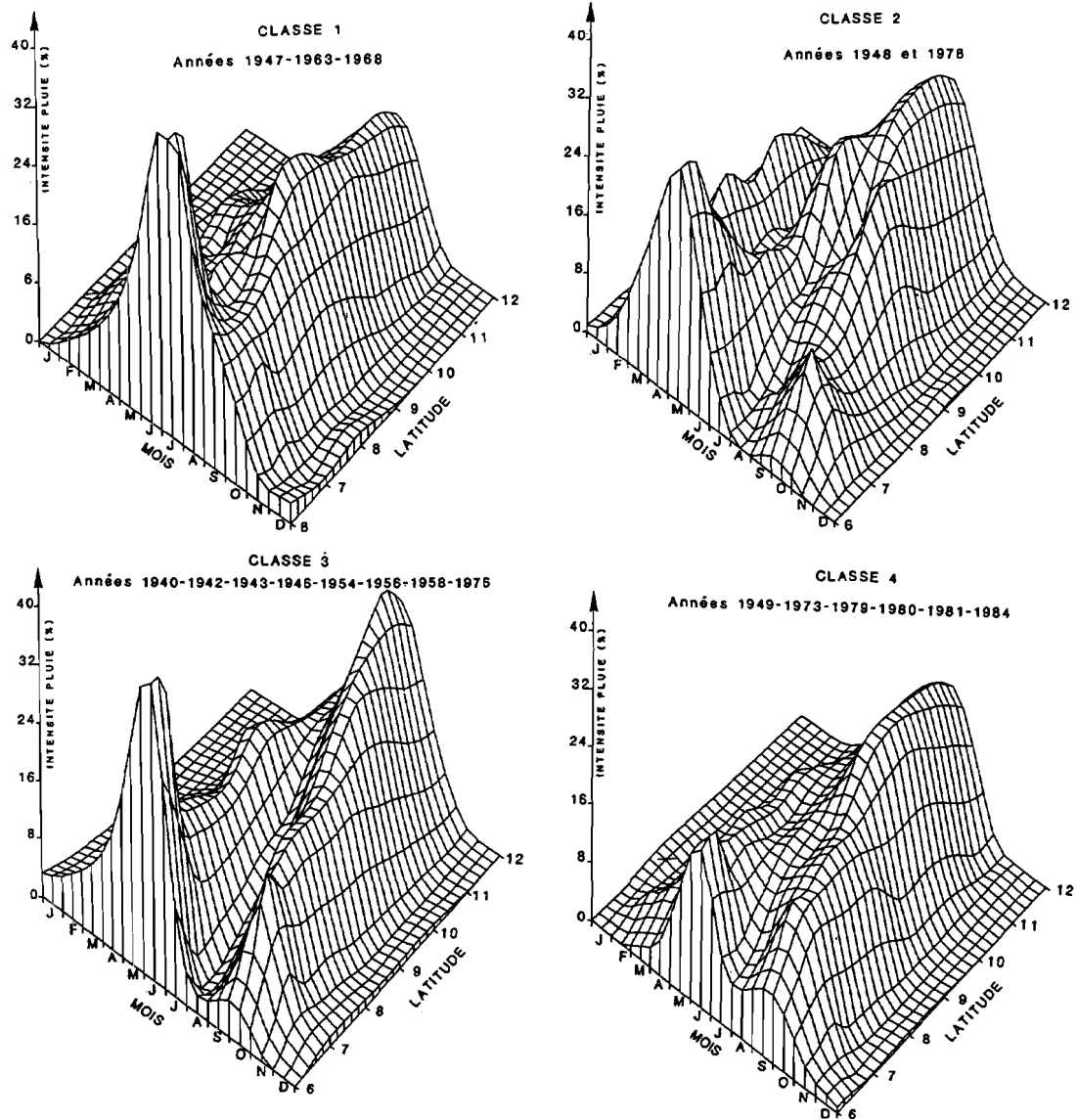
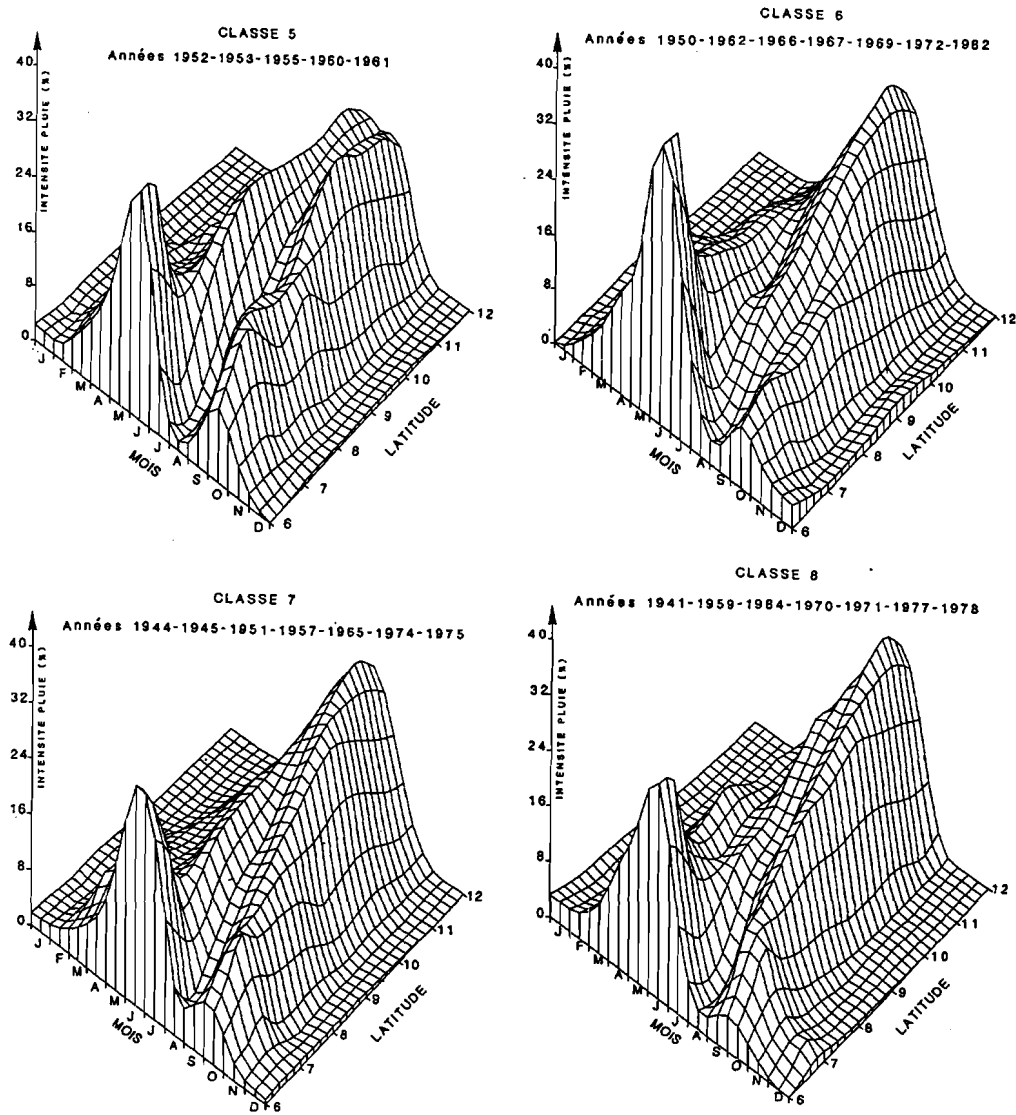


Fig - C.II.7a - REPARTITION STATIO - TEMPORELLE DE LA PLUVIOMETRIE



Les intensités de pluies sont exprimées en % de la pluie moyenne sur l'ensemble du pays et par mois

Fig - C.II.7b - REPARTITION STATIO - TEMPORELLE DE LA PLUVIOMETRIE



les intensités de pluies sont exprimées en % de la pluie moyenne sur l'ensemble du pays et par mois

Classe n° 5 - Années 1952, 1953, 1955, 1960, 1961

Les pluies du mois de juin au Sud et de juillet au Nord sont relativement abondantes. En revanche la petite saison sèche est très marquée et très étendue puisqu'elle est encore perceptible en août jusqu'à l'extrême Nord du pays.

Classe n° 6 - Années : 1950, 1962, 1966, 1967, 1969, 1972, 1982

Jusqu'à 9° N les pluies du mois d'avril sont relativement abondantes. La première saison des pluies semble démarrer plus tôt. La petite saison sèche est décalée d'un mois environ d'où un déficit important au mois de septembre au Sud du 9° parallèle. Entre 8° N et 9° N on observe de ce fait un régime à trois maxima en juin, août et octobre.

Classe n° 7 - Années 1944, 1945, 1951, 1957, 1965, 1974, 1975

Les années de cette classe, comme celles de la suivante, ont un profil assez voisin de l'année moyenne. La première saison des pluies est cependant décalée vers le mois de juillet très excédentaire jusqu'à 9° N. Ce qui isole un maximum au mois d'avril sur cette région.

Classe n° 8 - Années 1941, 1959, 1964, 1970, 1971, 1977, 1983

Les pluies du mois de mars sont excédentaires au Nord de 7°30 N. L'arrêt de la saison des pluies est extrêmement brutal en octobre au Nord comme au Sud.

3. Description de quatre années exceptionnelles

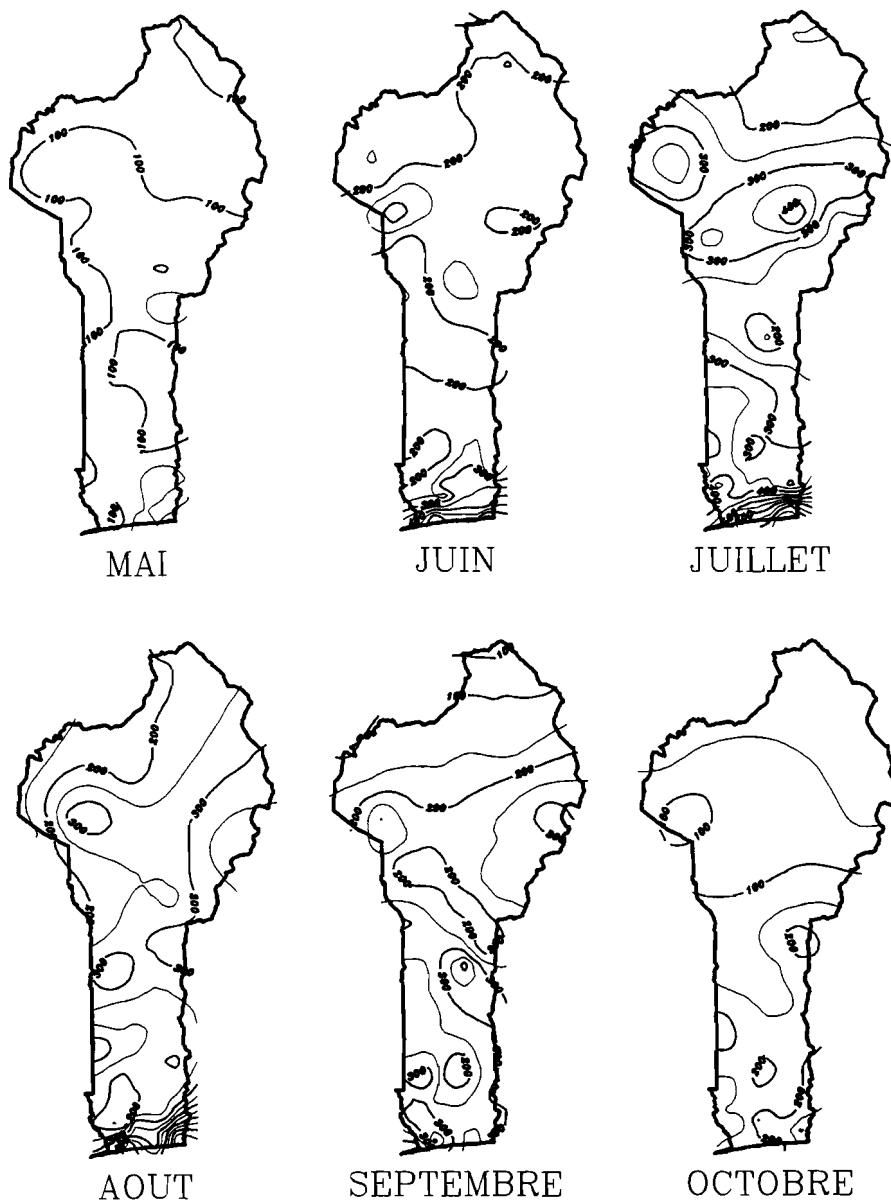
Avant de conclure sur les variations interannuelles de la répartition spatio-temporelle des pluies il nous paraît utile de décrire quatre années exceptionnelles : deux années excédentaires : 1968 et 1962, et deux années déficitaires : 1983 et 1958. On trouvera représentées les isohyètes mensuelles de ces 4 années sur les figures C.II.8 à C.II.11.

3.1. L'année 1968

Hormis l'excédent de pluie observé au mois d'avril sur les reliefs de l'Atakora, l'évolution de la pluviométrie est à peu près normale jusqu'au mois de juin. Au mois de juillet en revanche le front de pluviosité de la bande côtière ne disparaît pas comme c'est le cas habituellement et continue de progresser vers le Nord : les pluies sont alors très excédentaires sur les trois quarts Sud du pays : 770 mm à Cotonou, 380 mm à Dassa Zoumé, 687 mm à Parakou, 348 mm à Natitingou. Les isohyètes conservent une direction Ouest-Est. Au mois d'août et septembre, on constate un reflux de ce front, il apparaît cependant un gradient Ouest-Est de la pluviométrie. A partir du mois d'octobre, la pluviométrie redevient normale.

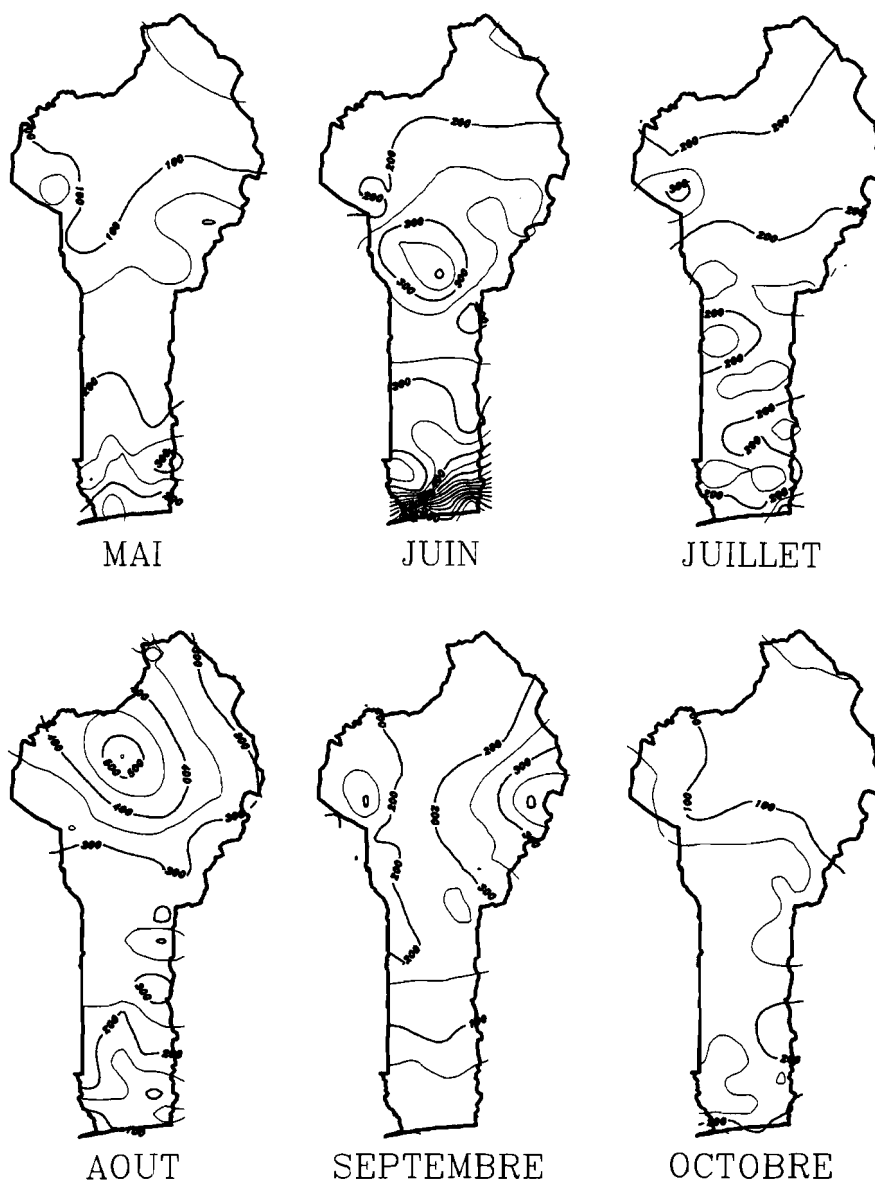
1968 - PLUIES MENSUELLES (mm)

Fig - C.II.8 -



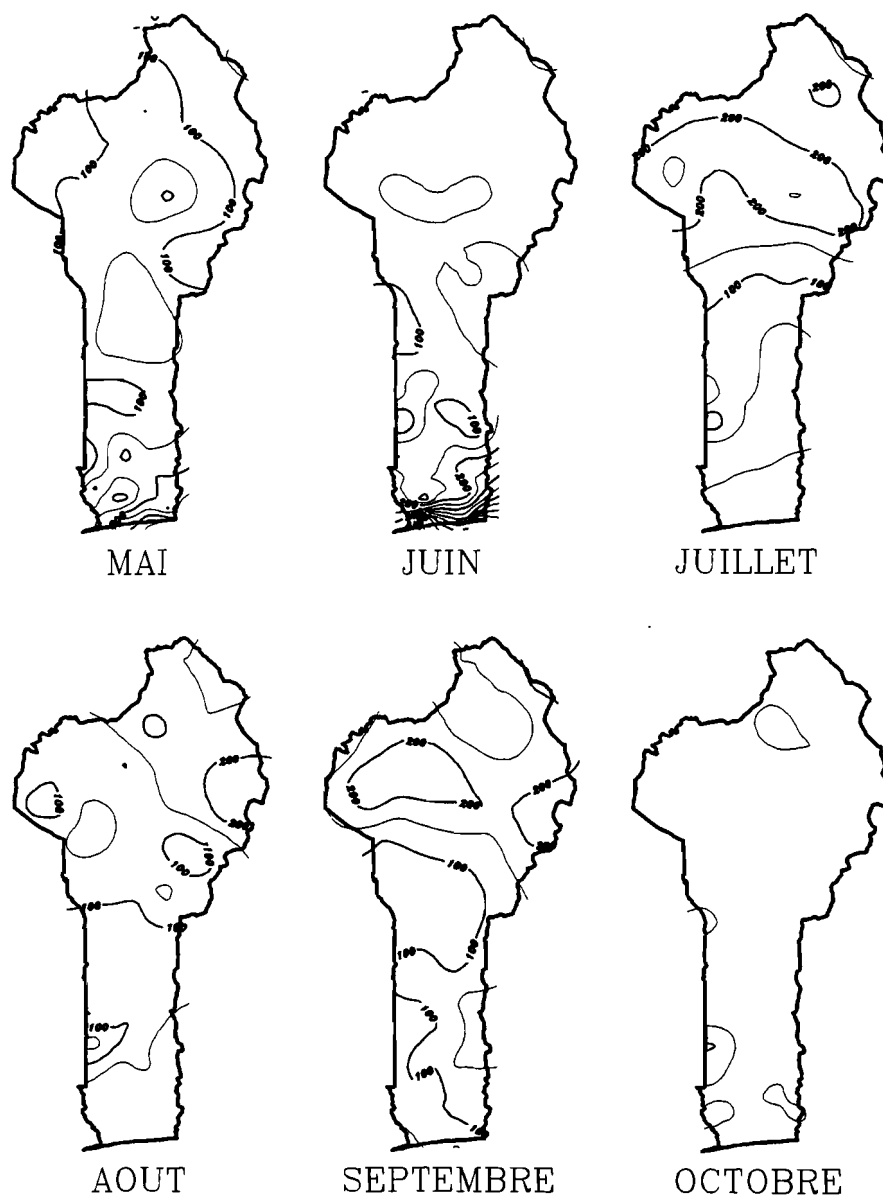
1962 - PLUIES MENSUELLES (mm)

Fig - C.II.9 -



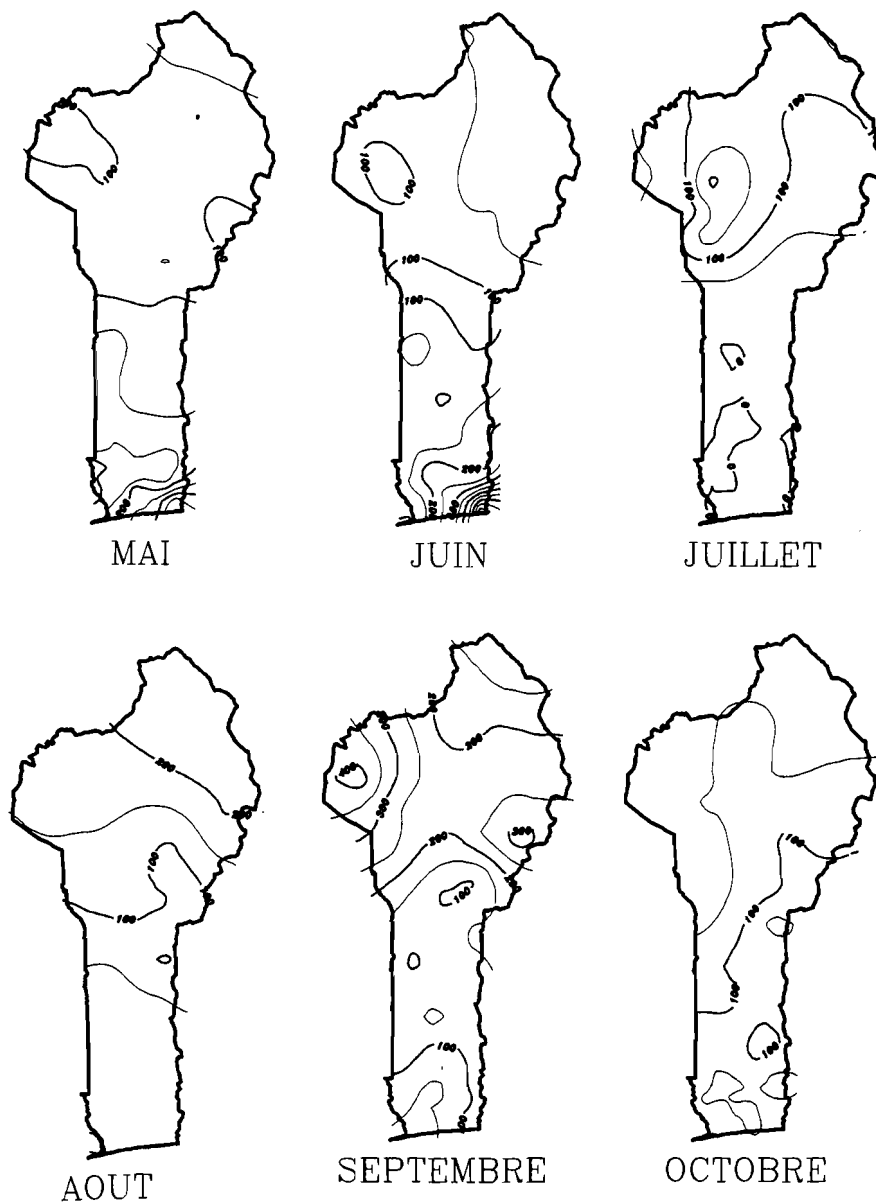
1983 - PLUÏES MENSUELLES (mm)

Fig - C.II.10 -



1958 - PLUIES MENSUELLES (mm)

Fig - C.II.11 -



4. Conclusions sur les variations interannuelles des précipitations

Les régimes pluviométriques du Bénin s'expliqueraient donc essentiellement par deux phénomènes : les mouvements de l'EM d'une part, et l'apparition en été d'un facteur inhibiteur de la pluviogénèse d'autre part.

La répartition spatio-temporelle due aux mouvements de l'EM serait celle observée lors des années de la classe n° 1, 1968 notamment. Les déplacements de l'EM étant liés au mouvement apparent du soleil, leur chronologie varie peu d'une année sur l'autre : pour les 60 années observées, l'apparition du front de pluviosité sur la côte (correspondant à l'arrivée de la structure ZIC très pluviogène de l'EM) survient toujours au même moment : fin mai-début juin. La position la plus septentrionale atteinte par ce front semble également être une constante : 7° N. En revanche, si on admet, ce qui n'est pas certain, que l'arrêt de la saison des pluies est lié à la descente du FIT, celle-ci pourrait être plus ou moins rapide selon les années et avoir plus ou moins d'ampleur (année 1983 et celles de la classe n° 8).

Le régime de mousson lié au mouvement de l'EM est perturbé presque chaque année par l'apparition en été d'un facteur inhibiteur qui se propage du Sud au Nord du pays en suivant une direction grossièrement Sud-Ouest/Nord-Est.

Ce phénomène est très variable à la fois dans le temps et dans l'espace : il peut ne pas se produire (années de la classe n° 1), apparaître très tôt (classe n° 3) ou très tard (classe n° 6). Il peut se faire sentir sur l'ensemble du pays (classe n° 3 et classe n° 5) ou ne concerner que le Sud (classe n° 4). Cette grande variabilité entraîne celle de la pluviométrie et explique que les variances des totaux annuels soient beaucoup plus fortes au Sud qu'au Nord.

A l'heure actuelle, on ne sait pas quelles sont les causes de ce phénomène et de son irrégularité. Il semblerait qu'il y ait, en été, mise en place d'une cellule convective zonale de type Walker sans que l'on soit en mesure de préciser son origine. Les dates d'apparition de la petite saison sèche semblent coïncider avec celles de l'upwelling côtier sans que l'on puisse affirmer qu'il y ait là une relation de cause à effet. Enfin, l'on remarquera un certain groupement des années appartenant à une même classe : huit des dix années de la période 1952-1961, par exemple, appartiennent aux classes n° 3 et 5 qui se caractérisent toutes deux par une grande extension géographique de la petite saison sèche.

IV. Etude fréquentielle des précipitations

1. Les méthodes employées

Dans le paragraphe précédent nous avons décrit de façon qualitative les variations interannuelles de la pluviométrie. Nous allons maintenant essayer de quantifier cette irrégularité en précisant les distributions des totaux pluviométriques calculés sur différents pas de temps (année, mois, décade, etc). Pour ce faire, nous avons le choix entre deux méthodes : l'une complètement empirique, l'autre plus déterministe.

La première consiste à ne formuler aucune hypothèse de départ et à adopter, pour décrire une distribution observée, la loi qui s'ajuste le mieux. L'utilisation de lois ayant un nombre suffisant de degrés de liberté (trois paramètres en général sont suffisants) permet presque toujours de bons ajustements. Mais on ne fait là qu'un lissage. On ne peut donc en toute rigueur extrapoler les résultats hors de la gamme des fréquences observées. Ainsi par exemple, le meilleur ajustement obtenu sur les pluies annuelles au poste de Cotonou-Aéro est celui d'une loi Log-Gamma selon laquelle la probabilité d'observer un total annuel inférieur à 480 mm serait rigoureusement nulle. Ce qui est contraire au bon sens puisqu'un total de 540 mm a été observé en 1977 au poste voisin de Cotonou-Ville. L'extrapolation dans l'espace est également hasardeuse. Toute cartographie des paramètres de la loi est impossible et on ne peut donc que faire celle de certains quantiles sans que l'on soit en mesure de préciser les hypothèses implicites. Les interpolations ou extrapolations dans le temps sont également impossibles et il faut faire autant d'ajustements que de pas de temps étudiés.

La seconde méthode suit une démarche complètement différente. Le total pluviométrique sur une période n'est en effet que la somme des hauteurs de pluie tombée au cours des événements pluvieux survenus au cours de la période. La distribution de ces totaux peut donc être déduite de celles des hauteurs de pluie de chaque événement et des durées qui les séparent.

Si on admet que ces deux lois sont exponentielles, la distribution des totaux suit une "Loi des Fuites" qui a deux paramètres : la hauteur moyenne d'un événement pluvieux d'une part, le nombre moyen d'événements au cours du pas de temps d'autre part. La Loi des Fuites est détaillée en Annexe M3. Les avantages sont multiples : la cartographie des paramètres a un sens, l'extrapolation dans le temps est possible et l'on maîtrise mieux celle sur les fréquences. Cette méthode a cependant ses limites : on ne peut l'utiliser pour des périodes trop longues ou trop courtes. Il faut en effet que d'une part, pour la période considérée, les distributions des hauteurs et des durées soient constantes et que d'autre part, la durée d'un événement pluvieux soit négligeable devant le pas de temps retenu.

Pour l'étude statistique des totaux annuels et des pluies extrêmes journalières, nous avons donc utilisé la première méthode.

Pour les totaux mensuels, nous avons utilisé la Loi des Fuites et nous décrivons les moyens d'en déduire les distributions des totaux calculés sur d'autres pas de temps ainsi que celles des durées entre deux événements pluvieux successifs.

2. Etude fréquentielle des totaux annuels

Nous avons donc utilisé la première des méthodes exposées plus haut. Nous nous sommes cependant fixé la contrainte d'utiliser une même loi pour les stations d'une même région. Nous avons retenu la loi Log-Gamma pour les postes de la zone 1, la loi de Galton pour ceux de la zone 2, les Lois de Pearson III ou de Gauss pour ceux des zones 3 à 5.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau T.C.II.3. La cartographie des quantiles secs et humides de fréquences 1/10 et 1/20 sont représentés sur la figure n° C.II.12. On notera :

- le gradient Sud-Nord au Nord du pays,

Tableau T.C.II.3 - Statistique des pluies annuelles

Nom de la station	Moyenne estimée (1925-84)	Loi retenue	Années sèches (réurrences)				Médiane 2 ans	Années humides (réurrences)			
			50 ans	20 ans	10 ans	5 ans		5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Cotonou-Aéro	1189	Log-G	758	809	863	940	1131	1404	1592	1780	2032
Abomey	1084	P3	623	697	767	859	1055	1279	1407	1520	1653
Adjohon	1120	Galton	728	778	829	901	1074	1308	1463	1610	1800
Allada	1055	Galton	652	714	774	854	1031	1244	1372	1488	1630
Aplahoue	1089	Galton	672	736	799	882	1069	1296	1435	1561	1716
Athiémé	990	Galton	665	705	747	805	946	1137	1263	1383	1539
Banikoara	1015	P3	711	762	808	868	989	1121	1194	1257	1330
Banté	1117	P3	717	786	851	935	1110	1306	1417	1513	1627
Bassila	1207	Gauss	787	871	945	1035	1207	1379	1469	1543	1627
Bembéréké	1244	P3	846	913	976	1056	1224	1411	1516	1607	1714
Bétérou	1187	Gauss	710	805	890	992	1187	1383	1485	1570	1665
Birmi	1274	Gauss	826	915	995	1090	1274	1457	1553	1632	1721
Bohicon	1089	Galton	673	738	800	883	1067	1289	1423	1544	1692
Bonou	1140	Galton	689	746	804	883	1071	1217	1476	1624	1814
Bopa	875	Galton	551	602	650	713	853	1020	1119	1209	1319
Boukoubé	1064	P3	739	796	849	917	1057	1211	1296	1370	1456
Cotonou-Port	1046	Log-G	608	668	728	810	1003	1260	1427	1586	1791
Cotonou-Ville	1251	Log-G	724	795	867	965	1197	1504	1703	1892	2136
Dassa-Zoumé	1124	P3	658	734	807	901	1101	1329	1460	1574	1709
Djougou	1336	P3	933	996	1058	1139	1315	1521	1640	1746	1871
Dogbo-Tota	1053	Galton	670	728	786	861	1031	1237	1362	1475	1615
Grand-Popo	958	Log-G	576	630	683	757	929	1155	1302	1441	1620
Ina	1235	Gauss	787	876	956	1052	1235	1419	1514	1594	1683
Kalale	1208	P3	901	946	991	1051	1188	1354	1453	1541	1648
Kandi	1086	P3	748	803	854	919	1052	1197	1278	1347	1428
Kérou	1110	Gauss	714	793	863	948	1110	1272	1356	1426	1505
Kétou	996	P3	653	707	759	827	971	1136	1231	1315	1414
Kouandé	1250	P3	866	926	984	1059	1224	1417	1528	1627	1744
Lonkly	1097	Galton	719	769	819	889	1054	1273	1414	1547	1718
Malanville	850	P3	613	651	686	732	828	936	998	1051	1114
Natitingou	1318	Gauss	874	963	1041	1136	1318	1500	1595	1674	1762
Niaouli	1151	Galton	742	803	863	942	1116	1328	1455	1571	1713
Nikki	1194	P3	830	888	944	1017	1176	1359	1465	1558	1669
Okpara	1216	Gauss	734	830	915	1019	1216	1414	1517	1603	1699

Tableau T.C.II.3 - Statistique des pluies annuelles (Suite)

Nom de la station	Moyenne estimée (1925-84)	Loi retenue	Années sèches (réurrences)				Médiane 2 ans	Années humides (réurrences)			
			50 ans	20 ans	10 ans	5 ans		5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Ouessé	975	P3	631	691	748	821	975	1146	1243	1327	1426
Ouidah	1155	Log-G	703	751	803	878	1074	1370	1583	1801	2104
Parakou	1171	Gauss	728	816	894	989	1171	1352	1447	1525	1614
Pobé	1199	Galton	757	823	888	875	1167	1401	1544	1673	1831
Porga	951	Gauss	608	668	722	787	911	1135	1100	1154	1214
Porto-Novo	1368	Log-G	869	936	1004	1098	1320	1619	1815	2003	2248
Saketé	1186	Galton	735	802	867	954	1145	1377	1517	1643	1798
Savalou	1153	P3	735	807	875	962	1144	1348	1464	1564	1682
Save	1108	P3	646	717	785	876	1074	1306	1442	1561	1704
Segbana	1119	P3	745	803	857	926	1067	1222	1308	1382	1469
Sémé	1440	Log-G	909	974	1040	1134	1365	1688	1907	2123	2410
Tanguiéta	1097	Gauss	745	815	877	953	1097	1241	1316	1378	1449
Tchaourou	1153	P3	716	784	851	939	1133	1363	1497	1631	1758
Tchetti	1135	P3	649	722	794	888	1093	1333	1473	1596	1744
Toffo	980	Galton	658	710	760	826	974	1153	1262	1360	1481
Toui	1128	P3	707	765	824	906	1095	1332	1475	1605	1762
Zagnanado	1038	Galton	707	749	791	852	999	1200	1334	1462	1629

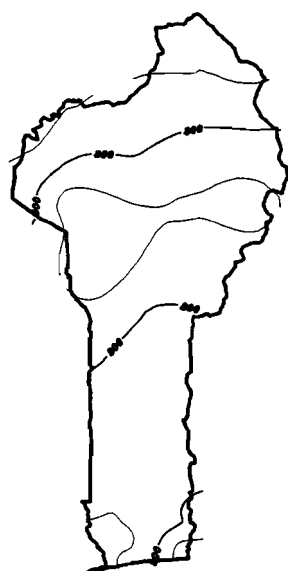
P3 = Loi de Pearson III
Log-G = Loi Log-Gamma

Gauss = Loi de Gauss
Galton = Loi de Galton

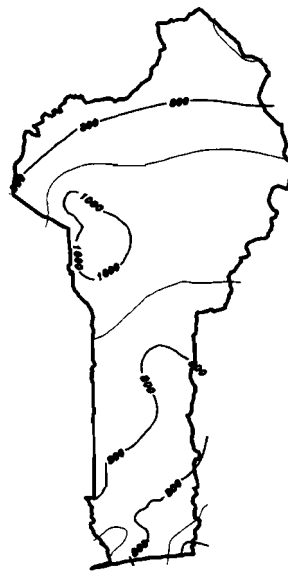
DISTRIBUTIONS DES PLUIES ANNUELLES (mm)

QUANTILES 1/10 & 1/20

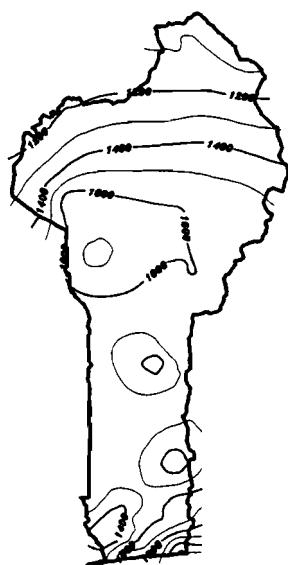
Fig - C.II.12 -



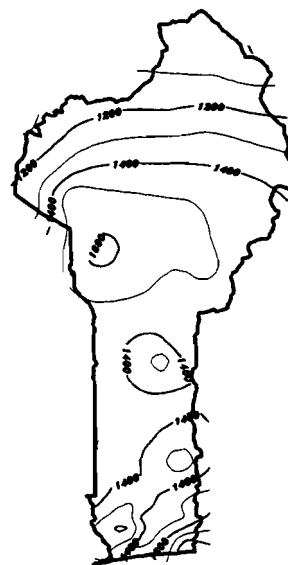
VINGTENNALE SECHE



DECENNALE SECHE



VINGTENNALE HUMIDE



DECENNALE HUMIDE

- la déformation des courbes d'isovaleurs au voisinage du relief,
- le gradient Nord-Ouest - Sud-Est au Sud du pays et dont l'ampleur croît pour les années les plus humides.

3. Etude fréquentielle des totaux mensuels

Pour l'ensemble des stations, les ajustements de la Loi des Fuites aux totaux mensuels sont très satisfaisants sauf peut-être pour les stations de la côte au mois de juillet et d'août (*fig. n° C.II.13*). Pour ces stations et pour ces mois, en effet, ont été observées 5 à 6 valeurs très supérieures aux autres. Aucune loi monomodale n'est dans ces conditions satisfaisante. Il n'est pas possible de savoir si ces valeurs très fortes sont bien plus exceptionnelles que ne laisseraient supposer leurs fréquences expérimentales ou s'il y a une hétérogénéité dans les distributions.

On trouvera sur les figures C.II.14a à C.II.15b, cartographiés pour chaque mois de l'année, les deux paramètres de la Loi des Fuites : le paramètre de forme qui est le nombre moyen d'événements pluvieux par mois et le paramètre d'échelle qui est la hauteur moyenne tombée au cours d'un événement. On a également représenté sur la figure n° C.II.16 l'évolution annuelle de ces paramètres à certains postes pluviométriques (cf. Annexe R3).

Ces cartes et graphiques sont cohérents. On notera les faits suivants :

- . A partir du mois de juin, on peut suivre la remontée de l'EM qui s'accompagne d'une augmentation brutale des hauteurs moyennes de chaque événement. Cette augmentation se propage vers le Nord en s'atténuant. Elle n'est presque plus perceptible au mois de juillet à Natitingou.
- . La petite saison sèche se traduit par une chute du nombre d'événements qui débute dès le mois de juin sur la côte et est sensible sur la quasi totalité du pays -puisque'elle est encore perceptible à Kandi au mois de juillet. Le graphique de l'évolution mensuelle de ce paramètre d'échelle à Parakou montre que l'étendue géographique du facteur inhibiteur de la pluviométrie est bien plus grande que pourrait le laisser supposer l'étude des profils pluviométriques.
- . L'influence du relief se fait très nettement sentir sur le tracé des courbes d'isovaleurs des paramètres de la Loi des Fuites. L'augmentation du paramètre d'échelle observé à Porga à partir du mois de septembre pourrait également s'expliquer par sa position "au vent" par rapport au relief de l'Atacora lors de la descente du FIT.

Vu la cohérence des résultats obtenus, on peut utiliser ces cartes pour la détermination des paramètres à utiliser pour chaque mois de l'année* en n'importe quel endroit du pays. L'utilisation des abaques et tables donnés en Annexe 3 permettra la définition des distributions des totaux mensuels.

* On pourra vérifier que le produit des deux paramètres représente la hauteur moyenne mensuelle.

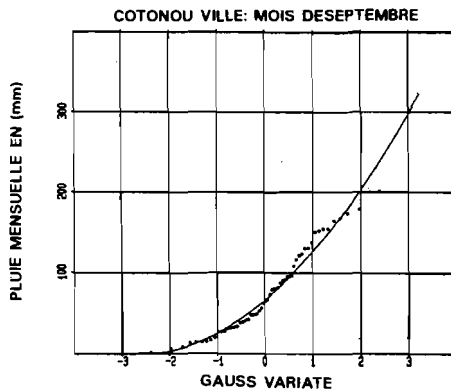
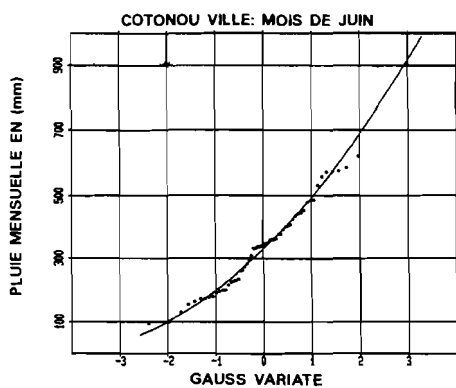
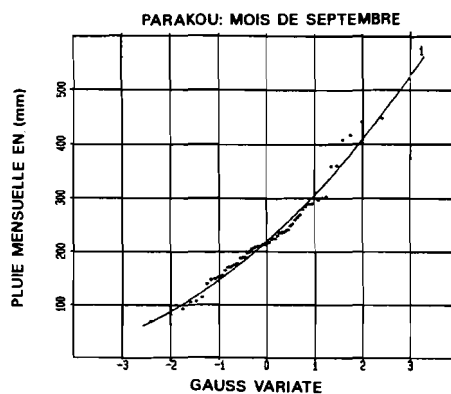
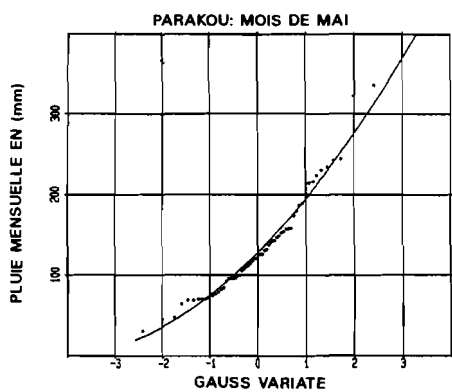
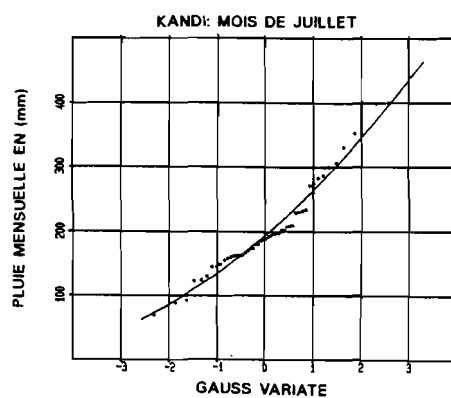
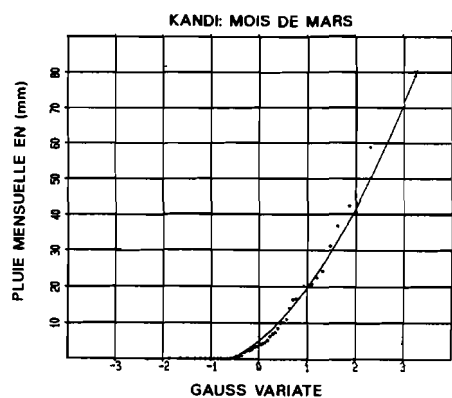
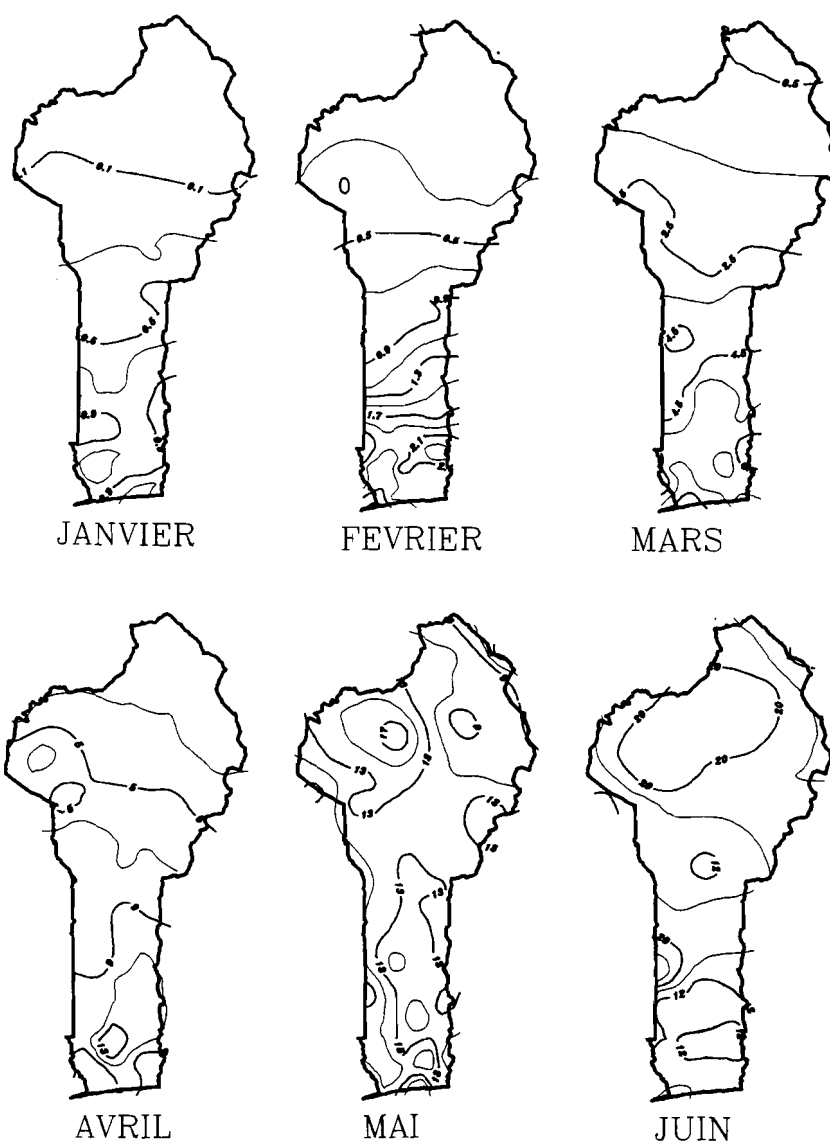


Fig - C.II.13 - EXEMPLES D'AJUSTEMENTS DE LA LOI
DES FUITES AUX TOTAUX PLUVIOMETRIQUES MENSUELS

NOMBRES MOYENS D'AVERSE

Deduits des ajustements d'une loi des fuites

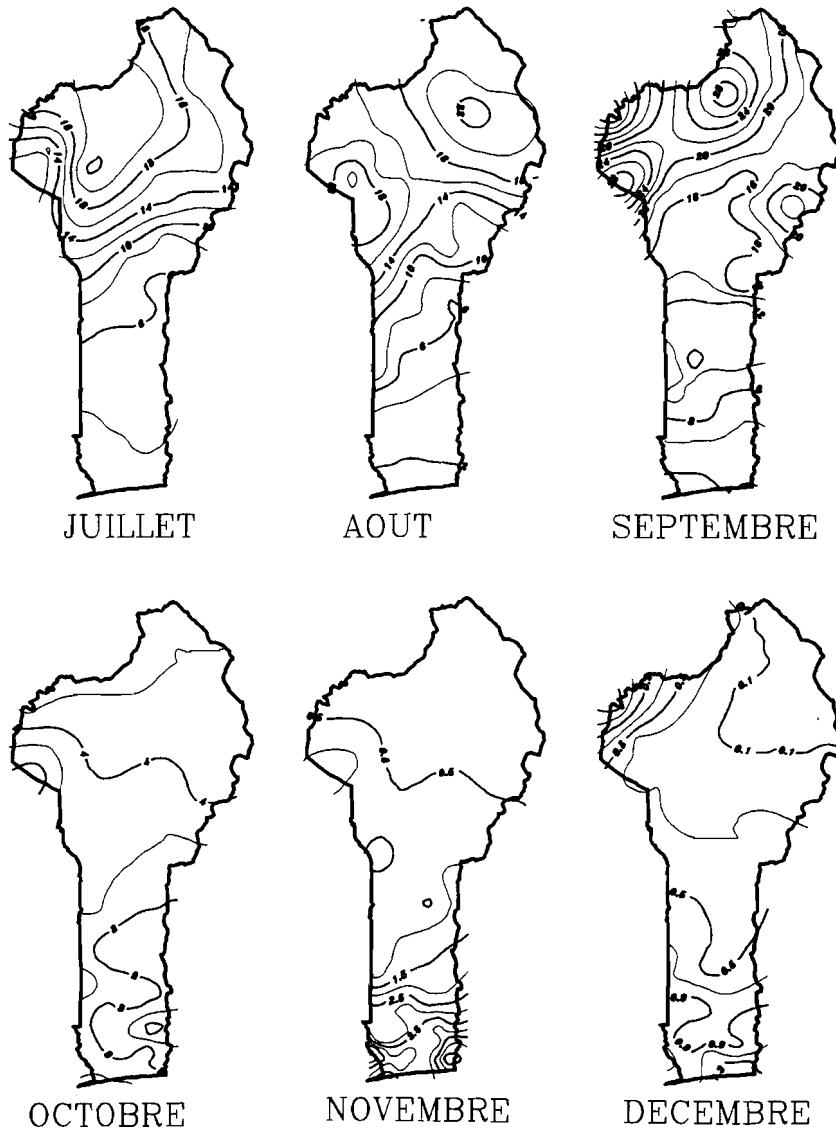
Fig - C.II.14a -



NOMBRES MOYENS D'EVERSES

Deduits des ajustements d'une loi des fuites

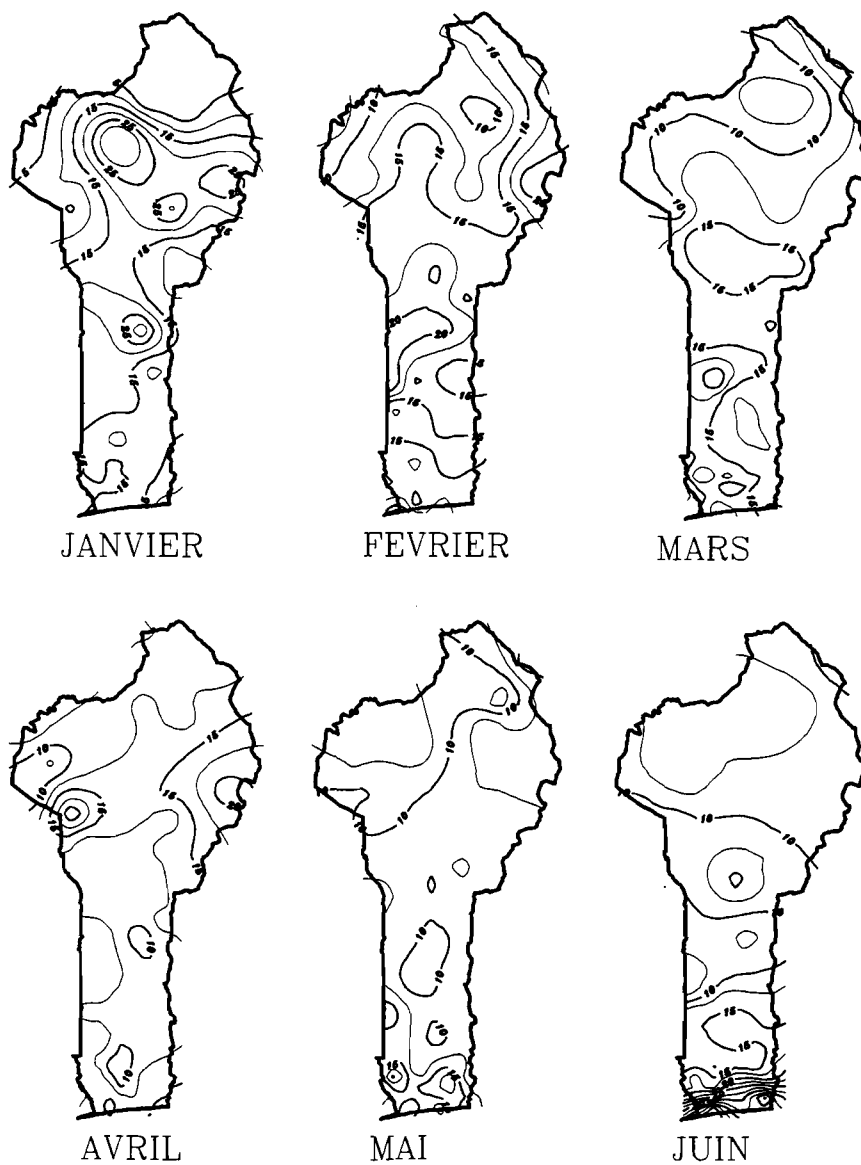
Fig - C.II.14b -



HAUTEURS MOYENNES D'AVERSE (mm)

Deduites des ajustements d'une loi des fuites

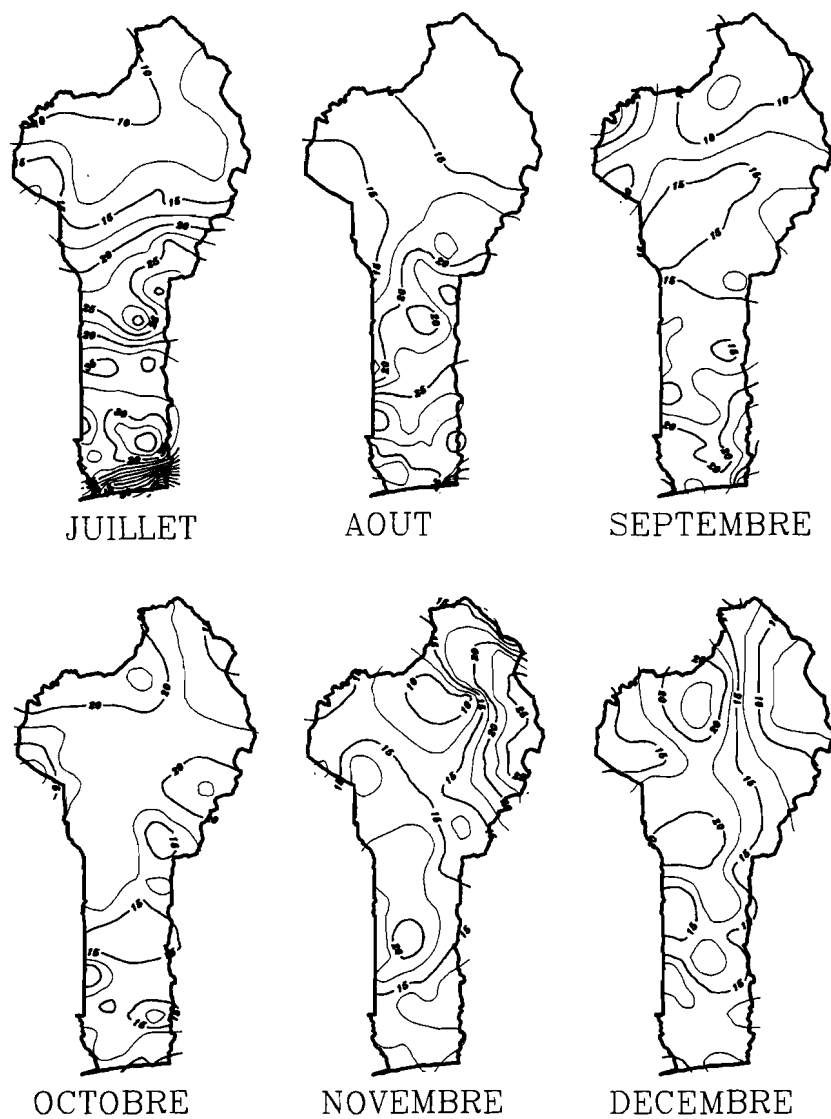
Fig - C.II.15a -



HAUTEURS MOYENNES D'AVERSE (mm)

Deduites des ajustements d'une loi des fuites

Fig - C.II.15b -



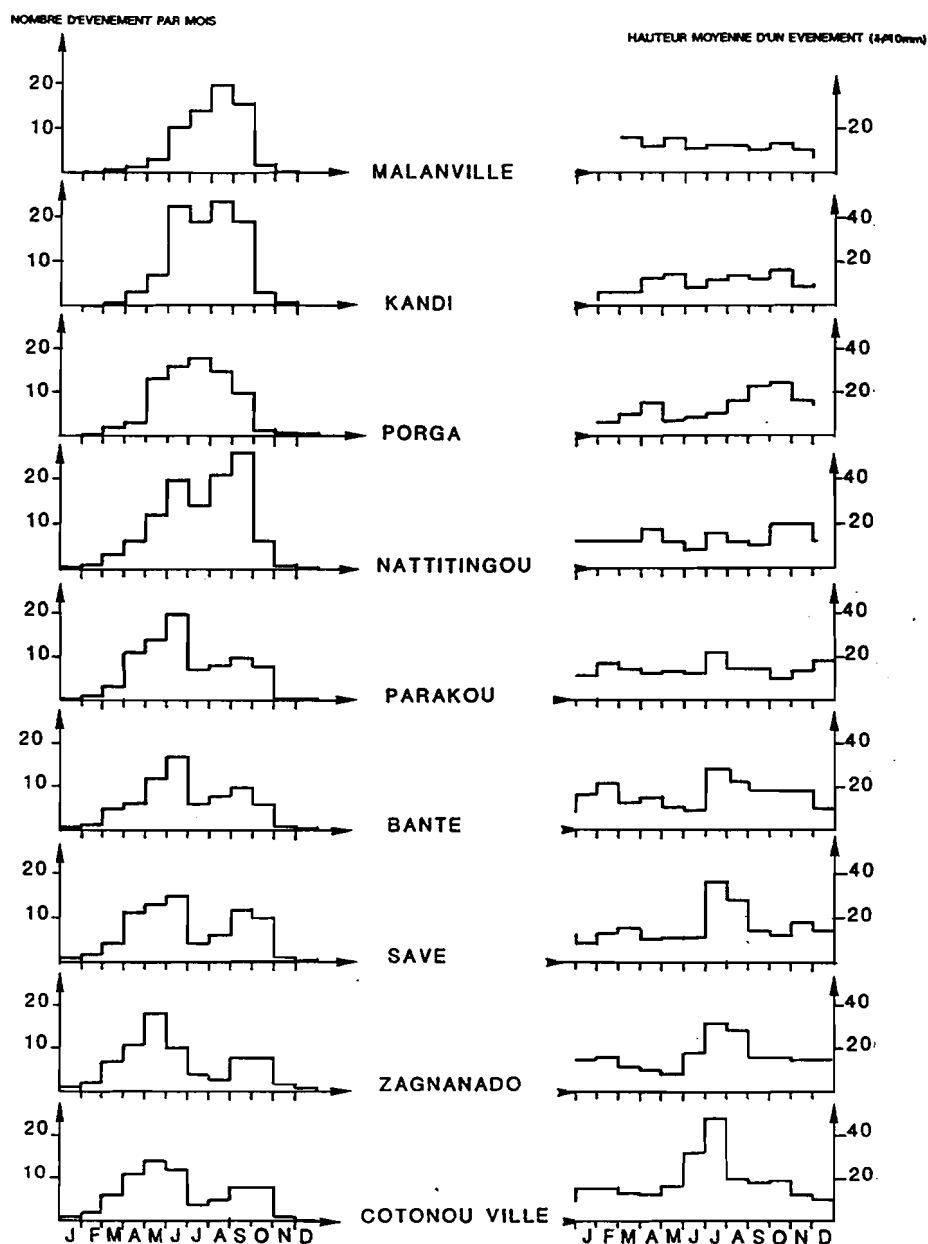
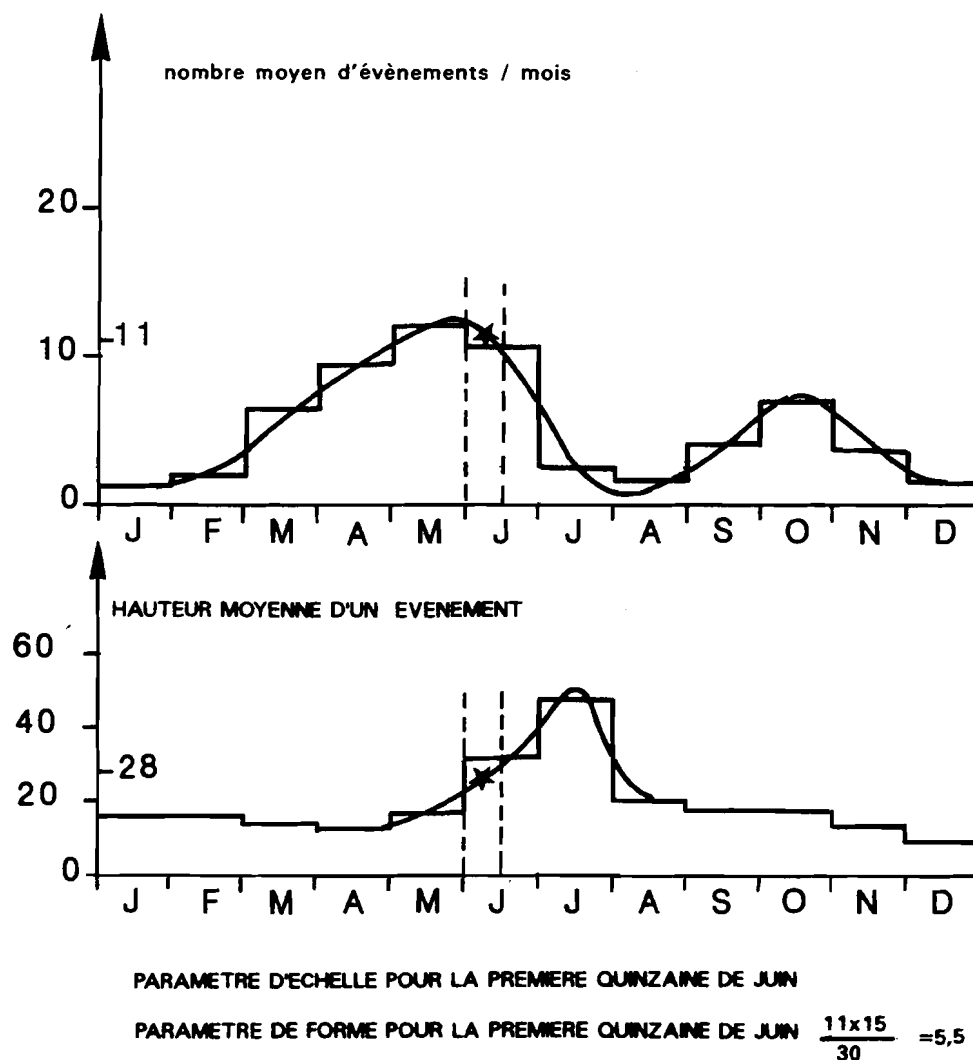


Fig - C.II.16 - EVOLUTION MENSUELLE DES PARAMETRES DE LA LOI
DES FUITES AJUSTEES AUX PLUIES MENSUELLES DE CERTAINES STATIONS AU BENIN

Fig - C.II.17 - DETERMINATION DES PARAMETRES DE LA LOI DES FUITES ESTIMANT LA DISTRIBUTION DES TOTAUX PLUVIOMETRIQUES SUR UNE DUREE QUELCONQUE (Exemple de COTONOU VILLE)



4. Etude fréquentielle des totaux calculés sur les périodes inférieures au mois

Les cartes des figures C.II.14a à C.II.15b permettent également d'estimer la distribution des totaux sur toutes périodes inférieures au mois en n'importe quel endroit du Bénin. Il suffit pour cela de suivre la procédure suivante illustrée par la figure n° C.II.17 :

- a) à partir des cartes, tracer les graphiques des évolutions mensuelles des deux paramètres de la Loi des Fuites applicables aux totaux mensuels ;
- b) lisser éventuellement les courbes ;
- c) lire directement, au centre de la période choisie, le paramètre d'échelle ;
- d) pour obtenir le paramètre de forme, multiplier la valeur lue sur la courbe par le facteur T/M , "T" étant la durée de la période, "M" celle du mois.

Il ne serait cependant pas réaliste d'appliquer cette méthode pour des durées trop courtes. Nous déconseillerons son utilisation pour des périodes inférieures à trois jours.

5. Etude fréquentielle des pluies maximales journalières

Il s'agit ici de préciser les distributions des précipitations de fréquence rare, qui sont utilisées pour le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques.

Cette étude a été réalisée en 1982 par C. Puech et K. Wome du Cieh. Nous n'avons pas jugé utile de la reprendre et les cartes des isohyètes journalières de fréquences décennales et centenales représentées sur la figure C.II.18 sont directement tirées de ce travail.

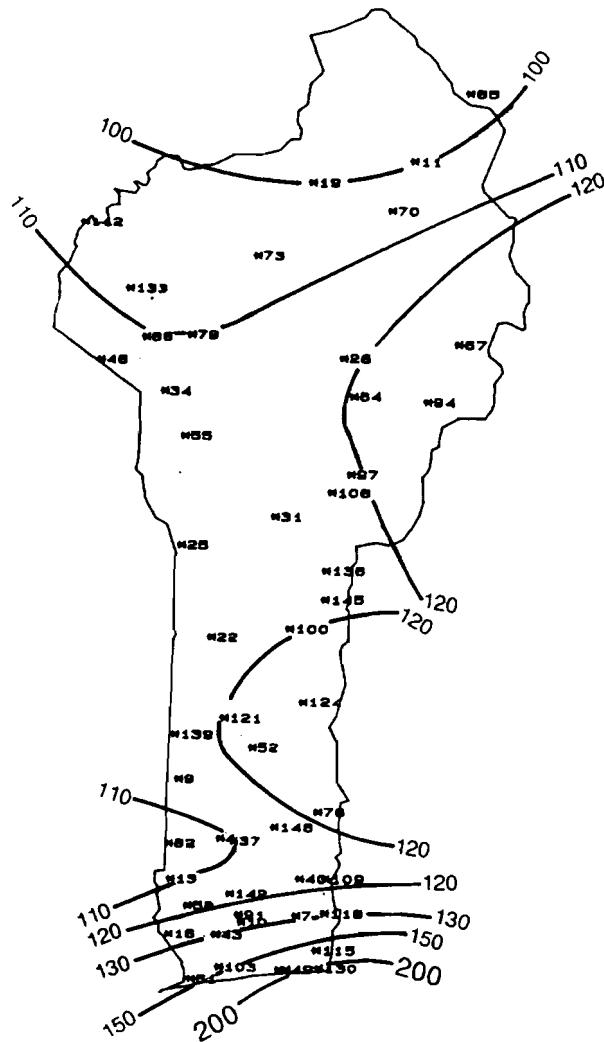
On peut également déduire des paramètres de la Loi des Fuites appliquée aux totaux mensuels, l'expression des hauteurs maximales d'averses au cours du mois. Il s'agit d'une Loi de Gumbell censurée qui s'écrit :

$$F_i(x) = \exp(-a_i \exp(-x/S_i))$$

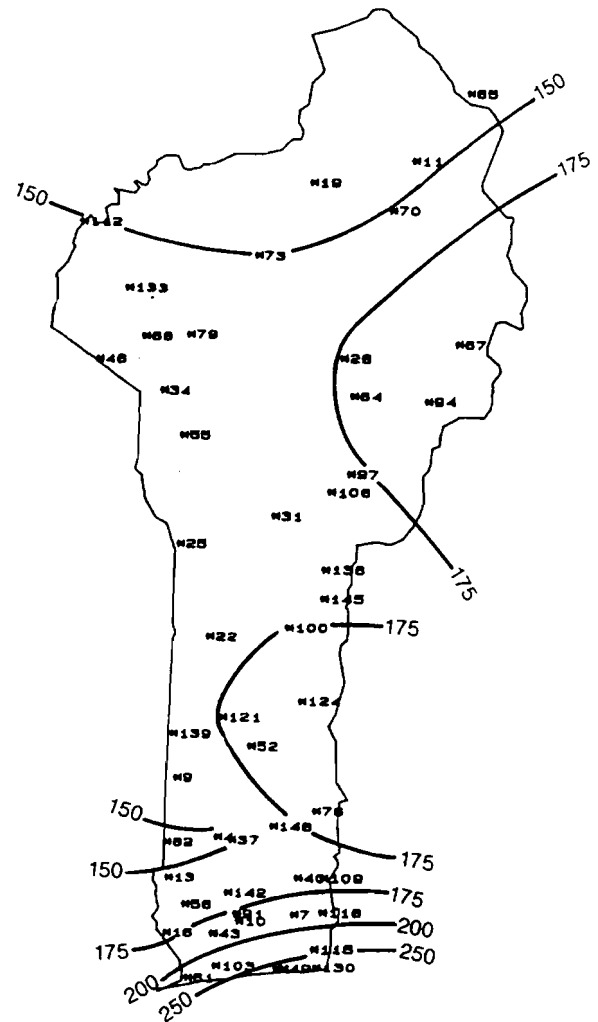
où

- $x > 0$
- $F_i(x)$: probabilité qu'au cours du mois i , la plus forte averse dépasse la valeur x
- a_i et S_i : paramètre de forme et d'échelle de la Loi des Fuites décrivant les totaux pluviométriques du mois i .

Fig - C.II.18 - DISTRIBUTION DES PLUIES
JOURNALIERES MAXIMALES (mm)



FREQUENCE DECENNALE



FREQUENCE CENTENNALE

Chapitre 3

LES AUTRES PARAMETRES CLIMATIQUES

I. Les données utilisées

Dans ce chapitre, nous allons présenter succinctement les principaux paramètres climatiques autres que les précipitations. Pour le rédiger, nous avons utilisé les données collectées par l'Asecna aux stations suivantes :

Nom	Latitude N	Longitude E	Altitude (m)
Cotonou	6° 21'	2° 23'	4
Bohicon	7° 10'	2° 04'	166
Save	7° 59'	2° 28'	199
Parakou	9° 21'	2° 36'	392
Djougou	9° 42'	1° 40'	439
Natitingou	10° 19'	1° 23'	460
Kandi	11° 08'	2° 56'	290

Ces données ont trait à la fréquence de la direction des vents au sol, aux températures, à l'insolation, à l'humidité et à l'évapotranspiration.

II. Les vents et la température de l'océan

1. Les vents au sol

L'analyse du régime des précipitations nous a amené à penser que ce serait les modifications de la circulation zonale de l'atmosphère qui seraient en grande partie responsables des variations spatio-temporelles de la pluviométrie. Plutôt que de décrire une année moyenne, nous avons donc préféré présenter (Cf. fig. C.III.1) les régimes des vents aux stations synoptiques du Bénin pour trois années caractéristiques :

- 1958 où le facteur inhibiteur de la pluviogenèse évoqué lors de l'analyse des précipitations a été très étendu à la fois dans le temps et dans l'espace puisque sur la côte la petite saison sèche a démarré dès fin juin pour se terminer mi-septembre et qu'elle a été perceptible jusqu'à l'extrême Nord du pays ;
- 1968 où ce facteur a été inexistant puisque la petite saison sèche a été remplacée par un maximum de pluviosité. L'année 1968 représenterait à ce titre un régime de mousson non perturbé ;
- 1974 qui servira d'année de référence, où l'importance des précipitations comme leur répartition spatio-temporelle sera très proche des normales.

On notera les faits suivants :

- a) Les déplacements du FTT, c'est-à-dire la limite entre les flux du secteur N et NE et ceux du secteur S et SW sont à peu près identiques pour chacune des années ci-dessus citées :

A partir du mois de janvier, il remonte progressivement vers le Nord et atteint les limites septentrionales du pays en mars. Lors de sa descente, il atteint le Nord du pays en octobre et le Sud en décembre.

- b) A partir du mois de mai, les roses des vents sont en revanche, sensiblement différentes pour les trois années. En 1958 la proportion de vent calme est beaucoup plus faible et il y a une augmentation des vents de secteur Ouest. En 1968 au contraire, les vents de secteur Sud sont plus fréquents. L'année 1974 est à peu près intermédiaire entre les deux années précédentes. L'augmentation des vents de secteur Ouest s'accompagnerait donc d'une intensification de la petite saison sèche. L'hypothèse que nous avons émise lors de l'analyse des régimes pluviométriques trouve donc ici un argument supplémentaire.

2. La température de la surface de l'océan à Cotonou

Nous avons évoqué à plusieurs reprises l'existence d'un "upwelling" au large de Cotonou et dont la date d'apparition semblerait liée à celle du début de la petite saison sèche. Il nous est donc apparu nécessaire dans ce chapitre de décrire les variations saisonnières et interannuelles de la température de la surface de l'océan à Cotonou. C'est à dessein que nous avons associé la présentation de ce paramètre à celle du régime des vents.

Courants marins et vents sont en effet étroitement liés. C'est en effet par friction directe sur l'élément liquide que les vents entraînent une couche de surface de l'océan plus ou moins épaisse (modèle d'Eckman).

La permanence des vents de secteur Ouest sur le Golfe de Guinée crée donc un courant marin dirigé vers l'est, le courant de Guinée. En été les vents se renforçant, ce courant est intense. A l'Est du Cap des Palmes, vu la disposition particulière de la côte, le courant de Guinée entraîne en été une remontée des eaux profondes froides ; c'est ce phénomène qui est appelé "upwelling". Tout renforcement des vents de secteur Ouest va entraîner une augmentation du courant de Guinée donc de l'upwelling.

Dans le tableau T.C.III.1, sont indiquées les valeurs moyennes par quinzaine des températures de surface au cours de la période 1975-1984. L'évolution de ce paramètre en année moyenne et pour quelques années caractéristiques est représentée sur la figure C.III.2.

En année moyenne à partir du mois de juin, on constate une chute de la température de surface qui va passer de 29°C début juin à 24,8°C fin juillet. Ce minimum va se maintenir jusqu'à mi-août. A partir de cette date la température va remonter pour atteindre 28,5°C en novembre.

Pour l'année 1976, où comme en 1958, la petite saison sèche a été très étendue à la fois dans le temps et dans l'espace, l'upwelling va démarrer dès la mi-mai et se terminer fin août.

Pour l'année 1979, où la petite saison sèche a été peu marquée, l'upwelling est beaucoup moins intense que la moyenne. Il démarre plus tard et finit plus tôt.

Pour l'année 1982, où la saison sèche a été décalée d'environ un mois vers le mois de septembre, on constate effectivement une apparition plus tardive de l'upwelling.

Petite saison sèche et upwelling semblent donc bien être étroitement liés. Cependant, ces deux phénomènes pouvant résulter d'un renforcement des vents de secteur Ouest, il ne faut pas forcément rechercher entre eux des relations de causes à effets.

III. Les températures

Dans le tableau T.C.III.2 sont indiquées les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales journalières aux stations synoptiques de la République du Bénin. Comme ces stations sont à des altitudes différentes et qu'en atmosphère "normale" la température décroît de 0,56°C chaque fois que l'on s'élève de 100 m, il est nécessaire avant toute analyse de rendre les observations homogènes en les ramenant toutes à une altitude de référence, 0 mètre.

Ceci étant fait, on peut admettre que pour une période donnée de l'année, la température est essentiellement liée à la latitude. On a donc synthétisé sur les figures C.III.3 et C.III.4 l'évolution spatio-temporelle de la température moyenne à l'altitude zéro d'une part et de l'amplitude journalière d'autre part. On notera les faits suivants :

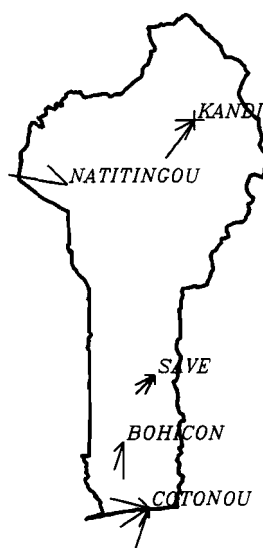
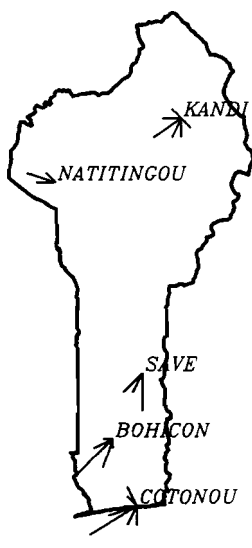
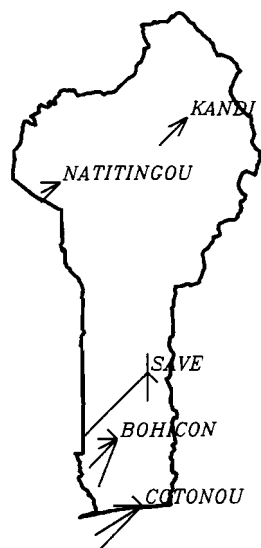
REGIMES DES VENTS EN JUIN ET AOUT POUR TROIS ANNEES CARACTERISTIQUES

Fig - C.III.1 -

JUIN 1958

JUIN 1968

JUIN 1974



AOUT 1958

AOUT 1968

AOUT 1974

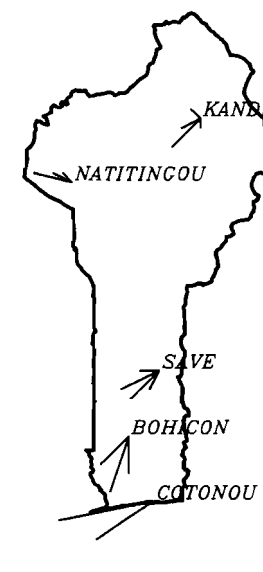
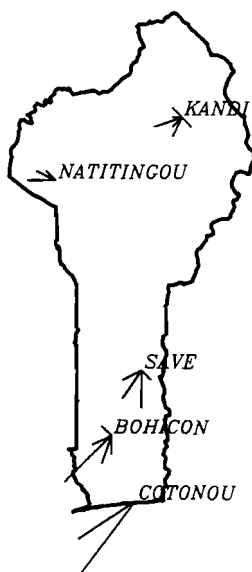
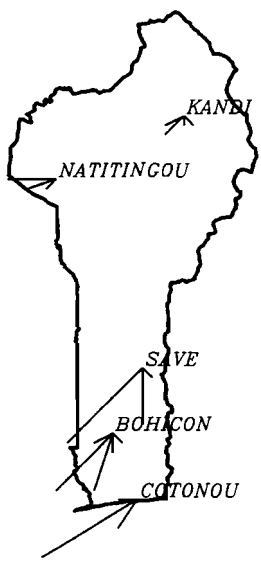


Tableau TC.III.1

Température de l'océan en surface à Cotonou (en °C)

(d'après la Direction des Pêches du Bénin)

Année	JV		FV		MS		AV		MI		JN		JL		AO		SP		OC		NV		DC	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1975	26,6	26,7	27,5	27,6	28,3	29,0	29,3	28,9	29,0	29,0	28,5	27,0	26,5	24,8	24,1	23,6	22,8	24,8	26,4	27,6	28,0	27,8	27,8	27,1
1976	26,9	27,0	28,9	28,5	28,8	29,0	29,2	28,9	28,8	28,3	28,0	26,1	24,3	24,0	23,7	23,5	24,3	25,3	25,8	25,8	26,6	27,4	27,3	27,2
1977	27,3	27,8	28,2	28,3	28,4	29,1	28,8	29,4	29,3	29,1	27,3	26,9	26,1	25,9	24,4	24,5	24,7	26,2	26,4	27,2	28,2	28,2	27,9	25,6
1978	27,4	27,9	28,0	28,2	28,5	28,8	29,3	28,8	29,0	29,0	28,2	26,5	24,4	25,7	25,2	24,7	25,3	25,5	27,1	27,2	28,3	28,6	27,7	28,2
1979	27,9	28,5	27,8	27,5	29,0	28,3	29,6	30,2	29,4	29,2	28,6	27,5	26,4	25,7	26,4	26,3	26,6	27,2	27,9	28,5	28,6	28,8	28,8	28,6
1980	27,9	28,7	29,4	29,6	29,3	28,6	29,5	29,9	29,5	29,1	28,5	27,2	26,5	24,7	25,9	26,1	26,3	26,9	27,5	27,5	28,1	28,7	28,6	26,8
1981	27,6	27,6	28,8	28,6	29,2	29,2	29,5	29,5	29,4	29,5	29,1	28,0	26,6	25,3	26,0	25,6	25,7	26,6	27,4	28,6	28,9	28,8	28,8	28,0
1982	27,7	28,0	28,5	29,0	29,6	29,9	30,0	29,9	28,9	29,0	28,4	27,6	26,4	23,8	24,4	24,2	25,0	25,5	27,6	27,8	28,5	28,3	27,7	28,1
1983	-	-	25,8	27,7	28,3	28,3	28,6	29,0	29,0	28,9	28,4	26,7	24,9	24,0	23,8	24,9	25,8	26,6	26,6	28,7	28,3	27,9	27,1	27,8
1984	28,1	28,2	27,8	28,8	29,1	29,2	29,3	-	28,6	29,1	28,0	-	-	-	24,7	25,0	25,5	26,7	27,2	-	-	-	-	-
Moy.	27,5	27,8	28,0	28,4	28,9	28,9	29,3	29,4	29,1	29,0	28,3	27,0	25,8	24,8	24,9	24,8	25,2	26,1	27,0	27,7	28,2	28,3	28,0	27,5

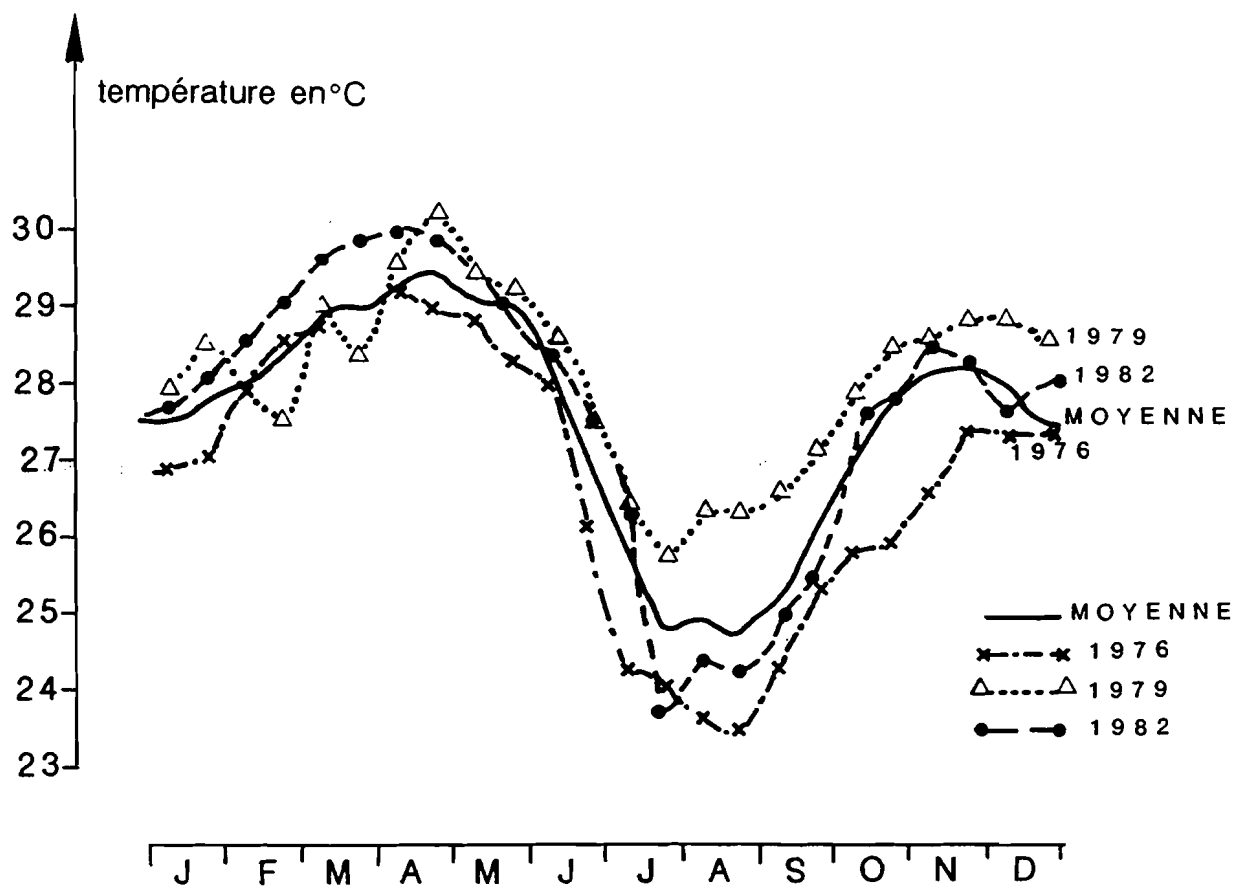


Fig - C.III.2 - TEMPERATURE DE SURFACE DE L'OCEAN A COTONOU

Tableau T.C.III.2 - Températures moyennes mensuelles aux stations synoptiques du Bénin (en °C)
(d'après Asecna Cotonou)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Cotonou	Max	30.7	31.4	31.8	31.4	30.8	29.0	27.8	27.7	28.4	29.5	30.8	30.8	30.0
	Min	23.8	25.3	25.6	24.3	23.5	23.5	23.5	23.3	23.5	23.6	24.0	23.6	24.1
	Moy	27.3	28.3	28.7	27.9	27.2	26.3	25.7	25.5	26.0	26.6	27.4	27.7	27.1
Bohicon	Max	34.1	35.4	34.9	33.4	32.8	20.5	29.0	29.0	30.2	31.4	33.7	33.7	32.3
	Min	22.2	23.4	23.6	23.3	22.9	22.0	21.6	21.3	21.6	22.0	22.6	22.4	22.4
	Moy	28.2	29.4	29.3	28.4	27.9	26.3	25.3	25.2	25.9	26.7	28.0	28.1	27.4
Save	Max	34.8	36.2	35.4	33.8	32.6	30.7	29.2	28.6	29.8	31.4	33.7	34.1	32.5
	Min	21.3	22.5	22.9	22.7	22.3	21.7	21.3	20.9	21.2	21.6	21.8	20.9	21.7
	Moy	28.1	29.4	29.2	28.3	27.5	26.2	25.3	24.8	25.5	26.5	27.8	27.5	27.1
Parakou	Max	34.1	36.1	36.1	34.5	32.5	30.6	29.1	28.4	29.4	31.3	33.3	33.7	32.4
	Min	18.7	21.1	22.7	27.8	22.0	21.2	20.8	20.6	20.3	20.5	19.2	18.3	20.6
	Moy	26.4	28.6	29.4	28.7	27.3	25.9	25.0	24.5	25.0	25.9	26.3	26.0	26.5
Natitingou	Max	34.3	36.3	36.9	35.4	33.3	31.1	28.9	28.4	29.8	32.1	33.9	34.1	32.9
	Min	19.2	20.7	22.5	23.0	22.2	21.2	20.7	20.6	20.3	20.2	18.5	18.5	20.6
	Moy	26.8	28.5	29.7	29.2	27.8	26.2	24.8	24.5	25.1	26.2	26.2	26.3	26.7
Kandi	Max	33.9	36.5	38.4	38.1	35.6	32.7	30.4	29.6	30.5	33.7	35.1	33.8	34.1
	Min	16.1	18.9	23.2	25.0	24.3	22.6	21.8	21.5	21.3	21.4	17.8	15.6	20.9
	Moy	25.0	27.5	30.8	31.7	30.0	27.7	26.1	25.6	26.0	27.6	26.5	24.7	27.5

a) Les températures moyennes journalières

a.1) - L'écart entre le mois le plus chaud et le plus froid croît du Nord au Sud ; il est de 3°C à 6°N, de 9°C à 12°N.

a.2) - Sur l'ensemble du pays, les températures moyennes suivent un régime bimodal :

Un premier maximum dont la date d'apparition passe progressivement de fin février au Sud du pays (28°C à 6°30'N) à fin avril au Nord (33,5°C à 12°N).

- Un premier minimum sur l'ensemble du pays au mois d'août : 25,5°C à 6°30'N et 27,5°C à 12°N.
- Un maximum secondaire mi-octobre au Nord, début décembre au Sud : 29,5°C à 12°N et 28°C à 6°30'N.
- Un deuxième minimum fin décembre au Nord, mi-janvier au Sud : 24,5°C à 12°N et 27,5°C à 6°30'N.

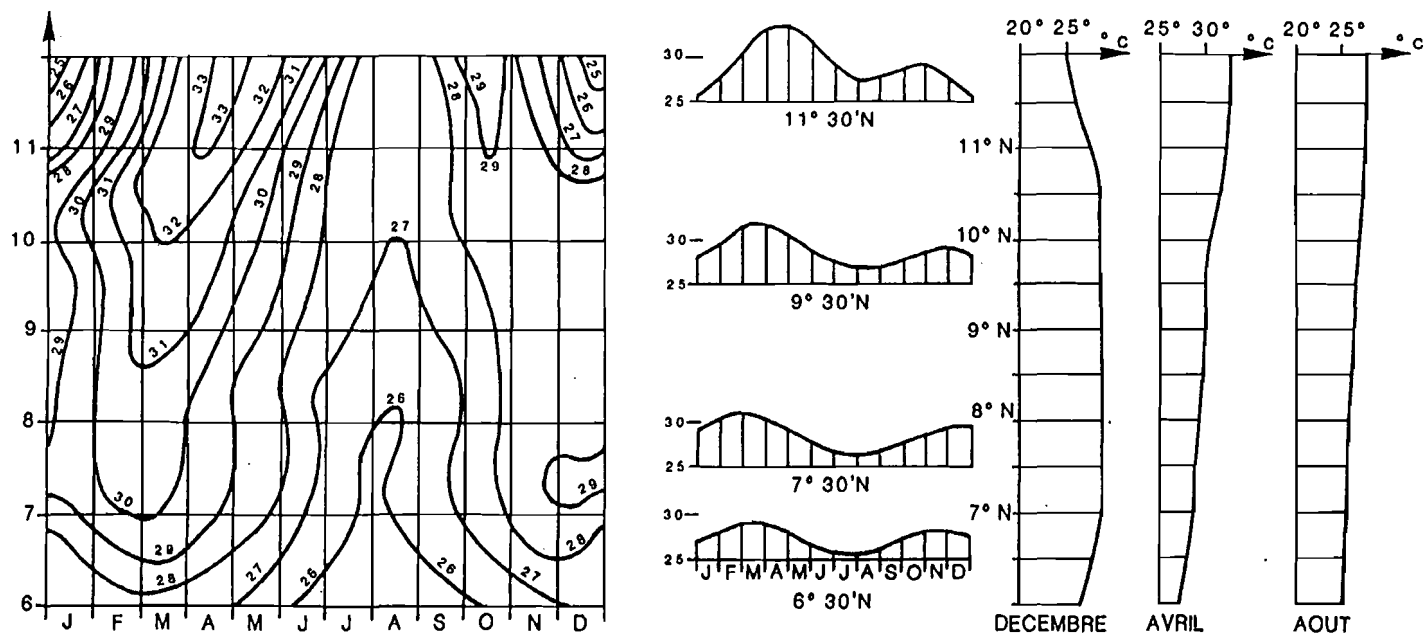


Fig - C.III.3 - TEMPERATURES MOYENNES A L'ALTITUDE ZERO (en °C) EN FONCTION
DE LA LATITUDE ET DE LA PERIODE DE L'ANNEE

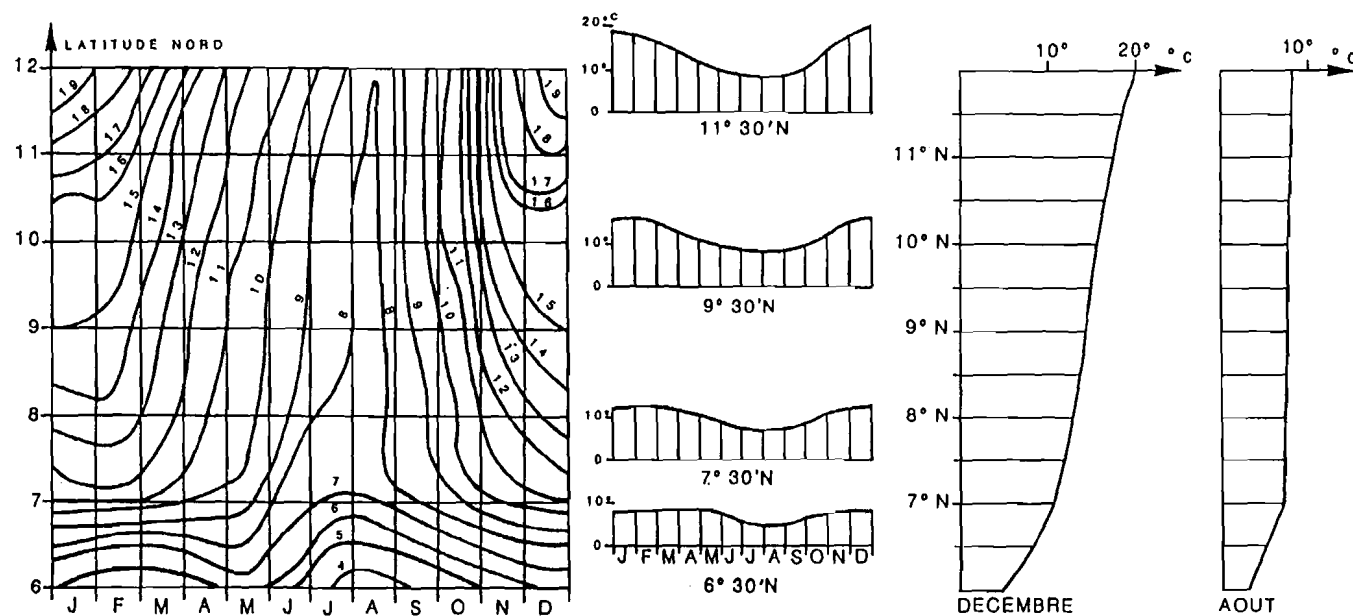


Fig - C.III.4 - AMPLITUDES DIURNES DES TEMPERATURES (en °C) EN FONCTION
DE LA LATITUDE ET DE LA PERIODE DE L'ANNEE

Ces profils résultent essentiellement de l'action de deux facteurs : le rayonnement solaire d'une part, la nébulosité et les précipitations d'autre part. La montée des températures observée en début d'année correspond à l'augmentation du rayonnement solaire dont l'action va être contre-carrée par l'arrivée des pluies, d'où la baisse des températures qui débute avec l'hivernage, et le minimum du mois d'août. La fin de la saison des pluies va entraîner une augmentation de la température qui va être très rapidement contrariée par la baisse du rayonnement solaire amorcée dès la mi-juin.

Sur la côte, à l'action de ces deux facteurs se superpose l'influence modératrice de l'océan.

a.3) - Il est également intéressant d'analyser pour différentes périodes de l'année l'évolution de la température en fonction de la latitude.

- . A partir du mois de mars et jusqu'au mois de septembre la température décroît régulièrement du Nord au Sud. Le gradient de température est maximum aux mois d'avril et de mai, ce qui favorise les orages et la pénétration des pluies de mousson.
- . A partir du mois d'octobre et jusqu'au mois de janvier, un maximum de température apparaît entre 7°N et 7°30'N. Les ascendances sur cette région seraient donc favorisées. Ce serait peut être l'explication du maximum de pluviométrie observée sur cette zone au cours de la deuxième saison des pluies.

b) Les amplitudes journalières

Les amplitudes journalières sont liées aux durées relatives du jour et de la nuit mais aussi et surtout à l'humidité de l'air. On constate donc :

- b.1) - Une décroissance régulière des amplitudes du Nord au Sud. Le gradient va être maximal durant les mois secs (20°C à 12°N et 5°C à 6°N au mois de décembre) et se réduire progressivement avec la montée de l'air humide de la mousson pour être minimal au mois d'août où celle-ci occupe la totalité du pays (8°C à 12°N et 3,5°C à 6°N). L'arrivée brutale de l'harmattan en septembre va se traduire par une remontée des amplitudes.
- b.2) - Jusqu'à 7°N l'influence de l'océan domine et le gradient est beaucoup plus élevé que sur le reste du pays.

IV. L'Insolation

Dans le tableau T.C.III.3, sont indiquées les moyennes mensuelles de l'insolation journalière mesurée aux stations synoptiques du Bénin, exprimée en heure et dixième d'heure d'une part, et en pourcentage de la durée théorique du jour d'autre part. On notera qu'à part le mois de juin très pluvieux sur la côte, la durée d'ensoleillement est plus forte à Cotonou qu'à Bohicon et à Save.

Tableau T.C.III.3 - Valeurs moyennes mensuelles de l'insolation
(en heure/j et % de la durée théorique du jour)
(d'après Asecna Cotonou)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. an.
Cotonou	H	7.01	7.60	7.22	7.16	6.99	4.62	4.23	4.79	5.46	6.51	7.94	7.41	6.40
	%	60	65	61	59	57	37	35	40	46	56	68	64	
Bohicon	H	6.78	7.08	6.50	6.84	6.63	5.52	3.65	2.85	4.05	6.11	7.59	7.05	5.88
	%	58	60	54	56	54	45	30	24	34	52	66	61	
Save	H	7.20	7.52	6.94	6.95	6.99	5.57	3.50	2.76	3.76	5.57	7.18	7.05	5.90
	%	62	64	58	57	57	45	29	23	32	48	62	61	
Parakou	H	8.44	8.65	7.84	7.97	7.78	6.08	4.32	3.65	4.85	6.46	8.18	8.23	6.83
	%	73	74	66	65	63	49	35	30	44	56	71	72	
Natitingou	H	8.90	9.08	8.21	8.38	7.87	7.36	5.45	4.61	5.73	7.22	8.80	8.51	7.50
	%	77	78	69	69	64	59	44	38	48	62	77	75	
Kandi	H	9.32	9.64	8.98	9.07	8.97	9.05	7.59	6.54	7.68	8.95	9.58	9.32	8.71
	%	81	83	75	74	72	73	61	54	65	77	84	82	

V. L'Humidité

Dans le tableau T.C.III.4, sont indiquées les moyennes mensuelles minimales et maximales de l'humidité relative aux stations synoptiques du Bénin. On remarquera que l'évolution spatio-temporelle de ce paramètre est très similaire à celle de l'amplitude journalière des températures.

Tableau T.C.III.4
Valeurs moyennes mensuelles des humidités maximales (Ux) et minimales (Un) en %
(d'après Asecna Cotonou)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. an.
Cotonou	Ux	96	94	93	93	95	96	94	94	94	96	96	96	95
	Un	66	68	67	69	71	75	77	75	74	73	70	67	71
Bohicon	Ux	95	95	94	96	96	97	96	96	96	97	97	96	96
	Un	39	38	44	53	57	63	66	75	61	58	48	42	53
Save	Ux	90	93	94	97	98	98	98	98	98	98	97	92	96
	Un	30	30	39	49	54	59	63	65	62	57	42	34	49
Parakou	Ux	59	72	81	89	93	95	96	95	97	96	85	71	86
	Un	19	20	29	42	53	59	64	67	63	56	32	24	44
Natitingou	Ux	43	49	70	86	94	97	98	98	98	97	79	54	80
	Un	18	18	26	39	50	57	65	67	63	52	31	20	42
Kandi	Ux	52	50	61	74	86	94	97	99	99	95	81	61	79
	Un	16	14	17	28	43	54	62	65	62	46	23	18	37

VI. L'Evaporation

Dans le tableau T.C.III.5, sont indiquées les moyennes mensuelles de l'ETP journalière calculée suivant la formule de Penman (cf. *Annexe M4*).

Tableau T.C.III.5 - Valeurs moyennes mensuelles de l'ETP Penman (en mm/j)
(d'après Asecna Cotonou)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. an.
Cotonou	4,18	4,74	5,14	5,02	4,43	3,48	3,49	3,70	3,91	4,17	4,49	4,15	4,24
Bohicon	3,91	4,55	4,65	4,49	3,92	3,53	2,98	2,88	3,33	3,57	4,01	3,82	3,81
Save	4,02	4,60	4,73	4,46	4,02	3,39	2,70	2,65	2,93	3,32	3,77	3,70	3,68
Parakou	5,11	5,54	5,91	5,08	4,63	3,91	3,15	3,03	3,36	3,75	4,42	4,78	4,38
Natitingou	4,81	5,29	5,98	6,09	5,27	4,48	3,65	3,65	3,81	4,55	4,88	4,61	4,75
Kandi	4,48	5,23	5,86	6,23	5,55	4,92	4,12	3,95	4,10	4,54	4,19	4,03	4,76

De nombreux paramètres interviennent dans le calcul de l'ETP : rayonnement, température, humidité, vent. Tous ne dépendent pas uniquement de la latitude et le diagramme spatio-temporel de la figure C.III.5 doit être considéré avec prudence. Il n'a pour seul but que de permettre une estimation de l'ETP aux endroits où n'existe pas de station climatologique. Pour l'établir nous avons apporté une correction en fonction de l'altitude. En effet, Riou (1975) constate empiriquement une relation linéaire entre la valeur de la température maximale et l'ETP qui augmenterait de 0,30 mm/jr chaque fois que la température s'élève d'un degré celsius. La température maximale diminuant de 0,56°C chaque fois que l'on s'élève de 100 m, on admettra la relation suivante :

$$ETPo = ETPz + 0,00168.z$$

avec : $ETPo$ = ETP à l'altitude zéro (mm/j)
 $ETPz$ = ETP à l'altitude z (mm/j)
 z = altitude en m

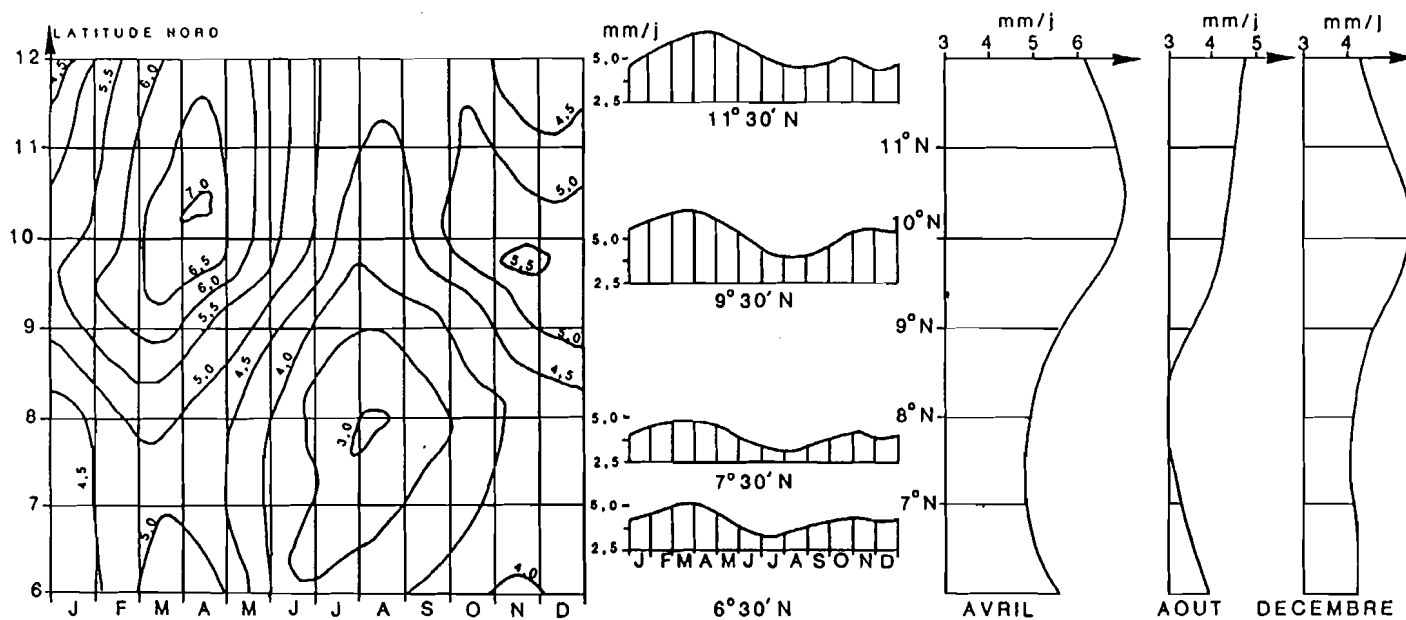


Fig - C.III.5 - ETP PENMAN (en mm/j) A L'ALTITUDE ZERO EN FONCTION DE LA LATITUDE ET DE LA PERIODE DE L'ANNEE

Bibliographie

I. LES MECANISMES DU CLIMAT

Barry ; Chorley - 1982 - Atmosphere, Weather & Climate - Methuen.

Dhonneur - Traité de météorologie tropicale - DMN (France).

Folland ; Palmer & Parker - 1986/12 - Sahel rainfall and worldwide sea temperatures, 1901-1985 - Nature Vol. 320.

Frécaut et Pagny - 1983 - Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial - Masson.

Giraud ; Grégoire - 1976/12 - Le climat soudano-sahélien. Année sèche. Année pluvieuse - La Météorologie. Numéro spécial "Météorologie tropicale".

Landsberg - 1972 - World survey of climatology. Climates of Africa - Griffiths.

Leroux - 1980 - Le climat de l'Afrique tropicale - Thèse. Université de Dijon (France).

Newell et Kindson - 1984 - African mean wind changes between sahelian wet and dry periods - Journal of climatology, vol 4.

Nicholson - 1981 - Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in West Africa - Monthly weather review.

II. LES PRECIPITATIONS

Brunet-Moret - 1967/06 - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : République du Dahomey. Paris (Fr.), Orstom, 20 p. multigr.

Cieh, Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, Ouagadougou, BF ; Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères Chargé de la Coopération, Paris, Fr. ; Orstom, Service hydrologique, Paris, Fr. - 1973 - République du Dahomey : précipitations journalières de l'origine des stations à 1965. Paris (F), Orstom, 525 p.

Cieh, Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, Ouagadougou, BFA ; Service météorologique du Bénin, Cotonou, BJ ; Asecna, Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne, Dakar, SEN ; Orstom, Laboratoire d'hydrologie, Montpellier, Fr. - 1989 - Précipitations journalières de 1966 à 1980 : République Populaire du Bénin. Montpellier (Fr.), Orstom, 295 p.

Cieh (Département hydrologie) - 1985/07 - Etude des pluies journalières de fréquence rare dans les états membres du Cieh. Rapport de synthèse - Cieh 30 p.

Iche - 1988/02 - Pluies exceptionnelles et inondations au Bénin d'août à octobre 1987. Veille Climatique Satellitaire (Fr.), vol. , n° 21, p. 27- 32.

Lahaye - 1980/07 - Etude régionale des pluies journalières de fréquence rare dans les états membres du Cieh. Synthèse régionale des valeurs réduites des pluies maximales annuelles. Aspect théoriques - Cieh 61 p.

Le Barbé ; Lebel - 1989/03 - Analysis of régional précipitation patterns in West Africa based on the law of leaks - OMM. 4° International meeting of statistical climatology. American Météorological Society. New Zealand Statitistical Association. Rotorua (NZ).

Puech ; Chabi Gonni - 1984/01 - Courbes hauteur de pluie-durée-fréquence. Afrique de l'ouest et centrale. Pour des pluies de durée 5 minutes à 24 heures - Cieh 156 p.

Puech ; Wome - 1982/08 - Etude des pluies journalières de fréquence rare au Bénin et au Togo - Cieh 88 p.

III. LES AUTRES PARAMETRES CLIMATIQUES

Riou - 1975 - La determination pratique de l'évaporation - Orstom 236 p.

TROISIEME PARTIE :

LES ECOULEMENTS

A l'inverse de la pluie, la ressource en eau que représentent les écoulements, est discontinue dans l'espace et son importance comme sa répartition saisonnière sont liées aux surfaces des bassins versants. La régionalisation des écoulements ne peut donc se faire par simple interpolation spatiale.

La mise en place et l'exploitation des réseaux hydrométriques coûtent cher et ils ne peuvent contrôler tous les marigots, toutes les rivières et tous les fleuves. Ceci est particulièrement vrai au Bénin où les stations du réseau sont en nombre limité et implantées presque uniquement aux exutoires de bassins relativement grands. La description des régimes hydrologiques à ces stations, déduites des observations, n'est donc pas suffisante puisqu'elle ne permet pas une évaluation de la ressource partout où elle est disponible. La régionalisation des écoulements passe donc par la mise au point de méthodes, pour estimer, à partir des données hydropluviométriques existantes, certaines caractéristiques des régimes aux sites non jaugés.

Les trois premiers chapitres de cette partie présentent les résultats obtenus en suivant cette démarche.

Le premier donne pour chacune des stations du réseau une description la plus exhaustive possible des régimes hydrologiques.

Le second résume les observations fragmentaires réalisées sur des petits bassins versants.

Le troisième propose à partir des résultats obtenus aux chapitres précédents une synthèse régionale des apports, des crues et des étiages.

Les écoulements et les pluies sont loin d'être proportionnels et des variations relativement faibles de la pluviométrie peuvent induire d'importantes fluctuations dans les débits des rivières. Il nous est donc apparu nécessaire d'étudier l'impact sur les écoulements des variations climatiques. C'est l'objet du quatrième chapitre.

Le cinquième chapitre traite du delta de l'Ouémé.

Chapitre 1

ANALYSE DES DONNEES COLLECTEES SUR LE RESEAU HYDROMETRIQUE

I. Les données, les objectifs, les méthodes

1. Les données

Si on excepte les stations installées sur les zones deltaïques et celles installées sur les petits bassins versants représentatifs et expérimentaux, entre 1950 et 1984, trente trois sites ont été équipés de matériel hydrométrique. L'inventaire complet de ces stations hydrométriques, leur description, leur historique et des commentaires sur la qualité des mesures ont été faits par L. Le Barbé et Y. Borel (1987).

Sur 26 de ces sites (*cf. tableau T.H.I.1*), nous possédons des données suffisamment bonnes pour être utilisées, au moins en partie, dans le cadre de cette monographie. La carte de situation de ces 26 stations retenues est représentée sur la figure n° H.I.1, les débits moyens journaliers observés à ces stations ont été publiés en 1986 sous forme d'annales hydrologiques.

Trois de ces stations, le Niger à Malanville, la Pendjari à Porga et le Mono à Athiémé, contrôlent les écoulements en provenance de bassins situés majoritairement hors du Bénin.

Deux autres stations, la Binaho à Dompago et la Taneka à Tanekakoko, implantées à l'exutoire de très petits bassins versants n'ont pas été équipées du matériel suffisant pour contrôler avec une précision acceptable les apports et les crues. Elles ne peuvent donc être utilisées que pour l'étude des basses eaux.

Il ne reste donc que les données collectées aux 21 autres stations pour estimer les écoulements sur une surface totale de plus de 100 000 km².

Tableau T.H.I.1 - Etude des écoulements de la République du Bénin
Inventaire des données disponibles sur la période 1940-1984

Nom de la station	Lat. Nord	Long. Est	Superf. km ²	NA	NF	NP
Bassin du Niger						
Niger à Malanville	11°52'	3°23'	1 000 000	33	1	-
Alibori Route Lanta	11°10'	2°41'	8 160	33	1	5
Mekrou à Barou	12°21'	2°45'	10 500	(19)	Li	3
Mekrou à Kompongou	11°24'	2°11'	5 700	25	2	3
Sota à Coubéri	11°45'	3°20'	13 410	32	1/2	6
Sota à Gbasse	10°59'	3°15'	8 300	33	1/Li	3
Irane à Koutakroukrou	11°03'	3°03'	1 250	(33)	1	(1)
Bassin de la Volta						
Pendjari à Porga	11°03'	0°58'	22 280	33	1/3	-
Magou à Tiélé	10°43'	1°12'	836	24	2	(2)
Binaho à Dompago	9°42'	1°27'	62	(31)	1	(1)
Taneka à Tanekakoko	9°52'	1°30'	11	24	1/2	0
Bassin du Mono						
Mono à Athiémé	6°35'	1°40'	21 475	34	2	-
Bassin du Couffo						
Couffo à Lanta	7°06'	1°53'	1 680	34	1/2	1
Bassin de l'Ouémé						
Ouémé à Bétérou	9°12'	2°16'	10 326	33	2	8
Ouémé à Bonou	6°54'	2°27'	46 990	34	2	35
Ouémé à Sagon	7°11'	2°26'	37 980	34	2	27
Ouémé à Save	8°00'	2°25'	23 600	34	2/Li	15
Zou à Atcherigbe	7°32'	2°02'	6 950	34	1/2	6
Zou à Domé	7°07'	2°20'	8 210	33	2	8
Okpara à Nanon	9°17'	2°44'	2 067	17	1/2	1
Okpara à Kaboua	8°15'	2°43'	9 600	34	1	8
Beffa à Vossa	8°30'	2°21'	1 870	6	1	3
Wéwé à Wéwé	9°23'	2°06'	293	24	1/2	3
Agbado à Savalou	7°55'	2°00'	1 280	(34)	1/2	2
Omini à Pira	8°28'	1°47'	88	31	1	(1)
Klou à Logozohe	7°53'	2°07'	300	33	1	(1)

NA : nombre d'années d'observations, les parenthèses indiquent de très nombreuses lacunes dans la chronologie

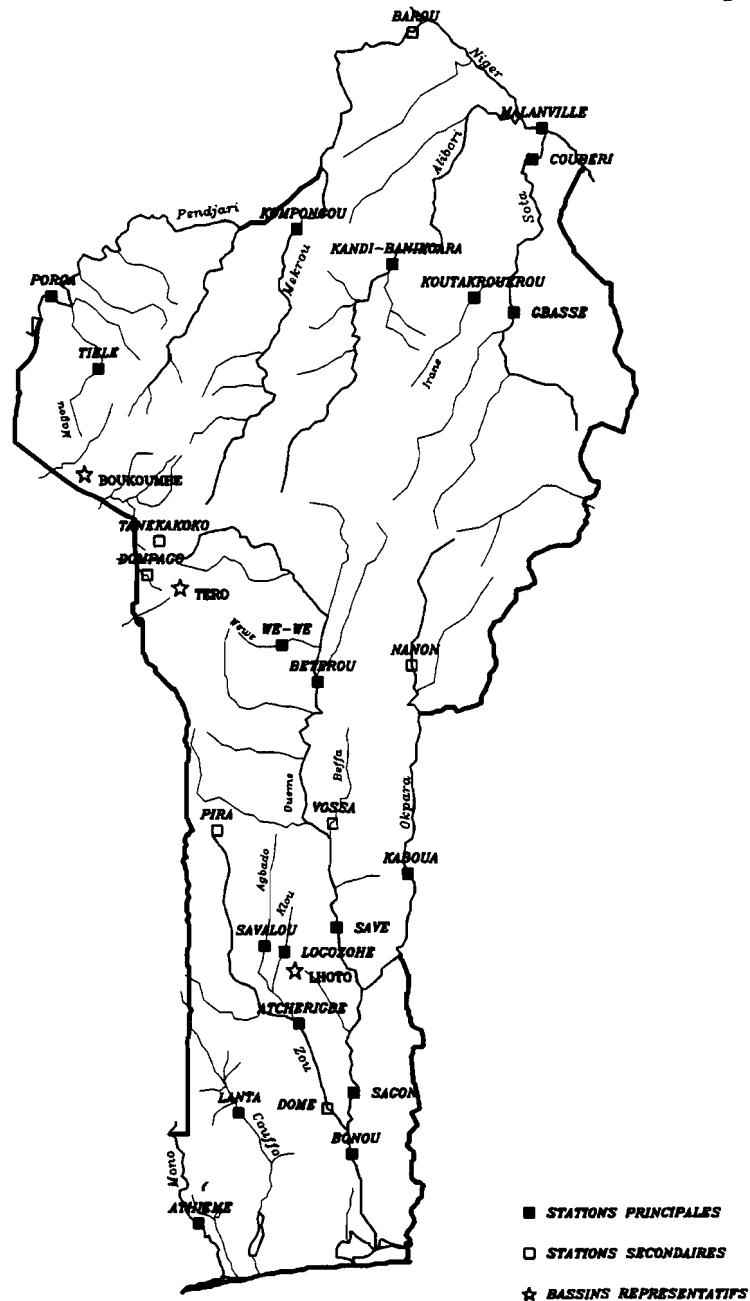
NF : fréquence des relevés par jour

Li : existence d'un limnigraphe

NP : nombre de postes pluviométriques sur le bassin

ETUDES DES REGIMES HYDROLOGIQUES BENINOIS *Sites retenus pour l'analyse*

Fig - H.I.1 -



Les écoulements - Analyse des données collectées sur le réseau

On peut évaluer l'efficacité d'un réseau par deux paramètres :

- le taux de couverture : rapport de la surface contrôlée à la surface totale de la zone d'étude ;
- la surface de résolution : valeur de la médiane de la distribution des surfaces contrôlées.

Les valeurs de ces paramètres pour les cinq plus importantes zones hydrologiques du Bénin sont indiquées dans le tableau suivant.

Zone hydrologique du Bénin	Surface totale km ²	Surface contrôlée km ²	Taux de couverture %	Surface de résolution km ²	Nombre de stations
Bassin du Niger	39 850	32 070	81,0	5 700	6
Bassin de la Pendjari	12 850	836	6,5	-	1
Bassin de la Kéran et de la Kara	3 480	0	0	-	0
Bassin de l'Ouémé (en amont de Bonou)	46 980	46 980	100	9 500	13
Bassin du Couffo (en amont du lac Ahémé)	3 029	1 680	55,5	(1 680)	1

Ce tableau appelle deux commentaires :

- Pour la partie béninoise du Bassin de la Volta (hauts-bassins de la Pendjari, de la Kéran et de la Kara) le taux de couverture quasi nul rendra difficile une estimation des régimes hydrologiques.
- Pour les autres bassins le taux de couverture est beaucoup plus satisfaisant mais la surface de résolution est relativement importante. Il sera donc nécessaire de développer des méthodes permettant à partir des données collectées d'estimer les régimes hydrologiques sur des bassins plus petits.

2. Les objectifs

L'analyse des données collectées sur le réseau vise deux objectifs : il s'agit, d'une part, de décrire le plus précisément possible les régimes hydrologiques observés aux stations et, d'autre part, de faciliter une étude régionale des écoulements.

2.1. Décrire les régimes hydrologiques

Les écoulements bien davantage encore que les précipitations sont très irréguliers tant à l'échelle annuelle qu'interannuelle. Leur description ne peut donc être que statistique et il faut pouvoir préciser les distributions de paramètres caractérisant le régime hydrologique : apports annuels, crues, étiages, répartition saisonnière, répartition fréquentielle des débits, coefficient de tarissement, etc..

La sécheresse qui sévit depuis quelques années déjà en Afrique de l'Ouest indique à l'évidence qu'aux fluctuations du climat purement aléatoires se superposent des tendances à plus ou moins long terme. Actuellement, nous l'avons vu lors de l'étude des précipitations, il n'est pas possible de préciser ces tendances avec suffisamment de rigueur pour en déduire des prévisions qui puissent être opérationnelles. Il paraît cependant indispensable de compléter la description fréquentielle des régimes hydrologiques par celles des variations observées (ou reconstituées) des régimes hydrologiques sur une période de référence.

2.2. Faciliter la régionalisation des résultats

Pour étendre les résultats obtenus aux stations du réseau aux autres rivières du pays, il faudra rechercher presque systématiquement les corrélations qui pourraient exister entre les caractéristiques hydrologiques aux différentes stations du réseau.

Pour pouvoir faire des comparaisons pertinentes entre les caractéristiques statistiques des régimes hydrologiques du Bénin, il est indispensable que celles-ci soient calculées sur une même période de référence. Nous choisirons la même période que celle retenue lors de l'étude des précipitations : 1940-1984.

Il sera donc nécessaire pour l'extension de la série chronologique, d'utiliser un modèle hydro-pluviométrique. Le modèle devra permettre de caractériser l'aptitude au ruissellement des bassins indépendamment des régimes pluvio-métriques auxquels ils sont soumis. Ce n'est qu'à cette condition en effet que l'on pourra réellement comparer les bassins entre eux.

3. Les méthodes

3.1. Le modèle hydro-pluviométrique

Deux facteurs conditionnent le choix d'un modèle : la qualité des données disponibles et les objectifs que l'on veut atteindre.

Le premier facteur limitant est la précision avec laquelle on connaît l'évolution spatio-temporelle de la pluie. La densité du réseau pluviométrique est au Bénin de l'ordre d'un poste pour 1 000 à 2 000 km². Il serait dans ces conditions illusoire de travailler à des échelles de temps ou d'espace trop petites. Nous utiliserons donc pour chaque bassin contrôlé par une station hydrométrique un modèle global et pour nous affranchir des problèmes liés au temps du transfert des eaux écoulées vers l'exutoire, nous limiterons nos ambitions à la reconstitution des apports annuels.

Très schématiquement on peut considérer que l'écoulement annuel à l'exutoire d'un bassin versant dépend de deux groupes de facteurs :

- le premier est lié à l'aptitude au ruissellement du bassin versant,

- le second est lié à la répartition temporelle des pluies : pour deux bassins identiques et pour une même pluie annuelle, l'écoulement pourra être très différent suivant le nombre d'averses.

Voulant régionaliser les résultats des analyses, il est nécessaire d'essayer de faire la part entre ces deux groupes de facteurs. Nous utiliserons donc le modèle décrit en Annexe M5.

Selon ce modèle, la lame ruisselée annuelle, LR, s'écrit:

$$LR = Pt.exp(-0.75 (\alpha.no/Pt)^{0.75} \quad (1)$$

où : Pt = la hauteur moyenne de pluie sur le bassin au cours de l'hivernage ;

no = le nombre le plus probable d'averses au cours de l'hivernage ;

$$no = \sum \sqrt{\frac{Si \cdot Pi}{Hi}} ;$$

Si, Hi = paramètres de forme et d'échelle de la Loi des Fuites décrivant la distribution interannuelle des pluies au cours du mois i ;

α = paramètre caractérisant la fonction de production d'une surface élémentaire fictive, ds , du bassin au cours d'une averse, tel que :

$$V = \left[P - \frac{\alpha P}{(\alpha^2 + P^2)^{1/2}} \right] ds ; \quad (2)$$

où : V = contribution à l'écoulement de la surface élémentaire ;

P = hauteur de pluie reçue au cours d'une averse par la surface élémentaire.

Le paramètre α peut être assimilé à la hauteur maximale de pluie qui peut être absorbée par une surface au cours d'une averse. Il dépend donc de l'état initial de saturation du bassin.

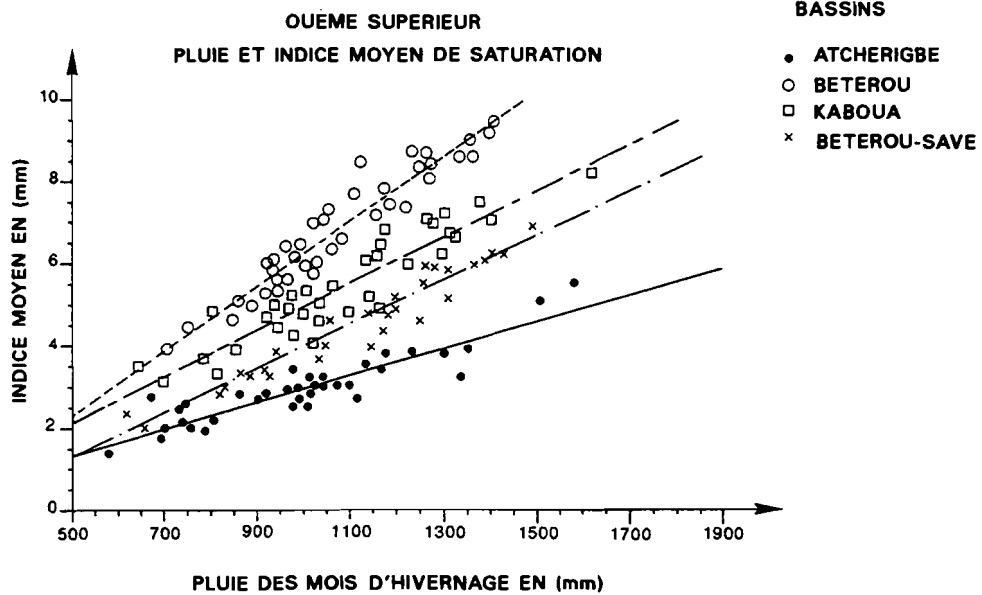
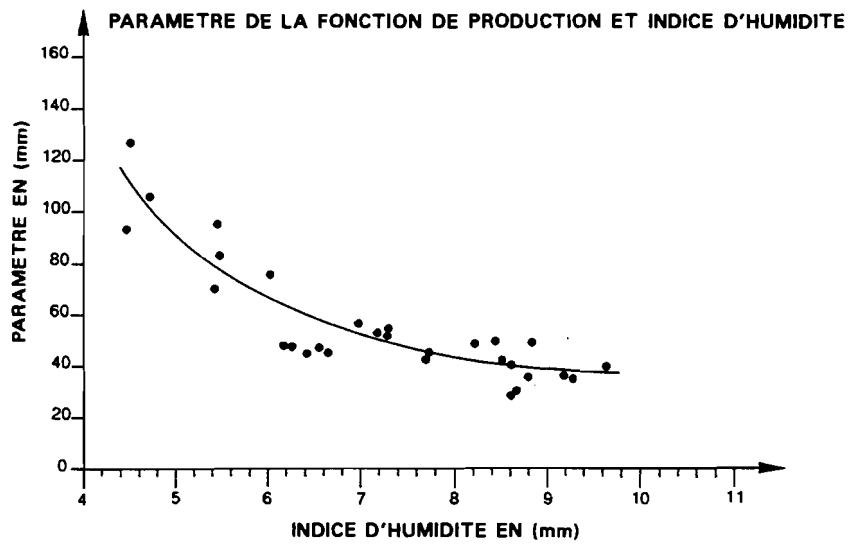
La valeur moyenne annuelle que l'on peut déduire de l'expression (1) sera, dans ces conditions, fonction de l'état moyen de saturation rencontré au cours de l'année et que l'on peut caractériser par un indice déduit des données pluviométriques. On constate effectivement une décroissance en fonction de l'indice d'humidité. La capacité d'absorption tend asymptotiquement vers une limite quand cet indice devient grand. On a représenté sur la figure H.I.2a les résultats obtenus pour le bassin de l'Ouémé à Bétérou.

L'indice étant très fortement corrélé à la hauteur totale des pluies d'hivernage (*Fig. H.I.2b*), il est plus simple de caractériser l'aptitude au ruissellement de chaque bassin par la relation :

$$a = f(Pt).$$

Le modèle que nous venons de présenter a surtout un sens statistique. L'expression (2) ne décrit pas réellement le ruissellement sur une surface élémentaire du bassin, de la même façon qu'en hydrogéologie la loi de Darcy ne peut s'appliquer pour calculer l'écoulement au niveau d'un pore élémentaire du sol.

Fig- H.I.2 - OUEME A BETEROU



Ce modèle présente cependant deux avantages. Il permet de séparer dans la relation pluie-écoulement la part liée aux régimes des précipitations de celle liée aux caractéristiques physiques du bassin. Il permettrait aussi théoriquement d'estimer le volume écoulé causé par une averse si l'on en connaissait la distribution spatiale. Il suffirait alors d'intégrer sur l'ensemble du bassin l'expression (2).

3.2. Analyses statistiques

Les précipitations forment une ressource primaire. Il est donc possible pour l'étude fréquentielle des totaux pluviométriques de bâtir un modèle statistique cohérent à partir de deux distributions initiales : celles des hauteurs des averses et celles des durées interaverses. C'est ce que nous avons fait en utilisant la Loi des Fuites.

Pour les écoulements, le problème est beaucoup plus complexe. Les apports d'une rivière au cours d'une période dépendent en effet de multiples facteurs : de l'évolution spatio-temporelle des précipitations sur les bassins versants, de l'importance de la part de la pluie qui ruisselle, et qui varie dans le temps et dans l'espace, de la façon dont s'effectue le transfert vers l'exutoire. Pour les stations du réseau il sera impossible de définir avec assez de précision chacun de ces facteurs. Nous serons donc obligés d'avoir une démarche beaucoup plus empirique que celle employée pour l'étude fréquentielle des pluies.

3.2.1. Apports et crues

Sur les échantillons des valeurs observées ou reconstituées nous essayerons systématiquement d'ajuster les lois statistiques les plus couramment utilisées en hydrologie : Gauss, Galton, Bêta, Exponentielle généralisée, Gumbel, Pearson III, Fuites. Nous adopterons alors parmi celles qui s'ajustent le mieux la plus universelle. On trouvera en Annexe M6 une description sommaire de chacune des lois retenues.

3.2.2. Etiages

Pour les rivières du Bénin qui se tarissent chaque année nous décrirons les distributions observées du nombre de jours sans écoulement à l'aide d'un certain nombre de paramètres statistiques : moyenne, écart-type, etc..

Pour les rivières qui ne se tarissent que rarement ou jamais, nous ferons de même pour décrire les distributions des débits d'étiages.

3.2.3. Variations saisonnières

Pour préciser les variations saisonnières nous nous intéresserons aux dates de début, de fin d'écoulement et du maximum de la crue ainsi qu'aux apports mensuels.

a/ dates de début, de fin d'écoulement, date de maximum :

Nous nous contenterons de décrire les distributions des valeurs observées par un certain nombre de paramètres statistiques : moyenne, écart-type, etc..

b/ apports mensuels :

Du fait du temps nécessaire au transfert des écoulements, les apports observés au cours d'un mois sont en partie liés à ceux des mois précédents. Il ne serait donc pas très significatif ni surtout très utile d'ajuster une loi statistique aux apports mensuels indépendamment des écoulements antérieurs. Par ailleurs, il n'est pas possible dans le cadre de cette monographie de préciser pour chaque station et pour chaque mois les distributions conditionnelles de ces apports.

Nous adopterons donc la démarche suivante :

- 1/ nous décrirons par des paramètres statistiques simples les distributions observées,
- 2/ comme pour l'étude des précipitations nous utiliserons la méthode CAH (cf. Annexe) pour classer l'ensemble des profils des écoulements observés. Un profil étant défini pour une année par l'ensemble des 12 valeurs mensuelles des apports rapportées à l'écoulement annuel.

3.3. Courbes des débits classés

Pour une année donnée, la courbe des débits classés est la fonction de répartition des débits moyens journaliers, et dont la moyenne est le module annuel. Classiquement, elle est définie par sept valeurs, les débits caractéristiques, qui sont :

- Maxi : débit maximum annuel ;
- DCC : débit caractéristique de crue, c'est-à-dire le débit dépassé 10 jours par an ;
- DC1 : débit dépassé 1 mois par an ;
- DC3 : débit dépassé 3 mois par an ;
- DC6 : débit dépassé 6 mois par an ;
- DC9 : débit dépassé 9 mois par an ;
- DC11 : débit dépassé 11 mois par an ;
- DCE : débit caractéristique d'étiage, dépassé 355 jours par an ;
- Mini : débit minimum annuel.

Il existe une relation statistique, non linéaire, entre les valeurs de ces débits caractéristiques et celle du module annuel (cf. l'exemple de l'Ouémé à Save représenté sur la figure H.I.3). Ces relations sont d'autant plus étroites que le bassin versant est grand. Nous les préciserons de façon numérique pour chacune des stations de réseau.

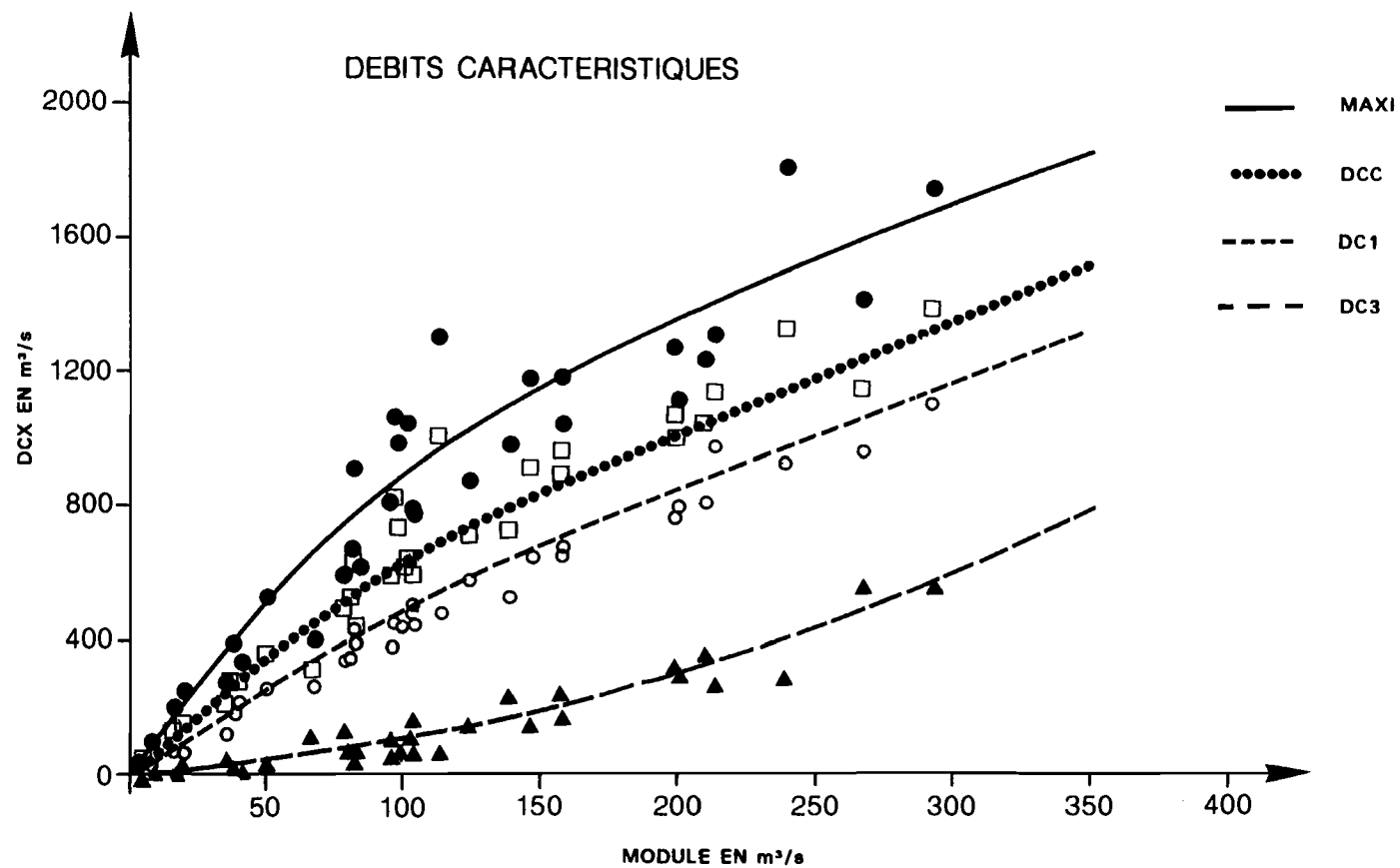


Fig- H.I.3 - OUEME A SAVE

3.4. Tariessement

Nous utiliserons le modèle classique du tariessement exponentiel :

$$Q(t-t_0) = Q(t_0) \exp - \frac{t-t_0}{TR}$$

où t_0 = date origine du tariessement
 $Q(t_0)$ = débit initial
 TR = temps du tariessement

Le tariessement peut correspondre à deux processus, le destockage de l'eau accumulée dans le réseau hydrographique et/ou à la vidange de nappes souterraines. On remarque sur la quasi totalité des rivières qu'il existe dans les courbes de tariessement deux périodes, situées de part et d'autre d'un débit charnière, caractérisées chacune par un coefficient de tariessement différent, TR_1 et TR_2 .

Pour les rivières situées sur le socle, où la contribution des nappes souterraines aux écoulements est faible, un tariessement lent précède un tariessement beaucoup plus rapide ($TR_1 > TR_2$).

Pour les rivières situées sur les formations sédimentaires où le débit des rivières est souvent soutenu par les nappes souterraines, à un tariessement "rapide" succède un tariessement "lent" ($TR_2 > TR_1$).

On trouvera sur la figure H.I.4 à titre d'exemple le tariessement observé sur l'Alibori situé sur le socle, et celui observé à la station de Coubéri sur la Sota qui draine alors les grès de Kandi.

Pour chaque station hydrométrique, nous caractériserons donc les tariessements par trois paramètres : les valeurs moyennes des deux coefficients de tariessement et celle du débit charnière. Pour préciser l'incertitude dans l'estimation de ces paramètres, nous indiquerons leur écart-type.

*

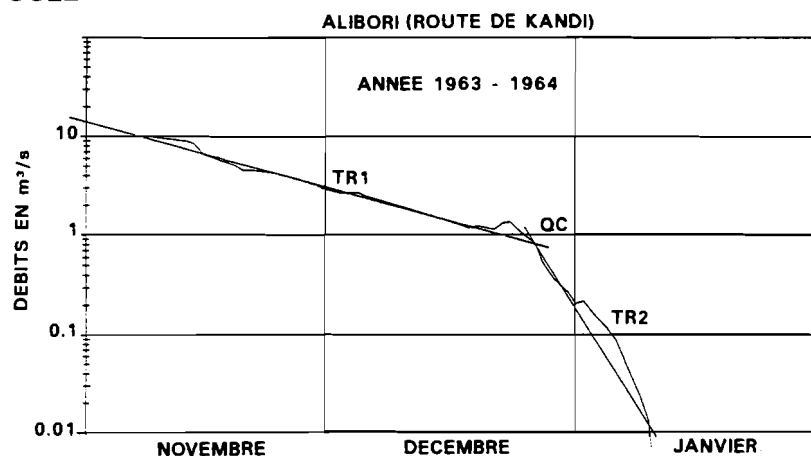
* *

Pour chaque grand bassin du Bénin, nous allons parcourir d'amont en aval les rivières contrôlées. Chaque fois que nous rencontrerons une station hydrométrique, en suivant les méthodes exposées plus haut, nous préciserons les caractéristiques du régime de la rivière en cet endroit. Pour chaque station nous présenterons les observations faites à l'aide de deux tableaux, celui des modules mensuels et annuels, et celui des débits caractéristiques. Nous étudierons ensuite successivement :

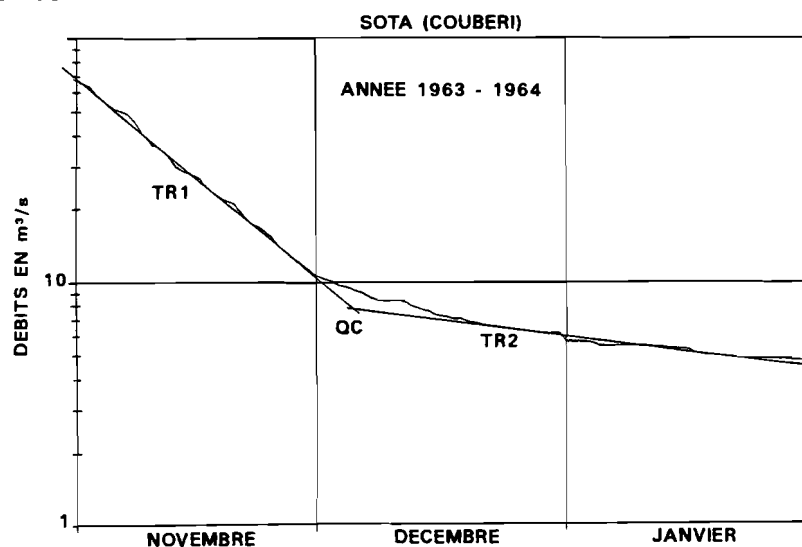
- les apports annuels,
- la répartition saisonnière,
- les courbes des débits classés,
- les crues,
- les étiages,
- le tariessement.

Fig- H.I.4 - EXEMPLES DE COURBES DE TARISSEMENT

A / SOCLE



B / GRÈS



II. Bassin du Niger

1. La Mekrou à Kompongou (5 670 km²)

1.1. Observations (1960-1984)

Jusqu'en 1970, l'échelle ne se composait que de six éléments ; elle a été submergée durant parfois d'assez longues périodes au cours des années 1960, 1962, 1963, 1964, 1967 et 1968, sans que l'on ait aucun indice permettant d'estimer la cote maximale atteinte.

Pour ces années-là, les valeurs des modules et des crues données dans les tableaux correspondants ne sont donc que des approximations.

Le nombre relativement restreint d'années complètes d'observations, 18, limite la précision des résultats présentés ci-après.

1.2. Apports annuels

a/ Paramètre de la fonction de production (mm) ($R^2 = 0.85$)

Pluie d'hivernage (mm) (Mai - Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Paramètre (mm)	130	114	88	69	47	27	25	25

b/ Corrélation entre les lames écoulées à Kompongou et au pont de la route de Banikoara sur l'Alibori

$$LK = 1.05 LB \quad R^2 = 0.93$$

avec : LK = lame écoulée en mm à Kompongou
 LB = lame écoulée en mm au pont de Banikoara (Alibori)

c/ Analyses statistiques

La série observée a été complétée chaque fois que cela a été possible à partir de la corrélation précédente et à l'aide du modèle hydropluviométrique dans le cas contraire.

La Loi des Fuites est celle qui s'ajuste le mieux aux échantillons des modules et des lames écoulées annuelles.

Paramètre de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulee
Echelle	4.17 (m ³ /s)	23.1 (mm)
Forme	5.49	5.49

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(0,91)	2,03	4,32	6,96	10,9	20,8	33,6	41,6	48,7	57,4	(63,6)	
Lame écoulée (mm)	(5,02)	11,2	23,9	38,5	60,3	115	186	230	270	318	(352)	

1.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques et nombre de jours sans écoulement

	Jf	Jd	Jx	NS	NS1	NS2
Moyenne	37	145	258	108	97	112
Médiane	42	148	260	107	94	112
Ecart-type	29	16	11	24	9	27
Minimum	- 28	102	240	61	91	61
Maximum	76	167	273	154	109	154
1 ^o quartile	20	140	248	91	91	93
3 ^o quartile	58	152	267	121	103	131

Jf, Jd, Jx : date d'arrêt et du début de l'écoulement, du maximum (en jours depuis le début de l'année)

NS, NS1, NS2 : nombre de jours par année sans écoulement, toutes années confondues, avant et après 68.

Une année sur deux les écoulements débutent entre le 20 mai et le 1er juin, le maximum de la crue a lieu entre le 5 et le 24 septembre, l'écoulement s'arrête entre le 20 janvier et le 27 février de l'année suivante. La durée de la période sans écoulement est compris entre deux et cinq mois et une année sur deux entre trois et quatre mois. Elle aurait augmenté en moyenne de 15 jours depuis 1968.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0,63	0,14	0,02	0,06	0,11	1,09	8,8	41,5	78,7	55,9	12,6	2,7
	s	0,99	0,34	0,06	0,25	0,14	1,15	11,5	30,7	50,1	38,6	12,2	3,3
% des apports annuels	m	0,30	0,10	0,05	0,15	0,20	1,3	4,6	18,6	47,4	22,1	4,5	0,7
	s	0,4	0,1	0,03	0,8	0,2	2,0	4,4	5,1	9,1	7,0	3,1	0,7

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH on peut faire une partition en cinq classes des profils observés. Une seule classe regroupe 11 des 16 profils, nous considérerons son profil moyen comme étant le profil modal.

Partition en cinq classes de l'ensemble des profils observés (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (11/16)	0,3	0,05	0,02	0,30	0,13	1,10	4,2	17,2	52,0	21,2	3,7	0,6
1966	0,1	0	0	0,01	0,01	0,68	4,8	10,4	30,2	41,4	10,0	2,1
1971	0,4	0,1	0	0	0,07	0,08	1,9	28,5	49,6	15,6	3,1	0,5
1973-1976	0,5	0,1	0	0	0,1	0,2	1,7	26,2	34,8	25,5	8,9	1,7
1983	0,01	0	0	0	0	8,1	18,7	18,6	39,8	12,8	1,8	0

1.4. Courbes des débits classés (en m³/s)

	Module annuel en m ³ /s				
	10	20	30	40	50
Maxi	90	180	250	320	380
DCC	70	135	200	250	290
DC1	40	95	150	200	240
DC3	10	25	40	55	100

1.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observés a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique liant ceux-ci aux modules et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

Vu le nombre relativement restreint d'observations, les résultats de l'analyse fréquentielle que nous présentons ici sont à considérer avec prudence.

a/ Paramètres de la loi ajustée

Le meilleur ajustement est obtenu par une Loi des Fuites de paramètres :

Paramètre d'échelle : 28,4 m³/s
Paramètre de forme : 6,50

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches					Années humides			
Réurrence en année	50	20	10	5	2	5	10	20	50
Débits maximaux	(24,9)	44,0	65,1	95,8	170	264	322	373	(437)

1.6. Etiages et tarissement

Chaque année, l'écoulement s'interrompt. La durée de la période sans écoulement varie entre deux et cinq mois, les principaux paramètres de la distribution des valeurs observées sont donnés au paragraphe 1.3..

Dès l'arrêt de la saison des pluies, on observe un tarissement "lent" jusqu'à ce que soit atteint un débit de l'ordre de 0.160 m³/s, on constate alors une accélération brutale du tarissement :

	Moyenne	Ecart-type
T1	16.4	3.7
Qc	0,165	0,20
T2	3,3	0,9

T1 et T2 : coefficients de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière

Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.2 - Mekrou à Kompongou : Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1960	.000	.000	.000	.000	.080	1.03	3.73	21.0	(126.)	98.7	15.6	2.56	(33.2)
1961	.329	.008	.000	.000	.048	3.34	20.3	44.7	114.	42.5	5.30	.535	19.3
1962	.021	.000	.000	.000	-	-	22.8	97.4	-	104.	24.9	7.02	(50.3)
1963	1.42	.489	.051	.000	.023	1.02	19.4	(111.)	(155.)	86.0	28.1	8.33	(34.2)
1964	1.78	.530	.032	.000	.021	.213	9.16	58.8	(148.)	49.3	9.07	2.13	(23.3)
1965	.405	.022	.000	.000	.144	1.10	5.91	36.5	117.	37.2	6.49	1.84	17.2
1966	.196	.000	.000	.022	.023	1.46	10.2	22.0	64.0	87.8	21.1	4.47	17.6
1967	.966	.217	.014	.039	.454	.492	3.51	79.9	-	-	20.8	6.89	(25.6)
1968	1.15	.001	.000	.124	.412	3.95	54.7	124.	183.	(95.8)	19.4	2.44	40.4
1969	.644	.226	.029	-	-	-	6.38	-	-	133.	57.2	13.5	(34.3)
1970	4.71	1.61	.272	.008	.149	.906	4.58	51.2	200.	121.	17.0	4.09	33.8
1971	.904	.202	.005	.000	.135	.179	3.89	58.0	101.	31.8	6.23	.991	17.0
1972	.189	.001	.000	.000	.000	1.65	2.90	28.2	87.0	39.6	8.21	1.52	14.1
1973	1.33	.186	.000	.000	.012	.380	2.35	38.6	57.0	36.0	6.01	.680	11.9
1974	.063	.000	.000	.000	.003	.233	7.97	57.2	148.	84.0	12.9	2.29	26.1
1975	.326	.032	.000	.000	.353	.141	11.5	36.8	87.5	50.8	8.36	1.40	16.4
1976	.182	.002	.000	.000	.115	.230	2.37	32.4	37.9	33.0	17.2	3.57	10.6
1977	.623	.062	.000	.000	.000	.197	2.55	4.79	29.3	8.57	.603	.017	3.89
1978	.000	.000	.107	.061	.109	3.69	6.89	22.2	66.8	23.4	6.15	.609	10.8
1979	.015	.000	.000	.000	.098	.527	.367	9.07	70.6	75.7	14.0	1.73	14.3
1980	.259	.012	.000	.000	.021	.275	1.17	37.0	108.	29.4	6.82	.702	15.3
1981	.074	.000	.000	.000	.115	.132	-	-	-	-	1.27	.091	(10.1)
1982	.000	.000	.000	.000	.000	.828	1.38	8.25	22.3	8.29	2.35	.205	3.63
1983	.004	.000	.000	.000	.000	2.24	5.18	5.13	11.0	3.54	.497	.000	2.30
1984	.000	.000	.000	1.22	.290	.882	2.81	7.09	17.9	7.13	.549	.000	3.16
Moy.	.624	.144	.020	.061	.113	1.09	8.83	43.1	92.9	55.9	12.6	2.70	17.0

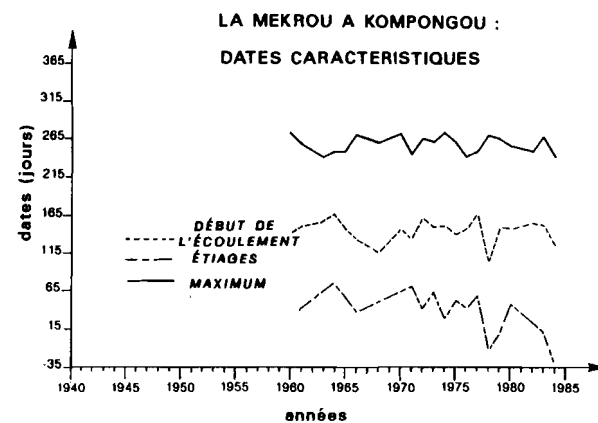
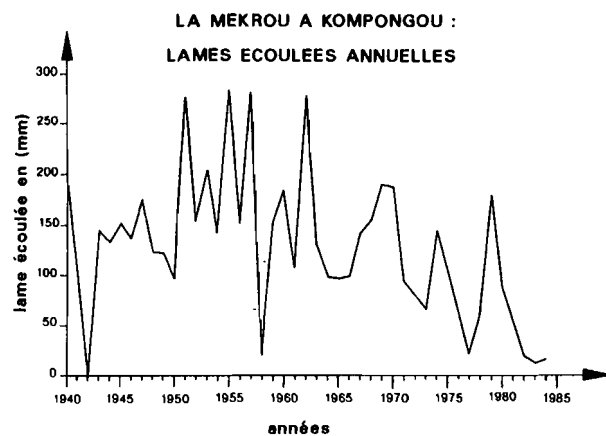
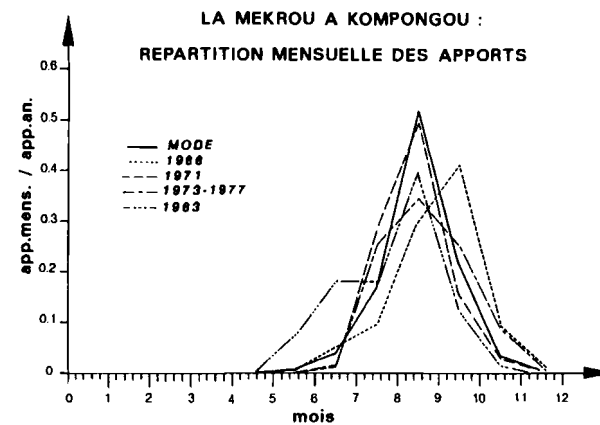
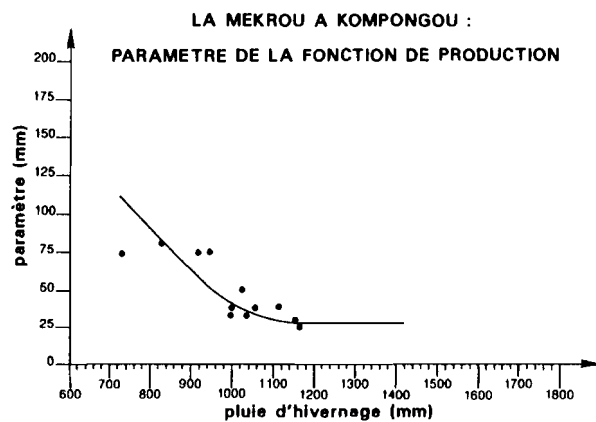
Tableau T.H.I.3 - Mekrou à Kompongou : Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1960	-	.000	.000	.000	.000	.806	15.6	122.	-	-	-
1961	-	.000	.000	.000	.000	.519	19.4	77.1	142.	170.	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	.000	.000	.000	.000	.069	3.70	47.8	145.	-	-	-
1964	-	.000	.000	.000	.000	1.41	22.2	102.	-	-	-
1965	-	.000	.000	.000	.000	.874	12.0	83.7	129.	147.	-
1966	.000	.000	.000	.000	.000	1.62	20.0	83.7	105.	147.	150.
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	.000	.000	.000	.000	.017	2.42	67.1	160.	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	.000	.000	.000	.000	.244	3.05	27.1	168.	245.	286.	289.
1971	-	.000	.000	.000	.047	.655	12.8	90.2	110.	148.	-
1972	-	.000	.000	.000	.000	.595	11.0	62.9	97.6	112.	-
1973	-	.000	.000	.000	.000	.536	11.4	59.6	67.7	72.4	-
1974	-	.000	.000	.000	.000	.203	24.3	141.	156.	174.	-
1975	-	.000	.000	.000	.001	.539	24.0	70.6	107.	122.	-
1976	-	.000	.000	.000	.000	.621	17.7	39.7	-	-	-
1977	-	.000	.000	.000	.000	.102	1.61	15.6	31.9	62.2	-
1978	-	.000	.000	.000	.000	.854	11.8	50.6	74.0	100.	-
1979	-	.000	.000	.000	.000	.257	9.23	71.8	97.0	110.	-
1980	-	.000	.000	.000	.000	.350	9.05	78.8	137.	154.	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	.000	.000	.000	.000	.154	3.25	13.7	25.3	36.1	-
1983	-	.000	.000	.000	.000	.000	3.45	7.61	11.5	42.8	-
1984	-	.000	.000	.000	.000	.108	3.74	11.6	23.8	37.3	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.5 - KOMPONGOU



2. La Mekrou à Barou (10 500 km²)

2.1. Observations (1961-1984)

Le limnigraphe "longue durée" installé à cette station n'a jamais très bien fonctionné et l'on ne dispose que de six années à peu près complètes. Les basses eaux en outre sont assez mal observées.

Les résultats que nous allons présenter doivent donc être considérés avec prudence.

2.2. Apports annuels

a/ Corrélation entre les lames écoulées à Barou et à Kompongou

LB = 0.68 LK	si	LK < 105 mm
LB = LK - 33.6	si	LK > 105 mm
$R^2 = 0.87$		

avec : LB = lame écoulee à Barou (mm)
 LK = lame écoulee à Kompongou (mm)

b/ Analyse statistique

La (très courte) série observée a été complétée à partir de la corrélation précédente. La Loi des Fuites est celle qui s'ajuste le mieux aux échantillons des modules et lames écoulées annuelles.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulee
Echelle	7.16 (m ³ /s)	21.5 (mm)
Forme	4,61	4,61

Valeurs caractéristiques

	Années sèches					Années humides			
Réurrence en années	50	20	10	5	2	5	10	20	50
Module (m³/s)	(1,38)	4,46	8,23	14,1	29,3	49,7	62,4	73,9	88,0
Lame écoulée (mm)	(4,16)	13,4	24,7	42,4	88,1	149	187	222	264

2.3. Répartition saisonnière

a/ Date caractéristique

Vu le petit nombre d'observations nous ne donnerons que la valeur moyenne et l'écart-type de chacune des dates caractéristiques :

	Jf	Jd	Jx
Moyenne	29	164	263
Ecart-type	30	14	17

Jf, Jd, Jx : dates d'arrêt de l'écoulement de la saison précédente, du début d'écoulement et du maximum (en jours depuis le début de l'année)

En moyenne l'écoulement débute le 13 juin (19 jours après Kompongou), le maximum de la crue survient le 20 septembre (cinq jours après Kompongou), l'écoulement s'arrête fin janvier.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen	m	1.31	0.341	0.03	0.001	0.206	4.17	13.3	62.1	154	99.0	22.0	6.56
	s	1,81	0,635	0,103	0,004	0,609	3,96	7,7	25,1	94,6	54,2	18,2	5,41
% des apports annuels	m	0,50	0,15	0,01	0	0,01	1,1	4,4	20,9	39,0	26,0	6,4	1,4
	s	0,4	0,2	0,03	0	0,02	1,0	2,4	5,0	9,0	8,5	4,4	1,0

m : moyenne ; s : écart-type

Vu le nombre restreint (6) d'années observées nous n'essayerons pas de classer l'ensemble des profils.

2.4. Courbes des débits classés

Seule l'année 1969 a été entièrement observée, nous ne pouvons donc donner les relations entre les débits caractéristiques et les modules.

2.5. Débits maximaux

a/ Corrélation entre les débits maximaux observés à Barou et à Kompongou

Pour les neuf années où nous connaissons les débits maximaux à Barou et à Kompongou, il existe une assez bonne corrélation entre ces débits :

3.2. L'année 1962

Les pluies sont quasi nulles sur l'ensemble du pays jusqu'au mois de février. Les pluies d'avril sont abondantes. Dès la fin du mois de mai commence la migration vers le Nord du front de pluviosité. Au mois de juin, il occupe une position très septentrionale et les pluies sont partout très excédentaires. C'est cette année là que l'on a observé sur la côte les maxima absolus pour ce mois : 748 mm à Grand-Popo, 900 mm à Cotonou, plus de 1 000 mm à Porto-Novo et à Sémé. A l'inverse de ce qui se passera en 1968, le front de pluviosité disparaît en juillet et s'installe au Sud un gradient Ouest-Est de la pluviométrie. Les pluies restent cependant excédentaires aux mois de juillet et août sur l'ensemble du pays. Au mois de septembre s'installe une saison sèche au Sud tandis qu'au Nord les pluies sont plutôt excédentaires. Au mois d'octobre et de novembre les pluies vont être à peu près normales au Nord mais très excédentaires dans la moitié Sud du pays.

3.3. L'année 1983

L'année 1983 est d'abord caractérisée par un début d'année extrêmement sec. Les précipitations ont été quasi nulles sur la totalité du pays durant les mois de janvier, février et mars. L'air sec de l'harmattan est descendu très au Sud et est demeuré sur la côte tout le mois de janvier et une bonne partie du mois de février. Au mois d'avril, les pluies ont repris dans la moitié Sud du pays mais ont été quasi inexistantes dans le Nord. Dès le mois de mai apparaît sur la côte le front de pluviosité qui s'observe habituellement au mois de juin. Les pluies sont excédentaires et vont le rester au mois de juin. A partir du mois de juillet les précipitations vont être très déficitaires sur l'ensemble du pays et tout paraît être décalé d'un mois : la saison sèche s'installe dès début juillet et dure tout le mois d'août ; au mois de septembre les isohyètes suivent sur la moitié Sud du pays la direction Nord-Sud qu'ils adoptent en général au mois d'octobre. Les pluies du mois de novembre sont quasi nulles partout.

3.4. L'année 1958

Au mois de mai on voit apparaître au Sud le front pluviométrique. Mais dès le mois de juin un très fort gradient Ouest-Est de pluviosité existe sur la côte (92,5 mm à Grand-Popo contre 648 à Sèmè). S'installe alors sur l'ensemble du pays une saison sèche qui va persister durant les mois de juillet et d'août. A partir du mois de septembre la situation redevient à peu près normale.

Cette évolution est tout à fait comparable à ce qu'il s'est passé lors de deux autres grandes sécheresses 1946 et 1976. Un fait marquant semble être l'apparition en juin au Sud du pays d'un très fort gradient Ouest-Est des précipitations : 94,1 mm à Grand-Popo contre 430 mm à Sèmè en 1946, 197 mm et 816 mm en 1976 à ces mêmes postes.

$$QMB = 14.3 + 1.15 QMK \quad R^2 = 0.86$$

avec : QMB = débit maximum à Barou (m^3/s)
 QMK = débit maximum à Kompongou (m^3/s)

b/ Analyse statistique

Nous avons complété l'échantillon des 15 valeurs observées, en utilisant la corrélation précédente.

Deux lois statistiques s'ajustent de façon satisfaisante à l'échantillon étendu : une loi de Goodrich et une Loi des Fuites :

Valeurs de paramètres des lois ajustées

	Loi de Goodrich	Loi des Fuites
Echelle m^3/s	257	30,1
Forme	0,470	7,59

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Loi de Goodrich m³/s	(29,7)	41,2	63,8	89,4	127	216	322	381	430	488	(527)	
Loi des Fuites m³/s	(27,6)	40,7	64,7	90	127	213	321	385	443	513	(563)	

2.6. Etiages et tarissement

La Mekrou se tarit chaque année à Barou. Les basses eaux ayant été assez mal observées nous ne pouvons préciser les coefficients de tarissement.

Pour quatre années seulement, 1961, 1969, 1976 et 1977 on peut calculer le nombre de jours sans écoulement qui est respectivement de 157, 90, 151 et 136 jours.

Tableau T.H.I.4 - Mekrou à Barou
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1961	-	-	.000	.000	.000	1.56	20.6	55.55	124.	56.5	7.95	.818	(22.2)
1962	.019	.000	.000	.000	.000	5.41	-	-	310.	139.	29.3	9.77	(81.5)
1963	2.17	-	-	.000	.000	-	-	-	-	-	-	9.00	(32.6)
1964	-	-	-	.000	.000	4.74	-	84.8	229.	75.1	16.1	3.04	(22.2)
1965	-	-	-	-	-	-	6.32	34.0	146.	-	-	-	(21.6)
1966	-	-	.000	.000	.000	-	-	-	109.	104.	-	-	(22.2)
1967	-	-	.000	.000	.000	-	-	64.7	228.	169.	25.3	6.73	(35.9)
1968	.088	0.30	.000	.000	.000	14.4	27.8	111.	194.	114.	24.9	7.25	(41.3)
1969	2.23	.573	.040	.000	.000	5.52	26.7	91.3	351.	186.	70.6	19.2	62.8
1970	5.86	2.03	.040	.000	.000	.404	9.53	97.0	165.	195.	22.6	4.66	(41.1)
1971	1.23	.507	.000	.000	.013	1.38	15.8	69.0	117.	40.5	6.79	0.85	(21.1)
1972	.005	.000	.000	.000	.000	6.61	7.25	34.7	-	51.7	-	-	(17.6)
1973	-	-	.000	.000	.000	.740	8.83	44.7	55.8	39.9	5.27	-	(14.5)
1974	-	.000	.000	.000	.809	1.20	13.3	55.8	113.	95.9	-	-	(36.9)
1975	-	-	.000	.001	-	.690	15.3	49.4	117.	68.1	10.9	-	(20.7)
1976	.278	.000	.000	.000	.000	2.62	2.89	38.5	38.8	52.0	22.7	4.32	(13.5)
1977	.367	.000	.000	.000	.001	3.87	10.3	39.2	16.4	-	-	-	(4.87)
1978	.000	.000	.000	.000	2.36	9.20	8.85	-	-	-	-	-	(13.6)
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(49.1)
Moy.	.624	.144	.020	.061	.113	1.09	8.83	43.1	92.9	55.9	12.6	2.70	17.0

Tableau T.H.I.5 - Mekrou à Barou

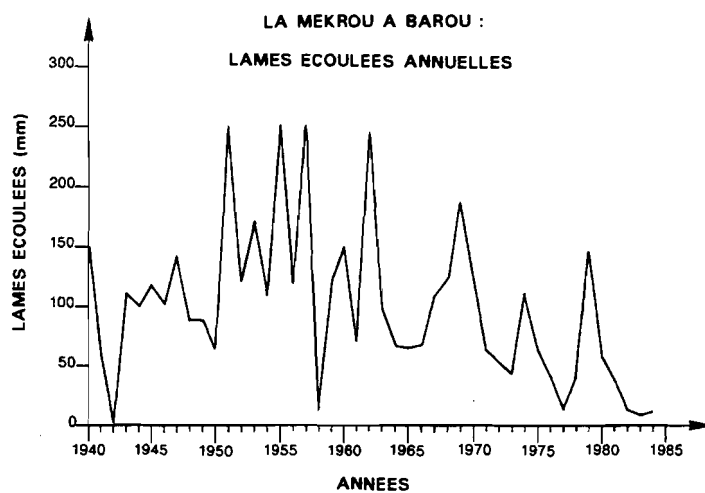
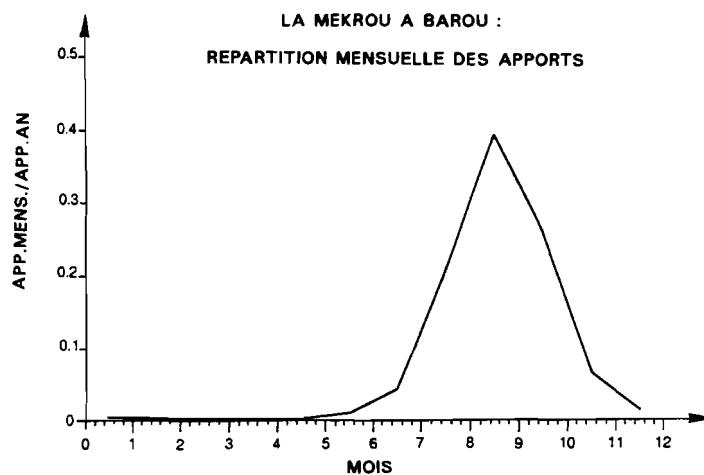
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1961	-		-	-	-	-	-	-	-	184.	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	405.	-
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	272.	-
1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	186.	-
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	199.	-
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260.	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	216.	-
1969	-	.000	.000	.000	.017	11.4	63.9	274.	400.	408.	-
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380.	-
1971	.309	-	-	-	-	-	-	-	-	157.	-
1972	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	91.	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	170.	-
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	174.	-
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78.	-
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	139.	-
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m.Ins : minimum instantané
 m.Jou : minimum journalier
 DCE : débit caractéristique d'étiage
 DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
 M.Jou : maximum journalier
 M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.6 - LA MEKROU A BAROU



3. L'Alibori au pont de la route Lanta (8 150 km²)

3.1. Observations (1952-1984)

29 années complètes ont été observées à cette station entre 1952 et 1984. Les débits de basses eaux sont cependant connus avec assez peu de précision, l'étalonnage de la station étant incertain en dessous de 50 m³/s.

3.2. Apports annuels

a/ Paramètre de la fonction de production (mm) ($R^2 = 0.88$)

Pluie d'hivernage (mm) (Mai - Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Paramètre (mm)	130	110	90	71	55	44	37	35	35	35

b/ Corrélation entre les lames écoulées à la station et à Gbasse sur la Sota

$$LKB = 0.83 LGB + 45 \quad R^2 = 0.79$$

LKB : lame écoulee en mm au pont de la route Lanta

LGB : lame écoulee en mm à Gbasse sur la Sota

c/ Analyse statistique

La série observée a été complétée à l'aide du modèle hydropluviométrique en adoptant les paramètres donnés plus haut.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux aux échantillons des lames écoulées et des modules.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulee
Echelle	5,55 m ³ /s	21,4 mm
Forme	5,59	5,59

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(1,36)	2,90	6,02	9,60	14,9	28,2	45,4	56,0	65,6	77,3	(85,6)	
Lame écoulée (mm)	(5,3)	11,2	23,2	37,1	57,7	109	175	217	253	298	(331)	

3.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques et nombre de jours sans écoulement

	Jf	Jd	Jx	NS	NS1	NS2
Moyenne	6	143	251	139	136	141
Médiane	1	145	252	137	132	143
Ecart-type	22	18	14	27	31	24
Minimum	- 37	112	211	88	91	88
Maximum	35	175	270	178	178	172
1er quartile	- 10	128	245	121	117	126
3° quartile	28	153	262	163	163	160

Jf, Jd, Jx : date d'arrêt de l'écoulement de la saison précédente, du début de l'écoulement, du maximum de la crue (en jours depuis le 1er janvier)

NS : nombre de jours sans écoulement.

NS1, NS2 : nombre de jours sans écoulement avant et après 1968.

Une année sur deux, les écoulements débutent entre le 8 mai et le 2 juin, le maximum de la crue survient entre le 2 et le 19 septembre, et l'écoulement s'arrête entre le 21 décembre et le 28 janvier de l'année suivante.

La durée de la période sans écoulement varie entre 88 et 178 jours et est compris, une année sur deux, entre 4 et 5,5 mois.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0,047	0	0	0,19	2,60	4,46	21,8	89,8	180	53,8	4,82	0,47
	s	0,09	0	0	0,93	6,45	4,86	24,2	79,1	109	40,4	5,35	0,642
% des apports annuels	m	0,02	0	0	0,4	1,10	1,75	6,3	24,4	50,9	13,6	1,34	0,1
	s	0,04	0	0	2,0	2,5	2,35	5,4	10,2	11,0	5,9	1,53	0,1

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH, on peut faire une partition en cinq classes des profils observés. Une seule classe regroupe 25 des 29 profils. Quatre années, 1961, 1968, 1981 et 1984, se distinguent.

Partition en cinq classes de l'ensemble des profils observés (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (25/29)	0,03	0	0	0,01	0,8	1,37	5,25	25,6	51,1	14,2	1,42	0,11
1961	0	0	0	0	0	0,58	7,9	15,9	66,8	8,3	0,8	0,02
1968	0,04	0	0	0,07	0,74	2,08	19,6	30,7	30,2	14,0	1,87	0,20
1981	0	0	0	0	0,001	1,5	22,1	16,0	52,1	7,79	0,34	0,004
1984	0	0	0	11,2	11,2	12,5	2,0	5,9	50,2	7,72	0,03	0

3.4. Courbes des débits classés (en m³/s)

	Module annuel en m ³ /s				
	10	20	40	60	80
Maxi	140	260	470	610	720
DCC	70	150	310	440	540
DC1	40	80	200	300	400
DC3	3	15	35	55	75

3.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observés a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique liant ceux-ci aux modules et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

Deux lois statistiques s'ajustent de façon satisfaisante à l'échantillon ainsi étendu : Loi de Goodrich et la Loi des Fuites.

	Loi de Goodrich	Loi des Fuites
Echelle m^3/s	374	45,6
Forme	0,458	7,31

b/ Valeurs caractéristiques (m^3/s)

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Loi de Goodrich m³/s	(45,6)	62,7	96,1	133	188	316	466	548	619	699	(754)	
Loi des Fuites m³/s	(37,2)	56,1	91,1	129	182	311	471	568	654	759	(833)	

3.6. Etiages et tarissement

Chaque année l'écoulement s'interrompt. Les paramètres décrivant la distribution du nombre de jours sans écoulement ont été donnés au paragraphe 3.3.

Dès l'arrêt de la saison des pluies, on observe un tarissement lent jusqu'à ce que soit atteint un débit de l'ordre de $0.100 m^3/s$. On constate alors une accélération brutale du tarissement :

	Moyenne	Ecart-type
T1	12,3	2,8
Qc	0,072	0,070
T2	1,5	0,5

T1 et T2 : coefficient de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière
Qc : valeur en m^3/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.6 - Alibori au pont de la route Lanta
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	-	-	-	-	-	-	2.80	22.0	105.	84.7	4.67	.437	(38.0)
1953	.000	.000	.000	.000	14.9	21.1	84.3	123.	278.	71.9	6.29	.562	50.0
1954	.057	.000	.000	.529	33.5	7.30	10.9	89.4	212.	59.4	4.92	.145	34.9
1955	.000	.000	.000	.000	.857	1.40	67.3	314.	263.	172.	11.0	.618	69.2
1956	.000	.000	.000	.000	.000	6.30	29.3	125.	183.	97.2	4.52	.000	37.1
1957	.000	.000	.000	.000	5.65	18.4	21.1	270.	408.	105.	7.81	2.22	69.9
1958	.117	.000	.000	.047	1.33	1.26	1.74	4.64	34.1	11.3	.287	.000	4.57
1959	.000	.000	.000	.000	2.51	5.02	15.0	48.2	316.	67.2	2.51	.455	38.1
1960	.072	.000	.000	.000	.617	5.63	23.0	92.0	293.	120.	7.98	.464	45.2
1961	.000	.000	.000	.000	.000	1.71	23.0	46.4	195.	24.3	2.44	.081	24.4
1962	.000	.000	.000	.001	1.31	7.93	64.6	279.	404.	55.4	5.70	1.25	68.3
1963	.002	.000	.000	.000	.000	3.03	20.7	148.	171.	62.9	7.60	1.56	34.6
1964	.033	.000	.000	.000	.000	1.42	6.54	118.	156.	18.0	2.67	.462	25.3
1965	.041	.000	.000	.000	2.20	2.12	18.7	95.1	171.	24.1	1.97	.234	26.3
1966	.033	.000	.000	.000	.000	1.46	7.71	30.3	170.	77.9	5.48	.481	24.5
1967	.067	.000	.000	.005	-	-	-	107.	314.	106.	5.85	.786	(34.8)
1968	.209	.000	.000	.328	3.39	9.57	89.8	141.	139.	64.5	8.58	.912	38.1
1969	.047	.000	.000	.000	.000	1.11	13.8	214.	220.	77.8	28.4	2.82	46.5
1970	.432	.000	.000	.000	.300	1.74	5.31	70.7	357.	69.7	4.43	.315	42.5
1971	.000	.000	.000	.000	1.70	2.84	17.4	48.5	105.	19.2	.752	.014	16.3
1972	.000	.000	.000	.000	.427	1.61	7.74	68.1	217.	71.0	1.67	.113	30.6
1973	.000	.000	.000	.000	.000	.992	4.88	75.8	73.4	19.0	.797	.018	14.6
1974	.000	.000	.000	.000	.000	9.03	46.7	56.7	241.	65.6	2.90	.319	35.2
1975	.031	.000	.000	.000	.778	.896	10.4	40.5	110.	25.7	1.09	.114	15.8
1976	.007	.000	.000	.000	.675	6.10	3.07	41.2	29.7	26.4	8.26	.459	9.66
1977	.056	.000	.000	.000	.000	.581	18.1	39.2	82.6	7.06	.485	.071	12.4
1978	.000	.000	.000	.000	5.02	5.07	21.6	44.9	89.0	12.7	2.13	.123	15.1
1979	.006	.000	.000	.000	.000	1.51	1.94	36.4	-	-	-	-	(44.6)
1980	.000	.000	.000	.000	.000	1.51	1.94	36.5	72.8	7.77	.619	.013	10.1
1981	.000	.000	.000	.000	.002	2.47	36.4	26.3	85.6	12.8	.558	.006	13.7
1982	.000	.000	.000	.000	.000	3.53	2.40	36.7	79.9	22.1	5.38	.194	12.5
1983	.000	.000	.000	.000	.000	.893	-	-	-	-	-	-	(3.21)
1984	.000	.000	.000	5.24	5.23	5.83	.949	2.75	23.5	3.61	.014	.000	3.93
Moy.	.0037	.000	.000	0.192	2.55	4.45	21.7	89.8	180	53.8	4.82	0.47	29.9

Les écoulements - Analyse des données collectées sur le réseau

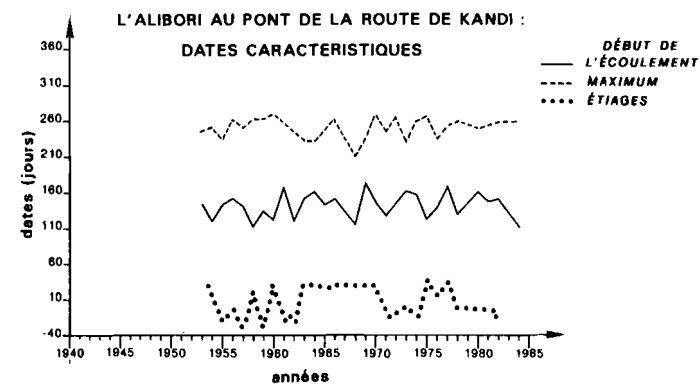
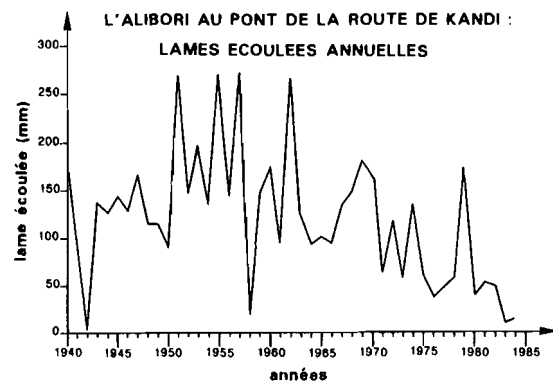
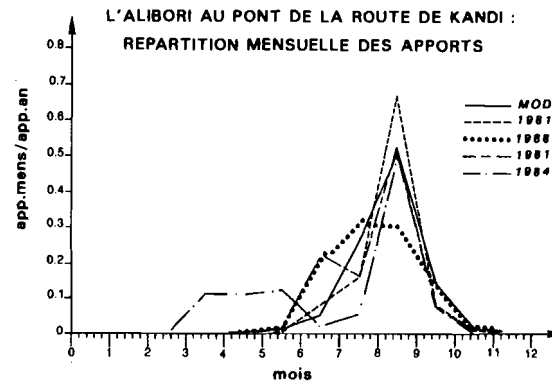
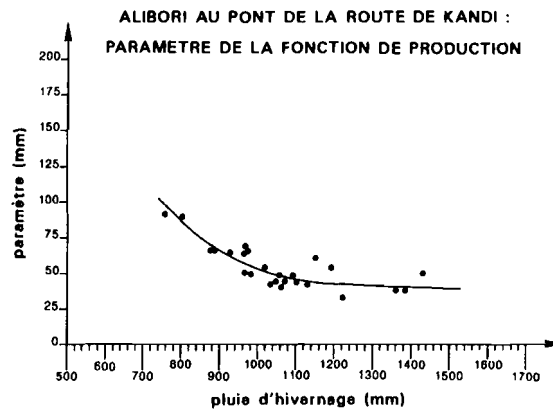
Tableau T.H.I.7 - Alibori au pont de la route Lanta
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	-	.000	.000	.000	.000	1.78	60.5	204.	337.	528.	-
1954	.000	.000	.000	.000	.000	3.37	29.5	154.	248.	374.	380
1955	-	.000	.000	.000	.000	.853	84.5	305.	397.	464.	-
1956	-	.000	.000	.000	.000	.000	46.6	166.	231.	278.	-
1957	-	.000	.000	.000	.000	4.32	34.4	392.	475.	524.	-
1958	.000	.000	.000	.000	.000	.115	2.59	9.06	54.0	127.	133
1959	-	.000	.000	.000	.000	1.96	12.2	211.	356.	487.	-
1960	-	.000	.000	.000	.000	1.80	28.3	217.	366.	422.	-
1961	-	.000	.000	.000	.000	.000	9.59	89.9	258.	431.	-
1962	-	.000	.000	.000	.000	2.01	46.9	365.	518.	688.	-
1963	-	.000	.000	.000	.000	1.95	25.1	174.	234.	261.	-
1964	-	.000	.000	.000	.000	.338	6.66	125.	211.	283.	-
1965	-	.000	.000	.000	.000	.648	13.4	111.	241.	341.	-
1966	-	.000	.000	.000	.000	.897	14.6	85.5	214.	389.	-
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	.000	.000	.000	.081	3.46	48.5	150.	205.	349.	-
1969	-	.000	.000	.000	.000	1.30	34.5	215.	388.	610.	-
1970	-	.000	.000	.000	.000	1.13	12.7	269.	403.	441.	-
1971	-	.000	.000	.000	.000	.755	13.5	83.9	119.	145.	-
1972	-	.000	.000	.000	.000	.471	10.1	155.	272.	333.	-
1973	-	.000	.000	.000	.000	.000	6.26	72.4	116.	185.	-
1974	-	.000	.000	.000	.000	.444	37.4	136.	281.	488.	-
1975	-	.000	.000	.000	.003	.394	8.89	73.6	137.	186.	-
1976	-	.000	.000	.000	.000	1.29	9.15	40.9	75.2	105.	-
1977	.000	.000	.000	.000	.000	.106	4.15	56.6	118.	213.	229
1978	-	.000	.000	.000	.000	.824	17.1	62.9	87.7	182.	-
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	-	.000	.000	.018	.000	.000	3.55	39.0	83.5	173.	-
1981	.000	.000	.000	.000	.000	.000	10.2	66.9	102.	118.	124
1982	.000	.000	.000	.000	.000	.176	10.7	56.6	89.8	111.	112
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	.000	.000	.000	.000	.254	3.13	11.5	34.8	77.7	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.7 - L'ALIBORI AU PONT DE LA ROUTE DE KANDI



4. Le Niger à Malanville (1 000 000 km²)

4.1. Observations (1952-1984)

L'analyse des jaugeages faite à cette station montre que les cotes à l'échelle sont plus liées au débit du Niger à la confluence avec la Sota qu'à celui à la station elle-même.

La station n'est pas univoque et le débit est fonction de la cote à l'échelle mais aussi du gradient limniographique. Au dessus de 360 m³/s les débits sont assez bien connus. En dessous de 360 m³/s le nombre de jaugeages n'est pas suffisant pour évaluer correctement l'importance des détarages en basses eaux qui surviennent à peu près chaque année.

4.2. Apports annuels

a/ Corrélation entre modules annuels et débits maximaux

Le régime du Niger à Malanville présente deux modes. Le premier, la "crue malienne", a lieu vers le mois de janvier et est le résultat de la propagation des écoulements en provenance de Guinée et du Mali. Le second, la "crue soudanaïenne", a lieu fin septembre et résulte du ruissellement sur les bassins versants situés au Burkina, au Niger et au Bénin.

Il existe une assez bonne corrélation entre le débit annuel d'une part et les maxima de ces deux crues d'autre part :

$$QAN = 0,024.Qx_1^{1.02} \cdot Qx_2^{0.40} \quad R^2 = 0.84$$

QAN = module annuel en m³/s

Qx_1 et Qx_2 = maxima des crues "malienne" et "soudanaïenne" en m³/s.

b/ Analyse statistique des modules

Deux lois s'ajustent bien à l'échantillon des 25 valeurs observées ou reconstituées : la Loi de Goodrich et celle des Fuites.

Paramètres des lois ajustées

	Loi de Goodrich	Loi des Fuites
Paramètre d'échelle (m ³ /s)	765	21,7
Paramètre de forme	1,28	52,7
Paramètre de position (m ³ /s)	458	0,00

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Loi de Goodrich m³/s	668	713	790	865	960	1148	1333	1426	1500	1581	1633	
Loi des Fuites m³/s	676	723	798	837	956	1135	1331	1438	1531	1638	1712	

4.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Echantillon complet			Avant 1968			Après 1968		
	JX1	JX2	JN	JX1A	JX2A	JNA	JX1B	JX2B	JNB
Moyenne	31	269	176	50	268	183	11	269	169
Médiane	38	268	180	50	266	186	17	269	164
Ecart-type	25	11,8	15,7	10,5	10,1	11,5	20,2	14,1	17,0
Minimum	- 22	242	145	31	256	162	- 22	242	145
Maximum	69	304	198	69	296	198	40	304	197
1° quartile	17	264	164	41	263	179	- 7	265	156
3° quartile	51	274	189	58	274	190	28	274	181

JX1, JX1A, JX1B : date du maximum de la crue "maliennne" (en jour depuis le 1er janvier) toutes années confondues, avant et après 1968.

JX2, JX2A, JX2B : date du maximum de la crue "soudanienne" (en jour depuis le 1er janvier) toutes années confondues, avant et après 1968.

JN, JNA, JNB : date de l'étiage absolu (en jours depuis le 1er janvier) toutes années confondues, avant et après 1968.

Si on considère l'ensemble des observations, une année sur deux, le maximum de la crue "malienne" survient entre le 17 janvier et le 26 février, celui de la crue "soudanienne" entre le 21 septembre et le 1er octobre, l'étiage absolu entre le 13 juin et le 8 juillet.

On observe sur les dates d'apparition du maximum de la crue "malienne" et de l'étiage une différence assez nette entre les années avant et après 1968 puisque ces mêmes fourchettes sont :

- pour le maximum de la crue "malienne" : 10-27 février avant 1968 contre 23 décembre-28 janvier après,
- pour l'étiage absolu : 28 juin-9 juillet avant 68 contre 5 juin-30 juin après 1968.

En revanche il ne semble pas qu'il y ait de différence sensible entre les distributions des dates d'apparition du maximum de la crue "soudanienne".

b/ Apports mensuels

			Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Total	Débit moyen (m ³ /s)	m	1723	1750	1394	799	354	159	187	767	1708	1659	1495	1592
		s	215	415	614	605	333	132	93	280	469	298	117	97
	% des apports annuels	m	13,0	12,7	9,92	5,67	2,39	1,11	1,38	5,82	12,7	12,2	11,2	12,0
		s	2,06	2,41	3,29	3,3	1,8	0,70	0,49	1,72	2,7	1,79	2,16	2,47
Avant 1968	Débit moyen (m ³ /s)	m	1775	1913	1780	1263	579	245	235	867	1902	1796	1517	1604
		s	108	156	252	411	312	123	102	315	439	251	90,3	71,1
	% des apports annuels	m	11,3	12,2	11,4	7,97	3,5	1,57	1,50	6,16	12,9	11,6	9,78	10,2
		s	0,87	0,9	1,1	2,28	1,7	0,62	0,53	1,19	3,07	1,36	0,74	0,75
Après 1968	Débit moyen (m ³ /s)	m	1656	1491	833	297	109	64,9	137	639	1408	1446	1462	1574
		s	299	562	550	297	99	40,4	42,8	166	347	240	146	130
	% des apports annuels	m	14,9	12,9	7,16	2,67	0,95	0,61	1,24	5,90	12,9	13,2	13,3	14,4
		s	1,6	3,79	3,78	2,04	0,62	0,31	0,42	2,01	2,53	2,2	2,01	2,31

m : moyenne ; s : écart-type

La différence importante (- 40 %) des modules avant et après 1968 s'accompagne d'une différence également très importante dans la répartition temporelle des apports.

La crue "malienne" après 1968 est beaucoup plus précoce, moins importante et connaît une variabilité inter-annuelle beaucoup plus grande. La précocité de cette crue entraîne une chute considérable des apports au cours des mois d'étiage puisque les modules mensuels sont divisés par deux pour les mois de mars et de juillet, par trois pour les mois de mai et juin, par quatre pour le mois d'avril.

Les apports de la crue "soudanienne" après 1968 sont plus faibles de 30 %.

4.4. Courbes des débits classés (en m³/s)

Les débits classés et les modules annuels calculés sur une année hydrologique (de juillet à juin) sont assez bien corrélés exception faite de l'année 1962-1963.

		Module annuel en m ³ /s (année hydrologique)						
		700	900	1000	1100	1200	1500	1700
Maxi	(R ² = 0,80)	1580	1770	1870	1970	2060	2350	2540
DCC	(R ² = 0,81)	1530	1720	1810	1910	2000	2280	2470
DC1	(R ² = 0,82)	1500	1670	1750	1830	1920	2170	2340
DC3	(R ² = 0,92)	1300	1480	1560	1650	1740	2000	2180
DC6	(R ² = 0,92)	770	1030	1160	1290	1410	1800	2060
DC9	(R ² = 0,80)	60	179	300	423	456	913	1160

4.5. Débits maximaux

A partir des 26 valeurs observées nous étudierons la répartition statistique du débit maximum annuel, de celui de la crue "malienne" et de celui de la crue "soudanienne". Nous préciserons ensuite les différences entre les distributions observées avant et après 1968.

a/ Paramètres des lois ajustées

	Loi	Paramètre d'échelle (m ³ /s)	Paramètre de position (m ³ /s)	Paramètre de forme
Maxi annuel	Gumbel	402	1922	-
Maxi de la crue "Malienne"	Goodrich	1038	883	0,260
Maxi de la crue "Soudanienne"	Gumbel	493	1714	-

b/ Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Maxi annuel	(1310)	1370	1480	1590	1730	2070	2520	2830	3110	3490	(3770)	
Maxi crue Malienne (m³/s)	(1200)	1260	1360	1460	1590	1830	2060	2170	2260	2360	(2430)	
Maxi crue Soudanienne (m³/s)	(960)	1040	1170	1300	1480	1890	2450	2820	3180	3640	(3980)	

c/ Variations interannuelles

	Maximum crue "Malienne" (m ³ /s)		Maximum crue "Soudanienne" (m ³ /s)	
	Avant 68	Après 68	Avant 68	Après 68
Moyenne	1950	1680	2360	1560
Médiane	1925	1760	2190	1480
Ecart-type	170	307	588	359
Minimum	1710	1220	1530	1080
Maximum	2340	2430	3390	2270
1° quartile	1820	1420	1900	1300
3° quartile	2045	1830	2825	1800

Après 1968, le maximum de la crue "malienne" chute en moyenne de 14 % et devient beaucoup plus irrégulièrement réparti puisque le coefficient de variation passe de 8.7 % à 18.5 %. Le maximum de la crue "soudanienne" chute en moyenne de façon beaucoup plus notable (34 %). Le coefficient de variation, en revanche, varie peu et reste de l'ordre de 24 %.

4.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

	Etiage annuel (m ³ /s)		
	Toutes années confondues	Avant 68	Après 68
Moyenne	103	157	43,6
Médiane	91,2	151	37,8
Ecart-type	81,2	75,5	27,9
Minimum	11,3	51,9	11,3
Maximum	266	266	93,2
1° quartile	38,8	91,5	27,6
3° quartile	151	236	49,2

Après 1968, l'apparition, en moyenne, plus précoce du maximum de la crue malienne ainsi que la diminution des apports se traduit par une chute considérable des étiages annuels. Ceux-ci sont en moyenne divisés par quatre.

b/ Tarissement

Le tarissement se fait selon une loi exponentielle unique :

	Moyenne	Ecart-type
T1	27,0	4,3

T1 = coefficient de tarissement en jours

Tableau T.H.I.8 - Niger à Malanville

Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	-	-	-	-	-	-	167.	487.	1630.	2160.	1630.	1660.	-
1953	1800.	1950.	1930.	1530.	726.	341.	305.	1150.	2160.	1970.	1660.	1710.	1440.
1954	1870.	2040.	1960.	1540.	720.	320.	322.	1130.	1960.	1640.	1560.	1650.	1390.
1955	1850.	2060.	2080.	1810.	1160.	481.	436.	1510.	2160.	2440.	1720.	1740.	1620.
1956	1930.	2130.	2120.	1720.	872.	329.	201.	726.	1560.	1650.	1490.	1580.	1360.
1957	1690.	1740.	1500.	793.	272.	155.	125.	1040.	2020.	1730.	1520.	1580.	1180.
1958	1750.	1940.	1970.	1680.	953.	355.	350.	999.	1620.	1540.	1460.	1560.	1350.
1959	1750.	1840.	1800.	1360.	573.	180.	133.	880.	2610.	1850.	1480.	1590.	1340.
1960	1710.	1820.	1610.	848.	262.	107.	134.	685.	1680.	1860.	1530.	1570.	1150.
1961	1740.	1850.	1660.	1030.	361.	-	-	653.	1810.	1580.	1420.	1540.	(1155)
1962	1660.	1680.	1290.	497.	158.	75.0	211.	1020.	2820.	1910.	1510.	1580.	1200.
1963	1720.	1910.	1800.	1300.	533.	198.	152.	589.	1390.	1470.	1390.	1470.	1160.
1964	1630.	1770.	1630.	893.	358.	259.	282.	982.	2150.	1790.	1440.	1570.	(1227)
1965	1790.	1960.	1850.	-	-	-	-	-	1740.	1670.	1470.	1550.	(1250)
1966	1690.	1780.	1530.	-	-	-	-	297.	1160.	1500.	1430.	1580.	(1030)
1967	1770.	1860.	1570.	-	-	-	-	-	2370.	2000.	1600.	1720.	(1230)
1968	2050.	2280.	2180.	1410.	-	-	-	-	1510.	1780.	1490.	1630.	(1360)
1969	1790.	1750.	1200.	486.	215.	113.	190.	927.	2140.	1900.	1790.	1790.	1190.
1970	2140.	2400.	2120.	1120.	359.	144.	127.	640.	1630.	1640.	1460.	1590.	1280.
1971	1730.	1580.	783.	255.	89.6	51.5	215.	472.	1380.	1370.	1420.	1620.	914.
1972	1740.	1510.	668.	202.	68.0	54.3	107.	734.	1300.	1350.	1360.	1450.	877.
1973	-	-	-	98.2	30.8	19.0	110.	558.	999.	1230.	1340.	1430.	-
1974	1180.	553.	192.	61.4	23.3	19.8	176.	613.	1580.	1590.	1500.	1660.	762.
1975	1820.	1500.	578.	154.	56.4	32.1	143.	660.	1580.	1530.	1540.	1700.	941.
1976	1910.	1810.	954.	278.	84.4	69.1	78.2	449.	1010.	1320.	1470.	1530.	911.
1977	1700.	1800.	1280.	510.	143.	66.4	138.	455.	1040.	1050.	1230.	1360.	898.
1978	1170.	563.	196.	68.4	74.2	105.	92.8	917.	1200.	1280.	1390.	1520.	717.
1979	1650.	1440.	629.	176.	54.6	39.8	109.	613.	1630.	1650.	1580.	1670.	937.
1980	1760.	-	572.	161.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	1270.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moy.	1720.	1750.	1390.	800.	355.	160.	187.	767.	1710.	1660.	1500.	1590.	1130.

Tableau T.H.I.9 - Niger à Malanville

Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	177.	177.	216.	277.	1010.	1670.	1890.	2120.	2330.	2370.	2370.
1954	215.	215.	217.	276.	788.	1600.	1870.	2030.	2070.	2190.	2190.
1955	266.	266.	302.	387.	1350.	1770.	1990.	2140.	2930.	3140.	3140.
1956	151.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2210.
1957	91.7	91.7	110.	134.	356.	1530	1690.	1890.	2100.	2190.	2190.
1958	236.	236.	262.	318.	984.	1510.	1770.	1960.	2000.	2020.	2020.
1959	91.4	91.4	105.	139.	643.	1520.	1780.	2120.	3000.	3390.	3390.
1960	80.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2170.
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	51.9	51.9	67.4	94.4	290.	1500.	1660.	2290.	2980.	3320.	3320.
1963	123.	123.	129.	160.	484.	1400.	1580.	1890.	1950.	1950.	1950.
1964	249.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2590.
1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	91.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2270.
1970	93.2	93.2	96.9	117.	412.	1470.	1920.	2350.	2420.	2430.	2430.
1971	39.7	39.7	49.9	63.0	172.	1230.	1460.	1700.	1750.	1760.	1760.
1972	38.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1780.
1973	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1520.
1974	11.3	11.3	15.1	22.1	79.0	537.	1490.	1710.	1830.	1900.	1900.
1975	15.6	15.6	18.9	39.8	127.	1000.	1610.	1790.	1830.	1830.	1830.
1976	32.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1980.
1977	49.2	49.2	61.4	72.4	286.	1050.	1360.	1770.	1820.	1830.	1830.
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	27.6	27.6	33.9	46.1	124.	1130.	1620.	1680.	1730.	1800.	1800.
1980	33.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1790.
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

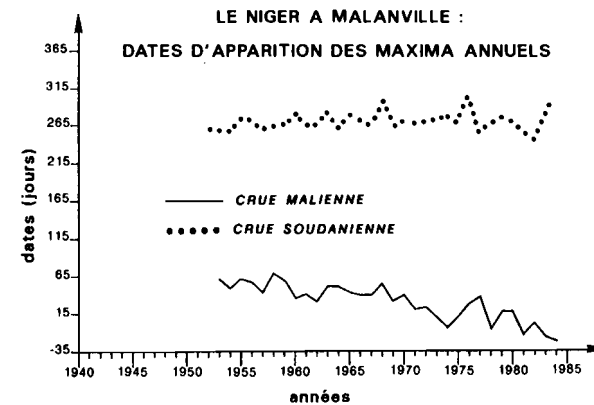
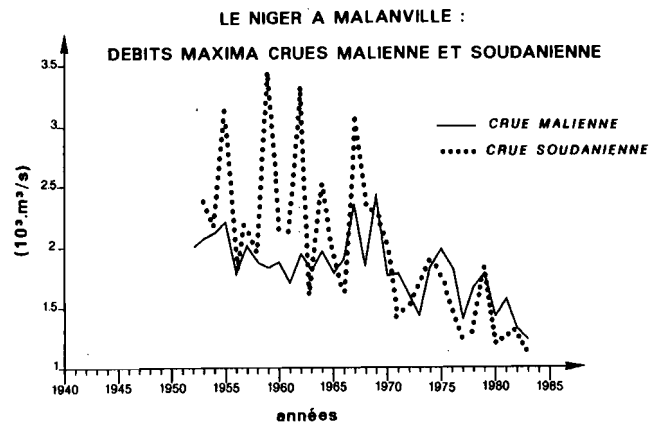
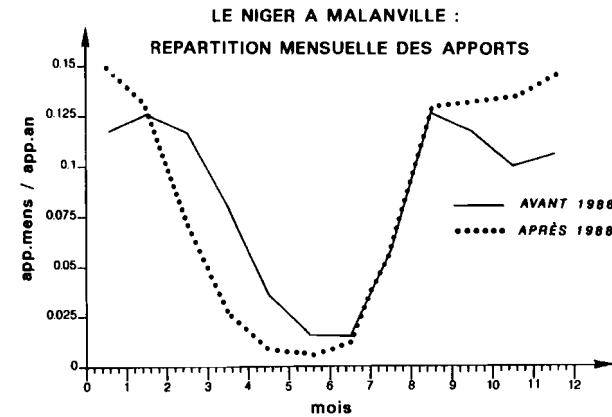
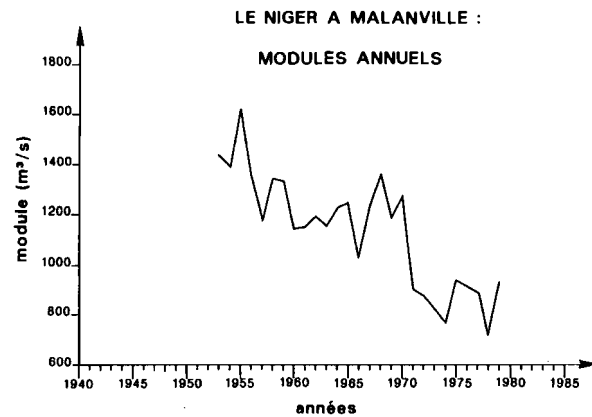
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.8 - LE NIGER A MALANVILLE



5. La Sota à Gbasse (8 300 km²)

5.1. Observations (1952-1980)

21 années à peu près complètes ont été observées à cette station. Cependant au cours des années 1954, 1955, 1959, 1962 et 1967, l'échelle a été submergée sans que l'on ait pu estimer les cotes alors atteintes. Les modules et les débits maxima donnés pour ces années-là dans les tableaux ci-après sont donc à considérer avec prudence.

5.2. Apports annuels

a/ Paramètre de la fonction de production (mm) ($R^2 = 0.80$)

Pluie d'hivernage (mm) (Mai - Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Paramètre (mm)	150	125	100	75	55	43	37	36	35	35

b/ Analyses statistiques

La série observée a été complétée à l'aide du modèle hydropluviométrique en adoptant les paramètres donnés plus haut.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux aux échantillons des lames écoulées et des modules :

Paramètre de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulée
Echelle	5,98 m ³ /s	22,7 mm
Forme	4,19	4,19

Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(0)	0,44	2,66	5,49	10,0	22,0	38,3	48,5	57,8	69,3	77,5	
Lame écoulée (mm)	(0)	1,67	10,1	20,9	38,1	83,6	145	184	219	263	294	

5.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jx
Moyenne	87	256
Médiane	102	257
Ecart-type	38,5	19,3
Minimum	6	208
Maximum	136	303
1° quartile	71	251
3° quartile	113	262

Jf, Jx : date de l'étiage et du maximum en jour depuis le début de l'année.

Une année sur deux, l'étiage survient entre le 12 mars et le 23 avril, le débit maximum entre le 8 septembre et le 19 septembre.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	1,22	0,99	0,96	1,12	1,97	7,51	21,3	70,6	170	73,2	10,7	2,1
	s	0,505	0,323	0,505	0,619	1,35	8,83	28,6	70,3	116	45,7	12,3	1,24
% des apports annuels	m	0,53	0,54	0,46	0,58	0,75	2,21	5,17	17,9	46,0	21,1	3,8	0,79
	s	0,55	0,78	0,50	0,69	0,75	1,79	3,98	7,26	12,3	5,9	4,7	0,72

m : moyenne ; s : écart-type

En utilisant la méthode CAH on peut faire une partition en cinq classes des profils observés. Une seule classe regroupe 15 des 21 profils observés, nous considérerons son profil moyen comme étant le profil modal.

Partition en cinq classes de l'ensemble des profils observés (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Mode (15/21)	0,41	0,32	0,37	0,37	0,63	1,71	4,82	20,1	49,2	18,6	2,80	0,58
56-60-66	0,39	0,33	0,30	0,31	0,52	2,11	2,53	9,72	49,5	30,6	3,00	0,76
58	1,97	3,67	1,67	2,91	3,63	6,84	7,67	8,38	28,1	24,6	6,86	3,55
75	0,37	0,31	0,29	1,44	0,35	0,97	17,4	13,3	37,8	24,4	2,23	0,70
76	1,93	1,45	1,28	1,39	0,79	6,67	3,76	24,4	11,9	24,8	19,9	1,39

5.4. Courbes des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s						
	5	10	20	30	40	60	80
Maxi	54,5	109	219	326	429	612	783
DCC	33,2	66,6	135	203	268	388	489
DC1	22,6	45,6	92,7	141	188	276	352
DC3	2,33	7,10	16,6	26,1	35,5	54,5	73,0

5.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observés a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique, liant ceux-ci aux modules, et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

a/ Paramètres de la loi ajustée

Le meilleur ajustement est obtenu par une Loi des Fuites de paramètres :

Paramètre d'échelle : 62.7 m ³ /s
Paramètre de forme : 4,18

b/ Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux (m³/s)	(0)	4,43	27,7	57,3	105	230	401	508	606	726	811	

5.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

L'écoulement de la Sota à la station de Gbasse est permanent. Les caractéristiques de la distribution observée des étiages sont résumées dans le tableau suivant :

	Etiage en m ³ /s
Moyenne	0,606
Médiane	0,626
Ecart-type	0,147
Minimum	0,323
Maximum	0,88
1° quartile	0,502
3° quartile	0,661

b/ Tariessement

Dès l'arrêt de la saison des pluies, on observe un tarissement "rapide" jusqu'à ce que soit atteint un débit de l'ordre de 2.6 m³/s, on constate alors un ralentissement du processus de tarissement.

	Moyenne	Ecart-type
TR1	12,0	1,45
Qc	2,60	1,72
TR2	30,3	3,67

TR1 et TR2 : coefficient de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière
Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.10 - Sora à Gbasse
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1952	-	-	-	-	-	-	2.46	8.82	40.5	72.2	6.32	2.21	(15.1)
1953	1.97	1.51	1.02	.623	2.66	9.83	28.6	96.4	173.	81.1	6.22	.884	33.7
1954	.677	.638	.863	.898	1.93	10.6	3.45	75.7	260.	67.7	4.25	.779	35.6
1955	.635	.664	.832	1.92	5.58	6.65	59.6	259.	258.	190.	19.9	2.27	67.1
1956	1.01	.898	.818	.717	.804	4.84	4.77	31.2	136.	67.7	8.15	1.33	21.5
1957	.960	1.10	1.28	1.19	4.97	9.91	14.8	216.	350.	113.	21.0	3.45	61.5
1958	1.01	1.88	.850	1.49	1.86	3.50	3.93	4.29	14.4	12.6	3.51	1.82	4.26
1959	.791	1.29	1.01	1.32	3.97	2.43	9.76	62.7	452.	111.	7.62	2.08	54.7
1960	1.60	1.27	1.22	1.44	2.89	9.46	22.5	51.2	260.	173.	16.2	3.65	45.4
1961	2.16	1.05	2.97	2.40	1.11	6.67	4.38	29.5	81.9	25.1	2.05	.728	13.3
1962	.695	.695	.681	.592	1.16	18.1	50.1	220.	336.	106.	17.5	2.28	62.8
1963	1.05	.863	.713	.631	1.35	3.32	3.00	74.6	147.	101.	18.0	2.60	29.5
1964	1.54	1.13	.911	.678	1.64	4.72	23.9	54.5	186.	50.6	4.65	1.99	27.7
1965	1.43	1.34	.763	1.12	2.13	4.84	12.5	29.4	66.5	18.0	2.37	1.46	11.8
1966	.955	.812	.688	.740	1.40	5.39	3.18	15.1	94.6	66.9	5.65	2.17	16.5
1967	1.33	.804	.710	.832	1.70	4.46	8.79	90.6	267.	85.1	7.78	2.85	39.3
1968	1.34	.962	1.66	1.12	1.74	6.30	35.4	82.1	181.	81.2	8.23	2.75	33.7
1969	1.44	1.12	.922	1.63	2.01	1.94	10.4	86.5	159.	84.2	60.0	6.22	34.6
1970	2.27	1.21	.994	.812	-	-	-	64.2	229.	89.1	8.78	2.77	(25.1)
1971	1.96	.855	.721	.697	.893	43.0	130.	-	-	35.5	-	-	(11.9)
1972	.570	.596	.695	.803	1.95	2.28	7.27	16.9	62.1	20.7	1.91	.898	9.72
1973													
1974	.896	.725	.601	.495	.439	1.53	13.2	14.3	89.8	41.3	2.46	1.02	13.9
1975	.785	.655	.550	3.00	.730	2.04	36.3	27.8	79.0	51.0	4.67	1.46	17.3
1976	.955	.721	.633	.688	.395	3.30	1.86	12.1	5.88	12.3	9.86	.688	4.12
1977													(2.80)
1978	-	.391	-	-	-	2.13	8.12	10.7	20.7	3.68	.461	.391	(2.90)
1979	.391	.391	.391	.392	-	-	16.2	-	-	-	-	-	(30.8)
1980	-	-	-	-	-	13.4	-	-	-	-	-	-	(19.0)
Moy.	1.18	0.95	0.94	1.09	1.97	7.57	20.6	68.1	165	70.4	10.3	2.03	30.4

Tableau T.H.I.11 - Sota à Gbasse
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	.556	.556	.617	.635	.994	2.05	41.0	135.	192.	360.	370.
1954	.626	.626	.626	.626	.776	1.13	18.3	148.	294.	470.	470.
1955	.626	.626	.626	.626	.788	4.61	94.4	272.	379.	600.	600.
1956	.626	.626	.695	.695	.880	1.01	16.3	100.	184.	302.	311.
1957	.788	.788	.880	.880	1.03	4.72	45.3	286.	404.	591.	604.
1958	.695	.695	.788	.788	1.03	2.28	4.60	14.6	18.1	23.0	25.5
1959	-	.695	.788	.880	1.12	2.28	18.8	177.	608.	850.	-
1960	.880	.880	.896	1.13	1.44	4.60	29.9	218.	354.	401.	406.
1961	.626	.626	.626	.695	1.13	2.05	10.8	52.3	102.	115.	119.
1962	-	.374	.493	.695	.695	3.29	64.6	296.	370.	575.	-
1963	.502	.502	.570	.661	.908	2.21	21.1	138.	176.	262.	281.
1964	.651	.651	.651	.731	1.10	1.93	23.6	133.	204.	327.	361.
1965	.570	.651	.651	.731	1.22	1.77	10.3	54.9	77.3	92.3	93.3
1966	.651	.651	.651	.651	.896	1.95	7.50	75.3	130.	155.	157.
1967	.651	.651	.651	.651	.832	2.85	16.7	182.	288.	453.	454.
1968	.651	.661	.731	.908	1.22	3.49	39.9	151.	178.	269.	273.
1969	.812	.812	.812	1.00	1.21	3.33	53.3	153.	178.	190.	195.
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	-	.471	.556	.556	.570	1.01	6.80	40.8	80.1	151.	-
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1974	.398	.398	.404	.442	.626	1.01	8.81	62.9	104.	168.	191.
1975	-	.391	.442	.499	.695	1.65	18.6	78.9	92.6	200.	-
1976	.323	.323	.327	.354	.626	1.01	4.41	14.9	22.2	46.8	49.9
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

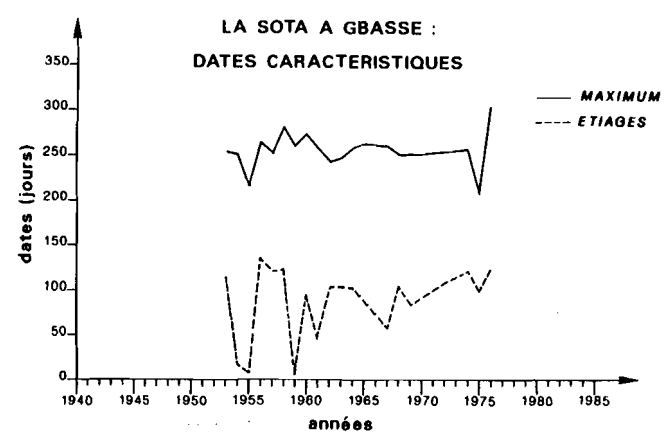
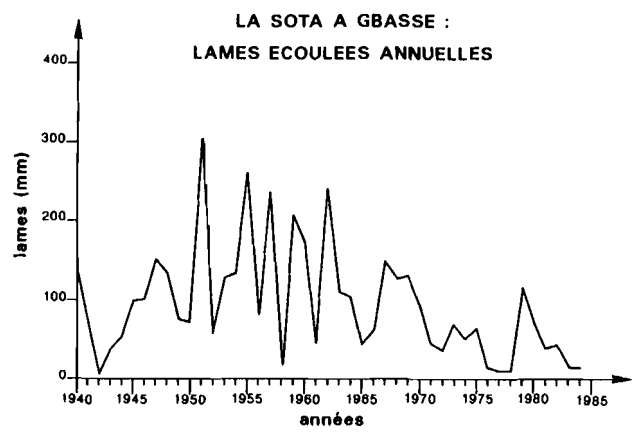
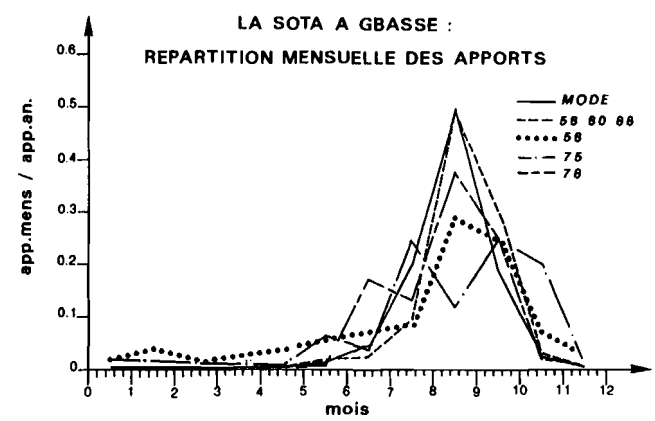
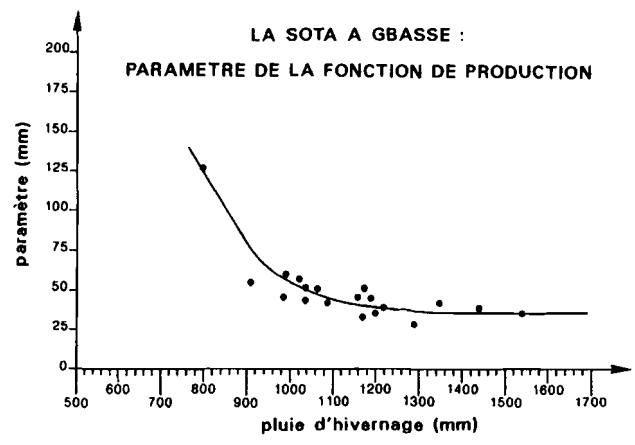
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.9 - LA SOTA A GBASSE



6. L'Irane à Koutakroukrou (1 250 km²)

6.1. Observations (1953-1984)

Les échelles installées ont été submergées plusieurs fois en 1954, 1955, 1966 et 1978. Les lecteurs qui se sont succédés à cette station n'ont pas toujours assuré des relevés de très bonne qualité. L'échantillon des observations ne se compose donc que de 14 années complètes.

6.2. Apports annuels

a/ Corrélation entre les lames écoulées à Koutakroukrou et à Gbasse sur la Sota

$$LKT = 0.93 LGBAS \quad R^2 = 0.94$$

avec : *LKT* : lame écoulée en mm à Koutakroukrou
LGBAS : lame écoulée annuelle en mm à Gbasse (Sota)

b/ Analyse statistique

La série observée a été étendue à la période de référence en utilisant la corrélation précédente.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à la distribution des lames écoulées et des modules.

Paramètres de la Loi des Fuites

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	0,814 m ³ /s	20,5 mm
Paramètre de forme	4,40	4,40

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides				
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Module (m³/s)	(0)	0,109	0,435	0,844	1,49	3,17	5,44	6,85	8,15	9,73	10,9
Lame écoulée (mm)	(0)	2,74	11,0	21,3	37,5	79,9	137	173	206	245	274

6.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jx
Moyenne	116	254
Ecart-type	120	257
Ecart-type	35	16,2
Minimum	45	209
Maximum	155	273
1° quartile	91	247
3° quartile	147	264

Jf, Jx : date d'apparition de l'étiage et du maximum (en jours depuis le 1er janvier).

Une année sur deux, l'étiage survient entre le 1er avril et le 17 mai, le maximum entre le 4 et le 21 septembre.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0,77	0,45	0,39	0,54	1,16	2,70	4,51	11,7	21,5	8,06	2,64	1,24
	s	1,02	0,56	0,47	0,66	1,38	2,44	3,16	7,84	13,3	5,89	2,34	1,56
% des apports annuels	m	1,78	1,03	0,85	1,27	2,10	5,04	9,12	21,2	38,0	13,7	3,83	1,76
	s	1,96	1,11	1,01	1,95	2,45	3,7	7,5	6,5	12,2	4,9	2,28	1,72

m : moyenne ; s : écart type

Les années 1968 et 1971 se distinguent des autres quant à la répartition mensuelle des apports (en % du total annuel) :

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Mode (12/14)	2,03	1,17	0,97	1,43	2,34	4,47	6,60	20,9	38,6	14,9	4,32	2,01
1968	0,36	0,15	0,10	0,15	0,77	10,9	27,9	23,6	24,1	9,79	1,44	0,26
1971	0,26	0,17	0,16	0,32	0,53	5,9	20,7	22,5	44,8	3,8	0,37	0,18

6.4. Courbes des débits classés

	Module annuel en m ³ /s						
	1	2	4	6	8	10	11
Maxi	11,3	22,6	45,3	67,9	90,5	113,1	124
DCC	5,94	11,9	23,8	35,6	47,5	59,4	64,4
DC1	3,33	6,66	13,3	20,0	26,6	33,3	36,6
DC3	0,63	1,90	4,42	6,95	9,47	12,0	13,3

6.5. Débits maximaux

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux sur l'échantillon des débits maximaux journaliers reconstitués sur la période de référence.

a/ Paramètre de la loi ajustée

Paramètre d'échelle : 9,45 m ³ /s
Paramètre de forme : 4,31

b/ Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux (m³/s)	(0)	(1,01)	4,70	9,33	16,7	35,9	62,1	78,4	93,3	111	(125)	

6.6. Etiages et tarissement

L'écoulement de l'Irène à la station de Koutakroukrou est permanent. Les caractéristiques de la distribution observée des étiages sont résumées dans le tableau suivant :

	Etiage annuel (en m ³ /s)
Moyenne	0,227
Médiane	0,150
Ecart-type	0,239
Minimum	0,028
Maximum	0,745
1° quartile	0,03
3° quartile	0,327

On distingue comme pour la Sota, deux périodes dans le tarissement un "rapide" suivi d'un "lent".

	Moyenne	Ecart-type
TR1	21,7	15,0
Qc	0,454	0,50
TR2	29,4	22

TR1 et TR2 : coefficient de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière
Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.12 - Irane à Koutakroukrou
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1953	-	-	-	-	-	10.0	11.1	11.0	25.8	9.23	4.48	-	(4.73)
1954	-	-	-	-	.867	1.53	3.67	22.1	35.8	9.91	5.34	2.83	(4.98)
1955	.824	.379	.287	.372	1.42	2.59	7.74	28.7	44.0	25.4	7.67	4.83	10.4
1956	3.37	1.69	.776	.867	.983	3.89	5.79	12.8	19.5	14.3	5.35	2.79	6.01
1957	1.27	1.00	.758	.569	2.37	3.63	2.35	26.4	32.3	11.5	5.35	3.20	7.56
1958	1.51	.859	.689	2.42	.393	4.27	4.58	5.70	6.86	5.07	.824	.180	2.78
1959	.352	.501	.603	.711	4.78	5.50	5.28	10.6	49.6	11.2	5.17	3.61	8.16
1960	2.75	1.49	1.52	1.57	1.34	5.00	6.78	8.94	24.0	11.6	5.15	3.52	6.14
1961	2.11	1.29	1.29	1.26	1.22	2.93	4.52	6.39	9.93	4.53	1.37	.184	3.09
1962	.029	.019	.014	.622	4.42	-	7.58	-	-	-	1.79	1.16	(8.83)
1963	.565	.279	.211	.175	.189	.454	.851	9.91	15.1	7.64	1.38	.395	3.10
1964	.201	.114	.100	.097	.196	.739	-	-	15.7	2.76	.985	.361	(3.87)
1965	.224	.130	.091	.129	2.03	.852	1.95	6.51	7.68	1.56	.298	.133	1.80
1966	.093	.077	.062	.069	.141	.885	2.49	11.0	-	10.6	1.73	.363	(2.31)
1967	.183	.090	.064	.098	.127	.239	1.15	6.95	31.1	8.53	1.34	.322	4.18
1968	.134	.058	.038	.057	.289	4.08	10.4	8.78	8.98	3.65	.540	.099	3.09
1969	.061	.032	.029	.090	.168	2.04	4.58	21.8	28.6	9.94	3.40	.565	5.94
1970	.125	.069	.047	.072	.546	.226	.699	8.52	20.8	4.69	.543	.126	3.04
1971	.050	.033	.031	.062	.103	1.16	4.04	4.41	8.75	.751	.064	.036	1.62
1972	.035	.029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1.36)
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.052	(2.60)
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1.95)
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(2.44)
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.58)
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.39)
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.40)
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(4.31)
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(2.65)
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1.49)
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1.67)
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.62)
1984	-	-	-	-	.495	1.20	.153	.272	3.98	.395	.035	.029	(0.64)
Moy.	.771	.452	.389	.544	1.16	2.70	4.51	11.7	21.6	8.07	2.64	1.24	4.78

Tableau T.H.I.13 - Irane à Koutakroukrou
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1953	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	.150	.150	.225	.318	.475	4.10	12.6	36.5	59.1	100.	91.9
1956	.573	.573	.610	.753	1.20	3.32	7.99	16.0	27.7	58.7	63.2
1957	.063	.327	.475	.573	.949	2.78	6.84	22.7	51.2	91.5	96.4
1958	.091	.107	.114	.199	.683	1.57	4.73	6.07	8.25	19.5	20.4
1959	.199	.223	.286	.369	.567	4.26	6.06	23.8	58.1	99.3	44.4
1960	.573	.573	1.00	1.26	1.58	3.57	7.48	17.5	25.8	56.6	61.0
1961	.036	.036	.089	.470	1.19	1.55	4.36	7.76	11.2	18.7	19.3
1962	.014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90.8
1963	.150	.150	.153	.172	.225	.451	2.31	12.6	19.2	33.8	36.7
1964	.076	-	-	-	-	-	-	-	-	-	101.
1965	-	.076	.091	.091	.109	.228	1.29	7.15	14.9	25.0	-
1966	.052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107.
1967	.043	.043	.052	.061	.076	.226	2.57	16.2	39.7	73.2	80.9
1968	.031	.031	.031	.036	.064	.282	5.83	9.81	12.6	33.0	35.6
1969	.028	.028	.028	.028	.031	.357	7.33	23.7	38.6	91.3	103.
1970	.031	.031	.038	.045	.076	.153	1.85	13.7	24.8	37.2	43.3
1971	.031	.031	.031	.031	.036	.063	1.12	6.31	12.4	30.2	38.9
1972	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

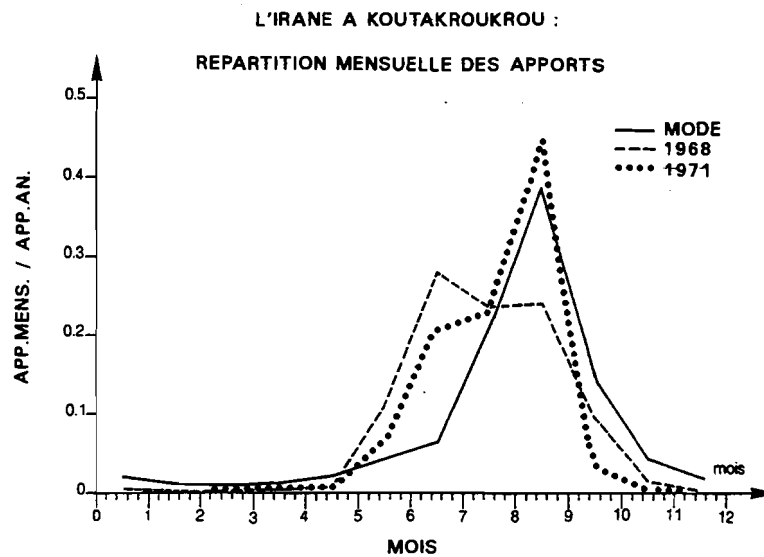
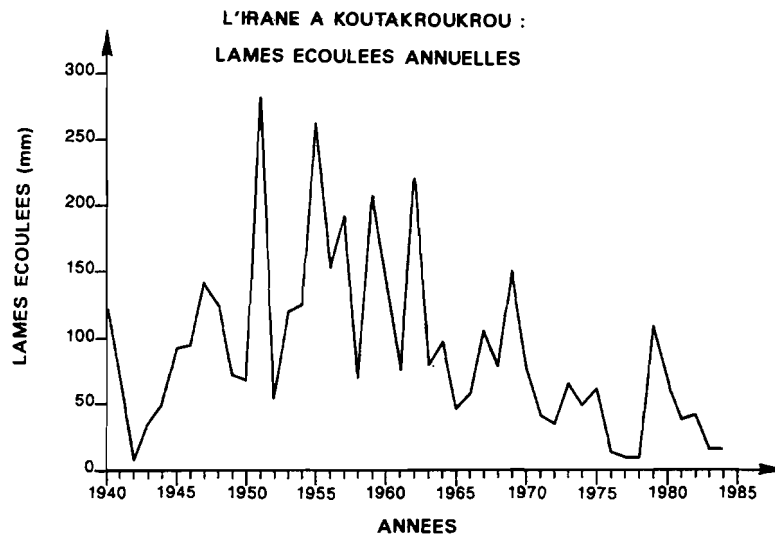
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.10 - L'IRANE A KOUTAKROUKROU



7. Sota à Coubéri (13 410 km²)

7.1. Observations (1953-1984)

30 années complètes ont été observées à cette station. La courbe d'étalonnage est précise au-dessus de 50 m³/s. En dessous la dispersion des jaugeages est relativement importante et ne semble pas être corrélée avec le gradient limnigraphique ni être organisée dans le temps.

Les basses eaux à cette station ne sont donc connues qu'avec une incertitude d'au moins 20 %.

7.2. Apports

a/ Corrélation entre les modules annuels observés sur la Sota à Gbasse et à Coubéri

Les modules annuels observés à Coubéri sont très fortement corrélés à ceux observés à Gbasse.

$$QCOU = QGBA \times 1.049 + 6.85 \quad R^2 = 0.98$$

QCOU = module annuel à Coubéri

QGBA = module annuel à Gbasse

b/ Paramètre de la fonction de production sur le bassin intermédiaire entre Gbasse et Coubéri

La totalité du bassin intermédiaire entre Gbasse et Coubéri se situe sur le plateau gréseux où l'infiltration est intense. Une partie des eaux infiltrées est restituée à la Sota sous la forme d'un débit de base soutenu même en saison sèche.

Ceci expliquerait que le paramètre de la fonction de production ne varie pas en fonction de la pluie d'hivernage, à l'inverse de ce qui a été observé sur les autres stations.

Pluie d'hivernage (mm) (Mai - Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200
Paramètre (mm)	75	75	75	75	75	75	(75)

c/ Analyse statistique

La série observée a été étendue à la période de référence en utilisant la corrélation liant les modules à Coubéri à ceux de Gbasse.

C'est la Loi de Goodrich qui s'ajuste le mieux aux échantillons ainsi reconstitués des modules et des lames écoulées.

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	29,8 m ³ /s	70,1 mm
Paramètre de position	6,09 m ³ /s	14,4 mm
Paramètre de forme	0,71	0,71

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	7,23	8,0	9,72	12,1	16,4	29,1	47,9	60,0	71,1	84,6	94,3	
Lame écoulée (mm)	17,0	18,8	22,9	28,6	38,6	68,4	113	141	167	199	222	

7.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jx
Moyenne	111	255
Médiane	112	257
Ecart-type	25,5	11,3
Minimum	21	232
Maximum	169	282
1° quartile	102	247
3° quartile	123	264

Jf, Jx : date (en jour depuis le 1er janvier) d'apparition de l'étiage et du débit maximum.

Une année sur deux, la date d'apparition de l'étiage est comprise entre le 12 avril et le 3 mai, celle du maximum entre le 4 et le 24 septembre.

Les maxima observés à Coubéri résultent essentiellement de la propagation des crues de Gbasse. Le décalage entre leurs dates d'apparition à ces deux stations est fonction de l'importance de la crue et varie entre un jour pour un débit maximum à Gbasse de 30 m³/s, à sept jours pour un débit maximum de 900 m³/s.

b/ apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	4,93	4,51	4,29	4,44	5,65	9,54	22,7	73,5	158	77,6	17,7	6,56
	s	2,3	2,02	1,61	1,62	2,17	5,31	17,3	58,5	102	59,7	15,7	3,94
% des apports annuels	m	0,76	1,60	1,48	1,75	2,11	3,02	6,44	17,8	39,1	18,5	4,39	1,91
	s	1,48	1,26	1,14	1,58	1,87	1,94	4,18	5,46	8,86	6,39	2,47	0,75

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH, on peut faire une partition des profils observés en cinq classes. Une seule classe regroupe 23 des 29 profils observés ; nous considérerons son profil moyen comme étant le profil modal.

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Mode (23/29)	1,40	1,28	1,17	1,30	1,64	2,53	5,08	17,3	41,8	20,4	4,27	1,74
1958	6,80	5,69	5,29	5,81	4,86	7,22	7,06	10,6	17,7	20,1	4,97	3,72
1971-1978-1981	1,96	1,83	1,77	3,22	4,17	4,0	15,5	19,3	34,7	8,2	2,93	2,16
1976	5,1	4,79	4,41	4,35	4,17	8,30	7,79	19,8	10,9	13,6	12,8	4,44
1982	1,22	1,11	1,05	0,95	2,07	1,72	8,50	30,6	39,9	9,16	2,62	0,67

7.4. Courbes des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s					
	10	20	40	60	80	100
Maxi	68	153	324	447	494	552
DCC	48	118	259	358	411	459
DC1	17,9	70,6	176	270	329	376
DC3	8,8	17,6	35,3	52,9	94	147

7.5. Débits maximaux

Les débits maximaux à Coubéri sont très fortement reliés à ceux observés à Gbasse. L'amortissement des crues est d'autant plus important que le débit maximum à Gbasse est fort comme l'indique le tableau suivant tiré de la figure H.I.11.

Maxi à Gbasse (m ³ /s)	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Maxi à Coubéri (m ³ /s)	124	206	289	352	400	447	500	552	600

La série des débits maximaux a été complétée et étendue à la période de référence d'une part à partir des observations faites à Gbasse et d'autre part en utilisant la relation donnée dans le paragraphe précédent liant débit maxima annuel et modules.

Deux lois statistiques s'ajustent fort bien à cet échantillon, la Loi de Goodrich et la Loi des Fuites.

a/ Paramètres des lois ajustées

	Loi de Goodrich	Loi des Fuites
Paramètre d'échelle (m ³ /s)	265	31,9
Paramètre de position (m ³ /s)	13,7	0,0
Paramètre de forme	0,502	7,8

b/ Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux (m³/s) Loi de Goodrich	40	51	73,3	99	138	234	350	416	473	539	584	
Débits maximaux (m³/s) Loi des Fuites	32	46	72,6	100	140	233	348	418	480	555	608	

7.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

L'écoulement de la Sota est permanent à la station de Coubéri. On constate à partir de 1968 une tendance très sensible à la baisse de la valeur de ces étiages. L'écoulement se serait même arrêté en 1984.

	MN	MNA	MNB
Moyenne	3,79	4,54	2,94
Médiane	4,00	4,4	3,14
Ecart-type	1,23	0,77	1,07
Minimum	0	3,58	0
Maximum	6,27	6,27	4,21
1° quartile	3,14	4,0	2,41
3° quartile	4,4	5,24	3,58

MN : étiage toutes années confondues (m^3/s)

MNA : étiage avant 68 (m^3/s)

MNB : étiage après 68 (m^3/s)

b/ Tarissement

A un tarissement "rapide" succède un tarissement "lent".

	Moyenne	Ecart-type
TR1	15,9	5,3
Qc	8,22	2,11
TR2	142	43,0

TR1 et TR2 : coefficient de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière

Qc : valeur en m^3/s du débit charnière

Tableau T.H.I.14 - Sota à Coubéri
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1953	-	-	-	-	-	29.0	40.1	112.	202.	117.	26.1	7.54	(42.3)
1954	5.51	5.26	4.87	4.25	5.70	15.2	11.0	94.4	276.	109.	22.4	7.39	46.8
1955	5.33	5.11	5.09	4.73	7.37	10.4	72.1	255.	290.	234.	53.3	16.8	79.9
1956	10.0	9.78	8.69	6.16	5.58	8.64	17.1	70.4	137.	98.6	17.9	6.63	33.0
1957	5.32	4.81	4.53	4.84	8.88	17.1	25.2	197.	336.	155.	47.5	14.5	68.4
1958	8.04	6.73	6.26	6.87	5.75	8.53	8.35	12.5	20.9	23.8	5.87	4.40	9.83
1959	4.23	4.22	4.10	4.03	7.30	5.03	17.1	74.8	351.	174.	27.4	9.36	56.9
1960	6.80	6.04	5.59	5.41	6.09	18.8	42.0	66.3	228.	192.	41.7	14.0	52.7
1961	11.4	8.64	6.73	7.10	6.63	8.88	11.8	36.7	94.7	31.9	6.94	5.60	19.8
1962	5.15	4.66	4.50	5.59	6.00	13.1	61.5	215.	373.	146.	37.7	11.9	73.7
1963	7.68	6.51	6.05	5.57	8.11	10.6	10.3	87.8	179.	114.	32.9	7.69	39.7
1964	5.12	4.65	4.49	4.49	4.77	12.6	16.8	88.8	225.	73.9	14.4	6.54	38.5
1965	5.59	5.41	4.97	5.87	7.17	8.91	15.0	43.9	92.0	26.9	5.72	4.23	18.8
1966	4.06	4.04	3.84	3.72	4.52	6.56	8.17	27.9	139.	97.6	14.2	5.59	26.6
1967	4.60	4.37	4.07	3.95	4.02	6.42	11.5	93.6	304.	134.	25.5	9.76	50.5
1968	7.07	6.65	6.48	5.92	7.55	13.8	46.2	107.	190.	99.1	17.4	6.64	42.8
1969	5.02	4.70	4.13	5.12	4.94	5.12	22.8	105.	204.	83.4	59.1	13.6	43.1
1970	6.27	6.10	5.24	4.56	5.00	4.70	12.2	77.7	247.	120.	18.1	7.57	42.9
1971	5.81	4.88	4.53	4.31	4.93	10.1	52.2	72.0	146.	33.6	6.59	4.85	29.2
1972	4.40	4.07	3.77	3.85	5.72	9.33	12.1	37.7	82.7	29.2	6.13	4.28	16.9
1973	3.86	3.58	3.35	3.24	3.19	7.10	8.10	61.8	117.	46.4	6.43	4.27	22.4
1974	3.73	3.51	3.33	3.17	3.51	4.61	28.9	28.9	116.	61.2	7.09	4.51	22.4
1975	3.97	3.71	3.46	3.72	3.73	4.75	34.8	40.7	107.	60.4	8.21	4.60	23.3
1976	4.09	3.85	3.55	3.50	3.35	6.67	6.27	15.9	8.75	10.5	10.3	3.57	6.69
1977	3.27	3.30	3.10	3.03	3.75	5.40	6.04	32.0	59.5	16.3	4.62	3.26	12.0
1978	2.56	2.59	2.63	7.60	9.67	5.87	14.8	18.4	29.2	7.98	4.53	3.21	9.09
1979	2.90	2.68	2.41	2.34	2.92	10.0	22.7	60.4	138.	73.7	14.3	5.50	28.2
1980	4.27	3.90	3.54	3.12	-	-	-	-	87.9	23.6	6.37	3.78	(26.8)
1981	3.21	2.96	2.76	2.55	3.82	6.45	31.0	35.1	61.0	13.3	4.88	3.69	14.2
1982	3.34	3.01	2.87	2.61	5.66	4.69	23.2	83.7	109.	25.0	7.15	1.80	22.7
1983	.412	.000	-	.000	2.06	4.36	7.65	13.8	19.8	5.68	.750	.106	(4.70)
1984	.010	.000	.000	6.38	11.9	13.3	5.88	13.1	79.9	45.4	4.96	3.03	15.3
Moy.	4.94	4.51	4.30	4.44	5.65	9.55	22.7	73.5	158.	77.6	17.7	6.57	33.3

Tableau T.H.I.15 - Sota à Coubéri

Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1953	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	4.00	4.00	4.07	4.33	5.17	6.67	34.9	198.	316.	356.	357.
1955	4.40	4.47	4.54	4.80	5.24	12.3	124.	294.	357.	432.	357.
1956	-	5.41	5.50	5.76	6.80	9.78	35.6	123.	180.	273.	-
1957	4.27	4.27	4.41	4.47	4.94	13.8	71.0	299.	358.	387.	387.
1958	4.13	4.13	4.27	4.79	5.84	6.91	9.20	23.1	33.8	50.5	52.3
1959	3.78	3.78	3.82	3.93	4.26	7.91	43.0	234.	453.	563.	432.
1960	4.94	4.96	5.03	5.40	6.10	13.9	59.5	237.	305.	338.	342.
1961	5.33	5.33	5.41	5.85	6.61	8.36	13.3	62.5	113.	139.	142.
1962	4.40	4.40	4.40	4.47	4.78	10.5	87.6	339.	398.	483.	485.
1963	5.33	5.37	5.42	5.76	6.29	8.06	40.0	149.	209.	233.	238.
1964	4.00	4.03	4.20	4.27	4.67	6.53	37.5	173.	258.	311.	315.
1965	4.06	4.07	4.14	4.27	4.76	5.58	16.1	74.3	106.	125.	130.
1966	3.58	3.58	3.59	3.68	4.06	5.56	14.3	112.	181.	270.	281.
1967	3.73	3.73	3.77	3.88	4.33	6.50	32.3	241.	349.	461.	464.
1968	5.24	5.24	5.42	5.85	6.61	9.06	57.2	163.	202.	267.	267.
1969	4.00	4.00	4.00	4.13	4.59	7.74	67.0	188.	215.	260.	262.
1970	4.20	4.21	4.35	4.49	5.06	6.60	29.0	196.	278.	349.	352.
1971	4.13	4.13	4.19	4.34	4.60	5.68	32.0	117.	176.	222.	233.
1972	3.58	3.58	3.63	3.69	4.06	4.78	13.9	62.0	95.5	160.	163.
1973	3.14	3.14	3.14	3.19	3.39	4.29	12.4	97.7	140.	173.	177.
1974	3.14	3.14	3.14	3.19	3.44	4.52	19.7	85.2	145.	190.	192.
1975	3.34	3.34	3.39	3.44	3.77	4.60	24.9	92.5	119.	192.	196.
1976	3.24	3.24	3.29	3.35	3.55	4.05	6.80	16.0	26.3	41.4	43.8
1977	2.45	2.45	2.97	3.02	3.18	3.66	7.71	51.4	70.4	97.2	104.
1978	2.32	2.33	2.45	2.45	2.73	5.36	11.8	24.2	36.6	59.6	62.1
1979	2.32	2.32	2.32	2.32	2.62	5.69	27.8	125.	165.	231.	232.
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	2.45	2.41	2.46	2.63	2.96	4.05	14.1	58.7	71.0	118.	80.3
1982	1.80	1.80	1.80	1.80	2.88	3.47	22.6	93.7	160.	306.	321.
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	.000	.000	.000	0.24	6.30	14.9	70.5	91.3	103.	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.11 - SOTA : COUBERI - GBASSE

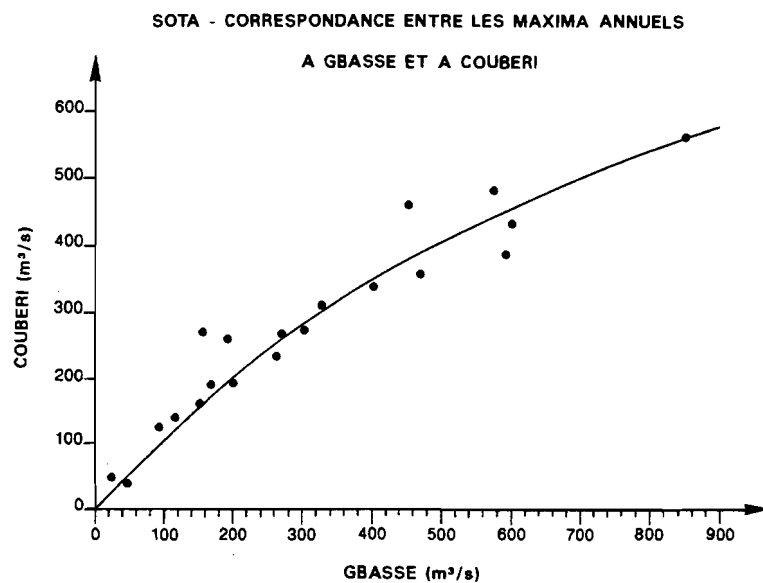
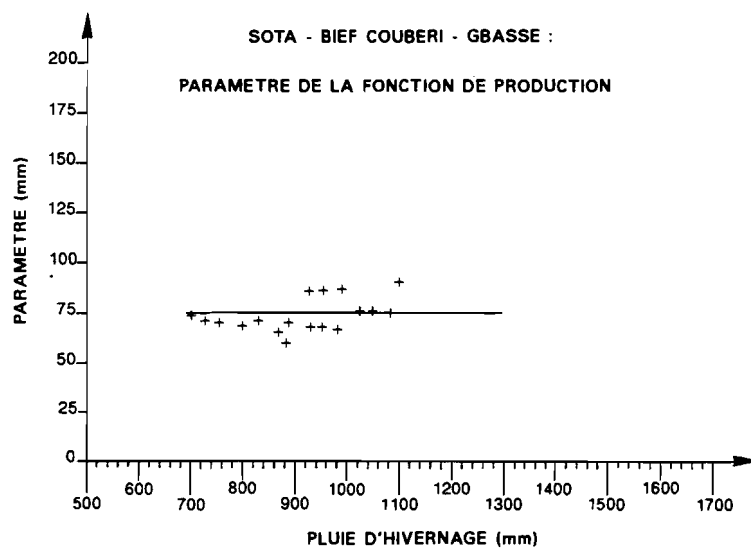
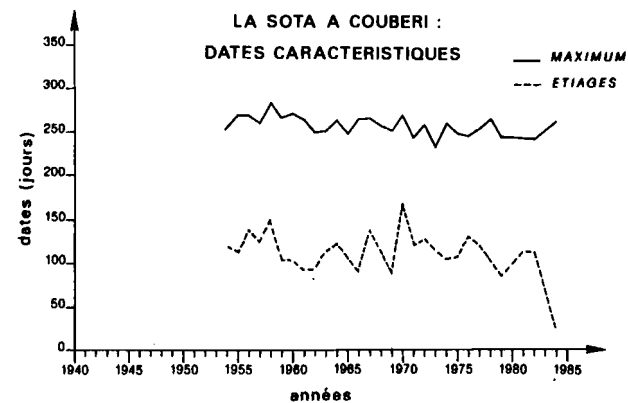
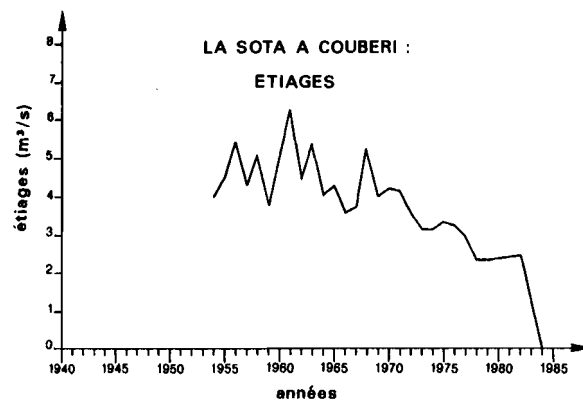
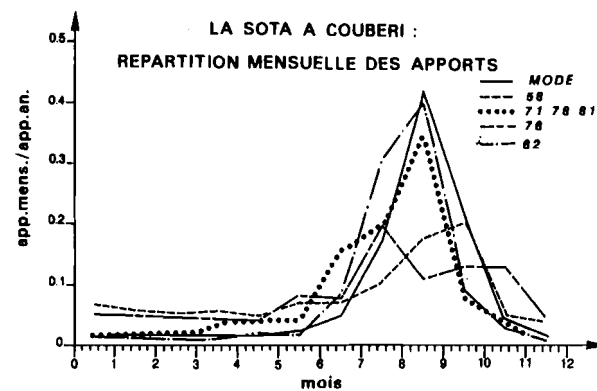
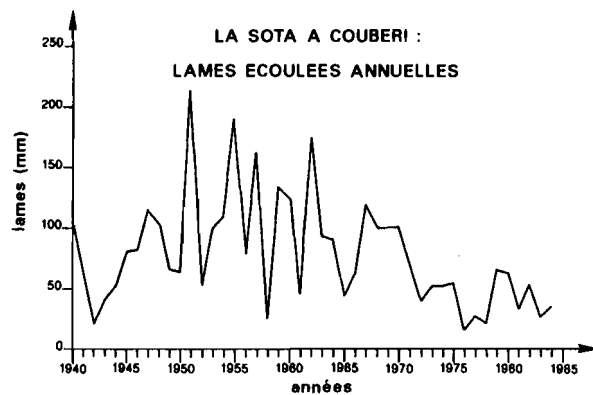


Fig- H.I.12 - LA SOTA A COUBERI



III. Bassin de la Volta

1. Le Magou à Tiele (836 km²)

1.1. Observations (1961-1984)

Installée en 1961, cette station a été à peu près correctement suivie jusqu'en 1979. Cependant l'absence d'élément d'échelle négatif empêchait l'observation des faibles débits ($< 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$).

1.2. Apports

Il n'a pas été possible de trouver des corrélations satisfaisantes entre les modules observés à Tiele et ceux observés aux stations voisines. Les analyses statistiques qui vont suivre ont donc été menées uniquement à partir des 17 années d'observations.

Ce sont les lois de Gumbel et des Fuites qui s'ajustent le mieux sur l'échantillon des modules et des lames écoulées.

	Modules		Lame écoulée	
	Gumbel	Fuites	Gumbel	Fuites
Paramètre d'échelle	1,51 m ³ /s	0,316 m ³ /s	56,5 mm	11,9 mm
Paramètre de position	4,24 m ³ /s	-	159 mm	-
Paramètre de forme	-	16,1	-	16,1

Valeurs caractéristiques

		Années sèches						Années humides					
Récurrence en années		100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	Gumbel	1,92	2,18	2,58	2,98	3,52	4,80	6,50	7,64	8,72	10,1	11,2	
	Fuites	1,64	1,94	2,43	2,90	3,53	4,92	6,53	7,46	8,27	9,25	9,92	
Lame écoulée (mm)	Gumbel	72,3	81,6	96,6	111	132	179	243	285	326	379	418	
	Fuites	61,9	73	91,3	103	133	185	245	281	311	348	373	

1.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

La batterie d'échelles ne permettant pas la mesure des très basses eaux nous ne pouvons décrire que la distribution de la date d'apparition du débit maximum.

	Jx
Moyenne	257
Médiane	257
Ecart-type	16,8
Minimum	232
Maximum	297
1° quartile	245
3° quartile	265

Jx : date (en jours depuis le 1^{er} janvier) d'apparition du maximum.

Une année sur deux, le maximum survient entre le 2 et le 22 septembre.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	(0,01)	(0)	(0)	(0)	0,013	0,224	2,51	13,1	29,9	13,3	1,55	0,19
	s	-	-	-	-	0,08	0,391	3,61	9,96	10,0	8,33	2,30	0,19
% des apports annuels	m	(0)	(0)	(0)	(0)	0,1	0,41	3,7	19,7	50,1	23,2	2,48	0,3
	s	-	-	-	-	0,3	0,72	5,0	11,0	16,2	13,2	3,90	0,3

1.4. Débits maximaux

Le meilleur ajustement est obtenu par une Loi des Fuites de paramètres :

Paramètre d'échelle : 2.39 m ³ /s Paramètre de forme : 21.1

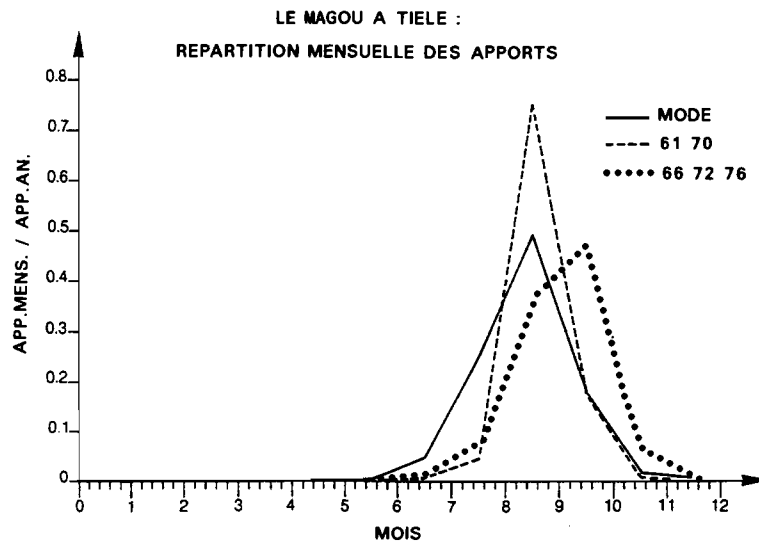
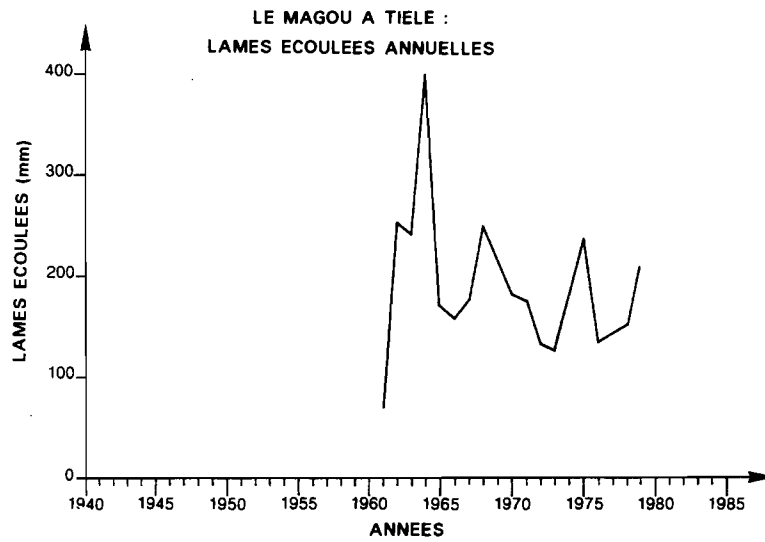
Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux m³/s	19,9	22,6	27,2	31,5	37,1	49,3	63,2	71,1	78,1	86,1	91	

Tableau T.H.I.16 - Magou à Tiélé
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
1961	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.040	0.234	1.000	16.400	4.180	0.187	0.160	1.850
1962	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.055	0.027	1.550	18.400	38.500	21.200	0.737	0.257	6.727
1963	0.068	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.007	3.920	30.800	30.700	8.740	2.210	0.188	6.386
1964	0.081	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.000	1.310	35.900	49.400	30.700	8.320	0.763	10.540
1965	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	1.580	1.620	16.300	25.100	8.890	0.607	0.319	4.535
1966	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.421	0.619	4.470	16.400	26.900	1.250	0.265	4.194
1967	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.140	0.190	10.700	31.900	12.500	0.723	0.215	4.697
1968	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.160	8.440	24.200	26.200	19.100	0.934	0.336	6.614
1969	0.157	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	-	-	3.690	40.200	-	-	0.383	
1970	0.110	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.030	0.005	0.164	2.620	45.000	9.600	0.383	0.100	4.834
1971	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.000	0.950	18.900	30.500	5.300	0.250	0.000	4.658
1972	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.000	0.000	1.730	25.100	14.900	0.610	0.000	3.528
1973	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.105	0.131	6.370	27.500	5.680	0.176	0.000	3.330
1974	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.080	0.490	14.700	35.000	7.200	0.498	0.000	4.831
1975	0.031	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.180	13.300	13.000	29.600	18.400	0.638	0.150	6.275
1976	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.040	1.020	4.830	6.640	22.800	7.080	0.349	3.563
1977	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	-	-	-	-	-	-	-	
1978	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.540	0.570	5.840	6.490	29.800	4.520	0.891	0.000	4.054
1979	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	0.450	2.940	17.400	31.500	15.500	1.290	0.010	5.757
1980	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	-	-	18.100	33.100	3.380	1.090	-	-
1981	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-
Moy.	0.0181	(0)	(0)	(0)	(0.014)	0.222	2.51	13.1	29.9	13.3	1.55	0.195	5.08

Fig- H.I.13 - LE MAGOU A TIELE



2. La Pendjari à Porga (22 260 km²)

2.1. Observations (1952-1984)

30 années a peu près complètes ont été observées à cette station depuis 1952. Les relevés sont dans l'ensemble de bonne qualité et les étalonnages relativement précis. C'est sur ces données qu'ont porté les analyses statistiques ci-après.

2.2. Apports

Deux lois s'ajustent fort bien aux échantillons des modules et lames écoulées observés : la Loi de Goodrich et la Loi des Fuites.

Paramètres des lois ajustées

	Modules		Lame écoulée	
	Goodrich	Fuites	Goodrich	Fuites
Paramètre d'échelle	56,8 m ³ /s	6,74 m ³ /s	80,4 mm	9,55 mm
Paramètre de position	8,37 m ³ /s	-	11,9 mm	-
Paramètre de forme	0,535	8,73	0,535	8,73

Valeurs caractéristiques

		Années sèches						Années humides					
Récurrence en années		100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	Goodrich	13,2	15,4	19,9	25,4	33,9	55,0	81,6	97,1	110	126	137	
	Fuites	9,3	12,8	19,0	25,4	34,5	55,4	81,2	96,6	110	127	138	
Lame écoulée (mm/s)	Goodrich	18,7	21,9	28,2	36,0	47,9	78,0	116	137	156	179	194	
	Fuites	13,2	18,1	26,9	36,0	48,8	78,5	115	137	156	179	196	

2.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx
Moyenne	103	131	264
Médiane	110	129	264
Ecart-type	29,8	19,7	15,2
Minimum	15	94	232
Maximum	144	169	307
1° quartile	87	119	258
3° quartile	120	146	270

Jf, Jd, Jx : date de l'étiage, de reprise de l'écoulement, du maximum.

Une année sur deux, le débit minimum survient entre le 28 mars et le 30 avril, l'écoulement reprend entre le 29 avril et le 26 mai, le maximum a lieu entre le 15 et le 27 septembre.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	2,97	1,21	0,42	0,36	3,07	9,84	28,4	136	285	210	35,4	7,18
	s	2,35	1,07	0,39	0,68	6,19	9,54	21,5	82,6	128	129	28,7	4,89
% des apports annuels	m	0,49	0,19	0,06	0,04	0,39	1,95	4,23	19,3	41,2	26,4	4,46	0,95
	s	0,46	0,19	0,06	0,06	0,60	2,62	3,16	6,77	7,93	8,46	3,68	0,59

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH, on peut faire une partition des profils observés en cinq classes. Une seule classe regroupe 24 des 29 profils observés, les années 1960, 1973, 1976 et 1983 se distinguent :

Partition en cinq classes de l'ensemble des profils observés (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (24/29)	0,45	0,17	0,06	0,32	0,40	2,0	3,95	18,5	42,7	26,8	3,8	0,88
1960	0,33	0,17	0,06	0,05	0,23	0,77	2,77	8,30	30,9	44,6	10,0	1,53
1973	1,0	0,39	0,08	0,18	0,02	0,97	2,22	41,1	36,7	13,7	2,29	0,76
1976	1,29	0,53	0,10	0,01	0,10	2,18	3,44	20,5	24,8	23,4	19,6	3,07
1983	0,15	0,06	0,03	0	0	2,88	15,4	27,3	36,8	15,8	0,09	0,05

2.4. Courbes des débits classés (m^3/s)

	Module annuel en m^3/s					
	20	40	60	80	100	120
Maxi	124	262	362	469	577	650
DCC	100	238	330	431	530	600
DC1	69	192	277	384	446	507
DC3	12,0	25,6	38,5	77,0	115	177

2.5. Débits maximaux

Ce sont les Lois de Goodrich et des Fuites qui s'ajustent le mieux à l'échantillon des 28 valeurs observées.

a/ Paramètre des lois ajustées

	Loi de Goodrich	Loi des Fuites
Paramètre d'échelle m^3/s	403	33,2
Paramètre de position m^3/s	0,134	-
Paramètre de forme	0,383	10,8

b/ Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Loi de Goodrich (m³/s)	(69,3)	90,5	129	170	226	350	483	554	613	679	722	
Loi des Fuites (m³/s)	77	98,8	136	173	224	341	481	563	636	723	785	

2.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

Sur 28 années d'observations à Porga, la Pendjari s'est tarie complètement 15 fois dont 12 fois après 1968.

Dans le tableau ci-après on trouvera résumées les principales caractéristiques des distributions de l'étiage et de la durée de l'étiage, toutes années confondues puis en séparant celles d'avant 1968 de celles d'après 1968.

	Etiages en m ³ /s			Durée de l'étiage en jour		
	1	2	3	1	2	3
Moyenne	0.048	0.054	0.043	27	11.1	40.3
Médiane	0	0.078	0	10.5	0	31
Ecart-type	0.091	0.042	0.12	35	25	37
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0.457	0.127	0.457	130	93	130
1 ^o quartile	0	0.004	0	0	0	9
3 ^o quartile	0.078	0.078	0	49	7	68

1 : toutes années confondues ; 2 : avant 1968 ; 3 : après 1968

b/ Tarissement

Jusqu'à ce que soit atteint un débit proche de 0.2 m³/s le tarissement est relativement lent, ensuite il s'accélère brusquement :

	Moyenne	Ecart-type
TR1	23.8	4.2
Qc	0.200	0.5
TR2	2.2	1.5

TR1 et TR2 : coefficient de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière
Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

3. La Binaho à Dompago (62 km²)

3.1. Observations

Les données collectées à cette station sont d'assez mauvaise qualité : le rythme des lectures est insuffisant compte tenu de la taille du bassin ; les relevés n'ont pas été toujours très bien faits et les étalonnages ne sont pas très précis.

Les résultats obtenus à partir des 10 années complètes observées à cette station sont donc à considérer avec prudence.

3.2. Apports annuels

Valeurs caractéristiques

	Années sèches					Années humides			
Récurrence en années	50	20	10	5	2	5	10	20	50
Module (m³/s)	(0.48)	0.52	0.58	0.66	0.82	1.00	1.10	1.18	(1.27)
Lame écoulée (mm)	(240)	268	295	333	417	509	557	598	(644)

Tableau T.H.I.17 - Pendjari à Porga
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	-	-	-	-	-	-	18.1	82.6	297.	452.	80.6	9.48	-
1953	4.08	1.49	.818	.358	11.4	41.3	50.1	120.	428.	348.	63.4	9.83	89.9
1954	4.25	1.78	.696	.266	5.35	16.9	13.5	49.4	273.	134.	21.7	6.18	43.9
1955	2.00	.954	.434	.304	1.05	6.20	36.5	409.	518.	360.	73.1	11.5	118.
1956	5.02	2.29	1.04	.556	.357	7.18	21.0	118.	318.	220.	13.3	5.65	59.4
1957	1.72	.691	.192	.043	3.45	15.9	27.6	242.	513.	365.	73.4	15.0	105.
1958	6.71	2.66	.812	.270	.565	4.28	1.43	49.7	164.	74.4	5.76	1.31	26.0
1959	.298	.043	.001	.000	.000	4.62	35.7	179.	436.	268.	19.4	6.56	79.1
1960	2.65	1.37	.521	.399	1.87	6.23	22.4	67.2	250.	361.	81.1	12.4	67.3
1961	1.87	1.56	.599	.350	2.06	6.79	-	-	-	155.	6.87	1.58	-
1962	.488	.078	.000	.000	.724	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	2.52	1.19	2.85	55.8	269.	430.	289.	66.9	14.3	-
1964	6.49	2.68	.833	.230	.829	4.61	35.7	217.	431.	356.	45.6	7.02	92.3
1965	2.90	1.12	.346	.023	.091	6.31	17.6	79.7	208.	123.	13.6	4.53	38.1
1966	1.66	.635	.140	.201	.582	7.48	9.67	107.	241.	228.	47.8	8.53	54.4
1967	3.34	1.21	.458	.202	.358	6.23	20.8	99.3	279.	276.	38.7	10.0	61.3
1968	4.53	1.57	.603	.167	5.77	39.2	83.8	223.	304.	251.	51.0	13.2	81.5
1969	6.25	2.80	.968	2.98	1.39	12.9	70.1	149.	504.	315.	94.3	19.8	98.3
1970	8.76	4.34	1.61	.524	.314	4.09	10.6	154.	447.	362.	36.1	8.68	86.5
1971	3.87	1.53	.655	.258	1.38	15.0	37.5	175.	296.	103.	12.6	5.05	54.3
1972	1.81	.572	.082	.000	.608	5.78	14.1	84.0	251.	208.	19.9	6.56	49.4
1973	4.97	1.97	.413	.896	.122	4.86	11.1	205.	183.	68.4	11.4	3.80	41.3
1974	1.09	.347	.018	.448	1.36	2.49	24.9	217.	350.	374.	40.9	8.60	85.1
1975	3.68	1.30	.360	.033	1.98	4.27	82.6	146.	242.	311.	46.5	10.6	70.9
1976	5.28	2.17	.414	.007	3.87	8.88	14.0	83.3	101.	95.6	79.6	12.5	33.9
1977	5.17	1.86	.394	.023	.000	1.80	18.3	154.	319.	64.7	6.53	2.01	47.8
1978	.499	.082	.000	.000	2.27	6.99	15.9	49.2	149.	74.9	11.7	2.52	26.1
1979	.367	.048	-	-	32.9	-	-	-	160.	-	-	5.20	-
1980	1.25	.113	.045	.002	.000	2.85	5.40	96.2	243.	83.8	15.8	3.19	37.6
1981	.490	.060	.030	.000	12.3	6.33	34.1	94.6	218.	54.0	5.34	.743	35.5
1982	.060	.025	.000	.000	3.12	13.7	14.7	65.0	143.	56.1	10.4	3.05	25.8
1983	.396	.165	.069	.000	.000	7.41	39.6	70.1	94.7	40.6	2.42	.148	21.3
1984	.012	.000	.000	.000	1.06	21.7	10.2	33.1	53.4	34.4	2.37	.050	13.0
Moy.	2.97	1.21	.418	.357	3.07	9.84	28.4	136.	285.	210.	35.4	7.18	58.7

Tableau T.H.I.18 - Pendjari à Porga : Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	-	.078	.177	.421	1.71	15.2	92.5	428.	481.	509.	-
1954	.078	.078	.078	.354	1.43	7.99	27.3	205.	302.	344.	348.
1955	.078	.084	.128	.222	.834	8.03	183.	519.	553.	571.	579.
1956	.127	.127	.258	.450	1.27	6.95	33.5	288.	365.	377.	378.
1957	.007	.004	.014	.034	.512	13.2	124.	469.	550.	570.	570.
1958	.078	.087	.131	.232	.669	2.99	8.53	159.	178.	193.	231.
1959	.000	.000	.000	.000	.000	5.01	44.6	418.	455.	469.	469.
1960	-	.078	.152	.360	1.43	7.77	69.4	328.	461.	473.	-
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	.029	.103	.190	1.36	6.93	126.	409.	553.	592.	-
1965	.000	.000	.000	.003	.662	4.40	26.2	185.	223.	237.	237.
1966	.000	.000	.010	.090	.567	7.86	58.7	237.	251.	263.	263.
1967	.078	.058	.080	.168	.724	8.73	48.9	295.	363.	374.	374.
1968	.078	.078	.106	.304	2.27	16.1	177.	295.	329.	347.	347.
1969	.399	.457	.608	.850	2.46	16.3	94.2	417.	548.	589.	440.
1970	1.03	.040	.080	.315	1.93	7.24	63.5	427.	557.	626.	633.
1971	.127	.144	.215	.348	1.34	6.50	43.8	266.	323.	351.	351.
1972	.000	.000	.000	.000	.553	5.98	22.1	239.	297.	314.	285.
1973	-	.000	.000	.191	.970	4.48	22.8	200.	255.	270.	-
1974	.000	.000	.000	.000	.912	3.17	112.	387.	460.	465.	466.
1975	.000	.000	.000	.026	1.00	7.71	135.	297.	355.	372.	373.
1976	.103	.000	.000	.007	2.15	10.8	72.5	116.	137.	145.	145.
1977	.000	.000	.000	.000	.264	3.23	20.2	266.	347.	359.	359.
1978	.000	.000	.000	.000	.106	4.14	24.2	107.	202.	226.	226.
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	.000	.000	.000	.000	.045	1.95	21.1	201.	263.	283.	284.
1981	.000	.095	.000	.000	.067	3.08	33.9	190.	228.	266.	157.
1982	-	.000	.000	.000	0.025	7.66	24.6	92.7	179.	192.	-
1983	-	.000	.000	.000	0.048	.462	21.8	84.8	121.	163.	-
1984	.000	.000	.000	.000	.000	.511	22.6	46.5	63.7	68.8	56.

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

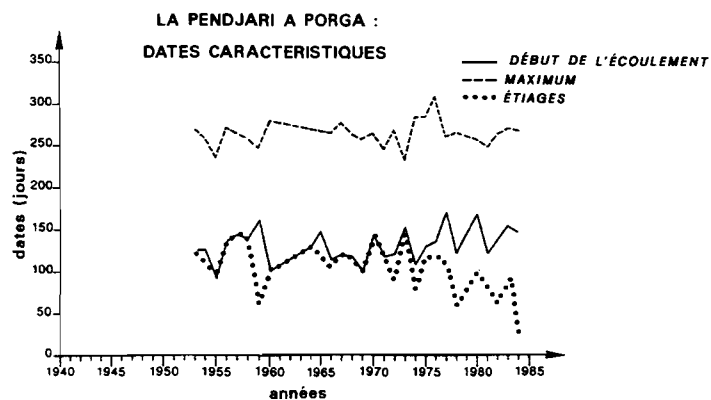
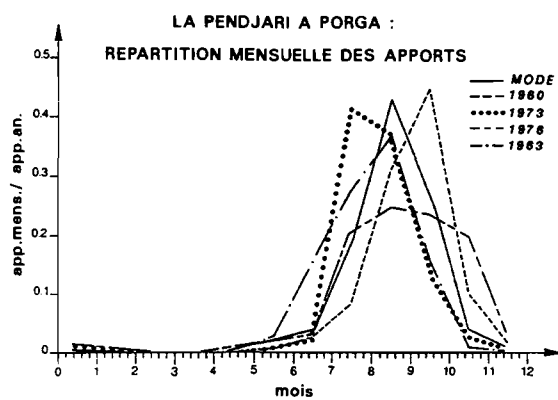
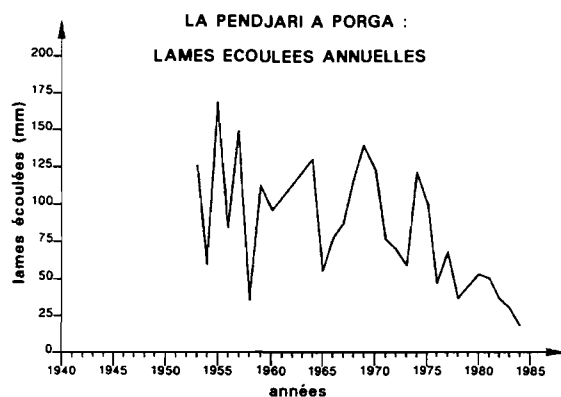
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.14 - LA PENDJARI A PORGA



3.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	NS	Jx
Moyenne	7.5	155	147	243
Médiane	- 1	149	142	248
Ecart-type	26.6	21.3	27	25
Minimum	16	127	115	198
Maximum	61	192	190	291
1 ^o quartile	-14	133	117	228
3 ^o quartile	29	176	177	254

Jf, Jd, Jx : date (en jours depuis le 1er janvier) d'arrêt de l'écoulement de l'année précédente, de la reprise de l'écoulement, du maximum.

NS : durée de la période sans écoulement (en jours).

Une année sur deux l'écoulement s'arrête entre le 17 décembre et le 29 janvier, il reprend entre le 13 mai et le 25 juin, le maximum a lieu entre le 16 août et le 11 septembre.

Une année sur deux, la durée de la période sans écoulement est comprise entre quatre et six mois.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.022	0.005	0	0.003	0.041	0.122	1.08	2.60	4.45	1.33	0.197	0.043
	s	0.044	0.011	0	0.008	0.086	0.149	0.962	1.05	2.26	0.71	0.203	0.059
% des apports annuels	m	0.23	0.052	0	0.26	0.30	1.02	9.80	27.5	47.0	12.9	1.81	0.27
	s	0.41	0.11	0	0.79	0.78	1.15	9.94	12.1	14.2	5.1	1.38	0.35

m : moyenne ; s : écart-type

3.4. Débits maximaux

Valeurs caractéristiques

	Années sèches					Années humides				
Récurrence en années	50	20	10	5	2	5	10	20	50	
Débits maximaux m³/s	(14.5)	15.2	16.3	18.8	29.3	50.4	66.8	83.4	(105)	

3.5. Etiages et tarissement

Chaque année la Binaho se tarit. Les paramètres décrivant la distribution du nombre de jours sans écoulement ont été donnés au paragraphe 3.3..

A partir de l'année 1969, bien observée, nous avons déterminé un coefficient de tarissement de 10 jours.

4. Tanéka à Tanékakoko (11 km²)

Les observations faites à cette station sont d'assez mauvaise qualité : le rythme des lectures est tout à fait insuffisant compte tenu de la taille du bassin, les relevés sont souvent douteux, les étalonnages imprécis.

La qualité des données ne permet pas des analyses satisfaisantes des crues et des modules. Nous nous contenterons de présenter dans le tableau suivant les modules observés et les débits d'étiage. Située au pied des monts Tanéka, cette station connaît en effet un écoulement permanent :

Modules et étiages à la station de Tanékakoko sur la Tanéka (en l/s)

Années 1962 à 84	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Module	52	-	-	-	-	74	103	86	74	50	-	54	48	83	27	30	79	109	-	50	32	13	26
Etiage	3	6	4	3	4	8	8	6	6	6	6	2	2	2	2	2	4	4	2	2	2	4	2

IV. Bassin de l'Ouémé

1. La Wéwé à Wéwé (293 km²)

1.1. Observations (1961-1984)

20 années complètes ont été observées à cette station. La cadence des relevés (1 à 2 par jour) et l'imprécision relative des étalonnages font que les résultats que nous allons présenter ici, doivent être considérés avec prudence.

1.2. Apports

a/ Corrélation entre les lames écoulées à Wéwé et à Bétérou sur l'Ouémé

Les lames écoulées à ces deux stations sont fortement corrélées.

$$LWW = 1.27 LB \quad R^2 = 0.94$$

avec : *LWW et LB lames écoulées à Wéwé et Bétérou.*

b/ Analyse statistique

La série observée a été complétée et étendue en utilisant la relation précédente. C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux aux échantillons des lames écoulées et des modules.

Paramètre de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulee
Paramètre d'échelle	0.405 m ³ /s	43.6 mm
Paramètre de forme	4.59	4.59

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(0)	0.077	0.250	0.463	0.794	1.65	2.80	3.52	4.17	4.97	5.54	
Lame écoulée (mm)	(0)	8.26	26.9	49.8	85.5	178	302	379	449	535	596	

1.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques et nombre de jours sans écoulement

	Jf	Jd	Jx	NS
Moyenne	2.8	144	243	139
Médiane	4.5	148	242	127
Ecart-type	38.1	25.7	22	54
Minimum	-66	101	205	28
Maximum	80	186	284	223
1° quartile	-36	119	224	104
3° quartile	27	165	260	190

Jf, Jd, Jx : dates d'arrêt de l'écoulement et de la reprise de l'écoulement, du maximum (en jours depuis le début de l'année)

NS : nombre de jours sans écoulement.

Une année sur deux, l'écoulement s'arrête entre le 25 novembre et le 27 janvier, il reprend entre le 29 avril et le 14 juin, le maximum survient entre le 10 août et le 17 septembre.

Une année sur deux, la période sans écoulement dure entre 3,5 mois et 6 mois.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.022	0.007	0.006	0.037	0.087	0.226	1.412	5.29	6.84	2.61	0.445	0.071
	s	0.046	0.020	0.023	0.093	0.19	0.336	1.638	4.52	4.36	2.03	0.46	0.089
% des apports annuels	m	0.14	0.04	0.06	0.17	0.86	2.64	9.38	27.4	39.9	16.1	2.78	0.3
	s	0.30	0.13	0.26	0.40	1.8	4.16	9.46	12.1	12.9	8.0	2.9	0.35

m : moyenne ; s : écart-type

A l'aide de la méthode CAH on peut faire une partition de l'ensemble des profils observés en six classes : l'une regroupe 13 des 20 profils observés, nous l'appellerons le profil modal ; on constate une très forte similitude entre d'une part les années 64-70 et d'autre part les années 83 et 78 ; les années 65, 72, 76 en revanche se distinguent :

Partition en six classes de l'ensemble des profils observés (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (13/20)	0.12	0.020	0.09	0.22	0.97	1.93	5.54	28.7	41.1	17.8	2.81	0.03
1964-1970	0.63	0.294	0.053	0.010	0	0.14	1.83	16.1	62.3	17.3	1.57	0.193
1978-1983	0	0	0	0.09	0.63	8.6	29.5	31.2	19.4	8.07	1.53	0.08
1965	0.003	0	0	0.10	0.04	0.68	20.7	44.3	27.6	4.68	0.77	0.08
1972	0	0	0	0	0.03	0.26	25.0	9.61	56.6	8.43	0.22	0
1976	0.02	0	0	0.25	3.17	9.22	7.13	26.3	15.8	24.5	12.0	1.21

1.4. Courbes des débits classés (en m³/s)

	Module annuel en m ³ /s			
	1	2	3	4
Maxi	29	51	66	80
DCC	7.2	13.6	21.6	28
DC1	3.2	7.2	11.2	15.2
DC3	0.1	1.6	3.2	4.8

1.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observés a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique liant ceux-ci aux modules et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à l'échantillon ainsi reconstitué.

a/ Paramètres de la loi ajustée

Paramètre d'échelle :	7.79 m ³ /s
Paramètre de forme :	5.69

b/ Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	(2.13)	4.36	8.83	13.9	21.5	40.3	64.8	79.7	93.3	110	(121)	

1.6. Etiages et tarissement

La Wéwé se tarit chaque année, les caractéristiques de la distribution du nombre de jours sans écoulement ont été précisées au paragraphe 1.3..

Les caractéristiques de tarissement ont été déterminés à partir de l'année 1968, bien observée :

TR1	16.3
Qc	0.038
TR2	7.6

TR1 et TR2 : coefficient de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière
 Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.L.19 - Wéwé à Wéwé
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1961	-	-	-	-	-	-	2.64	-	6.67	-	.119	-	(1.54)
1962	-	-	-	-	-	-	.745	-	-	-	-	-	(3.04)
1963	-	-	-	-	-	-	.077	11.2	-	-	-	.281	(4.57)
1964	.179	.088	.015	.002	.000	.041	.452	1.96	10.0	1.97	.306	.053	1.26
1965	.001	.000	.000	.033	.012	.217	6.60	14.1	8.80	1.49	.247	.025	2.63
1966	.000	.000	.000	.000	.013	.400	.427	3.71	6.01	3.32	.551	.108	1.21
1967	.037	.000	.000	.043	.041	.050	1.22	10.6	15.8	4.03	.513	.278	2.72
1968	.104	.038	.001	.361	.193	1.17	2.23	3.05	8.52	4.59	.710	.127	1.76
1969	.013	.000	.000	.005	.043	.004	.272	1.97	6.47	4.32	1.31	.088	1.21
1970	.012	.000	.000	.000	.000	.000	.116	3.46	10.5	3.88	.197	.005	1.51
1971	.000	.000	.000	.000	.019	.141	.494	4.20	6.01	1.01	.050	.000	.994
1972	.000	.000	.000	.000	.001	.018	1.74	.669	3.94	.587	.014	.000	.581
1973	.000	.000	.000	.000	.000	.045	.708	15.1	11.9	3.83	.596	.040	2.69
1974	.001	.000	.000	.000	.000	.000	3.05	7.97	11.6	-	-	-	(2.11)
1975	.000	.000	.000	.000	.811	.090	3.48	3.25	9.52	3.78	.560	.035	1.79
1976	.001	.000	.000	.030	.392	1.14	.882	3.25	1.95	3.03	1.48	.149	1.03
1977	.039	.001	.106	.018	.003	.044	.252	2.36	3.43	2.49	.236	.035	.751
1978	.000	.000	.000	.026	.116	.095	4.41	4.53	3.46	1.97	.467	.025	1.26
1979	.000	.000	.000	.262	.030	.222	2.32	11.1	14.1	8.52	1.47	.201	3.19
1980	.079	.009	.000	.000	.000	.056	.295	8.43	6.22	1.75	.373	.033	1.44
1981	.000	.000	.000	.003	.000	.331	.405	3.44	3.37	.629	.042	.000	.685
1982	.000	.000	.000	.000	.000	.084	.191	.879	1.06	.378	.067	.000	.222
1983	.000	.000	.000	.000	.014	.466	.845	.920	.452	.091	.000	.000	.232
1984	.000	.000	.000	.000	.137	.121	.152	.233	.717	.492	.043	.000	.158
Moy.	.022	.006	.005	.037	.086	.226	1.42	5.29	6.84	2.61	.445	.070	1.37

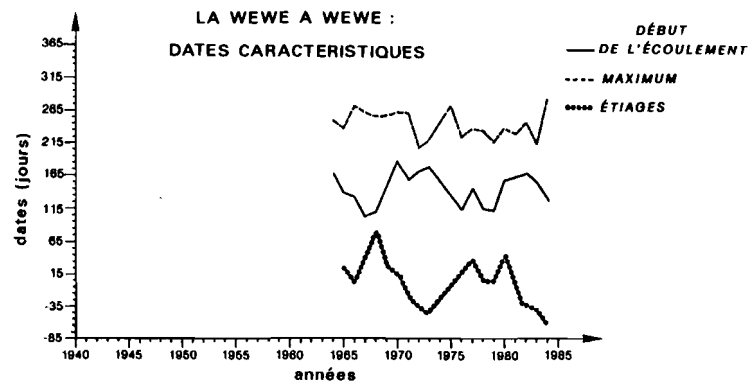
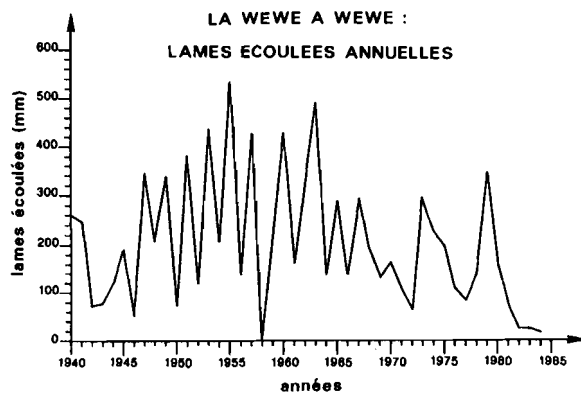
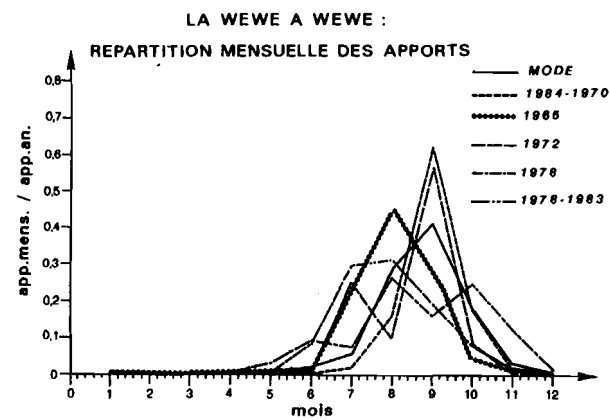
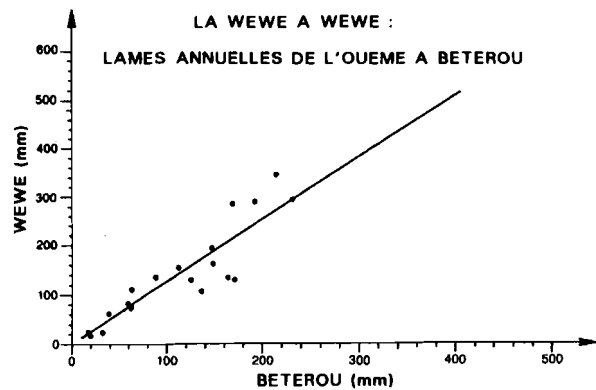
Tableau T.H.I.20 - Wéwé à Wéwé
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	.000	.000	.000	.029	.106	1.02	3.84	9.50	57.7	-
1965	-	.000	.000	.000	.000	.001	1.93	10.9	17.4	74.4	-
1966	-	.000	.000	.000	.000	.135	.861	4.10	8.24	35.2	-
1967	.000	.000	.000	.000	.012	.133	1.73	10.6	19.7	55.3	62.8
1968	.000	.000	.000	.000	.071	.336	2.28	6.14	10.2	21.3	27.2
1969	.000	.000	.000	.000	.000	.045	1.04	4.53	7.51	24.4	44.2
1970	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.650	5.01	13.1	54.7	70.1
1971	-	.000	.000	.000	.086	.000	.502	4.80	7.49	16.4	-
1972	-	.000	.000	.000	.000	.000	.107	1.36	5.93	34.7	-
1973	-	.000	.000	.000	.000	.009	1.41	11.0	21.4	59.0	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	-	.000	.000	.000	.000	.070	2.17	5.91	13.0	35.9	-
1976	-	.000	.000	.000	.000	.275	1.34	3.29	5.03	27.6	-
1977	.000	.000	.000	.000	.016	.000	.572	3.15	4.76	11.5	19.6
1978	-	.000	.000	.000	.000	.062	1.46	4.10	8.92	24.6	-
1979	-	.000	.000	.000	.000	.137	3.66	10.8	22.2	67.3	-
1980	-	.000	.000	.000	.000	.068	.894	4.95	12.6	43.8	-
1981	-	.000	.000	.000	.000	.018	.422	2.40	4.74	16.5	-
1982	-	.000	.000	.000	.000	.000	.227	.747	1.49	10.3	-
1983	-	.000	.000	.000	.000	.000	.135	.559	1.93	13.8	-
1984	-	.000	.004	.045	.000	.000	.185	.490	1.13	2.25	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.15 - LA WEWE A WEWE



2. L'Ouémé à Bétérou (10 326 km²)

2.1. Observations (1952-1984)

Les observations faites à cette station sont de bonne qualité. L'étalonnage y est précis même en basses eaux. 32 années complètes ont été observées.

2.2. Apports

a/ Paramètre de la fonction de production ($R^2 = 0.91$)

Pluie d'hivernage (mm) (Mai-Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Paramètre (mm)	150	125	100	75	55	47	43	37	35	35

b/ Dates caractéristiques

La série observée a été complétée à l'aide du modèle hydropluviométrique dont nous avons donné ci-dessus la fonction de production. C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux aux échantillons des lames écoulées et des modules.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée :

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	11.0 m ³ /s	33.7 mm
Paramètre de forme	4.76	4.76

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	0.371	2.64	7.6	13.6	22.9	46.9	72.7	98.5	117	138	154	
Lame écoulée (mm)	1.13	8.08	23.3	41.7	70.1	143	240	301	355	422	471	

2.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

Une année sur deux, l'écoulement s'arrête entre le 29 janvier et le 2 mars, le maximum survient entre le 31 août et le 24 septembre.

Une année sur deux, la période sans écoulement dure entre deux et quatre mois. En moyenne, la durée de cette période s'est allongée de plus de 40 jours après 1968.

	Jf	Jd	Jx	NS	NSA	NSB
Moyenne	42	133	255	90	70	113
Médiane	41	132	260	95	65	119
Ecart-type	29	18.1	18.9	35.7	35.3	19.1
Minimum	- 25	99	208	3	3	80
Maximum	127	176	297	144	138	144
1 ^o quartile	29	122	243	64	49	96
3 ^o quartile	61	146	267	119	96	127

Jf, Jd, Jx : dates d'arrêt et de reprise de l'écoulement, du maximum (en jours depuis le 1er janvier)
NS, NSA, NSB : nombre de jours sans écoulement, toutes années confondues, avant et après 1968.

b/ Apports mensuels

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.514	0.124	0.033	0.103	1.02	8.01	45.17	160	273	146	21.3	2.48
	s	0.497	0.186	0.107	0.282	1.78	14.2	53.9	114	169	114	21.5	2.52
% des apports annuels	m	0.202	0.049	0.006	0.025	0.65	1.64	6.94	24.1	41.4	21.1	3.17	0.35
	s	0.119	0.174	0.021	0.077	2.29	2.23	5.14	10.3	11.4	9.1	3.27	0.26

m : moyenne ; *s* : écart-type

Par la méthode CAH on peut faire une partition de l'ensemble des profils en six classes. L'une d'entre elles regroupe 21 des 31 profils observés, nous l'appellerons son profil moyen "profil modal". Une autre regroupe cinq années : 1953, 1955, 1968, 1973 et 1981. L'année 1958 et l'année 1984 se regroupent en une seule classe. Les années 1976, 1978 et 1983 se distinguent :

Partition de l'ensemble des profils en six classes (% des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (21/31)	0.084	0.021	0.007	0.009	0.13	0.83	4.80	22.0	46.8	21.9	2.94	0.36
1953-1955-1968 1973-1981	0.094	0.020	0.002	0.033	0.17	2.06	10.7	31.0	36.8	16.4	1.92	0.23
1958-1984	1.88	0.487	0.010	0.201	7.38	5.09	6.75	6.89	32.6	35.3	2.78	0.16
1976	0.078	0.001	0	0	1.36	7.97	8.33	20.3	13.4	29.4	17.6	1.18
1978	0.007	0	0	0	0.39	1.19	20.8	37.3	28.0	7.68	3.5	0.29
1983	0.17	0	0	0	0.07	3.93	18.1	60.0	12.1	3.99	0.29	0.01

2.4. Courbes des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s				
	30	60	90	120	150
Maxi	294	482	612	729	842
DCC	211	376	482	600	694
DC1	118	294	411	529	624
DC3	23.5	58.8	100	164	217

2.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observés a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique reliant ceux-ci aux modules annuels et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

Deux lois s'ajustent de façon satisfaisante à cet échantillon la Loi de Goodrich et la Loi des Fuites.

a/ Paramètres des lois ajustées

	Loi de Goodrich	Loi des Fuites
Paramètre d'échelle (m ³ /s)	451	56.1
Paramètre de position (m ³ /s)	0	0
Paramètre de forme	0.464	7.15

Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides				
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Loi de Goodrich	53.3	73.7	114	159	225	380	562	664	751	849	916
Loi des Fuites	42.3	64.8	107	153	217	373	567	686	792	919	1010

2.6. Etiages et tarissement

L'Ouémé se tarit chaque année au niveau de Bétérou. Les caractéristiques de la distribution du nombre de jours sans écoulement ont été précisées au paragraphe 2.3..

Le tarissement se fait de façon relativement lente jusqu'à ce que soit atteint un débit de l'ordre de 0.100 m³/s. Il s'accélère de façon brutale ensuite.

	Moyenne	Ecart-type
TR1	17.2	5.6
Qc	0.080	0.100
TR2	0.7	0.5

TR1 et TR2 : coefficients de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière.

Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.21 - Ouémé à Bétérou
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	-	-	.000	.000	.000	-	37.9	221.	248.	301.	40.6	3.42	(31.7)
1953	.941	.330	.000	.000	1.83	72.9	199.	332.	443.	244.	38.5	3.55	111.
1954	.754	.153	.004	.000	.693	11.3	20.2	164.	240.	158.	21.8	4.16	51.8
1955	1.69	.712	.167	.420	.746	11.1	192.	448.	536.	360.	47.1	6.14	134.
1956	1.24	.395	.466	.216	.181	5.20	8.34	61.9	196.	124.	10.5	1.83	34.2
1957	.203	.000	.000	.000	1.83	16.0	49.9	294.	582.	293.	53.9	10.0	108.
1958	1.14	.295	.005	.000	.608	.418	1.53	1.18	9.01	14.7	1.14	.051	2.51
1959	.000	.000	.010	.000	1.27	.701	32.9	57.9	388.	200.	8.60	.441	57.5
1960	.093	.000	.000	.384	.380	1.23	90.4	271.	548.	346.	34.9	3.44	108.
1961	.573	.339	.000	.493	.075	12.3	50.9	113.	247.	79.6	4.96	.529	42.5
1962	.045	.000	.000	.000	.466	17.2	49.9	270.	411.	207.	44.7	5.65	83.8
1963	1.01	.070	.399	.002	1.60	.579	52.1	355.	566.	435.	88.8	8.82	126.
1964	1.71	.641	.015	.000	.552	3.18	30.6	153.	362.	80.1	10.8	1.96	53.7
1965	.258	.159	.000	.000	.289	3.07	45.3	210.	336.	57.4	4.68	.669	54.8
1966	.154	.000	.000	.000	1.73	8.95	25.8	101.	145.	179.	24.3	1.76	40.6
1967	.459	.144	.006	.000	.190	1.28	44.5	250.	361.	217.	22.4	3.89	75.1
1968	1.04	.207	.000	1.48	3.90	37.1	199.	240.	399.	165.	20.1	3.17	89.2
1969	.789	.052	.000	.000	.197	.580	2.09	129.	324.	146.	61.2	5.77	55.8
1970	1.15	.128	.014	.028	.095	1.21	6.42	109.	299.	150.	9.41	1.44	48.2
1971	.240	.027	.000	.061	.262	3.99	11.4	142.	312.	57.5	3.89	.949	44.4
1972	.120	.000	.000	.000	1.05	5.27	15.0	32.2	71.1	22.7	2.93	.771	12.6
1973	.740	.030	.000	.000	.000	1.85	14.1	317.	292.	113.	8.53	.911	62.4
1974	.153	.000	.000	.000	.000	2.79	35.9	151.	368.	134.	9.19	.916	58.5
1975	.145	.000	.000	.000	.000	.310	42.8	116.	284.	124.	8.63	1.15	48.1
1976	.192	.001	.000	.000	3.35	19.6	20.5	50.0	32.9	72.4	43.3	2.91	20.4
1977	.514	.155	.000	.000	.000	.120	7.90	39.9	128.	50.9	3.04	.383	19.2
1978	.025	.000	.000	.000	1.36	4.17	72.6	130.	97.8	26.8	12.2	1.02	28.8
1979	.151	.000	.000	.000	.000	2.74	47.1	203.	315.	236.	30.8	2.75	69.8
1980	.511	.088	.000	.000	.000	.595	-	-	-	-	-	-	(36.6)
1981	.246	.021	.000	.000	.782	1.21	15.6	92.5	101.	27.1	2.02	.285	20.1
1982	.046	.000	.000	.000	.915	.545	6.12	29.7	62.0	18.4	6.75	.606	10.4
1983	.108	.000	.000	.000	.047	2.48	11.4	37.9	7.62	2.52	.186	.003	5.19
1984	.000	.000	.000	.298	9.43	6.50	6.24	7.29	26.2	16.4	1.33	.112	6.15
Moy.	.514	.123	.032	.103	1.03	8.02	45.2	160.	273.	146.	21.3	2.48	54.3

Tableau T.H.I.22 - Ouémé à Bétérou

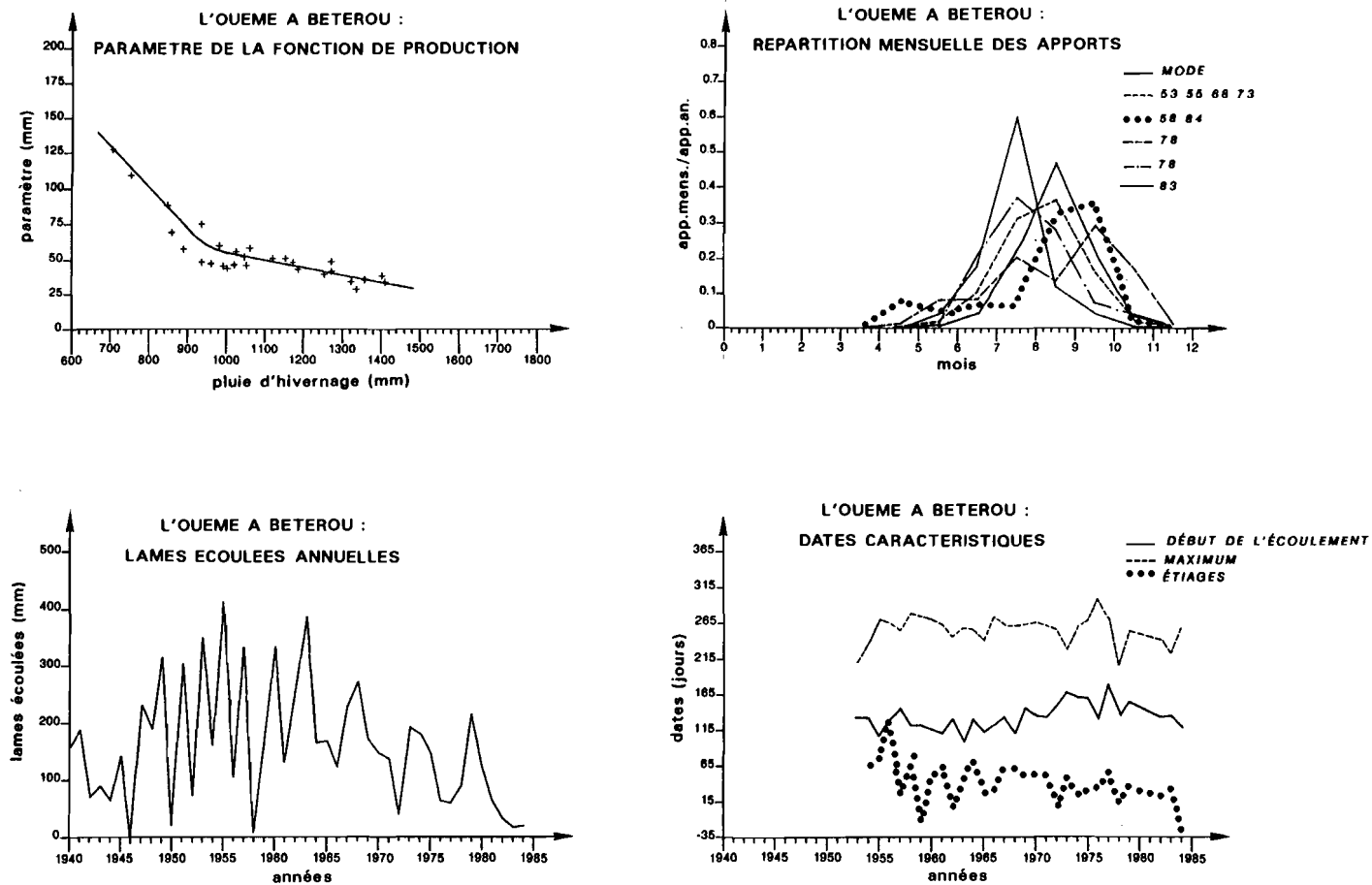
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	.000	.000	.000	.000	.427	8.01	170.	486.	597.	717.	729.
1954	.000	.000	.000	.000	.119	4.79	35.9	264.	337.	408.	409.
1955	.000	.000	.000	.013	.792	4.92	222.	561.	608.	658.	667.
1956	.000	.000	.058	.182	.358	1.56	26.2	172.	234.	348.	354.
1957	.000	.000	.000	.000	.000	11.4	102.	516.	637.	745.	530.
1958	.000	.000	.000	.000	.061	.599	1.48	12.5	19.9	40.8	42.5
1959	-	.000	.000	.000	.000	.675	28.1	280.	538.	581.	-
1960	-	.000	.000	.000	.005	1.70	124.	532.	602.	611.	-
1961	-	.000	.000	.000	.153	.891	51.2	181.	301.	365.	-
1962	.000	.000	.000	.000	.000	4.25	106.	316.	519.	603.	603.
1963	.000	.000	.000	.000	.313	1.73	144.	546.	617.	776.	787.
1964	.000	.000	.000	.000	.459	2.41	36.0	219.	445.	518.	520.
1965	.000	.000	.000	.000	.093	.881	45.4	326.	399.	440.	444.
1966	.000	.000	.000	.000	.000	4.65	39.7	165.	263.	398.	399.
1967	.000	.000	.000	.000	.106	2.38	89.7	334.	391.	511.	513.
1968	.000	.000	.000	.000	.688	6.40	152.0	351.	454.	557.	561.
1969	.000	.000	.000	.000	.000	.866	60.8	293.	355.	382.	389.
1970	.000	.000	.000	.000	.028	1.04	27.8	220.	399.	453.	454.
1971	.000	.000	.000	.000	.030	1.27	23.4	237.	358.	472.	473.
1972	.000	.000	.000	.000	.000	1.12	17.3	46.6	76.7	135.	136.
1973	.000	.000	.000	.000	.000	.981	29.9	290.	403.	565.	567.
1974	.000	.000	.000	.000	.000	.920	57.4	267.	407.	471.	500.
1975	.000	.000	.000	.000	.000	.541	55.6	227.	310.	391.	399.
1976	.000	.000	.000	.000	.000	5.00	29.1	65.9	110.	132.	133.
1977	.000	.000	.000	.000	.000	.489	15.5	82.0	148.	198.	203.
1978	-	.000	.000	.000	.000	1.86	27.5	120.	164.	207.	-
1979	.000	.000	.000	.000	.000	2.05	116.	313.	344.	422.	428.
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	.000	.000	.000	.000	.000	.635	9.75	85.1	143.	235.	246.
1982	.000	.000	.000	.000	.000	.635	11.2	47.4	75.5	116.	118.
1983	-	.000	.000	.000	.000	.120	3.90	16.4	56.2	95.4	-
1984	-	.000	.000	.000	.000	2.78	7.83	22.7	29.5	52.6	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.16 - L'OUEME A BETEROU



3. La Beffa à Vossa (1870 km²)

3.1. Observations (1953-1960)

Nous ne possédons pour cette station que de huit années d'observations pas toujours complètes. L'étalonnage est en plus très imprécis en hautes eaux. Les échelles ont été submergées plusieurs fois (en 1955 et 1957). Ces raisons nous interdisent toute analyse des données collectées à cette station.

3.2. Tariessement

A partir de la courbe de décrue observée en 1957, nous avons déterminé un coefficient de tariessement de 10,5 jours.

Tableau T.H.I.23 - Beffa à Vossa
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1953	-	-	-	-	.024	9.38	16.6	20.2	21.3	30.9	6.20	.272	-
1954	.017	.001	.000	.018	.017	.010	.002	.050	1.59	23.1	9.43	.528	2.90
1955	.012	.004	.000	.000	.000	1.92	-	-	41.6	40.1	7.62	.566	-
1956	.024	.003	.024	.022	.000	.003	.087	.465	1.49	3.02	.141	.010	.441
1957	.000	.000	.000	.000	.215	4.59	10.9	26.5	+	+	21.8	3.89	-
1958	.268	.016	.002	.678	.429	.387	.048	.000	.005	.501	.048	.003	.199
1959	.000	.000	.000	.008	.018	.051	.117	2.45	+	33.1	3.02	.092	-
1960	.002	.000	.000	.000	.000	.000	12.4	31.7	50.6	32.7	10.4	2.47	11.7
Moy.	.046	.003	.003	.104	.087	2.04	5.74	11.6	19.4	23.4	7.33	.979	3.81

Tableau T.H.I.24 - Beffa à Vossa
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1953	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	.000	.000	.000	.000	.001	.011	.447	12.8	28.2	58.8	62.5
1955	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93.8
1956	.000	.000	.000	.000	.007	.055	.263	2.05	4.55	6.90	7.06
1957	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	.000	.000	.000	.000	.003	.052	.206	.667	1.17	4.74	6.58
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	.000	.000	.000	.000	.688	17.0	42.7	55.5	82.8	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

4. L'Ouémé au Pont de Save (23 600 km²)

4.1. Observations (1951-1984)

Les relevés faits à cette station sont de bonne qualité et les étalonnages y sont précis. 32 années complètes ont été observées.

4.2. Apports

4.2.1. Bassin intermédiaire de l'Ouémé entre Bétérou et Save (13 274 km²)

a/ Fonction de production

Pluie d'hivernage (mm) (Avril-Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Paramètre (mm)	175	150	127	106	82	65	57	50	47	47

b/ Analyses statistiques

L'échantillon des modules obtenu par différence entre ceux observés à Save et à Bétérou, a été complété à l'aide du modèle hydropluviométrique en utilisant la fonction de production décrite ci-dessus.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à la distribution des modules et des lames écoulées.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulée
Echelle	13.6 m ³ /s	32.3 mm
Forme	3.90 mm	3.90

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(0.0)	(0)	4.47	10.4	20.1	46.1	82.1	105	125	151	169	
Lame écoulée (mm)	(0.0)	(0)	10.6	24.7	47.7	110	195	249	298	359	402	

4.2.2. Apports à Save

L'échantillon des modules observé à Save a été complété à partir de ceux de Bétérou et de ceux estimés par le modèle hydropluviométrique appliqué au bassin intermédiaire entre Bétérou et Save

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux aux échantillons des modules et des lames écoulées ainsi reconstitués.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	30.7 m ³ /s	23.0 mm
Paramètre de forme	4.64	4.64

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	30	100	
Module (m³/s)	0.18	4.7	14.7	26.9	45.9	95.0	161	201	238	284	316	
Lame écoulée (mm)	0.24	6.30	19.6	36.0	61.4	127	215	269	319	379	424	

4.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx	NSA	NSB
Moyenne	87	127	251	6.1	75
Médiane	82	128	254	2	81
Ecart-type	35	34	20	9.1	32
Minimum	20	74	208	1	10
Maximum	179	192	292	26	121
1 ^o quartile	65	99	243	1	46
3 ^o quartile	115	146	262	14	90

Jf, Jd, Jx : dates (en jour depuis le 1^{er} janvier) d'apparition de l'étiage, de la reprise de l'écoulement, du maximum.
NSA, NSB : durée de l'étiage avant et après 1968.

Une année sur deux, l'étiage survient entre le 6 mars et le 25 avril, la reprise de l'écoulement entre le 9 avril et le 26 mai.

Avant 1968 il était rare que l'Ouémé s'arrête de couler (4 fois en 17 ans) : après 68, c'est arrivé chaque année. Cela s'est accompagné d'un rallongement de la durée des étiages de plus de deux mois en moyenne.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.99	0.215	0.205	0.348	1.14	16.9	97.3	328	539	323	59.1	5.85
	s	1.28	0.256	0.520	0.631	2.60	32.1	121	248	328	221	57.8	7.1
% des apports annuels	m	0.46	0.067	0.045	0.085	0.196	1.30	5.89	23.4	40.2	23.5	4.10	0.36
	s	2.2	0.28	0.146	0.29	0.46	1.8	4.9	9.7	12.5	8.97	3.99	0.32

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH on peut faire une partition de l'ensemble des profils observés en cinq classes. Une de ces classes regroupe 28 des 32 profils observés, nous considérerons son profil moyen comme étant le profil modal de l'ensemble. Les années : 1958, 1959, 1965 et 1983 se distinguent.

Partition de l'ensemble des profils en cinq classes (% des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (28/32)	0.084	0.021	0.028	0.031	0.113	1.32	5.83	22.9	40.8	23.5	4.50	0.38
1958	12.4	1.62	0.702	1.66	1.85	2.57	1.37	1.91	17.5	51.9	4.8	0.82
1959	0.005	0.0002	0.000	0.124	0.228	0.118	4.47	7.40	54.9	30.3	2.15	0.19
1965	0.036	0.009	0.00	0.017	0.010	0.43	11.1	35.5	41.2	10.1	0.87	0.057
1983	0.041	0	0	0.07	1.14	3.02	8.03	60.3	20.2	5.7	0.31	0.011

4.4. Courbes des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s					
	50	100	150	200	250	300
Maxi	520	900	1140	1360	1550	1720
DCC	360	640	840	1020	1220	1360
DC1	250	480	680	860	1020	1180
DC3	42	100	200	300	430	600

4.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observée a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique liant ceux-ci aux modules et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à l'échantillon ainsi reconstitué :

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

Paramètre d'échelle (m ³ /s)	= 124
Paramètre de forme	= 6.63

Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	70.7	116	201	294	430	757	1170	1430	1650	1930	2120	

4.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

Avant 1968, il était rare que l'Ouémé s'arrête de couler. Cela n'était arrivé que quatre fois en 1959, 1962, 1965 et 1966. Les autres années, il restait toujours un débit d'étiage extrêmement faible compris une fois sur deux entre 8 et 4 l/s.

Après 1968, l'écoulement s'est interrompu chaque année, les caractéristiques de la distribution du nombre de jours sans écoulement ont été données au paragraphe 4.3..

b/ Tarissement

Il n'y a pas lieu de distinguer deux périodes dans le processus de tarissement de l'Ouémé à Save.

	Moyenne	Ecart-type
TR =	9.8	4.6

TR = coefficient de tarissement

Tableau T.H.I.25 - Ouémé à Save
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1951	-	-	-	.000	.000	0.71	32.7	354.	619.	480.	255.	22.9	(132.)
1952	4.03	.873	.447	.062	1.41	.277	75.6	422.	413.	626.	94.2	7.47	137.
1953	1.65	.563	.500	.170	.007	139.	388.	645.	713.	510.	82.1	7.59	207.
1954	1.79	.605	.120	.005	.033	13.4	33.9	176.	302.	374.	71.5	8.10	81.8
1955	1.05	.382	.214	.226	.197	71.3	516.	865.	914.	696.	91.1	12.7	264.
1956	3.22	.576	2.67	.728	.145	.023	8.86	90.8	280.	187.	16.5	2.71	49.4
1957	.646	.102	.044	.246	4.07	87.2	167.	591.	1200.	623.	149.	30.4	238.
1958	5.46	.711	.309	.731	.816	1.13	.603	.840	7.70	22.8	2.12	.360	3.63
1959	.073	.003	.002	1.68	3.08	1.51	60.4	100.	742.	410.	29.0	2.58	113.
1960	.432	.160	.006	.178	.757	5.00	220.	526.	1060.	620.	104.	9.64	212.
1961	1.58	.375	.040	2.66	.591	1.18	147.	200.	372.	193.	14.1	.865	77.8
1962	.198	.007	.087	.442	.393	60.2	152.	645.	820.	571.	118.	15.1	199.
1963	1.11	.307	.074	.018	.064	6.14	232.	970.	1200.	872.	176.	17.3	290.
1964	2.88	.661	.218	.096	.018	.437	16.5	222.	703.	185.	23.1	1.46	96.3
1965	.541	.124	.004	.248	.147	6.42	165.	527.	612.	151.	13.0	.847	123.
1966	.223	.045	.001	.882	.297	10.1	39.3	306.	378.	327.	66.6	4.37	94.4
1967	.570	.151	.096	1.40	.529	3.11	73.2	519.	796.	424.	48.8	8.98	156.
1968	1.83	.457	.130	.016	4.37	64.7	304.	554.	939.	432.	65.4	6.47	198.
1969	.564	.173	.042	.005	.000	.001	11.0	158.	622.	295.	122.	9.41	102.
1970	.892	.301	.171	.004	5.70	3.14	22.0	220.	586.	312.	18.2	1.19	97.5
1971	.272	.027	.001	.000	.229	3.53	13.6	242.	572.	133.	7.78	.574	81.1
1972	.122	.004	.000	.000	.181	10.3	13.1	44.6	124.	30.4	5.70	.410	19.1
1973	.066	.001	.000	.000	.121	.601	19.0	420.	476.	281.	28.3	.924	102.
1974	.196	.011	.000	.000	.000	.000	110.	462.	800.	340.	26.6	1.31	145.
1975	.207	.008	.000	.000	.000	.000	135.	261.	464.	350.	25.0	1.59	103.
1976	.340	.026	.005	.000	.000	27.8	32.0	99.3	39.1	117.	93.3	5.84	34.6
1977	.654	.079	.001	.000	.000	.000	.017	67.7	236.	137.	8.92	.502	37.6
1978	.067	.000	1.37	1.61	13.3	33.6	111.	205.	246.	131.	48.3	2.01	66.1
1979	.274	.041	.000	.000	.000	2.37	95.4	519.	719.	465.	65.4	4.20	156.
1980	.557	.100	.001	.000	.000	.478	1.24	182.	457.	254.	63.9	4.19	80.3
1981	.266	.016	.000	.000	.001	.947	9.60	146.	248.	66.1	7.35	.359	39.9
1982	.002	.000	.000	.030	.304	.236	.885	37.2	111.	29.5	8.49	.529	15.7
1983	.032	.000	.000	.054	.912	2.41	6.41	48.2	16.1	4.56	.248	.008	6.58
Moy.	.994	.215	.205	.348	1.14	16.9	97.3	328.	539.	323.	59.1	5.85	113.

Tableau T.H.I.26 - Ouémé à Save

Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	.013	.013	.019	.059	.460	4.26	235.	528.	729.	977.	986.
1953	.004	.004	.006	.008	.480	14.1	350.	806.	1050.	1240.	1250.
1954	.002	.002	.004	.004	.244	8.64	70.9	386.	447.	620.	634.
1955	.019	.029	.052	.120	.297	14.4	555.	957.	1150.	1410.	1450.
1956	.007	.007	.009	.030	.444	2.55	33.4	247.	365.	528.	563.
1957	.003	.003	.005	.008	.232	43.1	292.	924.	1330.	1800.	1860.
1958	.029	.050	.091	.175	.470	.822	1.99	18.7	26.0	43.5	45.9
1959	.000	.000	.000	.000	.315	2.52	72.9	484.	1010.	1300.	1370.
1960	.003	.003	.005	.006	.339	5.64	271.	970.	1140.	1310.	1320.
1961	.003	.004	.007	.091	.530	1.69	125.	325.	500.	594.	604.
1962	.000	.000	.000	.005	.275	12.5	303.	793.	1000.	1110.	1340.
1963	.002	.002	.004	.009	.134	7.68	559.	1100.	1390.	1740.	1860.
1964	.008	.008	.008	.040	.210	1.45	58.4	447.	827.	1060.	1060.
1965	.000	.000	.000	.004	.102	.795	149.	580.	711.	877.	892.
1966	.000	.000	.000	.001	.155	4.51	101.	379.	593.	810.	888.
1967	.003	.003	.005	.053	.474	3.17	178.	671.	963.	1170.	1170.
1968	-	.000	.000	.038	.587	8.44	322.	760.	1070.	1270.	-
1969	.000	.000	.000	.000	.007	.788	107.	474.	620.	1040.	1080.
1970	.000	.000	.000	.002	.273	1.13	67.1	441.	738.	985.	1020.
1971	.000	.000	.000	.000	.041	.661	36.9	427.	636.	908.	1090.
1972	.000	.000	.000	.000	.001	.756	24.6	64.7	159.	253.	257.
1973	.000	.000	.000	.000	.000	.717	71.2	497.	637.	783.	799.
1974	.000	.000	.000	.000	.000	.254	152.	650.	916.	1180.	1210.
1975	.000	.000	.000	.000	.000	.294	168.	446.	595.	766.	789.
1976	.000	.000	.000	.000	.007	4.38	50.0	122.	217.	281.	290.
1977	.000	.000	.000	.000	.000	.212	23.2	182.	287.	386.	398.
1978	.000	.000	.000	.000	.318	11.4	117.	261.	318.	409.	433.
1979	.000	.000	.000	.000	.002	1.12	239.	645.	897.	1040.	1070.
1980	.000	.000	.000	.000	.001	.513	74.1	340.	535.	669.	685.
1981	.000	.000	.000	.000	.002	.345	19.1	212.	280.	336.	347.
1982	.000	.000	.000	.000	.002	.212	14.2	66.2	140.	201.	208.
1983	.000	.000	.000	.000	.002	.209	5.19	23.9	53.9	102.	107.

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

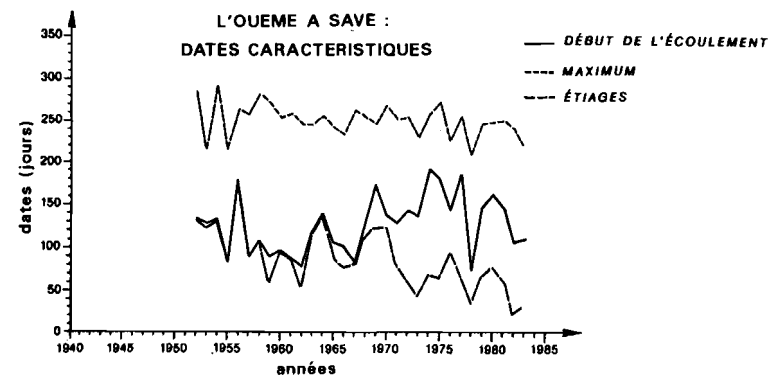
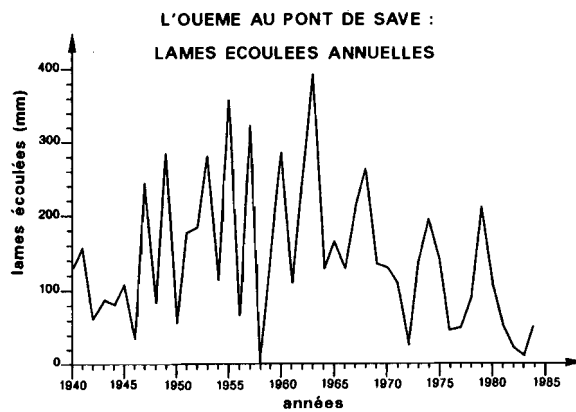
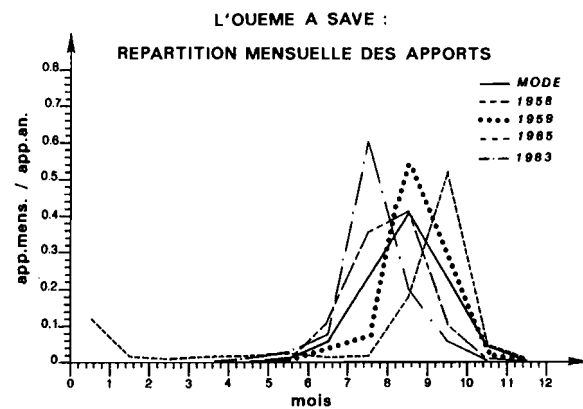
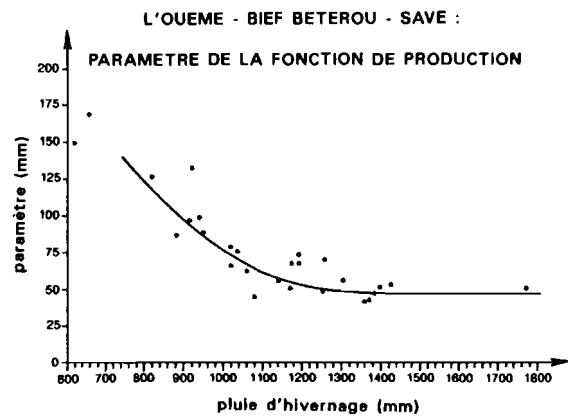
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.17 - L'OUEME A SAVE



5. L'Okpara à Nanon (2 067 km²)

5.1. Observations (1952-1969)

Les données présentées dans les tableaux ci-joints proviennent de deux stations différentes :

Jusqu'au 10 octobre 1958 la station était installée près de la ferme de Bassa.

A partir du 1er octobre 1958, elle se situait au niveau d'une petite retenue à l'aval de l'ancienne station, le zéro de l'échelle se trouvant à la crête du déversoir.

Les étalonnages à chacune des stations sont de bonne qualité.

L'hétérogénéité de la série nous interdit toute analyse statistique.

5.2. Apports

Les apports à Nanon sont corrélés de façon relativement serrée avec ceux observés à Wéwé sur la Wéwé, à Bétérou sur l'Ouémé, à Kaboua sur l'Okpara.

	R^2	a
Wéwé	0.86	0.67
Bétérou	0.92	0.85
Kaboua	0.92	1.24

R^2 : coefficient de corrélation

a : rapport entre les lames écoulées observées à Nanon et à la station considérée.

5.3. Tariessement

Le coefficient de tarissement déterminé lors de la décrue de 1957, bien observée, est de 15.3 jours. Dès que le débit de 50 l/s est atteint le tarissement s'accélère et la rivière se tarit rapidement au bout de quelques jours.

Tableau T.H.I.27 - Okpara à Nanon
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	-	-	-	-	-	1.56	15.9	46.5	38.1	85.0	7.70	.709	-
1953	.223	.017	.000	.000	.247	4.05	14.7	42.1	74.6	55.3	8.20	.406	16.7
1954	.065	.001	.000	.000	.000	.000	1.45	26.5	54.7	54.0	6.06	.663	12.0
1955	.105	.001	.000	.000	.000	2.13	29.2	54.3	75.7	72.5	12.1	1.60	20.6
1956	.309	.047	.000	.000	.000	.000	.000	.379	25.4	39.3	3.80	.391	5.80
1957	.002	.000	.000	.000	.000	5.21	13.7	60.4	110.	52.8	14.5	4.88	21.8
1958	.973	.141	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.497	7.58	.434	.006	.803
1959	.015	.015	.015	.015	.015	.015	1.08	11.4	90.8	21.3	.015	.015	10.4
1960	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.015	12.7	44.4	66.2	2.96	.015	10.5
1961	.015	.015	.015	.015	.015	.015	4.66	10.9	41.0	14.1	2.71	.150	6.13
1962	.015	.015	.015	.015	.015	.665	8.26	32.4	115.	102.	11.0	3.89	22.8
1963	.502	.015	.015	.015	.015	.015	1.40	40.5	77.3	107.	14.5	1.87	20.3
1964	.235	.027	.015	.015	.015	.015	1.12	6.00	25.7	8.58	2.67	.183	3.72
1965	.015	.015	.015	.015	.015	.467	3.46	22.7	55.0	9.57	1.79	.051	7.76
1966	.015	.015	.015	.015	.015	.015	.842	7.12	19.8	28.9	3.09	.085	4.99
1967	.015	.015	.015	.015	.015	.038	.238	20.6	65.8	65.4	2.25	.578	12.9
1968	.020	.015	.015	.015	.073	2.22	14.0	50.9	161.	41.1	6.31	4.36	23.3
1969	.087	.015	.015	.015	.015	.226	.456	15.1	95.4	27.6	10.9	3.17	12.8
Moy.	0.154	0.022	0.010	0.010	0.027	0.925	6.14	25.6	65.0	47.7	6.17	1.28	12.9

Tableau T.H.I.28 - Okpara à Nanon
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	.000	.000	.000	.000	.000	.658	23.9	76.9	85.3	92.6	93.1
1954	.000	.000	.000	.000	.000	.072	7.07	59.4	85.8	105.	107.
1955	.000	.000	.000	.000	.000	.850	39.4	82.6	95.1	111.	111.
1956	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.26	36.1	56.6	67.1	67.7
1957	-	.000	.000	.000	.000	3.67	23.8	97.4	121.	124.	-
1958	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.263	2.28	10.5	14.4	14.5
1959	-	.015	.015	.015	.015	.015	.726	47.2	104.	165.	-
1960	-	.015	.015	.015	.015	.015	1.13	53.5	79.8	88.1	-
1961	-	.015	.015	.015	.015	.015	6.65	19.0	58.9	73.6	-
1962	-	.015	.015	.015	.015	2.13	16.5	110.	132.	202.	-
1963	-	.015	.015	.015	.015	.444	17.2	95.3	117.	164.	-
1964	-	.015	.015	.015	.015	.050	5.19	12.1	36.1	47.4	-
1965	-	.015	.015	.015	.015	.015	6.10	38.2	62.2	68.9	-
1966	-	.015	.015	.015	.015	.015	5.18	21.8	41.3	55.1	-
1967	-	.015	.015	.015	.015	.055	3.69	60.4	114.	127.	-
1968	-	.015	.015	.015	.015	3.40	15.8	86.2	199.	240.	-
1969	-	.015	.015	.015	.015	.215	7.24	62.5	97.9	183.	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

6. L'Okpara à Kaboua (9 600 km²)

6.1. Observations (1952-1984)

Les relevés faits à cette station sont de bonne qualité. Cependant, il n'y a qu'un petit nombre (14) de jaugeages réalisés à cette station. Bien que la station paraisse stable, cela laisse un doute sur la précision des débits.

33 années complètes ont été observées à cette station.

6.2. Apports

a/ Corrélation entre les lames écoulées observées à Kaboua et celles observées sur l'Ouémé à Save

$$LKB = 0.71 LSave \quad R^2 = 0.95$$

LKB = lame écoulee à Kaboua (mm)

LSave = lame écoulee à Save (mm)

b/ Paramètre de la fonction de production

Pluie d'hivernage (mm)(Avril-Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Paramètre (mm)	175	133	107	90	79	69	51	50	47	47

c/ Analyse statistique

Les séries observées des modules et des lames écoulées ont été étendues à l'aide du modèle hydropluviométrique.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à ces échantillons.

	Module	Lame écoulee
Paramètre d'échelle	7.520 m ³ /s	24.7 mm
Paramètre de forme	4.00	4.00

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides				
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Module (m³/s)	(0)	0.18	2.78	6.16	11.6	26.3	46.3	59.0	70.5	84.7	94.9
Lame écoulée (mm)	(0)	0.594	9.15	20.2	38.2	86.3	152	194	232	278	311

6.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx	NS	NSA	NSB
Moyenne	60	133	272	72	37	107
Médiane	56	130	277	73	35	103
Ecart-type	43	38.5	21	51	34	37
Minimum	- 3	71	208	0	0	36
Maximum	209	210	304	169	100	169
1 ^o quartile	33	100	264	35	1	82
3 ^o quartile	77	158	282	108	60	136

Jf, Jd, Jx : dates d'arrêt de l'écoulement et de la reprise de l'écoulement, du maximum (en jours depuis le 1er janvier)

NS, NSA, NSB : nombre de jours sans écoulement, toutes années confondues, avant et après 1968.

Une année sur deux l'écoulement s'arrête entre le 2 février et le 18 mars ; il reprend entre le 10 avril et le 7 juin ; le nombre de jours sans écoulement est compris entre un et trois mois.

Après 1968, les étiages sont bien plus marqués, le nombre de jours sans écoulement augmente en moyenne de 70 jours.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.579	0.090	0.079	0.097	0.466	3.78	17.94	56.6	127	124	30.8	3.21
	s	0.76	0.133	0.166	0.222	1.06	12.1	26.7	74.0	108	91.4	32.2	4.15
% des apports annuels	m	1.48	0.198	0.052	0.128	0.672	1.41	3.82	11.6	34.4	36.5	8.39	0.84
	s	7.3	0.99	0.159	0.456	2.35	3.46	4.62	7.54	13.8	9.90	8.55	0.67

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH on peut faire une partition en six classes de profils mensuels.

Une classe regroupe 26 des 33 profils, les années 1955 et 1961 d'une part, 1958 et 1976 d'autre part forment une classe, les années 1952, 1963 et 1984 se distinguent.

Partition de l'ensemble des profils en six classes (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (26/33)	0.211	0.025	0.029	0.053	0.73	1.42	2.63	10.5	38.5	37.4	7.3	0.78
1955-1961	0.138	0.045	0.019	0.028	0.06	0.39	14.9	26.0	28.9	24.9	3.45	0.32
1958-1976	21.3	2.90	0.34	1.24	1.30	2.56	1.99	1.09	0.9	34.2	29.4	2.37
1952	0.37	0.046	0.009	0.002	0.013	0.012	2.70	16.7	16.1	52.4	9.86	0.99
1963	0.12	0.013	0.04	0.005	0.005	0.040	4.25	26.0	29.2	29.9	8.9	0.77
1984	0	0	0.16	0.311	0.392	3.79	16.9	13.24	30.7	31.9	1.96	0.161

6.4. Débits classés

	Module annuel en m ³ /s				
	25	50	75	100	125
Maxi	235	360	456	528	608
DCC	160	272	368	440	520
DC1	120	216	312	384	456
DC3	20	64	128	208	305

6.5. Débits maximaux m^3/s

La série des débits maximaux observée a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique reliant ceux-ci aux modules et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à l'échantillon ainsi reconstitué.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

Paramètre d'échelle (m^3/s)	= 39.7
Paramètre de forme	= 5.79

Valeurs caractéristiques (m^3/s)

	Années sèches					Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Débits maximaux	(12.0)	23.7	47.0	73.5	113	209	335	412	481	566	626

6.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

L'Okpara s'arrête de couler chaque année. Les caractéristiques de la distribution des jours sans écoulement, toutes années confondues, avant et après 1968 ont été précisées au paragraphe 6.3..

b/ Tarissement

	Moyenne	Ecart-type
TR1	12.1	2.2
Qc	0.030	0.060
TR2	2.4	0.59

TR1 et TR2 = coefficients de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière.

Qc = valeur en m^3/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.29 - Okpara à Kaboua
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1951	-	-	-	.000	.000	.000	.000	19.9	47.8	140.	96.6	6.18	-
1952	1.79	.222	.043	.008	.065	.055	13.1	81.2	78.0	254.	47.8	4.80	40.1
1953	1.64	.518	.177	.024	.240	69.4	60.7	131.	190.	224.	54.2	4.66	61.4
1954	1.63	.236	.008	.000	.002	.327	.478	16.7	74.8	183.	53.0	5.11	27.9
1955	.825	.248	.033	.017	.881	4.87	113.	241.	237.	211.	40.6	4.05	71.1
1956	.885	.150	.726	.439	.062	.032	.954	.560	32.5	71.4	5.32	1.78	9.57
1957	.235	.030	.000	.021	3.81	17.8	62.9	129.	385.	287.	94.4	20.2	83.4
1958	3.15	.425	.051	.185	.188	.159	.052	.000	.000	2.28	.758	.113	.613
1959	.000	.000	.214	.050	.028	.081	2.69	37.7	233.	142.	14.6	1.76	36.0
1960	.202	.008	.250	.252	.150	.704	52.2	146.	257.	207.	51.3	4.93	60.0
1961	.648	.217	.124	.192	.063	.760	59.8	85.5	108.	91.0	7.79	.606	29.6
1962	.102	.007	.000	.089	.041	1.83	32.5	121.	284.	320.	93.8	12.9	72.2
1963	1.55	.170	.505	.061	.066	.507	53.6	328.	368.	377.	113.	9.74	104.
1964	2.02	.302	.009	.000	.039	.075	.546	4.98	81.1	53.2	6.01	.546	12.4
1965	.027	.000	.000	.000	.252	.380	6.00	70.2	162.	70.1	8.12	.588	26.5
1966	.071	.007	.000	.000	.185	1.47	3.91	34.8	93.8	107.	31.8	2.61	23.0
1967	.225	.034	.038	.152	.022	.297	.234	28.4	128.	141.	25.6	3.00	27.3
1968	.725	.059	.043	.046	.128	3.82	30.3	144.	373.	188.	31.1	3.18	64.5
1969	.343	.025	.000	.000	.000	.000	.064	9.22	130.	77.0	42.1	4.03	21.9
1970	.399	.095	.002	.023	1.57	2.96	3.72	17.5	75.1	70.1	4.46	.391	14.7
1971	.045	.000	.000	.000	.000	.103	1.32	16.6	115.	62.3	4.65	.415	16.7
1972	.038	.000	.000	.000	.000	.001	.167	.622	1.92	5.44	2.03	.149	.864
1973	.010	.000	.000	.000	.000	.000	.729	11.0	72.5	96.5	11.2	.794	16.1
1974	.067	.000	.000	.000	.000	.000	4.06	26.8	124.	85.9	8.06	.745	20.8
1975	.067	.000	.000	.000	.000	.162	26.2	42.7	54.5	119.	15.0	2.14	21.7
1976	.288	.018	.000	.000	.121	4.81	5.28	3.50	2.94	60.9	78.6	5.20	13.5
1977	1.18	.056	.000	.000	.488	.112	.253	24.0	53.3	60.3	4.16	.405	12.0
1978	.038	.000	.000	1.05	4.77	3.70	8.41	11.8	36.5	39.9	12.8	1.58	10.1
1979	.257	.067	.000	.000	.005	1.13	21.0	70.3	215.	160.	25.3	1.83	41.2
1980	.262	.030	.000	.000	.000	1.48	.636	10.6	115.	134.	44.5	3.44	25.8
1981	.310	.037	.000	.000	.000	.955	7.37	29.2	87.5	56.1	5.32	.355	15.6
1982	.031	.000	.000	.006	.182	.123	.143	.788	37.2	43.6	7.46	.592	7.51
1983	.052	.000	.000	.000	1.61	2.21	.211	1.11	3.47	3.30	.357	.053	1.03
1984	.000	.000	.373	.692	.871	8.42	37.7	29.4	68.1	70.7	4.34	.358	18.4
Moy.	.579	.089	.078	.097	.466	3.79	18.0	56.6	127.	124.	30.8	3.21	30.5

Tableau T.H.L30 - Okpara à Kaboua : Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	.000	.000	.000	.002	.048	2.11	64.0	134.	327.	377.	381.
1953	-	.000	.000	.000	.306	7.81	96.8	211.	258.	283.	-
1954	.000	.000	.000	.000	.027	.824	27.5	123.	215.	263.	271.
1955	.000	.001	.010	.020	.217	3.43	149.	255.	285.	391.	415.
1956	.000	.000	.004	.027	.065	.570	2.34	65.7	97.5	111.	114.
1957	.000	.000	.000	.000	.086	13.2	100.	322.	436.	537.	545.
1958	.000	.000	.000	.000	.038	.135	.361	2.86	4.63	5.30	5.30
1959	.000	.000	.000	.000	.006	.166	13.8	187.	300.	369.	378.
1960	.000	.000	.000	.000	.126	2.23	88.7	256.	284.	328.	334.
1961	.000	.000	.000	.021	.133	.770	49.2	132.	157.	207.	234.
1962	.000	.000	.000	.000	.033	4.15	101.	294.	372.	465.	474.
1963	.004	.006	.033	.048	.149	3.51	247.	379.	440.	512.	524.
1964	.000	.000	.000	.000	.039	.424	5.24	74.8	112.	130.	131.
1965	-	.000	.000	.000	.032	.321	21.8	124.	174.	215.	-
1966	-	.000	.000	.000	.039	1.92	23.3	106.	115.	127.	-
1967	.000	.000	.000	.000	.040	.219	12.2	142.	174.	188.	189.
1968	.000	.000	.004	.015	.076	1.86	80.9	290.	415.	455.	457.
1969	-	.000	.000	.000	.055	.200	12.3	102.	133.	224.	-
1970	.000	.000	.000	.000	.120	1.13	8.70	60.9	133.	224.	237.
1971	-	.000	.000	.000	.032	.162	5.27	87.1	143.	191.	-
1972	-	.000	.000	.000	.057	.100	.714	4.15	6.17	8.16	-
1973	-	.000	.000	.000	.000	.047	6.38	89.9	127.	185.	-
1974	-	.000	.000	.000	.000	.160	15.6	106.	166.	199.	-
1975	-	.000	.000	.000	.000	.263	32.6	78.7	124.	234.	-
1976	-	.000	.000	.000	.000	1.86	6.15	59.4	129.	186.	-
1977	-	.000	.000	.000	.096	.194	6.77	59.0	76.2	87.7	-
1978	-	.000	.000	.000	.000	3.87	12.2	39.1	52.2	59.2	-
1979	.000	.000	.000	.000	.000	1.32	50.6	190.	262.	300.	303.
1980	-	.000	.000	.000	.000	.494	17.5	118.	163.	203.	-
1981	-	.000	.000	.000	.000	.300	11.8	79.5	100.	121.	-
1982	-	.000	.000	.000	.000	.096	2.79	40.3	52.0	70.3	-
1983	-	.000	.000	.000	.000	.176	1.92	3.79	4.69	5.74	-
1984	-	.000	.000	.000	.151	1.93	24.5	65.9	99.4	147.	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

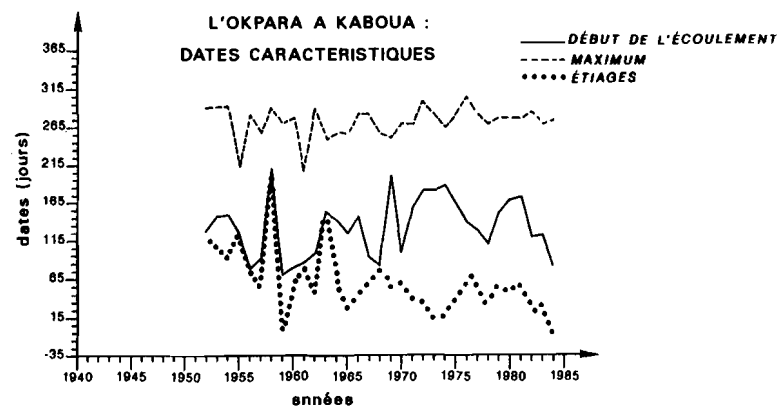
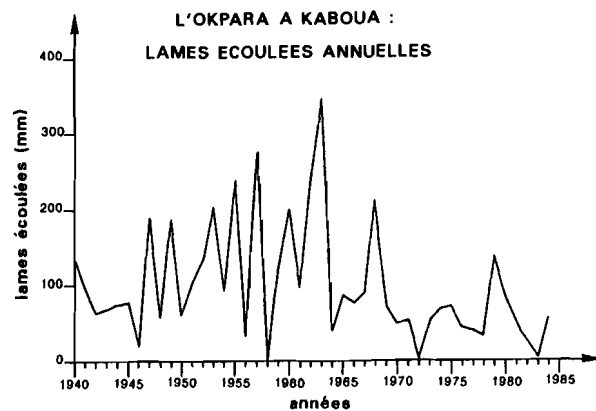
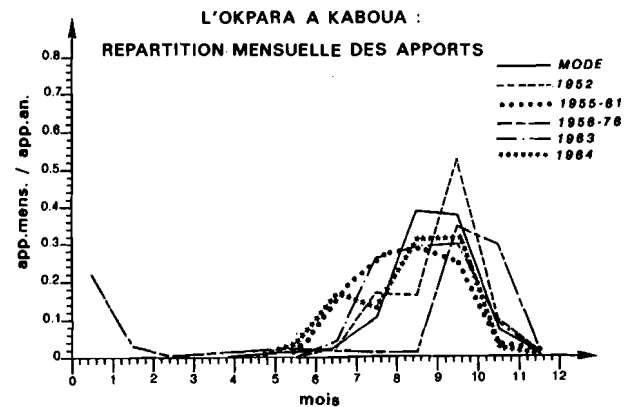
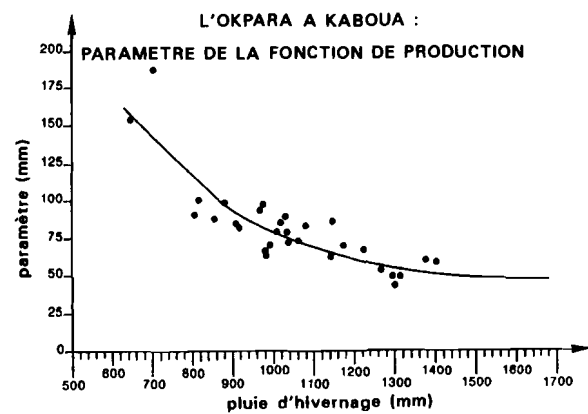
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.18 - L'OKPARA A KABOUA



7. L'Ouémé à Sagon (37 980 km²)

7.1. Observations

La station a été plusieurs fois endommagée lors des crues et seules 22 années ont pu être complètement observées.

Le lit de l'Ouémé à cet endroit est très instable, il y a donc de fréquents détarages. 10 courbes d'étalonnage successives ont été nécessaires pour traduire en débit les cotes relevées au cours des 33 années d'observations.

7.2. Apports

7.2.1. Apports sur le bassin intermédiaire

Si on fait les sommes des modules observés à Kaboua sur l'Okpara d'une part et à Save sur l'Ouémé d'autre part et si on les compare aux modules observés les mêmes années à Sagon, on constate pour les fortes hydraulicités, un déficit d'écoulement important : 4.1 m³/s en 1955, 32 m³/s en 1957, 62 m³/s en 1963.

Pour ces années là, les hydrogrammes présentent une allure tronquée : les débits croissent rapidement jusqu'à une valeur de 1 000 m³/s environ, à partir de laquelle ils se stabilisent. On trouvera, à titre d'exemple sur la figure H.I.19a l'hydrogramme observé en 1963 à Sagon.

Il se produirait donc, entre la confluence de l'Ouémé et de l'Okpara d'une part, et Sagon d'autre part, des pertes le long du fleuve. Ceci serait à mettre en rapport avec la chute brutale de la pente du lit qui passe peu après la confluence de 1.7 à 0.2 %. Il n'est pas possible de préciser actuellement le devenir des eaux perdues. Une partie pourrait alimenter les zones marécageuses situées dans la région ou les lacs situés en rive gauche comme le lac Aziri et le lac Sélé. Une partie pourrait s'infiltrer au contact socle-continental terminal.

Nous verrons par la suite que dans un contexte géomorphologique tout à fait comparable, on constate le même phénomène sur le Zou entre Atcherigbe et Dome.

Pour préciser davantage les volumes de ces pertes, il nous est apparu irréaliste de supposer que les bassins versants situés à l'aval de Kaboua et de Save ne ruisselaient pas du tout. Nous avons donc admis que le module "théorique" qui devrait passer à Sagon, s'il n'y avait pas de pertes, pouvait être estimé en multipliant la somme de ceux observés à Kaboua et à Save par 1.14, rapport de la surface totale du bassin à la surface contrôlée par les deux stations. Les pertes sont alors évaluées en soustrayant à ce module théorique, celui réellement observé à Sagon.

Il existe une forte relation entre le module à la confluence (ou module théorique) et les pertes (cf. figure H.I.19a)).

$$Df = 3.0 - \left[0.73 \cdot Q_c \cdot \left(1 - \frac{372}{\sqrt{(372^2 + Q_c^2)}} \right) \right] \quad R^2 = 0.925$$

avec Q_c = module théorique à Sagon = (module à Save + module à Kaboua) $\times 1.14$ (m^3/s)
 Df = $Q_c - Q_{ob}$ (m^3/s)
 Q_{ob} = module observé à Sagon (m^3/s)

7.2.2. Apports à Sagon

En utilisant la relation précédente nous avons complété la série des modules et des lames écoulées observée à Sagon à partir des séries reconstituées à Kaboua et à Save.

C'est la Loi des Fuites qui donne le meilleur ajustement.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulee
Paramètre d'échelle	23.0 m^3/s	19.1 mm
Paramètre de forme	6.22	6.22

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	9.97	17.5	32.2	48.6	72.6	131	206	252	293	343	378	
Lame écoulée (mm)	8.28	14.6	26.7	40.4	60.3	109	171	209	243	285	314	

7.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx
Moyenne	96	100	261
Médiane	85	91	262
Ecart-type	35.8	35.8	24.6
Minimum	55	56	209
Maximum	183	184	306
1 ^o quartile	68	72	248
3 ^o quartile	115	120	280

Jf, Jd, Jx : dates (en jour depuis le 1er janvier) d'apparition de l'étiage, de la reprise de l'écoulement, du maximum.

Une année sur deux, le débit d'étiage apparaît entre le 9 mars et le 25 avril, l'écoulement reprend environ quatre jours après, le maximum a lieu entre le 5 septembre et le 7 octobre.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	6.39	2.43	1.87	2.77	9.24	36.9	139.2	386	592	507	168	30.5
	s	8.31	2.62	1.33	2.34	15.0	52.1	141	265	280	271	144	31.6
% des apports annuels	m	0.83	0.24	0.17	0.28	1.09	3.19	7.06	19.4	31.1	26.3	8.25	1.61
	s	1.92	0.30	0.16	0.43	2.41	4.64	3.79	5.52	9.62	7.5	5.9	1.24

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH on peut faire une partition des profils observés en cinq classes. Une de ces classes regroupe 16 des 23 années observées ; nous considérerons son profil moyen comme étant le profil modal. Une autre regroupe les années 1956, 1959, 1964, 1977 ; les années 1954, 1958 et 1976 se distinguent.

Partition de l'ensemble des profils en cinq classes (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode (16/23)	0.21	0.11	0.11	0.25	0.65	2.76	8.15	22.3	31.1	25.3	7.14	1.36
1956-59-64-77	1.60	0.61	0.37	0.44	0.84	0.64	1.99	12.5	42.1	31.9	5.49	1.02
1954	0.54	0.22	0.15	0.33	0.16	3.19	3.81	10.6	24.1	38.5	15.5	2.51
1958	9.09	1.04	0.38	0.37	10.9	18.6	12.6	11.2	14.4	11.1	6.34	3.80
1976	0.39	0.27	0.25	0.23	0.23	4.81	7.69	17.8	8.27	23.4	31.5	5.00

7.4. Courbes des débits classés (m³/s)

a/ Relation entre les débits caractéristiques à Save et à Sagon

Il existe une assez forte relation entre les débits caractéristiques observés à Save et à Sagon (*cf. figure H.I.19a*).

		DCX à Save (m ³ /s)					
		200	400	600	1000	1400	1800
S A G O N (m ³ /s)	Maxi	235	450	640	900	1050	1110
	DCC	270	495	706	940	1070	-
	DC1	270	495	706	976	-	-
	DC3	330	625	835	-	-	-

b/ Relation entre débits caractéristiques et modules

	Module annuel en m ³ /s			
	100	200	300	400
Maxi	647	976	1080	1110
DCC	529	906	1035	1100
DC1	424	788	940	1050
DC3	115	306	670	1010

Pour les fortes hydraulicités, il y a un écrasement de la fonction de répartition des débits : pour un module de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ le débit maximum annuel est en moyenne de $1\,110 \text{ m}^3/\text{s}$ et le DC3 ne lui est inférieur que de $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Les pertes constatées le long du bief s'accompagnent d'un amortissement considérable des crues.

7.5. Débits maximaux

Les pertes que nous avons constatées, dès que les débits deviennent élevés, ont pour conséquence de fixer une limite supérieure aux débits maximaux annuels. Dans ces conditions aucune loi statistique non bornée ne peut convenir. C'est ce que nous avons vérifié à partir de l'échantillon des débits maximaux observés et reconstitués.

Nous avons pu en revanche ajuster de façon très satisfaisante une loi Bêta (*figure H.I.19a*).

Paramètres de la loi Bêta ajustée

Paramètre de position :	$0 \text{ m}^3/\text{s}$
Paramètre d'échelle :	$1300 \text{ m}^3/\text{s}$ (borne supérieure)
1° Paramètre de forme :	2.421
2° Paramètre de forme :	1.847

Valeurs caractéristiques (m^3/s)

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	127	172	255	346	476	753	1000	1100	1170	1220	1250	

7.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

Les étiages de l'Ouémé à Save comme ceux de l'Okpara à Kaboua sont très sévères. A Sagon, en revanche, les étiages sont toujours soutenus et à l'inverse de ce qui a été constaté aussi bien à Save qu'à Kaboua, les distributions des étiages avant et après 1968 sont peu différentes, il semblerait même qu'en moyenne les étiages soient légèrement plus forts après 1968.

Caractéristiques des distributions des étiages

	QN	QNA	QNB
Moyenne	1.37	1.20	1.62
Médiane	1.35	1.13	1.51
Ecart-type	0.44	0.41	0.39
Minimum	0.357	0.357	1.13
Maximum	2.29	1.90	2.29
1 ^o quartile	1.11	1.00	1.41
3 ^o quartile	1.70	1.36	1.76

QN, QNA, QNB : valeurs en m³/s de l'étiage toutes années confondues, avant et après 1968.

b/ Tarissement

Jusqu'à ce que soit atteint un débit charnière de l'ordre de 5 m³/s, le tarissement est relativement rapide, il devient beaucoup plus lent ensuite :

	Moyenne	Ecart-type
TR1	9.25	4.7
Qc	5.13	3.5
TR2	55.6	15

TR1 et TR2 = coefficient de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière.

Qc = valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.31 - Ouémé à Sagon

Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1951	-	-	1.27	1.15	1.34	1.42	37.9	319.	721.	729.	639.	66.9	(210.)
1952	11.5	2.42	2.10	1.47	1.26	1.55	73.1	490.	488.	826.	207.	26.9	178.
1953	4.80	1.83	2.81	1.48	1.88	195.	331.	767.	831.	808.	244.	46.0	270.
1954	8.76	3.54	2.41	5.28	2.61	51.6	61.7	171.	390.	624.	252.	40.7	135.
1955	6.25	2.08	1.60	1.55	5.45	48.3	472.	947.	925.	857.	232.	39.6	295.
1956	10.7	2.31	1.37	2.23	2.49	9.32	11.9	105.	291.	298.	45.8	14.2	66.2
1957	.549	.375	.399	1.25	45.9	156.	288.	583.	1020.	897.	388.	86.4	289.
1958	28.7	3.28	1.19	1.16	34.4	58.7	39.8	35.5	45.4	35.0	20.0	12.0	26.3
1959	-	-	-	-	40.2	11.0	79.3	156.	719.	651.	125.	20.4	(157.)
1960	1.50	1.29	1.13	3.07	1.84	3.69	265.	586.	950.	806.	264.	76.0	247.
1961	-	-	-	-	-	-	-	329.	411.	402.	88.5	4.23	(122.)
1962	1.19	.959	.963	1.37	4.68	128.	335.	741.	853.	921.	327.	135.	287.
1963	17.6	2.50	2.00	2.02	2.04	31.3	441.	978.	1040.	958.	443.	76.2	333.
1964	32.2	14.5	7.86	8.77	7.06	2.21	23.9	211.	705.	319.	55.7	6.31	116.
1965	2.11	1.29	1.39	6.93	1.39	9.71	177.	539.	795.	305.	40.1	4.78	157.
1966	2.36	1.37	1.28	1.31	2.87	46.4	66.2	298.	495.	442.	143.	22.2	127.
1967	-	-	-	-	-	-	87.2	465.	795.	632.	116.	-	(194.)
1968	-	-	-	-	-	-	396.	758.	-	-	-	-	(255.)
1969	-	-	-	-	-	3.48	22.6	127.	691.	412.	187.	23.2	(137.)
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(126)
1971	-	1.45	1.39	1.42	1.43	6.34	19.6	223.	631.	282.	30.7	6.66	(111.)
1972	2.87	2.04	2.00	7.68	12.8	46.9	24.4	64.0	144.	50.4	16.5	3.53	31.4
1973	2.20	1.92	1.76	2.19	4.58	2.43	29.2	386.	545.	512.	85.8	5.95	132.
1974	2.31	1.77	1.72	1.64	1.57	2.01	157.	555.	803.	450.	71.0	14.2	172.
1975	2.25	2.04	1.82	2.02	1.96	2.09	176.	335.	443.	521.	86.6	14.4	132.
1976	2.68	1.86	1.69	1.58	1.56	33.0	52.7	122.	56.6	160.	216.	34.3	57.0
1977	7.39	3.27	2.51	2.67	2.62	4.15	3.58	86.5	280.	214.	36.4	5.02	54.0
1978	2.79	2.36	2.36	7.08	51.1	113.	140.	246.	309.	221.	106.	10.5	101.
1979	2.69	1.77	1.54	1.55	3.55	8.40	155.	567.	830.	665.	172.	26.4	203.
1980	-	-	-	-	2.43	3.13	3.02	198.	598.	500.	191.	25.3	(120.)
1981	2.02	1.40	1.27	1.24	1.25	16.0	68.0	200.	374.	216.	40.9	5.21	77.3
1982	1.94	1.80	1.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(29.5)
1983	1.46	1.28	1.16	1.18	-	-	-	-	-	-	-	-	(11.8)
1984	1.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(73.0)
Moy.	7.10	3.12	2.52	3.38	9.24	36.9	139.	386.	592.	507.	168.	30.4	158.

Tableau T.H.I.32 - Ouémé à Sagon : Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	1.11	1.11	1.18	1.28	1.45	12.7	378.	644.	918.	972.	975.
1953	1.33	1.33	1.36	1.52	2.03	66.5	552.	903.	947.	1000.	1010.
1954	1.90	1.90	1.98	2.22	4.24	43.9	176.	525.	700.	826.	828.
1955	1.35	1.36	1.45	1.55	2.25	37.5	719.	962.	985.	1050.	1050.
1956	1.12	1.13	1.24	1.49	2.65	8.74	76.5	337.	428.	508.	520.
1957	.357	.357	.357	.370	1.13	119.	452.	950.	1060.	1160.	1160.
1958	-	1.00	1.09	1.16	3.76	37.0	47.3	105.	118.	133.	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1020	1020
1960	1.04	1.04	1.08	1.16	1.36	12.3	424.	946.	974.	989.	990.
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	.853	.880	.910	.960	1.10	125.	520.	923.	1020.	1070.	1080.
1963	1.73	1.74	1.83	1.88	2.21	55.4	893.	1010.	1070.	1130.	1130.
1964	1.64	1.64	2.00	2.37	6.82	13.9	103.	550.	827.	882.	882.
1965	.907	.933	.965	1.18	1.67	7.48	237.	657.	840.	860.	860.
1966	.958	1.17	1.24	1.25	1.60	25.7	139.	512.	626.	678.	682.
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	1.13	1.13	1.26	1.92	2.84	9.51	46.7	91.2	174.	255.	261.
1973	1.70	1.70	1.70	1.82	2.08	3.63	148.	600.	683.	786.	797.
1974	1.51	1.51	1.51	1.58	1.76	2.74	287.	720.	906.	924.	988.
1975	1.76	1.76	1.76	1.84	1.99	2.58	281.	477.	671.	750.	755.
1976	1.41	1.41	1.44	1.51	1.69	23.9	82.6	189.	328.	383.	385.
1977	2.29	2.29	2.36	2.44	2.72	4.13	47.6	233.	355.	390.	156.
1978	2.14	2.14	2.22	2.36	2.92	48.4	199.	304.	338.	422.	448.
1979	1.48	1.48	1.51	1.55	1.89	13.3	365.	808.	907.	928.	928.
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	1.20	1.20	1.23	1.23	1.32	4.41	103.	341.	385.	459.	464.
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.19a

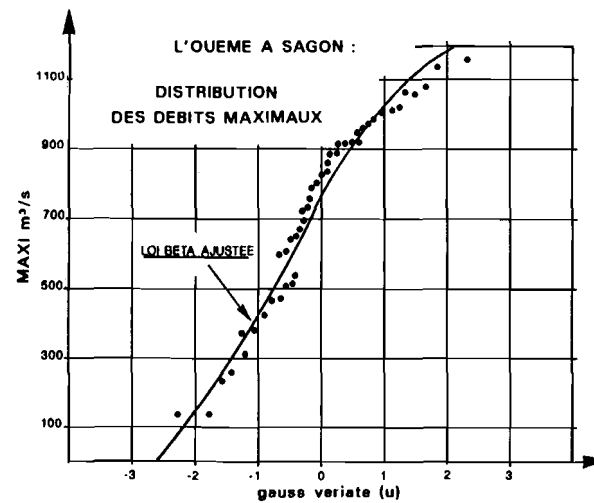
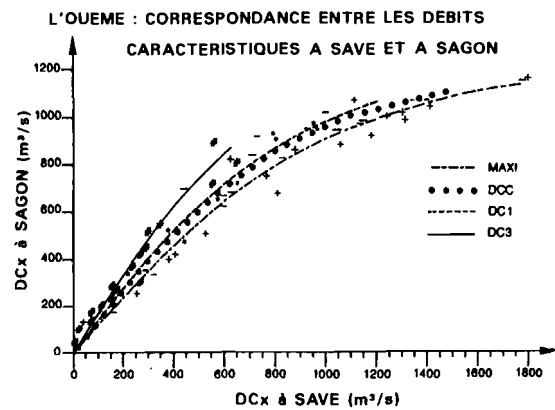
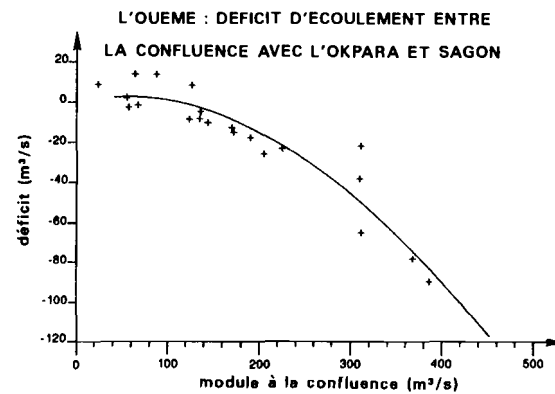
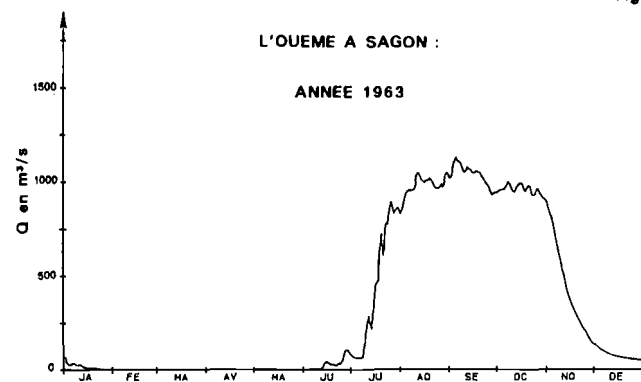
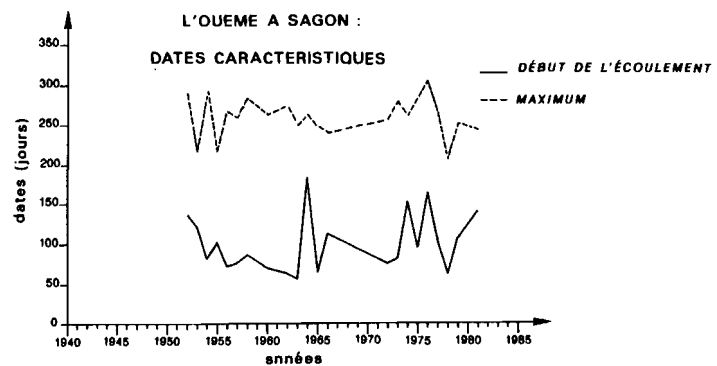
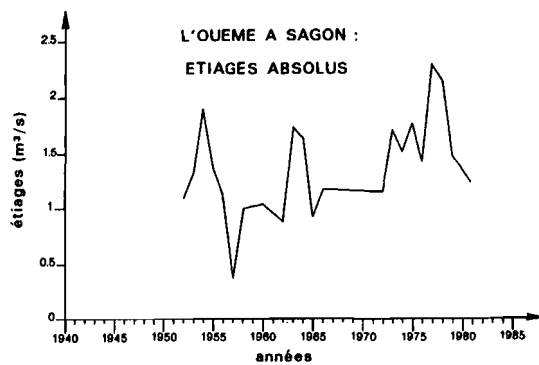
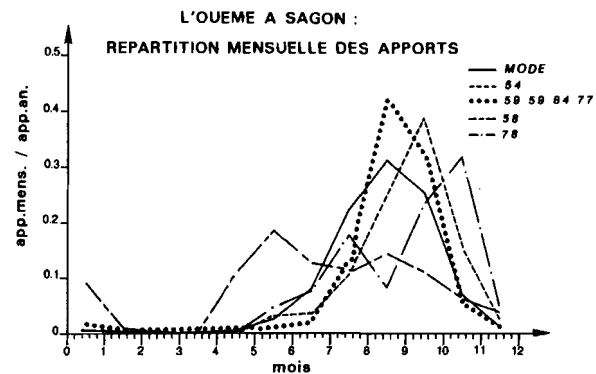
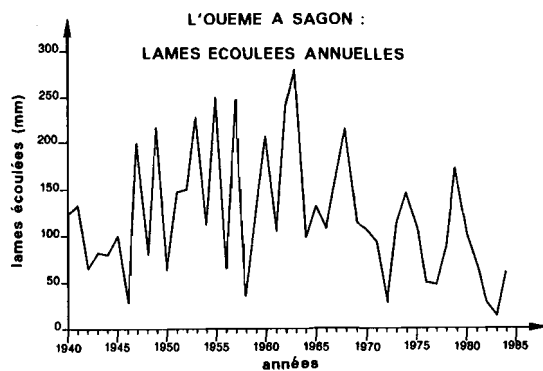


Fig- H.I.19b



8. L'Omini à Pira (88 km²)

8.1. Observations (1954-1984)

23 années complètes ont été observées à cette station. La cadence des relevés (1 par jour) était insuffisante pour permettre une reconstitution fidèle des hydrogrammes.

Par ailleurs, il a fallu fortement extrapoler la courbe de tarage.

Ces deux raisons font que les résultats que nous allons présenter ici, sont à considérer avec prudence.

8.2. Apports

a/ Corrélation entre les lames écoulées à Pira et sur le bassin de l'Ouémé compris entre Bétérou et Save

La corrélation est très bonne :

$$LPI = 0.809 LBS \quad R^2 = 0.97$$

LPI = lame écoulée à Pira

LBS = lame écoulée sur le bassin compris entre Bétérou et Save.

b/ Analyse statistique

La série des modules et des lames écoulées a été complétée à l'aide de la corrélation précédente.

C'est la Loi des Fuites qui donne le meilleur ajustement.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	0.078 m ³ /s	28.0 mm
Paramètre de forme	3.54	3.54

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(0)	(0.0)	0.015	0.045	0.096	0.236	0.433	0.559	0.674	0.816	0.917	
Lame écoulée (mm)	(0)	(0.0)	5.35	16.2	34.3	84.7	155	200	241	292	329	

8.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx	NS	NSA	NSB
Moyenne	- 42	200	247	241	235	245
Médiane	- 45	205	250	241	241	241
Ecart-type	17.0	36.2	22.2	34.8	42	29
Minimum	- 68	108	199	150	150	191
Maximum	9	281	289	293	285	293
1 ^o quartile	- 50	184	234	223	216	229
3 ^o quartile	- 40	219	261	265	267	265

Jf, Jd, Jx : dates d'arrêt de l'écoulement et de la reprise de l'écoulement, du maximum (en jours depuis le début de l'année)

NS, NSA, NSB : durée de la période sans écoulement toutes années confondues, avant et après 1968.

Une année sur deux l'écoulement s'arrête entre le 11 et le 19 novembre, il reprend entre le 2 juillet et le 7 août, le maximum survient entre le 22 août et le 18 septembre.

La durée de la période sans écoulement est comprise une année sur deux, entre 7,5 mois et 9 mois. On ne constate pas de différence significative entre les distributions du nombre de jours sans écoulement, avant et après 1968.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.0001	0	0	0.0001	0.003	0.0127	0.302	0.680	1.30	0.583	0.065	0.003
	s	0.0005	0	0	0.0006	0.013	0.0381	0.548	0.657	1.20	0.832	0.112	0.011
% des apports annuels	m	0.001	0	0	0.016	0.75	1.32	11.5	23.2	43.1	17.9	1.91	0.24
	s	0.007	0	0	0.075	3.50	5.6	15.2	13.9	18.3	12.0	2.73	1.10

m : moyenne ; s : écart type

L'irrégularité de la répartition mensuelle est très forte. On peut par la méthode CAH, faire une partition des profils observés en cinq classes : l'une des classes regroupe 17 des 23 profils observés, nous considérerons comme modal son profil moyen, une autre regroupe les années 1961, 1968 et 1975, les années 1971, 1981 et 1984 se distinguent.

Partition en cinq classes de l'ensemble des profils (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode	0.002	0	0	0	0.91	1.60	4.48	19.1	45.9	24.1	3.48	0.31
1961-68-75	0	0	0	0	0	0.55	37.7	30.7	19.2	10.9	0.23	0
1971	0	0	0	0	0	0	0	45.3	47.0	7.6	0.0	0.0
1981	0	0	0	0	0	0	25.5	48.0	22.3	4.00	0.2	0
1984	0	0	0	0.35	0	0	44.7	5.30	38.0	11.8	0	0

8.4. Courbes des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Maxi	6.20	10.0	12.6	14.8	17.0
DCC	1.60	3.60	5.40	7.20	9.00
DC1	0.600	1.400	2.00	2.600	3.400
DC3	(0.000)	(0.200)	(0.100)	(0.600)	(0.800)

8.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observée a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique liant ceux-ci aux modules et que nous avons présentée au paragraphe précédent.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à l'échantillon ainsi reconstitué.

a/ Paramètres de la loi ajustée

Paramètre d'échelle : 1.505 m³/s
Paramètre de forme : 4.46

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	(0.0)	0.225	0.842	1.61	2.81	5.94	10.2	12.8	15.2	18.1	20.2	

8.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

L'Omini se tarit chaque année à Pira, les caractéristiques de la distribution du nombre de jours sans écoulement ont été précisées au paragraphe 8.3..

b/ Tarissement

Le coefficient de tarissement déterminé à partir de l'étiage de 1963 bien observé, est de huit jours.

Tableau T.H.I.33 - Omini à Pira

Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1954	.000	.000	.000	.000	(.000)	(.000)	-	-	-	.280	.069	.000	(0.162)
1955	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.585	1.35	1.92	(.979)	.113	.000	(.412)
1956	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.061	.558	.355	.085	.059	.093
1957	.003	.000	.000	.000	.000	.167	1.00	1.09	5.18	1.14	.506	.017	.759
1958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.006)
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.295)
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.559)
1961	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.500	.310	.094	.175	.000	.000	.089
1962	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.901	.876	1.07	.501	.282	.000	.303
1963	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-	2.83	4.23	.214	.002	(0.885)
1964	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.339	.417	2.66	.202	.002	.000	.302
1965	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.017	1.16	2.04	.793	.027	.000	.336
1966	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.06	2.23	.183	.009	.000	.290
1967	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.73	2.65	.981	.092	.000	.454
1968	.000	.000	.000	.000	.000	.023	2.50	2.68	2.21	.536	.051	.000	.667
1969	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.017	.255	1.86	.218	.020	.000	.198
1970	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.287	1.97	.311	.001	.000	.214
1971	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.805	.835	.135	.000	.000	.148
1972	.000	.000	.000	.000	.067	.110	.028	.005	.089	.108	.004	.000	.034
1973	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.135	.611	1.50	1.08	.035	.000	.280
1974	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.137	1.30	1.63	1.17	.016	.000	.354
1975	.000	.000	.000	.000	.000	.040	1.09	.914	.646	.299	.001	.000	.249
1976	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.041	.039	-	.096	.013	(0.078)
1977	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.018	.214	.295	.290	.007	.000	.068
1978	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.457	.505	.082	.000	.087
1979	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.176	1.31	1.14	.155	.009	.000	.233
1980	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.554	.666	.670	.095	.001	.166
1981	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.321	.607	.279	.047	.000	.000	.105
1982	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
1983	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
1984	.000	.000	.000	.002	.000	.000	.381	.046	.324	.101	.000	.000	.071
Moy.	.000	.000	.000	.000	.002	.012	.289	.648	1.24	.553	.064	.003	.214

Tableau T.H.I.34 - Omini à Pira
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1954	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	-	.000	.000	.000	.000	.000	.418	1.35	3.85	6.98	-
1956	-	.000	.000	.000	.074	.000	.000	.480	.705	1.18	-
1957	-	.000	.000	.000	.000	.013	.560	2.48	6.74	14.9	-
1958											
1959											
1960											
1961	-	.000	.000	.000	.000	.000	.033	.281	.976	2.28	-
1962	-	.000	.000	.000	.000	.000	.573	1.14	1.74	3.21	-
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	.000	.000	.000	.000	.000	.059	.976	3.31	10.2	-
1965	-	.000	.000	.000	.000	.000	.117	1.26	2.76	7.19	-
1966	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.04	2.28	8.89	-
1967	-	.000	.000	.000	.000	.000	.012	1.60	4.68	9.57	-
1968	-	.000	.000	.000	.000	.000	.611	2.82	4.86	10.0	-
1969	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.512	1.47	10.5	-
1970	-	.000	.000	.000	.000	.000	.003	.608	2.38	6.17	-
1971	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.657	1.46	3.84	-
1972	-	.000	.000	.000	.000	.000	.015	.118	.326	1.15	-
1973	-	.000	.000	.000	.000	.000	.213	.881	2.32	7.56	-
1974	-	.000	.000	.000	.000	.000	.161	1.46	2.64	8.68	-
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1977	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.303	.471	1.77	-
1978	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.373	.905	1.13	-
1979	-	.000	.000	.000	.000	.000	.102	.572	3.11	5.61	-
1980	-	.000	.000	.000	.000	.000	.058	.615	1.18	4.59	-
1981	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.386	.897	4.48	-
1982	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-
1983	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-
1984	-	.000	.000	.000	.000	.000	.034	.241	.763	1.98	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

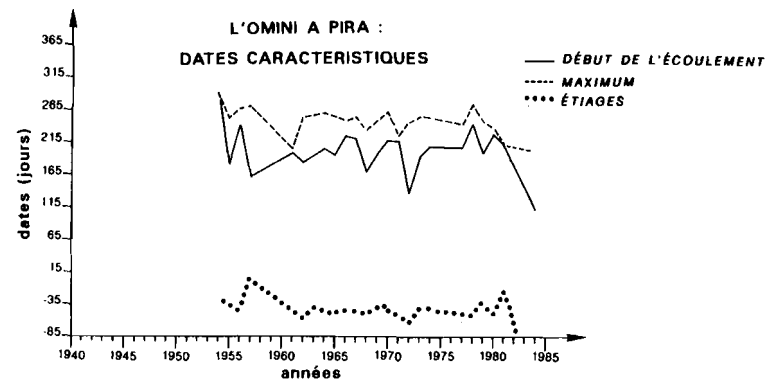
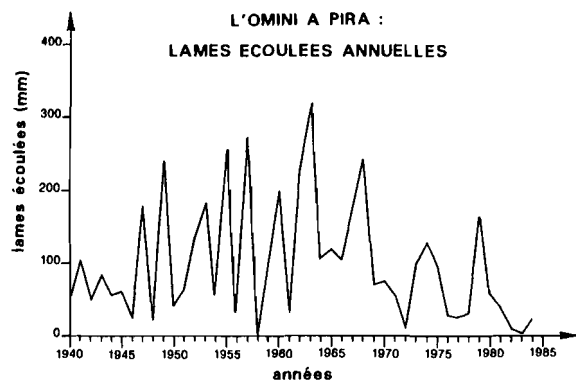
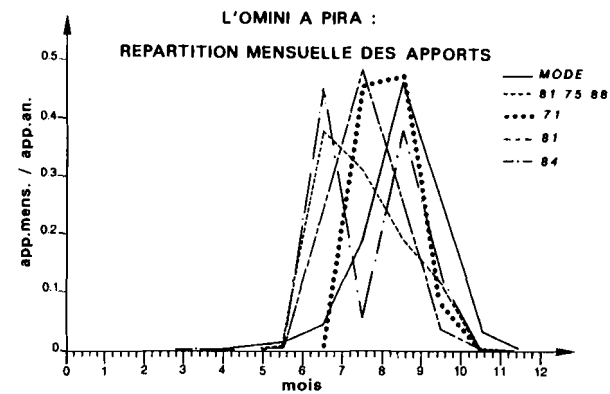
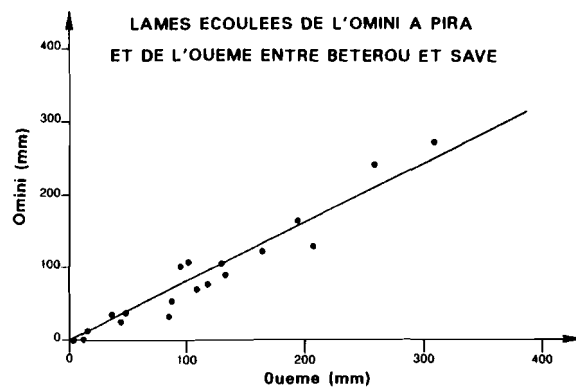
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.20 - L'OMINI A PIRA



9. Le Klou à Logozohe (300 km²)

9.1. Observations (1952-1984)

30 années complètes ont été observées à cette station. Les relevés sont de bonne qualité et l'étalonnage relativement précis.

Cependant la cadence des lectures d'échelle (1 à 2 par jour) est insuffisante pour suivre fidèlement l'hydrogramme notamment lors des crues. Ceci limite la confiance à accorder aux résultats que nous allons présenter ci-après.

9.2. Apports

a/ Corrélation entre les lames écoulées observées à Logozohe et à Atcherigbe sur le Zou :

Les lames écoulées à Logozohe sont très bien corrélées à celles observées à Atcherigbe :

$$LLG = 1.35 LA \quad R^2 = 0.96$$

LLG = lame écoulée à Logozohe
LA = lame écoulée à Atcherigbe

b/ Analyses statistiques

La série des modules et des lames écoulées observée a été étendue à la période de référence en utilisant la corrélation précédente.

C'est la Loi de Goodrich qui s'ajuste le mieux aux échantillons ainsi reconstitués.

Paramètres de la Loi de Goodrich ajustée

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	1.75 m ³ /s	183 mm
Paramètre de position	0	0
Paramètre de forme	1.020	1.020

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	0.016	0.032	0.084	0.175	0.376	1.20	2.83	4.07	5.32	6.99	8.25	
Lame écoulée (mm)	1.67	3.41	8.82	18.4	39.6	126	297	428	559	735	868	

9.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx1 (44%)	Jx2 (56%)	NS	NSA	NSB
Moyenne	10	110	184	262	101	72	138
Médiane	1	105	200	260	110	92	165
Ecart-type	53	37	27	26	77	55	86
Minimum	- 71	39	114	217	0	4	0
Maximum	123	181	209	313	251	139	251
1 ^o quartile	- 39	90	171	249	20	17	51
3 ^o quartile	54	144	204	279	163	118	202

Jf, Jd, Jx1, Jx2 : dates d'arrêt de l'écoulement et de la reprise de l'écoulement, du maximum annuel (en jours depuis le 1er janvier) au cours de la première ou de la seconde saison des pluies (44 % et 56 % des cas).

NS, NSA, NSB : nombre de jours sans écoulement, toutes années confondues, avant et après 1968.

Une année sur deux, l'écoulement s'arrête entre le 22 novembre, et le 22 février, il reprend entre le 31 mars et le 23 mai.

Le maximum s'observe tantôt au cours de la première, tantôt au cours de la seconde saison des pluies. Lorsqu'il survient lors de la première saison des pluies (44 % des cas) sa date d'apparition est comprise une année sur deux entre le 20 juin et le 28 juillet. Lorsqu'il survient lors de sa deuxième saison des pluies, sa date d'apparition est comprise une année sur deux entre le 6 septembre et le 3 octobre.

La durée de la période sans écoulement est comprise, une année sur deux, entre 20 jours et 5 mois. La durée de cette période a augmenté en moyenne de plus de deux mois depuis 1968.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.003	0.002	0.013	0.145	0.385	1.52	4.57	4.74	6.12	3.39	0.29	0.031
	s	0.004	0.004	0.038	0.364	1.09	2.93	7.11	7.014	7.03	3.18	0.511	0.93
% des apports annuels	m	0.033	0.029	0.11	2.60	2.72	12.6	16.4	13.6	26.1	22.4	2.54	0.40
	s	0.084	0.091	0.33	5.89	5.46	18.6	15.3	13.6	18.9	18.5	7.9	1.59

m : moyenne ; s : écart-type

La variabilité des profils mensuels est très grande et le profil moyen décrit dans le tableau ci-dessus n'est absolument pas représentatif de la réalité.

La méthode CAH nous permet de classer l'ensemble de ces profils en six groupes se distinguant surtout par l'importance relative des apports au cours de la 1ère et de la 2ème saison des pluies et par l'intensité de la petite saison sèche.

La première classe (mode 1) regroupe les années 1953, 55, 57, 59, 60, 69, 71, 78, 81, 82, 83 et se caractérise par deux saisons à peu près équivalentes séparées par un creux au mois de juillet.

La seconde classe (mode 2) regroupe les années 61, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 73, 79 et 84 et se caractérise par une absence de petite saison sèche.

La troisième classe qui regroupe les années 1954, 56, 58, 76 pour lesquelles l'hydraulicité a été très faible, se caractérise par une petite saison sèche très marquée et très longue.

La quatrième classe regroupe les années 1952 et 1955. Les apports au cours de la deuxième saison des pluies sont dominants.

La cinquième classe (1964-1980) et la sixième (1966) se caractérisent par la concentration des apports au cours de l'une ou l'autre des deux saisons.

Partition en six classes de l'ensemble des profils (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode 1	0.05	0.05	0.16	5.57	6.20	18.2	17.8	5.6	27.7	16.7	1.50	0.22
Mode 2	0.02	0.01	0.15	0.66	1.11	5.48	15.9	29.7	27.6	17.6	0.92	0.08
54-56-58-76	0.04	0.02	0.02	2.46	0.47	28.8	1.84	0.02	3.59	48.7	11.6	2.1
52-55	0	0	0	0.11	0.043	2.27	26.6	6.3	21.0	42.2	0.58	0.001
64-80	0.03	0.02	0.01	0.05	0.23	1.13	5.63	8.39	70.8	13.6	0.80	0.01
66	0.006	0	0	0	0	0.8	65.2	21.0	4.49	5.62	1.03	0.06

9.4. Courbes des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s				
	1	2	4	6	8
Maxi	46.0	67.9	95.3	120	146
DCC	7.9	15.9	33.6	47.6	67
DC1	3.1	6.18	13.2	21.2	30.9
DC3	0.63	1.25	2.5	3.75	5.0

9.5. Débits maximaux

La faible cadence des relevés, vu la rapidité des crues, introduit une distorsion dans l'échantillonnage. Aussi les ajustements statistiques sont-ils assez médiocres. C'est la Loi des Fuites qui donne les moins mauvais résultats.

a/ Paramètres de la loi ajustée

Paramètre d'échelle :	13.6 m ³ /s
Paramètre de forme :	3.76

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches				Années humides		
Réurrence en années	20	10	5	2	5	10	20
Débits maximaux	3.74	9.43	18.8	44.3	79.7	102	123

Tableau T.H.I.35 - Klou à Logozohe
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	.000	.000	.000	.014	.005	.004	.713	.046	2.33	4.60	.050	.000	.647
1943	.000	.017	.030	.079	.000	1.02	9.08	2.00	6.73	4.15	.257	.001	1.95
1954	.000	.000	.000	.004	.016	2.42	.352	.001	.535	5.24	.235	.000	.734
1955	.000	.000	.000	.011	.006	1.23	12.1	3.29	3.36	7.01	.140	.000	2.26
1956	.000	.000	.000	.158	.018	.024	.001	.001	.176	1.53	.003	.185	.175
1957	.005	.001	.001	.083	2.83	10.6	3.15	2.33	10.6	6.26	2.72	.500	3.26
1958	.002	.001	.000	.046	.004	1.36	.017	.000	.000	.527	.002	.001	.163
1959	.002	.000	.174	1.86	5.47	.772	3.40	1.33	14.0	3.75	.059	.003	2.57
1960	.000	.000	.000	.002	.005	1.72	11.9	3.67	17.7	4.19	.600	.001	3.32
1961	.007	.003	.000	.001	.032	.003	1.37	1.00	3.48	3.82	.009	.001	.811
1962	.001	.001	.001	.048	.071	12.8	9.80	21.4	6.08	13.4	.629	.044	5.36
1963	.008	.002	.029	.007	.006	1.90	35.0	25.7	25.8	8.02	.444	.009	8.08
1964	.002	.002	.000	.004	.021	.006	.511	.463	3.21	.366	.005	.001	.383
1965	.000	.000	.000	.150	.007	.302	4.09	4.89	7.29	6.51	.051	.005	1.94
1966	.000	.000	.000	.000	.000	.122	9.83	3.17	.677	.846	.156	.009	1.23
1967	.007	.004	.137	.568	.432	2.77	.909	3.84	.561	.378	.069	.002	.806
1968	.001	.000	.000	.000	.051	.146	8.93	17.9	23.6	4.85	.608	.007	4.67
1969	.006	.002	.001	.002	.002	.008	1.61	.294	1.80	1.16	.125	.007	.418
1970	.009	.007	.006	.005	1.34	.037	1.48	12.5	11.4	1.69	.016	.011	2.38
1971	.007	.007	.006	.005	.006	-	-	16.3	13.3	2.41	.030	.021	(1.63)
1972	.013	.015	.033	.592	.334	.750	.531	.263	.408	.050	.045	.031	.255
1973	.004	.000	.000	.000	.229	.472	1.95	13.5	6.10	10.1	.540	.017	2.74
1974	.013	.001	.000	-	-	-	14.1	7.62	7.24	3.62	.435	.022	(2.25)
1975	-	-	-	-	-	-	3.01	8.87	6.79	2.83	.157	.000	(1.83)
1976	.000	.000	.000	.000	.007	.246	.034	.000	.000	.524	.626	.000	.120
1977	.000	.000	.000	.000	.000	.010	.000	.115	1.37	1.67	.000	.000	.264
1978	.000	.000	.000	.618	.627	3.43	.263	.041	.253	.155	.112	.000	.458
1979	.000	.000	.000	.000	.200	.365	5.90	7.57	6.23	2.65	.968	.125	2.00
1980	.000	.000	.000	.000	.000	.470	.015	1.48	15.9	4.29	.329	.000	1.87
1981	.000	.000	.000	.000	.016	1.61	4.00	.445	3.96	3.92	.108	.000	1.17
1982	.000	.000	.000	.248	.213	.198	.216	.065	.085	.000	.000	.000	.085
1983	.000	.000	.000	.000	.000	.689	.083	.078	.421	.304	.000	.000	.131
1984	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.516	.642	1.33	.636	.000	.000	.260
Moy.	0.002	0.001	0.013	0.146	0.389	1.54	4.57	4.87	6.13	3.37	0.289	.030	1.7

Tableau T.H.I.36 - Klou à Logoze
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	.000	.000	.000	.000	.000	.018	1.57	7.70	24.3	-
1943	.000	.000	.000	.000	.000	.027	1.42	5.30	20.3	58.9	79.
1954	-	.000	.000	.000	.000	.000	.142	1.84	9.78	35.0	-
1955	-	.000	.000	.000	.000	.003	1.32	6.68	15.7	77.6	-
1956	-	.000	.000	.000	.000	.001	.006	.222	1.87	15.8	-
1957	.000	.000	.000	.001	.003	.423	2.99	8.67	23.4	90.3	127
1958	-	.000	.000	.000	.000	.001	.003	.185	1.41	15.5	-
1959	.000	.000	.000	.000	.001	.169	2.27	7.55	15.2	88.3	104
1960	-	.000	.000	.000	.000	.001	1.73	11.3	29.6	92.2	-
1961	.000	.000	.000	.001	.001	.003	.307	3.41	7.18	20.6	25.
1962	.000	.001	.000	.001	.001	.238	4.57	16.2	53.0	97.3	120
1963	.001	.000	.001	.001	.003	.016	5.31	32.5	65.9	155.	188
1964	.000	.000	.000	.000	.001	.003	.147	.930	3.25	23.4	28.
1965	-	.000	.000	.000	.000	.007	1.32	7.36	18.1	42.5	-
1966	-	.000	.000	.000	.000	.007	.306	3.33	9.12	80.7	-
1967	.001	.001	.001	.003	.007	.086	.523	2.35	5.59	42.1	54.
1968	-	.000	.000	.000	.000	.007	3.87	18.2	45.5	70.0	-
1969	.000	.000	.000	.001	.003	.007	.284	1.02	4.15	13.2	15.
1970	.003	.003	.003	.006	.007	.015	1.26	7.89	17.5	89.5	104
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	.000	.000	.007	.016	.031	.049	.183	.804	2.27	5.58	7.2
1973	-	.000	.000	.000	.000	.016	1.40	8.56	25.0	75.3	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1976	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.438	1.05	4.43	-
1977	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.872	2.78	7.60	-
1978	-	.000	.000	.000	.000	.000	.267	.863	2.65	36.4	-
1979	-	.000	.000	.000	.000	.164	1.07	7.15	16.7	55.0	-
1980	-	.000	.000	.000	.000	.000	.464	5.51	19.5	58.7	-
1981	-	.000	.000	.000	.000	.000	.657	3.78	10.7	63.3	-
1982	-	.000	.000	.000	.000	.000	.080	.296	.675	2.93	-
1983	-	.000	.000	.000	.000	.000	.080	.453	1.48	3.05	-
1984	-	.000	.000	.000	.000	.000	.214	1.03	1.93	5.30	-

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

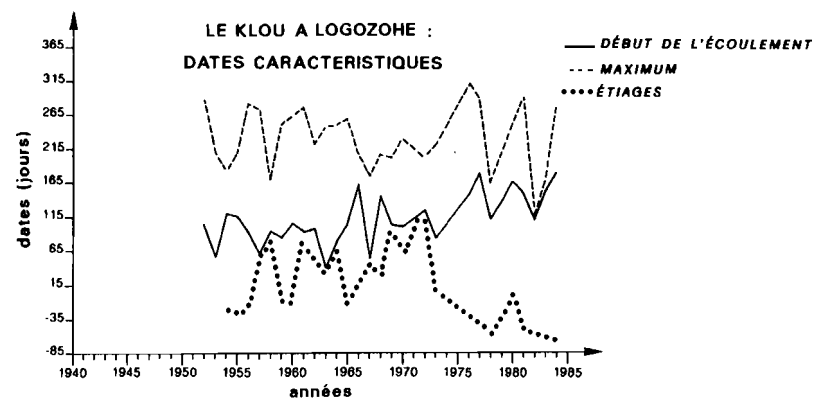
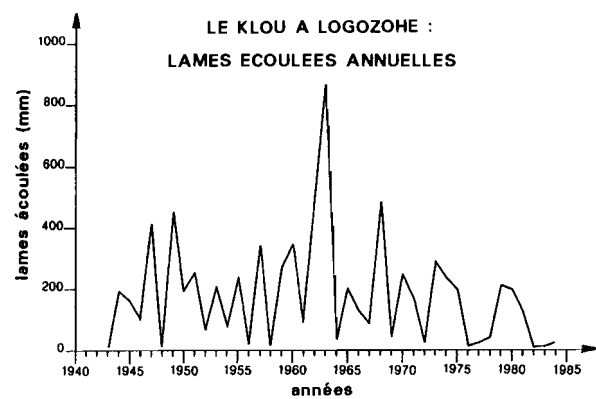
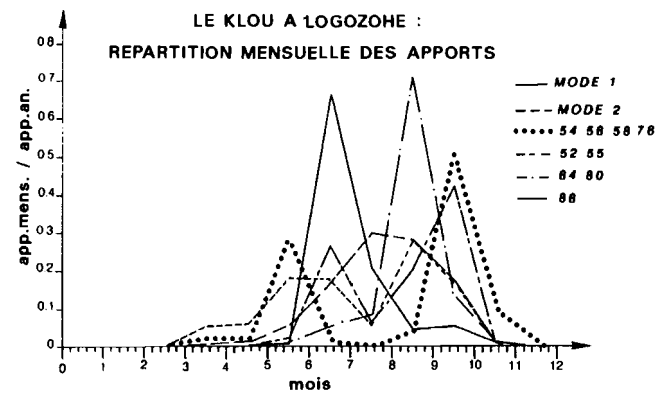
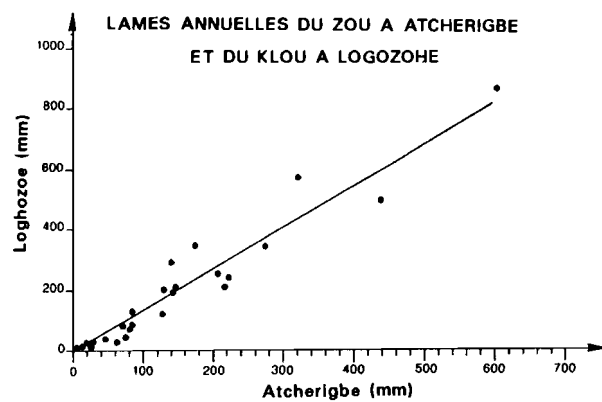
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.2.1 - LOGOZOE



10. L'Agbado à Savalou (1 280 km²)

10.1. Observations (1951 à 1984)

On dispose à cette station d'une série de 22 années complètes d'observations. Malheureusement, la qualité des lectures ne semble pas très satisfaisante, notamment après 1976 où elles semblent complètement fantaisistes. En outre, les débits extrêmes sont assez mal connus parce que, d'une part, l'amplitude des échelles était insuffisante et que celles-ci ont été submergées plusieurs fois au cours des années 1955, 1957, 1960, 1961, 1963 et 1968 et parce que, d'autre part, l'élément inférieur de la batterie d'échelle, situé à 100 mètres à l'aval du barrage, était difficilement accessible et rarement lu. Toutes ces raisons nous ont fait renoncer à une analyse complète des données collectées à cette station. Nous nous contenterons d'étudier les apports annuels pour lesquels on admettra que les erreurs commises lors des lectures journalières n'ont pas trop de poids ou se compensent.

10.2. Apports

a/ Corrélation entre la lame écoulee à Savalou et à Atcherigbe sur le Zou

$LSV = LA$	si	$LA < 151 \text{ mm}$
$LSV = 151 + 0.49 LA$	si	$LA > 151 \text{ mm}$
$R^2 = 0.89$		

LSV = lame écoulee à Savalou (mm)
 LA = lame écoulee à Atcherigbe (mm)

La relation qui lie les lames écoulées à Savalou et à Atcherigbe est représentée sur la figure H.I.22. Elle peut être assimilée à deux segments de droite. Cependant la cassure constatée dans cette corrélation étant induite par les années où l'échelle a été submergée on peut douter de sa réalité ou tout au moins contester son importance.

b/ Analyse statistique

Malgré les réserves faites plus haut nous avons étendu la série observée à la période de référence en utilisant la relation précédente.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à l'échantillon ainsi reconstitué.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulee
Paramètre d'échelle	1.81 m ³ /s	44.5 mm
Paramètre de forme	3.15	3.15

Valeurs caractéristiques

	Années sèches					Années humides			
Réurrence en années	50	20	10	5	2	5	10	20	50
Module (m³/s)	(0)	0.092	0.69	1.74	4.75	9.07	11.9	14.4	17.6
Lame écoulée (mm)	(0)	2.25	17.1	42.9	117	223	292	355	433

11. Le Zou à Atcherigbe (6 950 km²)

11.1. Observations (1951-1984)

Les crues peuvent être assez violentes à cette station. Les échelles ont été plusieurs fois emportées d'où certaines lacunes dans les relevés. 26 années complètes ont été observées.

La qualité des relevés est satisfaisante et l'étalonnage précis même en basses eaux.

11.2. Apports

a/ Paramètre de la fonction de production

Pluie d'hivernage (mm) (Avril-Octobre)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Paramètre (mm)	173	147	121	94	71	55	47	43	41	37

Tableau T.H.I.37 - Agbado à Savalou

Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	-	-	-	-	-	-	-	.812	12.3	20.3	.678	.002	(7.41)
1953	.000	.000	.000	.000	.093	2.59	10.2	8.18	8.46	11.8	1.48	.020	3.57
1954	.000	.000	.000	.000	.000	.472	1.10	.167	.326	16.2	3.55	.069	1.82
1955	.000	.000	.106	.013	.002	.017	17.3	26.6	12.9	16.9	.494	.019	6.20
1956	.000	.000	.000	.048	.000	.000	.000	.000	.447	1.25	.297	.582	.219
1957	.000	.000	.000	.091	1.58	17.9	16.8	8.26	25.9	24.0	5.82	.513	8.41
1958	.006	.000	.262	1.55	.851	4.79	.514	.002	.331	1.27	.022	.000	.800
1959	.000	.000	.583	.583	1.07	.103	1.20	2.87	30.5	13.1	1.60	.195	4.32
1960	.000	.000	.028	.847	.093	2.06	13.2	13.8	34.3	14.8	7.59	.330	7.25
1961	.005	.000	7.20	.167	.000	.000	30.3	6.46	2.62	12.9	.386	.002	5.00
1962	.000	.000	.000	.000	.000	11.3	23.6	40.8	14.0	25.7	3.84	.628	9.99
1963	.141	.001	.000	.000	.000	1.12	43.6	45.6	40.7	43.3	3.51	1.39	15.0
1964	.036	.005	.000	.000	.000	.000	.334	.793	22.3	4.34	.017	.000	2.32
1965	.000	.000	.000	.062	.000	2.45	18.5	23.8	20.4	8.31	.000	.000	6.13
1966	.000	.000	.000	.000	.024	1.65	3.02	7.11	3.76	6.35	1.15	.000	1.92
1967	.000	.000	3.47	.004	.215	6.99	.709	13.7	21.1	6.44	.912	.016	4.46
1968	.000	.000	.000	.000	.000	.002	9.40	34.0	46.6	12.2	4.98	.783	9.00
1969	.000	.000	.000	.154	.157	1.68	10.5	4.37	12.8	7.68	1.65	.044	3.25
1970	.000	.000	.000	.000	1.06	1.25	7.86	32.8	33.1	10.4	2.82	.063	7.45
1971	.000	.000	.109	.452	.394	.963	1.25	7.63	22.6	4.93	.226	.000	3.21
1972	.000	.000	.000	.000	.562	.705	.039	.001	.179	.181	.000	.000	.139
1973	.000	.000	.000	.000	.006	1.51	.522	11.4	10.0	21.5	1.67	.031	3.89
1974	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.88	-	-	-	.901	.003	(7.10)
1975	.000	.000	.000	.000	.000	.000	23.0	26.9	18.5	11.5	.426	.021	6.70
1976	.000	.000	.000	.000	.519	1.31	1.74	.268	.075	1.63	.425	.002	.497
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1.19)
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(6.30)
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(8.83)
1980	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	(.000)	(20.1)	(7.86)	(1.36)	.000	(2.44)
1981	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	(.000)	(7.65)	(10.2)	(1.31)	.000	(1.60)
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.220)
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.242)
1984	.000	.000	(.387)	(.105)	(.312)	(.721)	(1.64)	(1.03)	(14.1)	(5.56)	(.050)	.000	(1.99)
Moy.	.006	.000	.419	.141	.239	2.06	8.25	10.9	15.0	11.1	1.57	.157	4.20

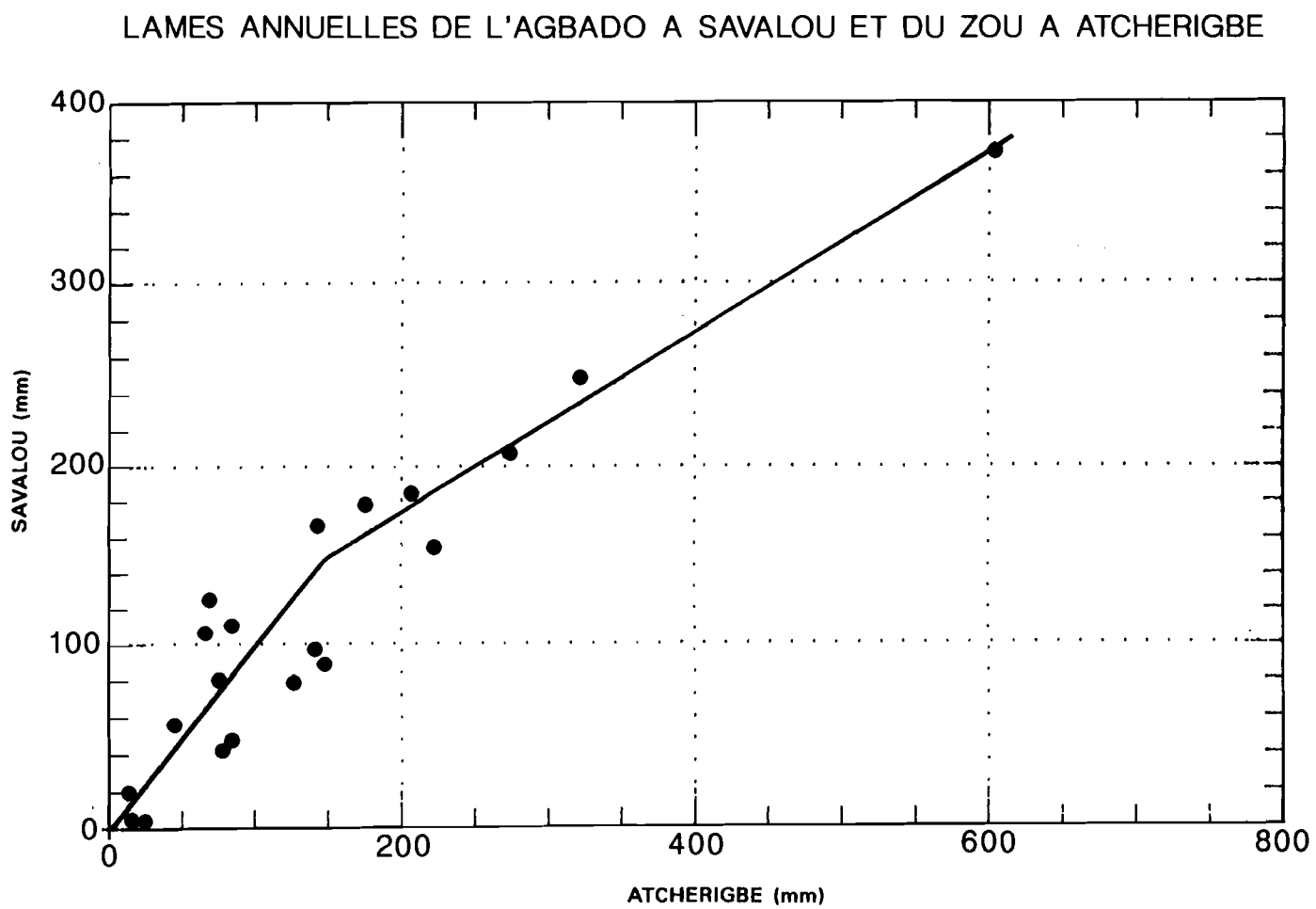
Tableau T.H.I.38 - Agbado à Savalou
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	.000	.000	.000	.000	.000	.139	4.07	10.6	34.9	53.9	55.1
1954	.000	.000	.000	.000	.000	.058	.578	4.23	17.3	51.5	52.8
1955	.000	.000	.000	.000	.000	.024	7.52	23.8	46.0	85.7	110.
1956	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.947	2.43	4.64	5.41
1957	.000	.000	.000	.000	.000	1.69	10.8	33.3	51.5	69.5	84.5
1958	.000	.000	.000	.000	.000	.003	.140	2.69	8.58	18.0	21.7
1959	.000	.000	.000	.000	.000	.451	3.07	16.1	41.4	64.9	66.7
1960	-	.000	.000	.000	.053	.616	9.88	26.0	47.8	81.3	-
1961	-	.000	.000	.000	.000	.003	3.56	23.0	43.9	65.7	-
1962	-	.000	.000	.000	.000	.651	13.5	38.4	62.1	85.5	-
1963	-	.000	.000	.000	.000	.632	26.5	68.3	80.0	84.3	-
1964	-	.000	.000	.000	.000	.000	.053	10.2	22.7	56.3	-
1965	-	.000	.000	.000	.000	.000	9.15	22.7	44.7	57.9	-
1966	-	.000	.000	.000	.000	.008	2.31	6.62	14.0	22.9	-
1967	-	.000	.000	.000	.000	.000	3.20	17.6	36.4	66.2	-
1968	-	.000	.000	.000	.000	.000	10.8	45.3	59.9	80.9	-
1969	-	.000	.000	.000	.000	.152	4.55	11.1	17.6	39.5	-
1970	-	.000	.000	.000	.000	.453	6.51	29.2	52.0	75.0	-
1971	-	.000	.000	.000	.003	.152	1.93	11.8	21.1	77.8	-
1972	-	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.743	1.18	1.71	-
1973	-	.000	.000	.000	.000	.024	3.96	13.3	40.2	64.1	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	-	.000	.000	.000	.000	.000	12.0	23.6	44.6	88.7	-
1976	-	.000	.000	.000	.000	.000	.424	2.17	3.50	4.93	-
1978	-										
1979											
1980	-	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(11.6)	(23.9)	(46.8)	-
1981	-	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(10.4)	(15.5)	(18.6)	-
1983											
1984	-	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(.000)	(1.12)	(8.39)	(18.1)	(46.5)	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig. H.122



b/ Analyse statistique

La série observée a été complétée et étendue à la période de référence à l'aide du modèle hydropluviométrique dont nous avons précisé la fonction de production au paragraphe précédent.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux aux échantillons ainsi reconstitués des lames écoulées et des modules.

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	9.47 m ³ /s	43.0 mm
Paramètre de forme	3.3	3.3

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(0)	(0)	0.990	4.34	10.1	26.4	49.5	64.3	77.9	94.9	107	
Lame écoulée (mm)	(0)	(0)	4.49	19.7	45.8	120	224	292	354	430	485	

11.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

Une année sur deux, l'écoulement s'arrête entre le 27 novembre et le 27 janvier, il reprend entre le 16 mars et le 7 avril. Le maximum s'observe tantôt au cours de la première saison des pluies tantôt au cours de la seconde saison des pluies. Dans le premier cas (46 %), sa date d'apparition est comprise une année sur deux entre le 10 juin et le 10 juillet, dans le second cas entre le 25 août et le premier octobre. La durée de la période sans écoulement est comprise, une année sur deux, entre 1.5 et 3 mois. La durée de cette période a augmenté en moyenne de plus d'un mois depuis 1968.

	Jf	Jd	Jx1 (46 %)	Jx2 (54 %)	NS	NSA	NSB
Moyenne	14	84	180	256	70	55	89
Médiane	19	83	194	264	66	60	77
Ecart-type	29.1	19.5	31.5	22.8	39	33	39
Minimum	- 52	31	102	215	7	7	46
Maximum	72	139	210	285	153	102	153
1 ^o quartile	- 4	75	170	237	47	16	58
3 ^o quartile	27	97	201	274	94	78	119

Jf, Jd, Jx1, Jx2 : dates (en jour depuis le 1er janvier) de la fin de l'écoulement, de la reprise, du maximum de la crue au cours de la première ou la deuxième saison des pluies (46 % et 54 % des cas).

NS, NSA, NSB : nombre de jours sans écoulement, toutes années confondues, avant et après 68.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.052	0.043	0.898	1.59	4.70	19.1	56.4	66.5	85.3	63.6	8.47	0.618
	s	0.100	0.100	1.96	1.72	12.2	25.7	63.7	83.9	80.3	51.2	9.63	0.69
% des apports annuels	m	0.082	0.038	0.40	3.01	2.81	10.7	15.7	17.4	27.2	20.1	1.91	0.19
	s	0.29	0.158	1.13	6.04	4.93	13.7	10.9	12.2	14.9	13.6	1.89	0.43

m : moyenne ; *s* : écart-type

L'irrégularité interannuelle des profils est très grande et le profil moyen décrit dans le tableau ci-dessus n'est absolument pas représentatif de la réalité.

La méthode CAH nous permet de classer l'ensemble de ces profils en cinq groupes se distinguant surtout par l'importance relative des apports au cours de la première et de la deuxième saison des pluies et par l'intensité de la petite saison sèche.

La première classe (mode 1) regroupe les années 53, 55, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 74, 75 et est caractérisée par un profil très régulier avec une répartition presque symétrique de part et d'autre du mois d'août où les apports relatifs sont maximaux.

La deuxième classe (mode 2) qui regroupe les années 56, 57, 59, 60, 69, 73, 77 et 84 se caractérise par des apports relatifs très faibles au cours de la première saison des pluies.

La troisième classe qui regroupe les années 1958, 72, 82 et 83 se caractérise par des apports au cours de la première saison des pluies, relativement très importants.

Les années 52 et 64 se singularisent : plus de 60 % des apports ont lieu au mois d'octobre pour la première, au mois de septembre pour la seconde.

Partition de l'ensemble des profils en cinq classes (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode 1	0.007	0.007	0.34	0.39	0.72	5.35	23.2	28.3	24.6	14.7	1.41	0.09
Mode 2	0.049	0.009	0.68	0.92	2.30	4.98	9.92	9.03	38.7	29.9	2.83	4.18
58-72-82-83	0.37	0.201	0.128	16.3	11.4	40.1	9.66	4.55	8.72	8.46	0.35	0.003
1954	0.0005	0	0.20	0.64	0.46	13.0	5.99	1.83	5.90	62.2	8.24	0.46
1964	0.20	0.04	0.21	0.29	0.082	0.89	4.78	21.16	62.4	9.9	0.46	0.003

11.4. Courbes des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s				
	10	25	50	75	100
Maxi	167	343	578	750	902
DCC	61.8	154	309	464	617
DC1	37.3	93.1	186	279	372
DC3	10.0	34.3	68.5	102	137

11.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observée a été étendue à partir de la relation liant ceux-ci aux modules et que nous avons présenté au paragraphe précédent. C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à l'échantillon des débits maximaux.

a/ Paramètre de la loi ajustée

Paramètre d'échelle : 76.8 m ³ /s Paramètre de forme : 4.63

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	0.451	15.4	48.7	89.4	153	317	535	672	796	948	1060	

11.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

Le Zou se tarit chaque année au niveau d'Atcherigbe. Les caractéristiques de distribution des jours sans écoulement ont été précisées au paragraphe 11.3..

b/ Tarissement

	Moyenne	Ecart-type
TR1	9.0	3.6
Qc	0.060	0.100
TR2	2.0	1.0

TR1 et TR2 : coefficients de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière.

Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.39 - Zou à Acherigbe
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1951	-	-	.102	.533	.184	11.6	18.6	42.0	43.4	87.6	32.3	.875	(41.9)
1952	.034	.000	-	.451	.130	.608	16.2	12.5	50.1	111.	7.11	.592	(40.3)
1953	.080	.167	1.41	.410	.445	34.6	117.	72.7	65.9	84.8	9.33	.441	32.3
1954	.000	.000	.446	1.39	1.00	28.4	13.1	4.00	12.9	136.	18.0	1.00	18.0
1955	.063	.239	.673	.228	4.03	24.0	160.	170.	93.0	118.	10.8	.874	48.5
1956	.041	.000	.004	1.20	.170	4.07	.613	.013	19.2	15.3	1.22	.945	3.57
1957	.000	.000	.035	1.10	65.8	95.1	127.	73.0	210.	115.	31.5	2.69	60.1
1958	.493	.274	.174	7.41	5.25	16.6	1.47	.012	.086	2.29	.123	.004	2.85
1959	.022	.131	.182	1.98	3.88	1.27	24.8	8.51	70.0	60.4	2.46	.304	14.5
1960	.000	.000	.801	1.58	.793	8.75	80.1	56.0	196.	94.5	24.6	1.02	38.7
1961	.039	.000	.000	1.41	.631	2.00	73.8	33.2	28.0	41.1	1.57	.023	15.2
1962	.000	.000	.551	.230	2.08	116.	144.	266.	118.	169.	25.1	2.01	70.3
1963	.114	.007	2.94	.854	.976	34.1	-	-	-	-	-	2.19	(133.)
1964	.227	.051	.247	.344	.097	1.06	5.67	25.1	74.0	11.8	.555	.009	9.93
1965	.000	.000	.543	1.15	.068	19.5	112.	76.0	75.5	52.2	2.27	.069	28.3
1966	.000	.000	.000	1.17	.498	25.0	58.2	63.8	45.2	21.0	5.86	.084	18.4
1967	.000	.000	6.78	4.11	2.86	17.9	13.9	80.7	69.7	22.8	2.39	.108	18.4
1968	.025	.000	.000	.402	3.87	17.2	255.	344.	357.	160.	16.4	.963	96.2
1969	.058	.000	.000	2.41	3.04	3.57	26.9	15.0	100.	40.3	6.47	.251	16.5
1970	.016	.000	1.35	.496	20.1	3.65	36.2	190.	216.	74.0	2.65	.250	45.4
1971	.019	.000	.038	.510	5.16	27.5	47.2	122.	106.	22.9	1.39	.122	27.7
1972	.002	.000	.000	5.82	6.91	17.1	9.72	2.36	6.78	2.07	.358	.000	4.26
1973	.000	.000	.000	3.18	3.19	4.50	8.04	85.3	101.	152.	13.5	.832	31.0
1974	.065	.000	.277	.344	.521	.553	143.	97.6	154.	55.6	7.24	.355	38.3
1975	.006	.000	.203	2.71	.123	4.39	97.1	128.	94.5	45.0	2.30	.814	31.3
1976	.045	.410	.056	.016	.708	11.4	-	3.07	2.09	-	15.3	.904	(5.81)
1977	.196	.000	.000	.000	.532	4.63	2.17	6.95	28.6	33.1	.899	.003	6.42
1978	.000	.000	1.63	-	-	35.2	24.1	4.25	-	17.5	2.37	1.38	(34.2)
1979													
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	154.	112.	17.3	.653	(31.7)
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(28.2)
1982	.000	.000	.000	1.95	2.36	4.80	1.35	1.18	.513	2.10	.048	.000	1.19
1983	.000	.000	.000	2.92	.004	7.09	.921	.843	2.80	1.33	.000	.000	1.33
1984	.000	.000	8.50	1.44	5.73	9.25	17.3	9.76	64.1	48.1	1.20	.018	13.8
Moy.	.051	.042	.898	1.59	4.71	19.1	56.4	66.5	85.3	63.6	8.47	.618	26.6

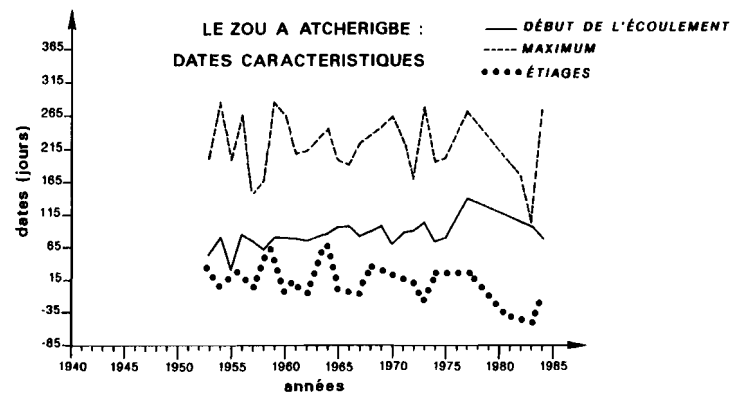
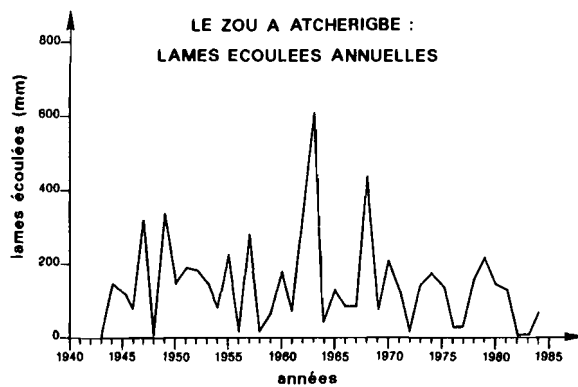
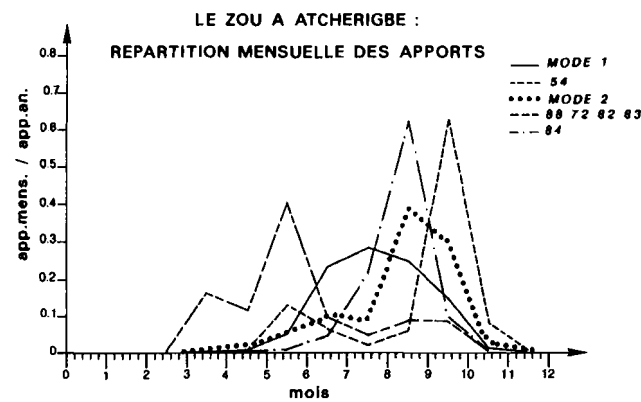
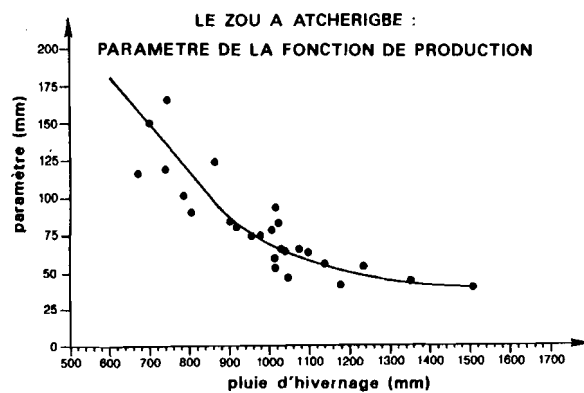
Tableau T.H.I.40 - Zou à Atcherigbe
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	308.
1953	.000	.000	.000	.000	.135	2.73	43.8	118.	190.	418.	452.
1954	.000	.000	.000	.000	.185	2.67	11.5	56.2	174.	347.	357.
1955	.000	.000	.000	.023	.221	3.51	62.9	169.	293.	611.	630.
1956	.000	.000	.000	.000	.009	.269	1.80	13.1	27.0	137.	153.
1957	.000	.000	.000	.000	.051	15.2	89.8	217.	304.	452.	486.
1958	.000	.000	.000	.000	.010	.327	1.72	10.3	30.1	81.2	90.2
1959	.000	.000	.000	.011	.040	1.61	7.28	58.5	112.	192.	222.
1960	.000	.000	.000	.000	.029	2.08	47.7	145.	262.	445.	469.
1961	.000	.000	.000	.000	.007	.890	12.9	60.0	130.	170.	233.
1962	.000	.000	.000	.000	.087	4.59	93.0	290.	474.	659.	682.
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	.000	.000	.000	.000	.022	.325	4.69	43.6	90.0	145.	180.
1965	.000	.000	.000	.000	.000	.454	46.7	97.7	161.	297.	354.
1966	.000	.000	.000	.000	.000	1.30	26.4	63.3	107.	244.	288.
1967	-	.000	.000	.000	.000	3.27	18.2	76.1	127.	240.	-
1968	-	.000	.000	.000	.038	4.36	145.	360.	596.	872.	-
1969	.000	.000	.000	.000	.078	2.16	14.2	55.4	111.	263.	272.
1970	.000	.000	.000	.000	.030	1.14	48.7	200.	292.	418.	421.
1971	.000	.000	.000	.000	.041	1.20	35.9	101.	170.	417.	470.
1972	.000	.000	.000	.000	.000	1.08	4.29	13.8	30.2	66.8	95.1
1973	-	.000	.000	.000	.000	1.79	33.9	117.	216.	564.	-
1974	.000	.000	.000	.000	.053	.730	42.6	161.	308.	539.	586.
1975	.000	.000	.000	.000	.022	.990	48.3	120.	208.	351.	377.
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1977	-	.000	.000	.000	.000	.118	2.29	25.5	56.8	125.	-
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979											
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981											
1982	.000	.000	.000	.000	.000	.101	.947	3.55	6.77	69.6	90.2
1983	-	.000	.000	.000	.004	.100	.789	4.70	9.03	43.7	-
1984	-	.000	.000	.000	.000	2.34	8.52	51.0	107.	315.	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.23 - LE ZOU A ATCHERIGBE



12. Le Zou à Domé (8 210 km²)

12.1. Observations (1952-1984)

19 années complètes seulement ont pu être observées à cette station.

La station n'est pas stable et les étalonnages ne sont pas très précis notamment en basses eaux.

12.2. Apports

a/ Apports sur le bassin intermédiaire entre Domé et Atcherigbe

On constate pour le Zou entre Domé et Atcherigbe le même phénomène observé sur l'Ouémé entre Sagon et la confluence avec l'Okpara. Pour les années de fortes hydraulicités il se produit d'importantes pertes le long du bief. Pour ces années, les hydrogrammes présentent la même allure tronquée qu'à Sagon et les débits restent toujours inférieurs à une valeur proche de 130 m³/s. On trouvera à titre d'exemple représenté sur la figure n° H.I.24a celui de 1963.

Pour évaluer ces pertes nous avons comparé les volumes réellement écoulés à Domé à ceux qui auraient dû être théoriquement observés et que nous avons estimés en multipliant ceux d'Atcherigbe par 1.18, rapport des surfaces contrôlées.

On constate une très forte liaison entre les déficits d'écoulement ainsi évalués et la valeur du débit caractéristique de crue (DCC) à Atcherigbe (fig. H.I.24a) :

$Df = 0$	pour	$DCC < 137 \text{ m}^3/\text{s}$
$Df = -0.14 * (DCC - 137)$	pour	$DCC > 137 \text{ m}^3/\text{s}$
$R^2 = 0.95$		

avec Df = déficit d'écoulement à Domé en m³/s
 DCC = débit caractéristique de crue à Atcherigbe en m³/s

b/ Analyses statistiques

La série des modules observée à Domé a été étendue à la période de référence à partir de ceux d'Atcherigbe en utilisant la relation précédente.

Les pertes très importantes qui se produisent sur le bief, écrasent la distribution des modules, et aucune loi statistique non bornée supérieurement ne s'ajuste de façon satisfaisante. En revanche la loi bêta donne de bons résultats.

Paramètres de la loi Bêta ajustée

Paramètre de position	: 0 m ³ /s
Paramètre d'échelle	: 72 m ³ /s
1° paramètre de forme	: 1.523
2° paramètre de forme	: 3.194

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	1.26	2.0	3.73	6.06	10.1	21.3	35.7	43.4	49.4	55.2	58.6	

12.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx1 (47 %)	Jx2 (53 %)
Moyenne	71	79	190	255
Médiane	62	76	200	260
Ecart-type	55	52	24	23
Minimum	1	2	131	216
Maximum	166	167	212	281
1°quartile	22	32	194	232
3°quartile	132	133	202	275

Jf, Jd : dates de l'apparition de l'étiage et de la reprise de l'écoulement (en jours depuis le début de l'année)

Jx1, Jx2 : date (en jours depuis le 1er janvier) du maximum lorsqu'il survient au cours de la première ou deuxième saison des pluies (47 % et 53 % des cas).

Une année sur deux l'étiage apparaît entre le 22 janvier et le 12 mai, l'écoulement reprend entre le 1er février et le 13 mai.

Dans 47 % des cas, le maximum annuel survient au cours de la première saison des pluies. Sa date d'apparition est alors comprise une fois sur deux entre le 13 et le 31 juillet. Dans 53 % des cas, il survient au cours de la seconde saison des pluies et sa date d'apparition est comprise une fois sur deux entre le 20 août et le 2 octobre.

Les maxima des crues arrivent à Domé 3 à 6 jours après être passés à Atcherigbe.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jt	At	Sp	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	1.21	1.13	1.72	3.30	6.08	21.3	43.1	53.8	62.7	56.4	12.7	1.79
	s	0.42	0.38	1.66	4.92	8.08	21.4	44.7	49.7	44.0	43.8	13.2	1.01
% des apports annuels	m	0.86	0.81	1.16	2.41	3.81	9.91	14.5	19.2	24.5	17.8	3.53	1.01
	s	0.89	0.82	1.13	3.12	4.83	11.08	7.45	9.37	11.5	10.2	1.93	1.05

m : moyenne ; s : écart-type

Du fait du laminage des crues à Atcherigbe et Domé, l'irrégularité annuelle des profils mensuels des apports est moins importante qu'à Atcherigbe.

On peut faire une partition en cinq classes de l'ensemble des profils à l'aide de la méthode CAH. La première classe (mode) regroupe 13 des 19 années observées et se caractérise par un profil assez régulier. La seconde regroupe les années 1972, 1973 et 1974 et se caractérise par des apports au cours de la première saison des pluies relativement très importants. Les années 1964, 1969 et 1974 se distinguent.

Partition en cinq classes de l'ensemble des profils (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode	0.36	0.35	0.76	1.47	2.13	6.60	16.4	24.4	24.4	18.2	3.72	0.55
1972-82-83	2.57	2.45	2.91	7.15	12.8	31.1	13.4	5.26	8.77	6.98	3.48	3.15
1964	1.78	1.38	1.33	1.75	1.61	2.19	4.46	18.4	54.8	9.90	1.66	1.13
1969	1.11	0.83	0.79	1.46	2.32	1.71	15.4	10.6	39.9	20.5	4.42	0.77
1977	1.10	1.15	1.30	2.03	2.50	5.39	2.23	3.83	26.9	49.8	2.19	1.00

12.4. Courbes des débits classés (m³/s)

a/ Relation entre les débits caractéristiques à Domé et à Atcherigbe

Il existe une assez forte relation entre le débit maximum à Domé et le DCC à Atcherigbe. Les autres débits caractéristiques sont aussi fortement reliés.

Nous avons pu ajuster à ces relations des expressions mathématiques de la forme suivante :

$$DCx = a * 150 / (a^b + DCy^b)^{1/b}$$

où DCx = débit caractéristique à Domé (m³/s)

a, b = paramètres

DCy = débit caractéristique à Atcherigbe expliquant DCx (m³/s).

Les valeurs des paramètres et les coefficients de corrélation sont résumés dans le tableau suivant :

		DCy	a	b	R ²
D C x	Maxi	DCC	33.5	1.07	0.98
	DCC	DCC	110	1.62	0.97
	DC1	DC1	125	2.12	0.96
	DC3	DC3	122	3.44	0.92

b/ Relations entre débits caractéristiques et modules (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s					
	10	20	30	40	50	60
Maxi	106	126	137	139	141	143
DCC	77.2	112	128	132	136	139
DC1	39.7	77.9	114	126	131	136
DC3	6.6	22.0	52.9	90	116	132
DC6	2.00	2.2	2.4	2.6	6.3	(30)

Ces courbes semblent indiquer que les pertes constatées sur le bief Atcherigbe-Domé s'accompagnent d'un étalement considérable des crues. Pour un module de 60 m³/s l'écart entre le maximum et le DC3 n'est que de 10 m³/s.

Ce phénomène est tout à fait analogue à celui observé sur l'Ouémé entre la confluence de l'Okpara et Sagon. Les conditions géomorphologiques entre les deux biefs sont elles aussi tout à fait semblables : chute brutale de la pente du lit de la rivière, contact géologique entre les formations du socle et celles du continental terminal.

12.5. Débits maximaux

Le laminage considérable des crues que nous avons constaté dès que les débits à Atcherigbe deviennent élevés, a pour conséquence de fixer une limite supérieure aux débits maximaux annuels.

Dans ces conditions aucune loi statistique non bornée supérieurement ne peut convenir. C'est ce que nous avons vérifié à partir de l'échantillon des débits maximaux observés et reconstitués.

Nous avons pu en revanche ajuster de façon très satisfaisante une loi Bêta.

a/ Paramètres de la loi ajustée

Paramètre d'échelle	: 145 m ³ /s
Paramètre de position	: 0 m ³ /s
1° paramètre de forme	: 1.562
2° paramètre de forme	: 0.380

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides				
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Débits maximaux	16.0	24.5	42.5	63.0	90.5	131	143	144	145	145	(145)

12.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

Les étiages à Atcherigbe sont très sévères puisque chaque année l'écoulement s'arrête. A Domé, en revanche, les étiages sont toujours soutenus et à l'inverse de ce qui a été constaté à Atcherigbe, les distributions des étiages avant et après 1968 sont très peu différentes. Il semblerait même que les étiages soient légèrement plus forts après 1968.

Ici encore, on retrouve un phénomène tout à fait comparable à celui constaté sur l'Ouémé entre Sagon et la confluence avec l'Okpara.

Caractéristiques des distributions des étiages

	QN	QNA	QNB
Moyenne	1.02	0.97	1.07
Médiane	1	0.98	1.07
Ecart-type	0.29	0.37	0.22
Minimum	0.482	0.482	0.70
Maximum	1.71	1.71	1.32
1 ^o quartile	0.826	0.724	0.89
3 ^o quartile	1.27	1.15	1.29

QN, QNA, QNB : valeur en m³/s de l'étiage toutes années confondues, avant et après 1968.

b/ Tariesement

Jusqu'à ce que soit atteint un débit charnière Q_c de 3.00 m³/s, le tarissement est relativement rapide, il devient beaucoup plus lent ensuite.

	Moyenne	Ecart-type
TR1	7.6	2.9
Q_c	3.0	1.2
TR2	62.5	19.0

TR1 et TR2 : coefficients de tarissement (en jours) avant et après le débit charnière.

Q_c : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.41 - Zou à Domé

Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1952	-	-	-	-	-	-	13.8	17.3	37.8	103.	11.1	1.21	(28.3)
1953	.982	1.02	1.77	1.20	3.42	50.8	82.4	85.2	69.4	88.8	12.9	1.55	33.3
1954	1.03	1.05	1.34	1.83	1.45	40.8	14.8	3.99	8.40	-	30.2	1.84	(19.9)
1955	1.11	1.29	1.53	1.69	4.23	23.2	88.6	122.	90.7	114.	25.1	1.71	39.6
1956	.988	.988	1.03	1.42	.961	4.16	1.20	.549	18.0	-	-	-	(4.20)
1957	.785	.579	1.41	1.87	33.0	103.	111.	87.3	128.	121.	38.9	3.83	52.6
1958	.882	.012	-	-	5.54	18.7	2.06	1.12	1.31	1.98	1.72	.442	(3.35)
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(17.2)
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(27.5)
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	32.6	54.7	2.35	.878	(18.1)
1962	.833	.811	.901	1.23	2.09	-	152.	166.	140.	154.	35.2	4.00	(46.2)
1963	1.93	1.77	2.76	2.03	1.46	32.1	107.	125.	127.	123.	39.2	4.18	47.3
1964	2.40	1.86	1.78	2.35	2.17	2.95	5.99	24.7	73.6	13.3	2.23	1.52	11.2
1965	1.42	1.51	1.87	2.59	1.60	25.9	102.	82.6	83.4	53.7	4.79	1.59	30.3
1966	1.22	1.07	1.07	1.90	2.14	33.0	68.9	65.7	50.4	19.0	9.30	1.11	21.2
1967	.773	.848	4.31	6.71	3.63	22.2	22.2	76.4	70.8	26.3	3.44	.824	19.9
1968	.746	.907	.728	1.14	4.97	25.9	122.	130.	131.	115.	41.0	3.76	48.1
1969	2.04	1.51	1.44	2.67	4.22	3.13	28.0	19.3	72.6	37.3	8.04	1.40	15.1
1970	1.03	1.08	1.51	1.65	9.81	7.15	25.8	106.	117.	66.0	7.24	2.13	28.9
1971	1.58	1.58	1.62	1.88	4.82	7.60	31.9	73.4	79.7	26.7	3.03	1.39	19.6
1972	1.25	1.31	1.87	5.31	5.53	26.1	10.0	2.67	6.37	2.25	1.45	1.19	5.44
1973	1.17	1.10	1.19	4.00	4.82	3.82	7.61	76.5	97.4	93.0	18.2	2.33	25.9
1974	1.55	1.40	1.37	1.61	1.76	2.27	53.2	91.3	96.1	60.6	8.02	1.70	26.7
1975	1.45	1.44	1.41	2.60	1.82	3.17	78.8	-	86.6	45.7	3.88	-	(26.9)
1976	1.42	1.25	1.36	1.37	1.32	8.69	5.33	2.42	1.36	-	-	-	(24.1)
1977	.743	.781	.883	1.37	1.69	3.64	1.51	2.59	18.1	33.6	1.48	.680	5.59
1978	.849	1.07	1.77	6.70	-	44.0	25.3	4.94	32.9	20.4	3.26	.679	(25.3)
1979	.570	.746	.973	1.26	24.0	-	-	-	-	22.8	21.8	1.76	(32.6)
1980	1.30	.978	1.01	-	-	26.4	2.27	35.4	104.	95.4	24.6	2.43	(24.2)
1981	1.51	1.44	1.39	1.41	1.61	23.3	-	-	59.6	30.2	2.86	1.26	(22.7)
1982	1.09	1.04	1.16	1.85	6.07	5.79	5.99	2.52	1.92	3.24	1.45	1.42	2.80
1983	.993	.869	.925	3.00	4.58	13.8	2.75	1.62	4.17	3.04	1.51	1.32	3.22
1984	1.51	1.42	9.45	26.7	25.5	14.5	33.6	46.0	41.0	50.1	4.72	2.12	21.4
Moy.	1.21	1.13	1.72	3.31	6.08	21.3	43.1	53.8	62.7	56.4	12.7	1.80	24.1

Tableau T.H.I.42 - Zou à Domé
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1952	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	.852	.852	.852	.934	1.23	3.96	63.6	114.	122.	129.	130.
1954	.934	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127.
1955	.977	.977	1.02	1.19	1.45	3.79	88.9	126.	129.	137.	138.
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	.482	.482	.523	.615	1.16	18.1	114.	135.	138.	142.	143.
1958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	1.15	1.15	1.24	1.52	1.77	5.95	121.	132.	135.	137.	138.
1964	1.42	1.42	1.47	1.62	1.90	2.47	6.02	42.5	86.9	113.	113.
1965	1.27	1.27	1.28	1.37	1.42	2.23	63.3	110.	122.	127.	128.
1966	.770	.770	1.01	1.06	1.13	2.59	29.1	82.6	102.	128.	150.
1967	.678	.678	.724	.770	.861	4.56	25.9	86.7	112.	122.	123.
1968	.587	.593	.678	.718	.815	6.32	122.	135.	138.	140.	140.
1969	1.02	1.07	1.17	1.34	1.62	3.58	18.3	54.7	109.	124.	124.
1970	.861	.887	.920	1.02	1.09	2.70	41.8	120.	127.	134.	134.
1971	1.17	1.17	1.22	1.48	1.61	2.11	23.6	74.2	112.	133.	134.
1972	1.08	1.08	1.13	1.18	1.28	2.04	5.05	14.2	31.5	75.4	79.3
1973	1.04	1.04	1.05	1.13	1.23	2.89	38.1	113.	129.	139.	140.
1974	1.32	1.32	1.32	1.37	1.48	1.89	42.3	112.	127.	134.	136.
1975	1.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	133.
1976	.699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47.7
1977	.657	.657	.657	.699	.784	1.18	2.19	17.6	50.9	92.1	92.8
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	.530	-	-	-	-	-	-	-	-	-	139.
1980	.911	-	-	-	-	-	-	-	-	-	133.
1981	1.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	111.
1982	-	1.00	1.00	1.04	1.14	1.42	2.45	5.30	19.2	37.2	-
1983	-	.826	.826	.869	1.22	1.51	3.49	5.16	20.0	24.7	-
1984	1.42	1.32	1.42	1.42	1.80	15.6	33.4	52.7	90.7	115.	116.

m.Ins : minimum instantané

m.Jou : minimum journalier

DCE : débit caractéristique d'étiage

DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue

M.Jou : maximum journalier

M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.24a - LE ZOU A DOME

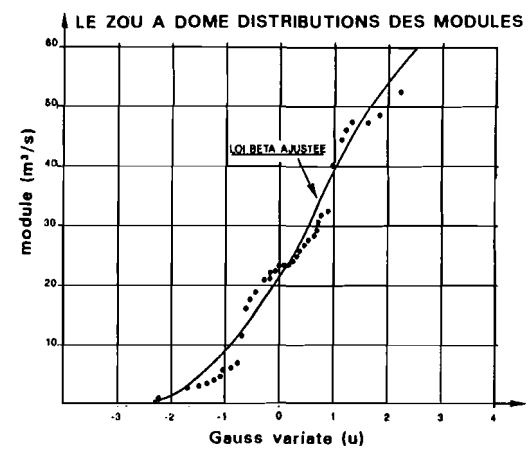
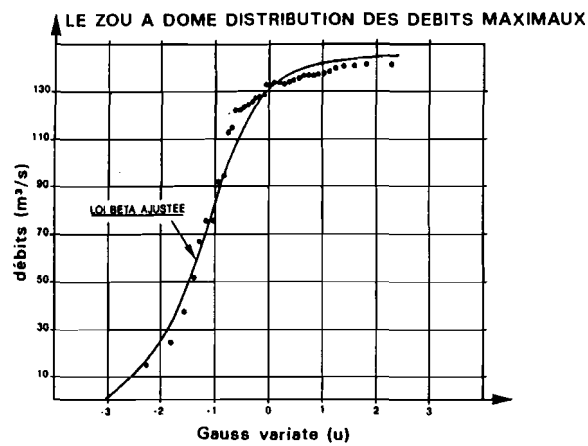
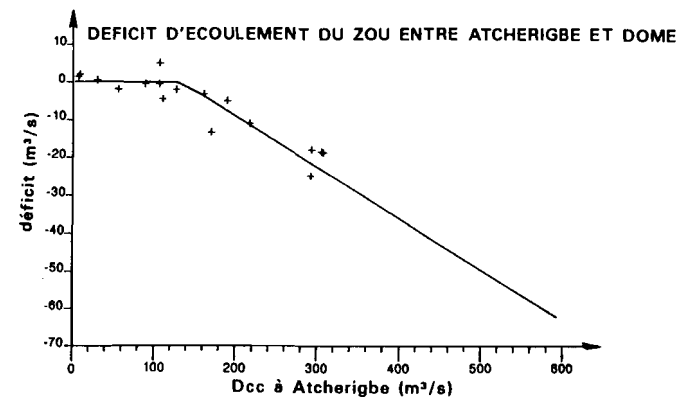
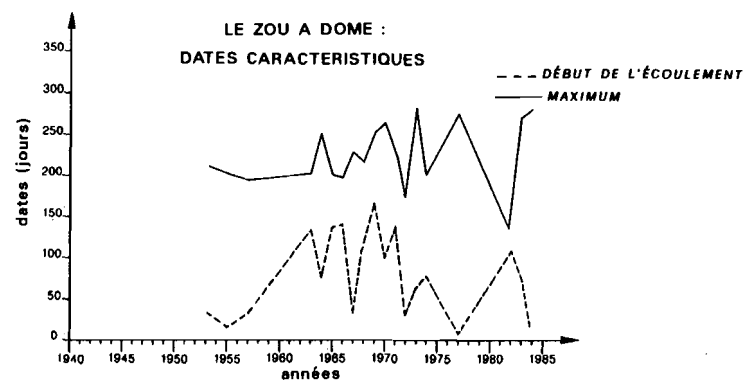
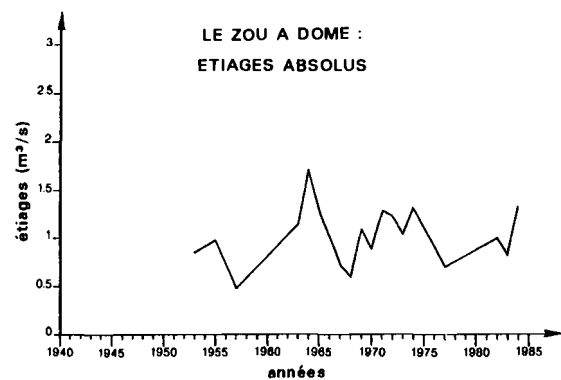
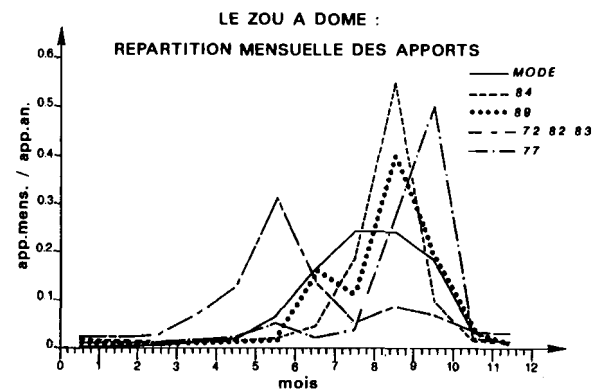
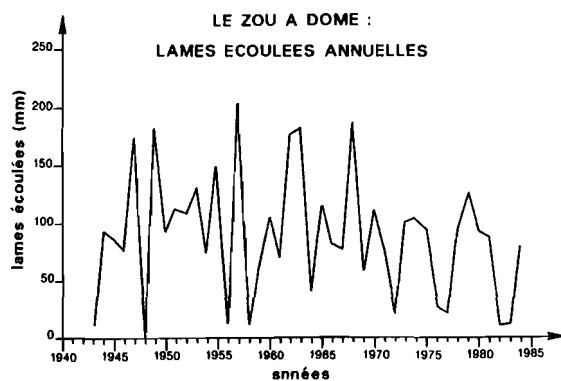


Fig- H.I.24b - LE ZOU A DOME



13. L'Ouémé à Bonou (46 990 km²)

13.1. Observations (1948-1984)

28 années complètes seulement ont pu être observées à cette station depuis sa création en 1948.

La station n'est pas stable en basses eaux. La plupart des jaugeages ont été réalisés essentiellement au cours de deux périodes : 1954-1955 et 1964-1965. Les débits des basses eaux calculés en dehors de ces périodes sont donc assez incertains.

13.2. Apports

a/ Corrélation entre les modules observés à Bonou et ceux estimés à la confluence de l'Ouémé et du Zou

Les modules de l'Ouémé à Bonou sont corrélés de façon très étroite à la somme de ceux observés à Sagon sur l'Ouémé d'une part et à Domé sur le Zou d'autre part (fig. H.I.25a) :

$$QB = 1.058 (QS + QD) - 8.93 \quad R^2 = 0.99$$

avec : $QB = \text{module à Bonou}$
 $QS = \text{module à Sagon}$
 $QD = \text{module à Domé}$

La qualité de la corrélation et la valeur des coefficients de la droite de régression lèvent les doutes que l'on aurait pu avoir sur la réalité des pertes observées sur le bief à l'amont de Sagon et sur celui compris entre Domé et Atcherigbe.

b/ Analyses statistiques

La série des modules observés à Bonou a été étendue et complétée à la période de référence à partir de ceux de Domé et Sagon, en utilisant la relation précédente.

C'est la Loi des Fuites qui donne le meilleur ajustement.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

Paramètre de forme : 5.20
Paramètre d'échelle : 32.39 m ³ /s

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	4.54	12.4	28.8	48.2	77.6	151	249	309	363	429	477	

13.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx
Moyenne	97	104	265
Médiane	98	100	268
Ecart-type	35.4	25	26
Minimum	30	68	181
Maximum	154	157	307
1 ^o quartile	80	84	259
3 ^o quartile	123	125	281

Jf, Jd, Jx : dates de l'apparition de l'étiage, de la reprise de l'écoulement et d'apparition du maximum (en jours depuis le début de l'année).

Une année sur deux l'étiage apparaît entre le 21 mars et le 3 mai, le maximum intervient entre le 16 septembre et le 8 octobre.

Les apports du Zou étant bien inférieurs en règle générale à ceux de l'Ouémé, le régime hydrologique à Bonou est surtout conditionné par les pluies sur le bassin supérieur de l'Ouémé. De ce fait le maximum apparaît rarement au cours de la première saison des pluies ; c'est arrivé cependant trois fois en 1953, 1955 et 1958 ou une petite saison sèche s'était installé au cours du mois d'août sur tout le pays. En 1958 le maximum est ainsi apparu à Bonou le 30 juin.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	7.19	3.58	3.44	4.33	8.83	51.5	169	398	612	593	189	25.3
	s	6.75	2.74	2.54	3.17	11.1	66.1	185	327	353	327	168	24.6
% des apports annuels	m	0.65	0.29	0.26	0.42	0.66	3.24	7.07	16.2	31.6	29.4	8.69	1.21
	s	1.23	0.32	0.27	0.70	0.83	5.20	6.28	7.0	10.6	8.81	6.93	0.93

m : moyenne ; s : écart type

Par la méthode CAH on peut faire une partition en six classes de l'ensemble des profils mensuels. Une classe (mode) regroupe 23 des 28 années observés, son profil est régulier avec un maximum en septembre. Les années 54, 58, 72, 76 et 84 en revanche se singularisent.

Partition en six classes de l'ensemble des profils (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode	0.38	0.20	0.16	0.21	0.47	1.48	5.74	17.4	34.2	30.5	7.74	1.03
1954	0.85	0.48	0.38	0.65	0.47	4.42	3.88	7.66	22.0	38.2	18.1	2.42
1958	6.63	1.59	0.54	2.16	2.80	19.3	29.3	10.4	5.28	11.3	6.57	3.81
1972	0.93	0.66	0.95	3.34	2.95	20.4	12.6	11.4	30.8	12.0	3.41	0.71
1976	1.06	0.65	0.58	0.50	0.44	9.38	8.06	15.0	6.53	20.5	34.0	3.36
1984	(0)	(0)	1.19	0.141	1.00	3.28	12.0	9.22	30.7	38.7	3.16	0.15

13.4. Courbes des débits classés (m³/s)

a/ Relation entre les débits caractéristiques à Sagon et à Bonou

Il existe une très forte corrélation linéaire entre les débits caractéristiques à Sagon et à Bonou :

$$DCXB = a.DCXS + b$$

où *DCXB* et *DCXS* : débit caractéristique de même fréquence à Bonou et à Sagon
a et *b* : coefficients des droites de régression.

Les valeurs des coefficients a et b et la valeur du coefficient de corrélation sont données dans le tableau suivant :

	a	b m ³ /s	R ²
Maxi (m ³ /s)	1.20	- 82.3	0.96
DCC (m ³ /s)	1.15	- 30.2	0.98
DC1 (m ³ /s)	1.13	2.20	0.98
DC3 (m ³ /s)	1.24	- 4.45	0.98

b/ Relations entre débits caractéristiques et modules

	Module annuel en m ³ /s				
	50	100	200	300	400
Maxi	375	750	1060	1230	1410
DCC	265	529	941	1110	1280
DC1	225	442	794	970	1150
DC3	37	74	279	588	1044
DC6	8.3	16	30	40	70

13.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observés a été étendue à la période de référence à partir de celle des modules en utilisant la relation précédente.

Du fait des pertes qui se produisent en amont de Sagon sur l'Ouémé et en amont de Domé sur le Zou, et du laminage extrêmement important des crues, il n'est pas possible d'ajuster une loi statistique qui ne soit pas bornée supérieurement.

Nous avons pu en revanche ajuster de façon très satisfaisante une loi Bêta.

a/ Paramètre de la loi Bêta ajustée

Paramètre d'échelle	: 1 550 m ³ /s
Paramètre de position	: 0 m ³ /s
1° paramètre de forme	: 2.16
2° paramètre de forme	: 2.02

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	109	152	237	335	479	805	1120	1260	1350	1420	1460	

13.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

L'étalonnage des basses eaux était imprécis les résultats que nous allons présenter ici sont à considérer avec prudence.

L'écoulement de l'Ouémé se serait arrêté trois fois durant la période d'observations : en 1957, 1979 et 1984.

Les caractéristiques des distributions des étiages sont données dans le tableau ci-après :

	QN	QNA	QNB
Moyenne	1.83	2.17	1.44
Médiane	1.57	1.90	1.08
Ecart-type	1.51	1.60	1.36
Minimum	0	0	0
Maximum	6.08	6.08	4.07
1°quartile	0.802	1.11	0.195
3°quartile	2.45	3.49	2.37

QN, QNA, QNB : débit en m³/s de l'étiage toutes années confondues, avant et après 1968.

Après 1968 on constate une diminution sensible des valeurs des débits d'étiages.

b/ Tariessement

Jusqu'à un débit voisin de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, le tariessement est relativement rapide, il devient plus lent ensuite :

	Moyenne	Ecart-type
TR1	13.1	3.1
Qc	5.14	4.0
TR2	49.0	9.6

TR1 et TR2 : coefficients de tariessement (en jours) avant et après le débit charnière.

Qc : valeur en m^3/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.43 - Ouémé à Bonou : Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

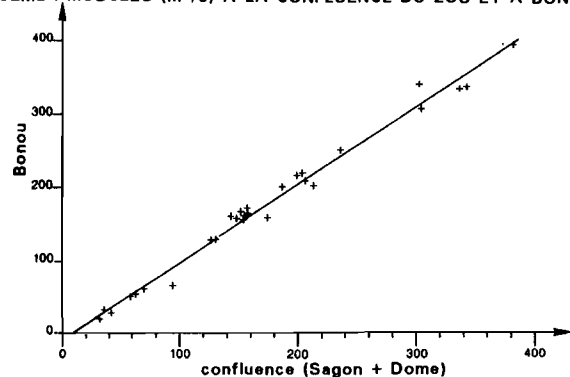
Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1948	-	-	-	-	-	-	-	290.	428.	-	-	-	(92.4)
1949	-	-	-	-	-	-	-	773.	-	-	-	-	(315.)
1950	-	-	-	-	-	-	-	104.	212.	263.	-	-	(90.5)
1951	2.11	4.13	5.05	4.76	3.86	7.28	44.8	313.	768.	801.	597.	67.5	218.
1952	15.3	6.29	6.41	4.90	5.84	5.26	76.5	505.	527.	945.	335.	39.5	206.
1953	14.8	7.53	9.81	5.42	9.87	244.	412.	866.	865.	891.	279.	35.9	303.
1954	15.7	8.81	7.00	12.1	8.76	81.9	71.9	142.	408.	708.	337.	44.9	154.
1955	9.37	3.19	2.55	2.85	11.8	62.2	500.	1040.	1000.	992.	304.	32.3	330.
1956	6.91	2.92	2.36	3.73	1.65	7.87	6.10	71.0	257.	328.	36.4	7.29	60.9
1957	.730	.000	3.73	4.55	62.0	247.	432.	613.	1080.	1000.	476.	89.1	334.
1958	22.1	5.31	1.83	7.19	9.34	64.5	97.6	33.5	17.6	37.6	21.9	12.7	27.6
1959	5.73	3.23	1.47	1.42	5.22	10.6	88.3	122.	723.	806.	111.	10.2	157.
1960	.473	.000	.000	2.94	1.96	6.31	295.	646.	1050.	1010.	340.	-	(282.)
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	422.	488.	-	-	(139.)
1962	-	-	-	1.28	3.39	174.	618.	888.	1050.	1020.	434.	67.6	(355.)
1963	13.5	7.08	4.73	3.95	1.69	42.2	535.	1110.	1220.	1090.	563.	90.8	390.
1964	28.2	10.3	5.18	7.15	8.47	12.6	27.4	214.	761.	401.	59.0	15.6	129.
1965	4.51	2.82	2.73	4.13	4.06	33.3	285.	624.	924.	428.	59.7	11.1	199.
1966	5.26	4.03	3.08	4.82	5.61	74.6	133.	341.	606.	515.	159.	28.0	157.
1967	5.59	3.67	4.94	9.93	7.22	30.6	61.0	486.	879.	753.	148.	20.5	201.
1968	6.77	2.77	2.19	2.86	13.4	71.7	543.	986.	1120.	953.	304.	40.8	337.
1969	13.0	7.68	5.97	7.74	7.63	7.93	48.3	123.	828.	677.	236.	30.6	166.
1970	8.46	5.27	4.85	4.15	14.1	26.7	43.1	307.	702.	720.	71.4	10.2	160.
1971	4.70	3.25	2.76	2.97	5.68	13.7	51.7	290.	742.	385.	33.0	6.91	129.
1972	3.62	2.57	3.69	12.9	11.4	78.8	48.8	44.2	119.	46.4	13.2	2.74	32.3
1973	1.59	.730	.463	1.18	7.62	3.38	24.7	415.	659.	713.	116.	10.0	163.
1974	3.67	2.27	1.90	1.79	1.52	2.64	202.	719.	870.	662.	86.9	13.6	214.
1975	5.65	4.28	3.20	6.92	8.72	13.1	241.	475.	522.	635.	95.0	17.2	169.
1976	6.86	4.24	3.76	3.22	2.86	60.8	52.2	97.2	42.3	133.	220.	21.8	54.0
1977	3.37	1.56	.986	1.07	2.79	3.73	3.43	55.3	243.	268.	28.7	2.58	51.2
1978	.678	.561	.886	4.55	28.6	161.	123.	216.	289.	-	88.2	6.49	(125.)
1979	.968	.041	.055	.148	10.6	36.0	217.	715.	969.	797.	212.	22.8	248.
1980	4.80	2.22	1.53	1.24	2.49	13.2	4.82	165.	739.	717.	251.	23.3	161.
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(97.3)
1982	1.26	.753	.517	1.47	6.37	3.32	5.75	15.2	116.	60.1	16.6	.941	19.0
1983	-	-	-	-	.047	21.3	5.85	66.9	29.0	8.03	.066	.000	(6.95)
1984	.000	.000	9.54	1.14	8.09	26.4	96.7	74.3	247.	312.	25.4	1.19	66.8
Moy.	7.19	3.58	3.44	4.34	8.83	51.5	169.	399.	612.	593.	189.	25.3	173.

Tableau T.H.I.44 - Ouémé à Bonou : Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1948	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	1.22	1.22	1.60	1.76	16.0	411.	801.	892.	906.	906.	906.
1952	3.49	3.49	3.83	4.31	5.77	19.7	428.	790.	1020.	1060.	1070.
1953	3.49	3.49	4.58	5.34	9.02	40.5	667.	928.	1000	1020.	1020.
1954	6.04	6.08	6.63	7.47	10.3	50.1	189.	574.	825.	892.	894.
1955	1.89	1.93	2.18	2.52	4.34	33.2	865.	1050.	1070.	1100.	1100.
1956	1.23	1.23	1.48	2.01	2.96	5.87	46.8	297.	459.	496.	505.
1957	.000	.000	.000	.000	3.59	158.	604.	1020.	1110.	1310.	1310.
1958	1.09	1.11	1.36	2.01	7.92	17.5	32.6	84.9	125.	140.	141.
1959	.854	.898	1.12	1.36	3.65	7.39	136.	799.	1060.	1100.	1100.
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	.735	.795	1.35	1.98	5.54	69.8	1070.	1130.	1280.	1400.	1400.
1964	4.23	4.33	4.80	5.85	8.69	14.9	123.	641.	901.	969.	973.
1965	1.90	1.90	2.05	2.34	3.00	11.3	386.	816.	950.	967.	967.
1966	2.52	2.52	2.81	3.34	4.80	35.1	169.	594.	721.	761.	762.
1967	2.21	2.29	2.67	3.32	5.67	19.1	272.	839.	982.	1040.	1040.
1968	1.23	1.23	1.50	1.90	4.44	38.2	837.	1080.	1130.	1200.	1200.
1969	4.05	4.07	4.94	5.77	7.51	15.3	144.	762.	910.	918.	918.
1970	3.34	3.34	3.74	4.39	5.70	11.4	163.	686.	1000.	1050.	1050.
1971	2.36	2.38	2.52	2.69	3.34	7.20	86.2	597.	867.	926.	926.
1972	2.05	1.90	2.07	2.52	3.70	13.8	47.3	89.3	153.	184.	191.
1973	.294	.294	.308	.469	1.34	7.45	189.	733.	887.	991.	993.
1974	.735	.809	1.10	1.48	2.19	4.69	435.	865.	1010.	1050.	1050.
1975	2.36	2.37	3.00	3.44	6.15	12.7	365.	582.	769.	829.	829.
1976	2.67	2.25	2.69	3.00	3.89	24.3	73.3	170.	287.	344.	349.
1977	.195	.195	.389	.750	1.52	2.85	29.8	309.	336.	358.	359.
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	.000	.000	.000	.000	.308	28.7	492.	942.	1020.	1050.	1050.
1980	.972	1.08	1.09	1.36	2.29	6.49	169.	783.	870.	915.	918.
1981											
1982	.000	.000	0.11	.402	.839	2.81	19.7	80.4	133.	165.	166.
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	.000	.000	.000	.000	.000	11.0	72.1	267.	448.	504.	505.

m.Ins : minimum instantané DCn : débit dépassé durant n mois M.Jou : maximum journalier
 m.Jou : minimum journalier DCC : débit caractéristique de crue M.Ins : maximum instantané
 DCE : débit caractéristique d'étiage

Fig- H.I.25a - BONOU

L'OUEME : MODULES (m^3/s) A LA CONFLUENCE DU ZOU ET A BONOU

L'OUEME : CORRESPONDANCE ENTRE LES DEBITS CARACTERISTIQUES A SAGON ET A BONOU

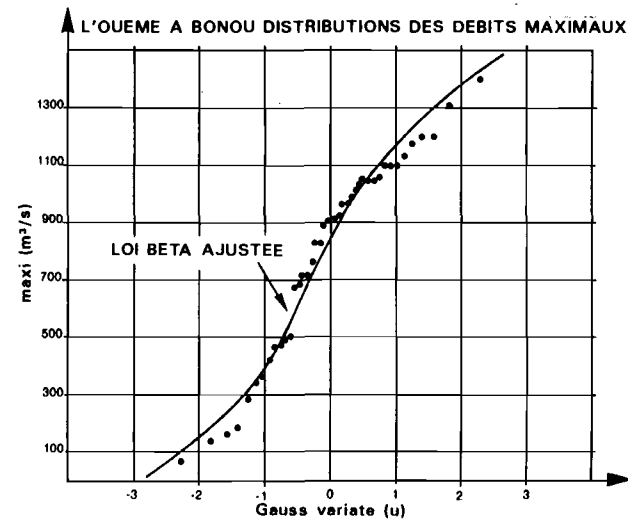
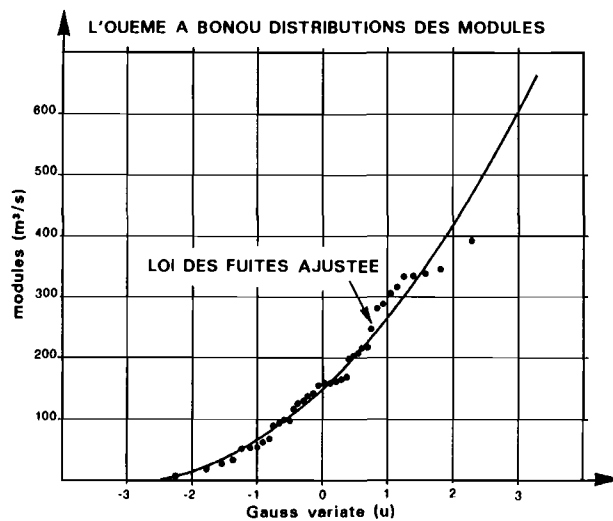
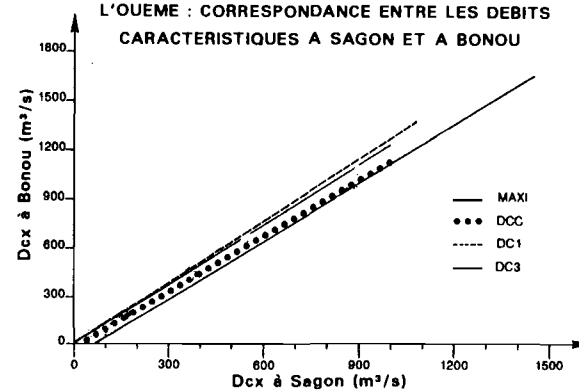
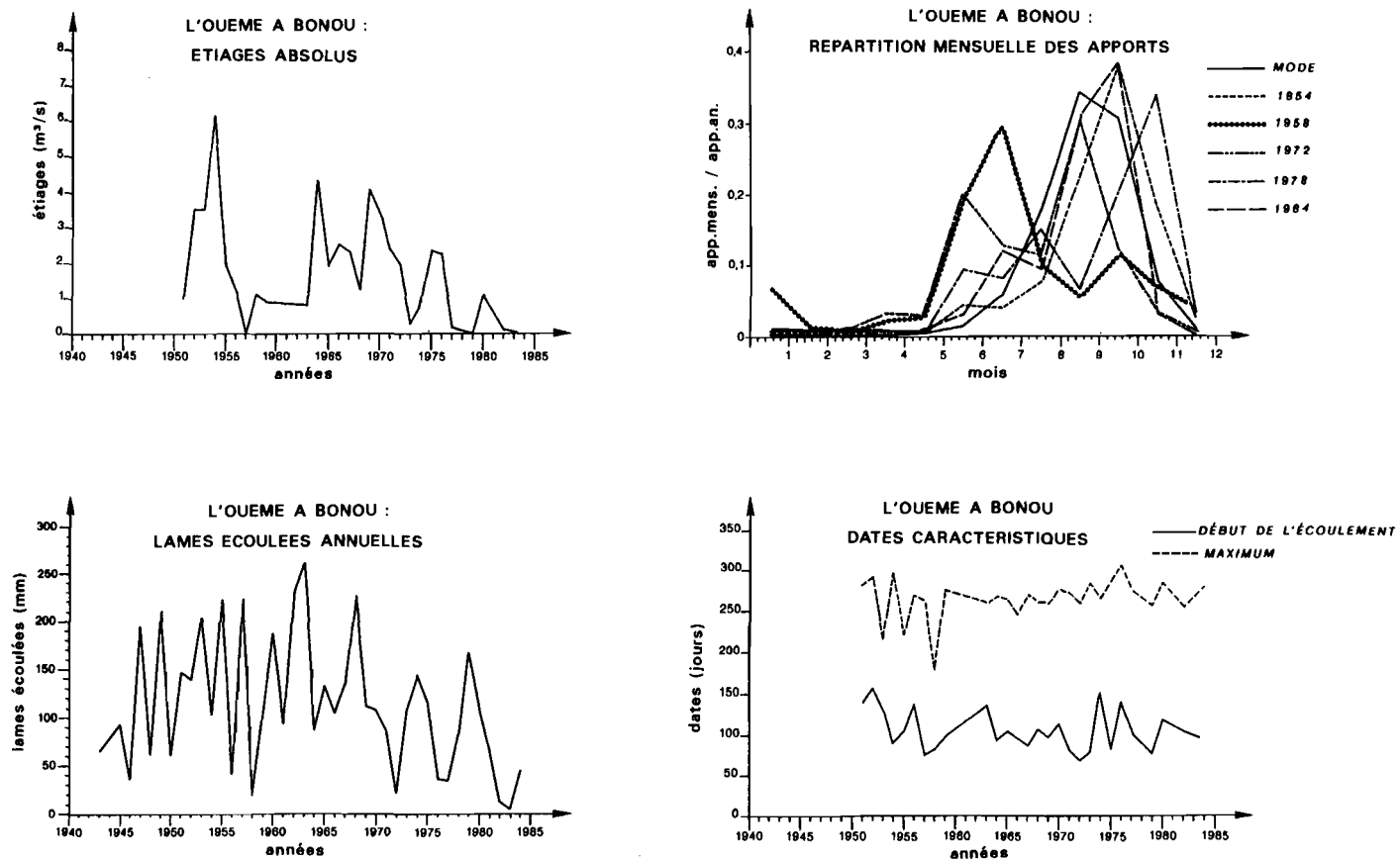


Fig- H.I.25b - BONOU



IV. Bassins du Mono et du Couffo

1. Le Mono à Athiémé (21 475 km²)

1.1. Observations (1944-1984)

Les échelles sont souvent endommagées lors des crues. Les relevés comportent donc de nombreuses lacunes et l'on ne dispose que de 15 années complètes.

Le lit de la rivière est assez instable, et nous avons dû tracer six courbes d'étalonnage successives pour traduire les cotes observées en débits. Les débits de basses eaux sont connus avec relativement peu de précision.

1.2. Apports

a/ Corrélation entre les lames écoulées à Athiémé et celles observées à Tététou

Un peu plus au nord, est implantée au Togo une station hydrométrique sur le Mono près du village de Tététou. La surface contrôlée est de 20 500 km².

Les lames écoulées à Athiémé et à Tététou sont très fortement corrélées entre elles :

$$LA = 1.18 LT \quad R^2 = 0.997$$

LA et LT = lames écoulées à Athiémé et à Tététou

b/ Corrélation entre les lames écoulées à Athiémé et celles observées à Save sur l'Ouémé

Les bassins de l'Ouémé à la station de Save et du Mono à Athiémé sont assez semblables et de taille comparable ; ils présentent le même allongement dans le sens nord-sud et sont situés sur les formations du socle. Le bassin de l'Ouémé est cependant légèrement plus septentrional que celui du Mono.

Il était donc logique de comparer les lames écoulées à Athiémé et à Save. Elles se trouvent assez bien corrélées.

$$LA = 0.92 LS \quad R^2 = 0.96$$

LA et LS = lame écoulée à Athiémé et à Save

c/ Analyses statistiques

Les séries des modules et des lames écoulées à Athiémé ont été complétées chaque fois que cela était possible, à partir de celles de Tététo et à partir de celles de Save dans le cas contraire.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux sur les séries ainsi reconstituées.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module	Lame écoulée
Paramètre d'échelle	18.6 (m ³ /s)	27.3 (mm)
Paramètre de forme	5.13	5.13

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	2.28	6.69	16.0	27.0	43.7	86.0	141	176	207	245	272	
Lame écoulée(mm)	3.34	9.83	23.5	39.6	64.1	126	207	256	304	359	399	

1.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx
Moyenne	86	88	259
Médiane	83	84	260
Ecart-type	28	28	25
Minimum	29	35	169
Maximum	135	137	303
1 ^o quartile	67	70	250
3 ^o quartile	112	113	275

Jf, Jd, Jx : dates de l'apparition de l'étiage, de la reprise de l'écoulement et du maximum (en jours depuis le début de l'année)

Une année sur deux l'étiage apparaît entre le 8 mars et le 22 avril, la reprise de l'écoulement a lieu deux à trois jours après.

Le maximum de la crue survient la plupart du temps au cours de la deuxième saison des pluies et sa date d'apparition est comprise une fois sur deux entre le 7 septembre et 20 octobre. Cependant pour les années où l'écoulement est très faible ou pour celles qui ont connu une petite saison sèche très marquée et très étendue, le maximum de la crue peut survenir au cours de la première saison des pluies. C'est arrivé trois fois en 1953, 1979 et 1983 où les dates des maxima ont été le 31 juillet, le 30 juillet et le 18 juin.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	2.56	1.67	2.31	3.59	7.99	55.5	163.6	284	405	249	61.3	12.5
	s	1.73	1.60	3.41	3.89	9.39	69.0	148	207	244	152	51.1	11.9
% des apports annuels	m	0.55	0.30	0.34	0.53	1.11	6.76	12.4	17.9	28.9	24.4	5.31	1.1
	s	0.79	0.36	0.46	0.53	1.69	8.10	5.29	6.99	12.1	9.7	4.5	0.77

m : moyenne ; s : écart-type

Par la méthode CAH on peut faire une partition en six classes de l'ensemble des profils mensuels. La première classe (mode) regroupe 8 des 15 années observées et se caractérise par un profil régulier avec un maximum en septembre. La seconde regroupe les années 1952, 1954 et 1959 et se caractérise par des apports bien plus importants en octobre. Les années 58, 61, 71, 76 se singularisent.

Partition en six classes de l'ensemble des profils (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
Mode	0.31	0.17	0.33	0.61	0.84	6.59	12.9	20.5	33.2	19.4	4.04	0.82
1952-54-59	0.24	0.19	0.15	0.20	0.42	2.32	10.9	12.3	24.5	37.9	8.25	2.01
1958	3.11	1.45	1.12	1.06	6.99	31.7	12.2	1.43	14.2	23.3	1.85	1.36
1961	0.91	0.54	0.28	0.54	0.79	3.67	25.3	14.7	23.2	27.9	1.07	0.19
1971	0.38	0.23	0.30	0.64	0.45	0.58	6.27	31.7	47.2	10.5	1.17	0.30
1976	0.67	0.37	0.33	0.21	0.48	5.84	6.66	19.8	9.59	35.1	18.6	1.98

1.4. Courbe des débits classés (m³/s)

	Module annuel en m ³ /s					
	40	80	120	160	200	240
Maxi	335	667	745	800	855	910
DCC	253	505	648	713	778	843
DC1	157	313	450	558	666	775
DC3	56	112	196	278	361	441

1.5. Débits maximaux

La série des débits maximaux observée a été étendue à la période de référence en utilisant la relation empirique qui lie ceux-ci aux modules et que nous avons présentée ci-dessus.

Comme pour les stations de Bonou, Sagon et Domé on constate un aplatissement de la distribution vers les fortes valeurs.

Dans ces conditions les lois statistiques non bornées supérieurement ne s'ajustent que très mal.

En revanche la loi Bêta donne de bons résultats.

a/ Paramètre de la loi Bêta ajustée

Paramètre d'échelle	: 950 m ³ /s
Paramètre de position	: 0 m ³ /s
1° paramètre de position	: 2.43
2° paramètre de position	: 1.08

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	136	181	265	352	472	695	854	902	924	938	943	

1.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

	QN	QNA	QNB
Moyenne	0.83	1.02	0.574
Médiane	0.53	0.767	0.325
Ecart-type	0.819	0.885	0.641
Minimum	0.007	0.076	0.007
Maximum	2.81	2.81	2.20
1 ^{er} quartile	0.232	0.255	0.232
3 ^{er} quartile	1.32	1.52	0.69

QN, QNA, QNB : débit en m³/s d'étiage toutes années confondues, avant et après 1968.

Bien que le Mono ne tarisse jamais au niveau d'Athiémé, les étiages peuvent être très sévères : 7 l/s en 1978. Une année sur deux, ils sont compris entre 0.232 et 1.32 m³/s. On constate après 68 une diminution en moyenne de 40 % des valeurs des débits d'étiage.

Tableau T.H.I.45 - Mono à Athiémé
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1944	-	-	-	-	-	-	-	384.	464.	265.	46.1	18.6	(50.3)
1945	-	-	-	-	-	-	-	191.	402.	297.	-	-	(68.0)
1946	-	-	-	-	-	-	-	-	-	237.	-	-	(21.6)
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	849.	-	-	-	(152.)
1948	-	-	-	-	-	-	-	406.	-	-	-	-	(53.9)
1949	-	-	-	-	-	-	-	536.	827.	-	-	-	(178.)
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	163.	156.	-	-	(33.6)
1951	-	-	-	-	6.91	7.47	45.4	95.3	258.	282.	152.	12.6	(75.0)
1952	2.26	2.23	1.81	.885	2.04	7.26	110.	170.	280.	417.	80.0	13.9	90.6
1953	4.70	2.84	14.3	-	8.69	123.	298.	404.	326.	216.	48.4	5.99	(121.)
1954	3.07	2.41	1.86	2.87	3.21	49.6	93.3	101.	113.	345.	85.5	16.7	68.1
1955	3.66	2.94	11.1	14.4	17.7	87.3	338.	625.	708.	529.	111.	26.4	206.
1956	5.67	3.45	7.96	6.44	3.85	34.1	34.8	87.2	139.	125.	16.5	2.30	38.9
1957	1.35	.887	1.07	2.58	45.6	245.	446.	540.	768.	557.	170.	47.7	235.
1958	5.17	2.33	1.87	1.76	11.6	52.7	20.3	2.37	23.6	38.5	3.06	2.26	13.8
1959	1.52	.736	.642	1.85	7.21	2.95	119.	96.6	358.	353.	74.3	28.7	87.0
1960	2.21	1.52	.845	6.59	4.31	63.9	299.	506.	643.	537.	137.	28.7	186.
1961	3.29	1.94	1.02	1.97	2.87	13.3	91.6	53.2	84.0	101.	3.88	.708	29.9
1962	.307	.169	.132	.433	17.0	291.	392.	388.	523.	456.	98.1	23.9	183.
1963	1.26	.497	.547	.908	1.39	58.5	527.	-	-	-	-	-	(248.)
1964	6.22	2.57	2.21	4.56	7.26	34.5	73.5	202.	519.	117.	17.0	1.93	82.3
1965	1.04	.266	.190	2.03	-	-	-	-	-	-	-	-	(131.)
1966	-	.430	.127	.709	.755	24.5	122.	453.	609.	-	-	7.24	(112.)
1967	2.28	1.32	2.29	4.64	-	-	-	-	-	-	-	-	(122.)
1968	-	-	-	-	-	-	-	801.	783.	-	-	-	(226.)
1969	-	-	-	-	-	12.5	-	-	-	-	-	-	(106.)
1970	-	-	-	1.17	10.8	10.0	-	-	732.	-	39.2	7.90	(108.)
1971	3.42	2.09	2.74	5.76	4.09	5.28	56.6	286.	426.	95.0	10.6	2.72	75.0
1972	1.28	.639	.931	14.4	13.3	103.	145.	151.	248.	76.8	15.7	1.93	64.3
1973	.635	.389	.180	.782	2.19	2.17	45.9	230.	330.	217.	34.0	-	(72.6)
1974	1.45	.659	1.00	1.72	1.70	3.73	86.1	215.	444.	213.	40.8	5.52	84.6
1975	2.09	1.15	.767	8.62	-	-	144.	314.	337.	304.	42.9	12.5	(90.6)
1976	4.94	2.71	2.43	1.53	3.50	42.8	48.8	145.	70.3	257.	136.	14.5	60.8
1977	-	1.47	.560	.381	.790	1.93	6.09	50.5	289.	175.	15.0	1.50	(45.5)
1978	.429	.085	.767	6.95	10.2	114.	-	-	253.	226.	88.9	-	(75.8)
1979	2.24	.807	.330	1.67	-	81.0	359.	-	547.	-	-	-	(131.)
1980	-	-	.703	.607	-	67.5	79.6	510.	592.	-	-	22.7	(158.)
1981	-	7.95	5.61	-	-	37.3	85.4	-	-	111.	-	2.24	(53.8)
1982	1.07	.536	.830	.658	4.73	5.64	-	-	212.	-	4.67	-	(13.1)
1983	-	-	-	-	-	-	-	22.0	35.2	19.4	-	-	(5.58)
1984	-	-	-	-	-	27.4	-	-	-	-	-	2.70	(36.6)
Moy.	2.57	1.67	2.32	3.59	7.99	55.5	163.	285.	405.	249.	61.3	12.5	100.

Tableau T.H.I.46 - Mono à Athiémé
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1944	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1945	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	.406	.406	.418	.908	1.78	9.48	129.	382.	522.	755.	763.
1953	1.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	776.
1954	1.50	1.50	1.57	1.83	3.01	23.7	97.9	169.	535.	623.	626.
1955	2.78	2.78	2.84	3.01	4.74	38.0	437.	751.	817.	851.	853.
1956	1.97	1.98	2.10	2.78	3.82	9.39	66.5	146.	175.	247.	256.
1957	.767	.767	.800	.900	1.62	81.9	440.	738.	817.	865.	869.
1958	1.17	1.19	1.50	1.59	2.09	2.81	7.90	61.6	84.6	148.	155.
1959	.567	.567	.575	.633	1.44	5.46	114.	370.	529.	677.	681.
1960	.767	.767	.767	1.15	2.30	30.6	317.	675.	819.	881.	884.
1961	.406	.406	.507	.840	1.82	3.18	37.5	117.	169.	262.	265.
1962	.089	.089	.121	.146	.322	51.9	380.	564.	622.	677.	696.
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	1.04	1.04	1.53	1.91	3.42	7.80	79.2	316.	650.	744.	752.
1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau T.H.I.46 - Mono à Athiémé
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s) (Suite)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	1.44	1.44	1.59	2.13	2.93	4.99	67.2	350.	523.	695.	702.
1972	.317	.334	.406	.546	1.35	11.1	94.1	202.	354.	544.	559.
1973	.119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	673.
1974	.272	.272	.406	.610	1.20	3.53	119.	328.	549.	694.	696.
1975	.501	-	-	-	-	-	-	-	-	-	648.
1976	.882	.882	1.00	1.41	2.41	13.9	82.6	204.	385.	513.	524.
1977	.272	-	-	-	-	-	-	-	-	-	597.
1978	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	540.
1979	.193	-	-	-	-	-	-	-	-	-	840.
1980	.361	-	-	-	-	-	-	-	-	-	825.
1981	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	540.
1982	.317	-	-	-	-	-	-	-	-	-	390.
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.26a - LE MONO A ATHIEME

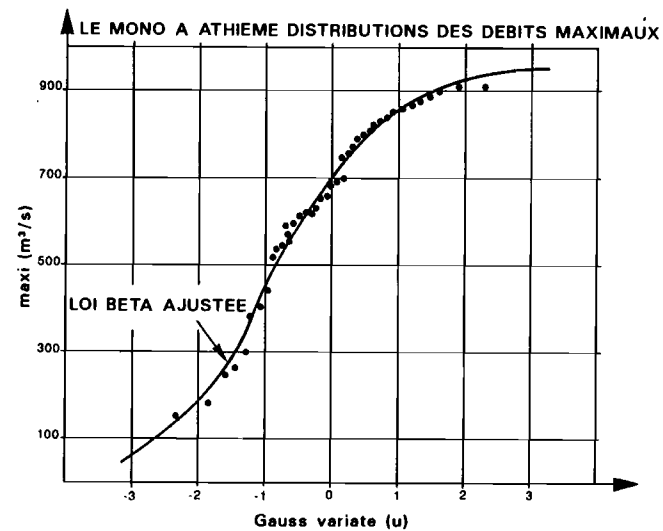
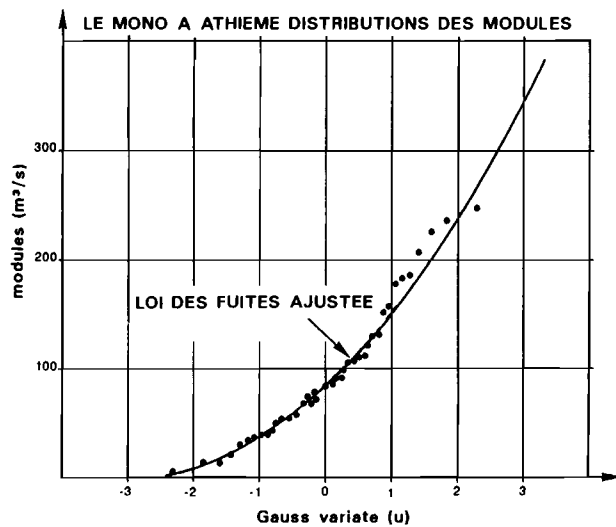
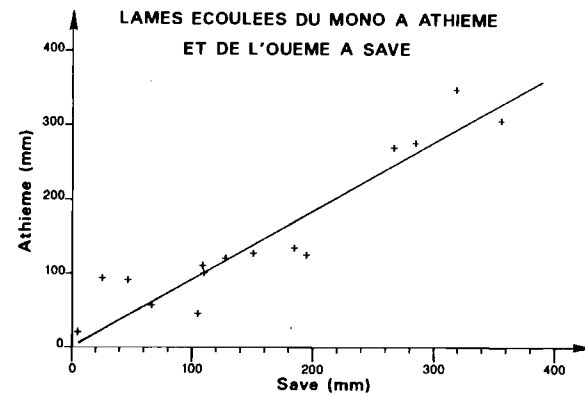
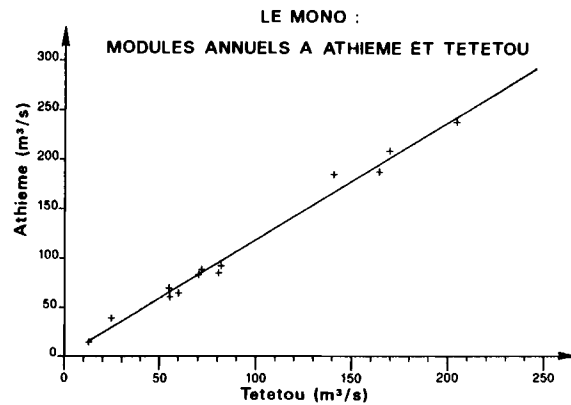
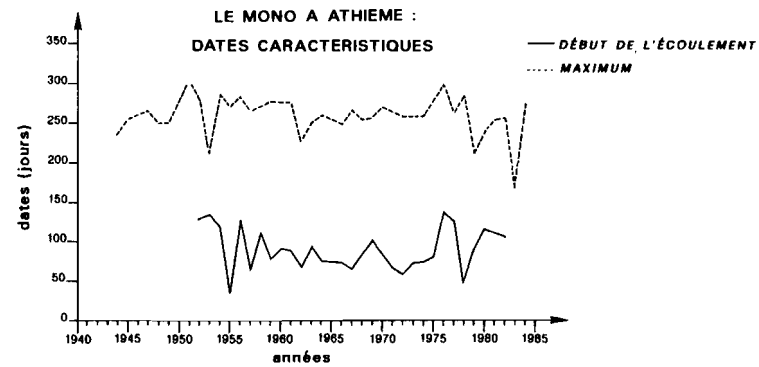
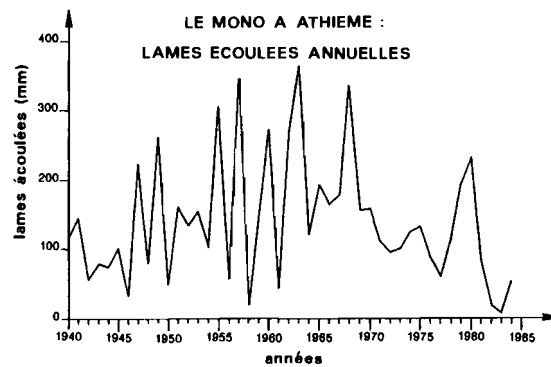
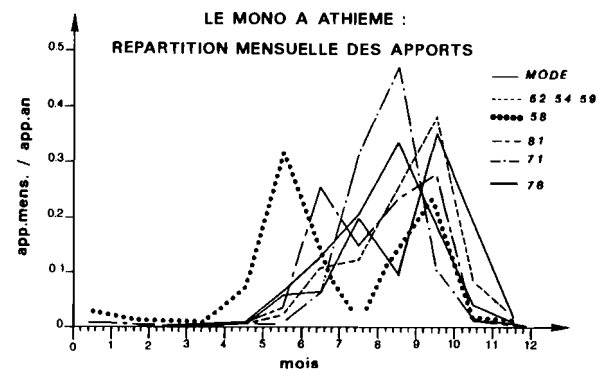
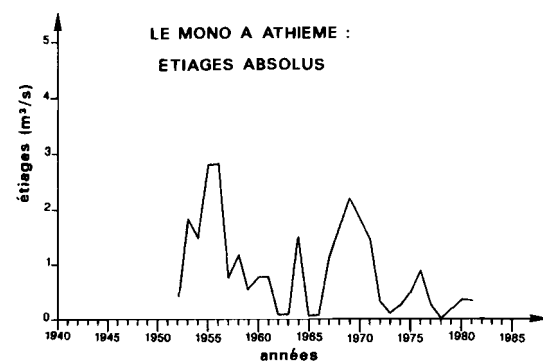


Fig- H.I.26b - LE MONO A ATHIEME



2. Le Couffo à Lanta (1 680 km²)

2.1. Observations (1951-1984)

Les échelles de cette station sont souvent emportées lors des crues, d'où de nombreuses lacunes dans les relevés. Seules 14 années complètes ont pu être observées.

Les étalonnages sont peu précis en basses eaux. Les résultats des analyses des étiages et du tarissement que nous allons présenter ci-après sont donc à considérer avec prudence.

2.2. Apports

Il n'a pas été possible de trouver de corrélation satisfaisante entre les apports à Lanta et ceux des stations voisines. La pluviométrie est également assez mal connue ce qui empêche l'application du modèle hydropluviométrique. Les analyses que nous allons présenter s'appuient donc uniquement sur les quatorze années complètes qui ont pu être observées.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux à la série des modules et des lames écoulées observées.

Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

	Module m ³ /s	Lame écoulée mm
Paramètre d'échelle	1.35	25.3
Paramètre de forme	3.58	3.58

Valeurs caractéristiques

	Années sèches						Années humides					
Récurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Module (m³/s)	(0.0)	(0.0)	0.277	0.807	1.69	4.14	7.56	9.73	11.7	(14.2)	(16.0)	
Lame écoulée (mm)	(0.0)	(0.0)	5.20	15.1	31.8	77.6	142	183	220	(266)	(300)	

2.3. Répartition saisonnière

a/ Dates caractéristiques

	Jf	Jd	Jx1 (50 %)	Jx2 (50 %)
Moyenne	- 27	130	163	255
Médiane	- 24	127	167	255
Ecart-type	45	30.6	24	22.3
Minimum	- 190	76	109	225
Maximum	79	176	192	283
1°quartile	- 41	105	146	230
3°quartile	-2	159	178	271

Jf, Jd : dates de la fin de l'écoulement et de sa reprise (en jours depuis le début de l'année)

Jx1, Jx2 : dates du maximum ((en jours depuis le 1er janvier) au cours de la première ou de la deuxième saison des pluies.

Une année sur deux l'écoulement s'arrête entre le 20 novembre et 29 décembre, il reprend entre le 15 avril et le 8 juin.

Le maximum survient dans 50 % des cas au cours de la première saison des pluies, sa date d'apparition est alors comprise une fois sur deux entre le 26 mai et le 27 juin. Quand il survient au cours de la 2ème saison des pluies sa date d'apparition est alors comprise une fois sur deux entre le 18 août et le 28 septembre.

b/ Répartition mensuelle

		Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Spt	Oc	Nv	Dc
Débit moyen (m ³ /s)	m	0.0004	0.0043	0.146	1.22	2.21	7.78	11.5	9.11	11.9	14.2	1.25	0.021
	s	0.0015	0.012	0.255	2.65	4.74	8.41	16.3	13.5	15.2	14.9	1.61	0.046
% des apports annuels	m	0.01	0.04	0.38	2.87	5.21	23.5	16.5	10.3	15.5	22.9	2.22	0.04
	s	0.03	0.15	0.87	6.00	7.31	29.0	13.1	8.1	10.7	19.7	2.23	0.08

m : moyenne ; s : écart type

Du fait de l'existence de deux modes dans le régime hydrologique, correspondant chacun à une des saisons des pluies, les profils mensuels des apports sont très irréguliers d'une année à l'autre suivant l'importance relative des

deux saisons. Les profils moyens mensuels que nous venons de présenter n'ont pas dans ces conditions, grand chose à voir avec les profils réellement observés.

Si on fait une partition en cinq classes à l'aide de la méthode CAH des 14 profils observés, on constate que 9 de ces 14 années se regroupent en deux classes, d'effectifs égaux à une unité près. La première de ces classes (55-62-65-75-85) correspond à une première saison dominante à l'inverse de la seconde (57-67-80-73). Les trois autres classes 52-59, 54 et 56-58 se distinguent aussi par l'importance relative des deux saisons mais encore par l'existence d'une véritable petite saison sèche entre les deux modes.

Partition en cinq classes de l'ensemble des profils (en % des apports annuels)

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
55-62-65 75-82	0.025	0.11	0.033	6.2	5.99	19.3	28.9	16.1	9.7	11.1	1.3	0.04
57-67-70-73	0.003	0	0.8	2.21	9.65	9.48	6.11	14.7	28.6	23.4	3.8	0.10
52-59	0	0	0.003	0	0.38	2.44	23.8	0.19	21.6	48.1	2.50	0
56-58	0	0	0.76	0.050	1.85	86.3	6.26	0	1.87	3.82	0	0
1954	0	0	0.33	0.47	0	17.2	2.16	3.36	7.03	64.6	4.36	0

2.4. Courbes des débits classés (m^3/s)

	Module annuel en m^3/s				
	3	6	9	12	15
Maxi	(50)	(97)	(113)	(127)	(141)
DCC	25.0	47.8	62.5	77.2	90.4
DC1	11.0	22.8	33.1	44.9	54.4
DC3	3.0	5.9	9.6	13.3	16.2

La relation qui lie les débits maximaux aux modules n'est pas très étroite.

2.5. Débits maximaux

L'analyse fréquentielle des débits maximaux n'a porté que sur les 14 valeurs observées.

C'est la Loi des Fuites qui s'ajuste le mieux.

a/ Paramètres de la Loi des Fuites ajustée

Paramètre d'échelle	: 13.080 m ³ /s
Paramètre de position	: 5.93

b/ Valeurs caractéristiques (m³/s)

	Années sèches						Années humides					
Réurrence en années	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Débits maximaux	(4.5)	(8.5)	16.4	25.3	38.5	70.9	113	138	161	(189)	(209)	

2.6. Etiages et tarissement

a/ Etiages

Le Couffo se tarit chaque année à Lanta. Les caractéristiques du nombre de jours sans écoulement sont données dans le tableau suivant (20 années d'observations).

	NA	NB
Moyenne	203	112
Médiane	197	110
Ecart-type	60.6	39.9
Minimum	143	46
Maximum	350	178
1 ^o quartile	172	85
3 ^o quartile	204	143

NA, NB : nombre de jours sans écoulement avant et après 1968.

La distribution du nombre de jours sans écoulement aurait considérablement changé depuis 1968 puisqu'en moyenne la durée de la période sèche passerait de 203 jours avant 68 à 112 après. Il est vrai qu'en 1958 il n'y a eu que 14 jours d'écoulement. Les incertitudes sur la qualité des observations des basses eaux limitent la confiance à accorder à ce résultat.

b/ Tariesement

Nous avons déterminé les caractéristiques de la courbe de tariesement à partir de l'année 1955 bien observée :

	Moyenne
TR1 (jour)	3.60
Qc (m ³ /s)	0.100
TR2 (jour)	1.52

TR1 et TR2 : coefficients de tariesement (en jours) avant et après le débit charnière.
Qc : valeur en m³/s du débit charnière.

Tableau T.H.I.47 - Couffo à Lanta
Débits moyens mensuels et annuels (m³/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1951	-	-	-	.000	.000	.868	3.13	.000	.468	17.5	2.77	.000	-
1952	.000	.000	.004	.000	.000	2.72	9.59	.232	12.6	31.9	2.88	.000	4.99
1953	.000	.040	.000	-	2.01	24.8	-	3.22	3.46	5.95	.163	.000	-
1954	.000	.000	.214	.030	.000	11.0	1.38	2.15	4.50	41.3	2.79	.000	5.28
1955	.000	.000	.000	2.81	2.20	12.5	41.1	33.4	17.1	36.2	3.96	.000	12.4
1956	.000	.000	.168	.011	.375	7.85	1.37	.000	.408	.837	.000	.000	.918
1957	.000	.000	.159	.084	23.1	19.5	21.1	15.1	28.5	17.1	1.78	.056	10.5
1958	.000	.000	.000	.000	.003	1.16	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.096
1959	.000	.000	.000	.000	.325	.163	13.7	.000	9.59	18.7	.097	.000	3.55
1960	.000	.000	.539	.029	.145	5.97	-	-	-	32.6	-	-	-
1961	-	-	-	-	.115	6.24	13.2	-	-	.271	.000	.000	-
1962	.000	.000	.000	.440	1.02	35.3	32.9	16.5	12.5	18.2	1.99	.013	9.91
1963	.000	.000	.788	.000	1.02	6.37	-	43.3	58.4	51.3	-	-	-
1964	-	.036	.000	.118	.304	2.65	1.70	.278	4.83	.384	.153	.036	-
1965	.000	.000	.000	3.89	.701	12.9	20.5	8.45	5.57	1.74	.221	.023	4.50
1966	.000	.000	.000	.000	-	-	-	.136	-	-	-	-	-
1967	.003	.000	.914	2.18	.898	3.15	1.73	5.29	8.87	6.05	.720	.091	2.49
1968	.000	.000	.000	.567	5.12	15.6	72.8	51.5	56.6	36.7	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	3.56	.392	.182	.434	.131	.000	-
1970	.000	.000	.037	.035	5.15	2.36	.138	3.55	11.9	9.72	1.38	.015	2.86
1971	.000	.000	.262	.033	.000	.821	-	27.3	22.5	-	-	-	-
1972	.000	.000	-	6.58	7.28	15.5	10.2	.268	.527	.001	.000	.000	-
1973	.000	.000	.000	.794	1.40	2.93	.939	10.7	15.6	18.9	4.19	.001	4.62
1974	-	.000	.000	.914	.078	-	23.1	14.1	16.8	13.3	1.45	.007	-
1975	.000	.000	.000	11.9	2.61	.695	16.7	10.6	6.74	4.79	.154	.040	4.52
1976	.000	.000	.270	.000	-	-	5.28	2.96	1.62	12.3	5.68	.210	-
1977	.000	.000	.151	.800	-	4.51	1.00	-	-	-	-	-	-
1978	-	-	-	-	-	12.2	1.29	.376	-	-	-	-	-
1979													
1980													
1981	-	-	-	-	-	6.45	8.87	6.97	3.39	-	.411	.024	-
1982	.007	.032	.009	.000	1.17	1.83	1.16	.604	.228	.253	.082	.003	.448
1983	-	-	-	-	-	.323	.060	.937	.100	.218	.005	.000	-
1984	-	-	-	.516	.450	1.53	4.77	5.87	19.2	7.65	.206	-	-
Moy.	.000	.004	.147	1.22	2.22	7.78	11.5	9.11	11.9	14.2	1.25	.021	4.80

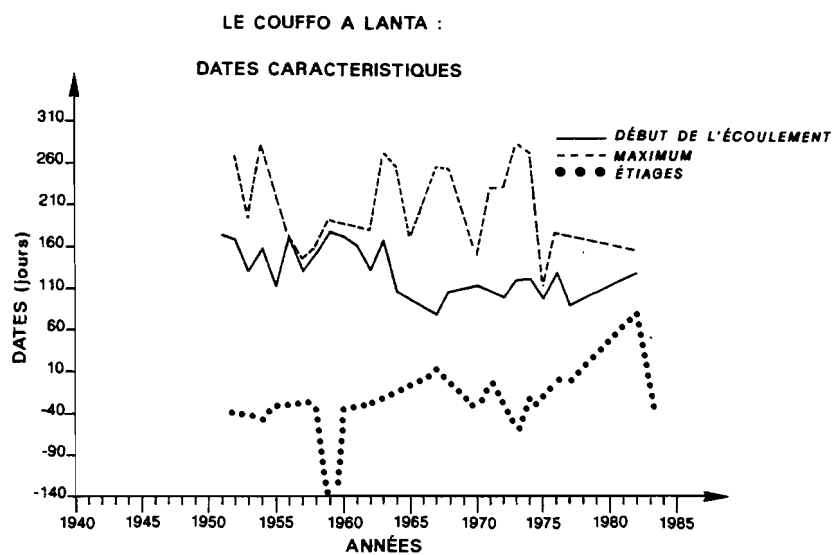
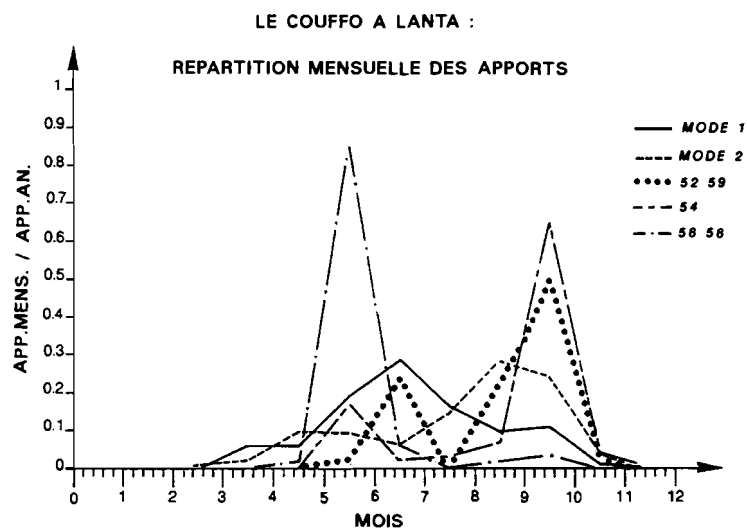
Tableau T.H.I.48 - Couffo à Lanta
Débits extrêmes et caractéristiques (m³/s)

Année	m.Ins	m.Jou	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC	M.Jou	M.Ins
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.07	20.0	40.7	94.3	122.
1953	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	102.
1954	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.25	20.1	54.6	130.	140.
1955	.000	.000	.000	.000	.000	1.06	14.8	48.7	78.8	151.	175.
1956	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.754	8.85	93.7	114.
1957	.000	.000	.000	.000	.000	.241	12.3	39.3	73.8	116.	128.
1958	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.439	10.2	12.7
1959	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.096	15.6	43.0	76.5	96.2
1960	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	141.
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	.000	.000	.000	.000	.000	.789	11.7	39.9	62.3	116.	141.
1963	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	189.
1964	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34.7
1965	.000	.000	.000	.000	.000	.426	4.98	16.4	32.8	70.8	88.7
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	.000	.000	.000	.000	.029	.616	2.24	8.45	14.6	62.2	79.6
1968	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	142.
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	.000	.000	.000	.000	.000	.145	2.60	11.2	22.5	33.4	38.3
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51.6
1973	.000	.000	.000	.000	.000	.242	4.73	16.3	32.0	72.4	91.2
1974	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	91.2
1975	.000	.000	.000	.000	.000	.593	5.39	15.1	30.0	70.7	98.7
1976	.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47.6
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	.000	.000	.000	.000	.003	.123	.420	1.37	3.80	6.34	8.41
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m.Ins : minimum instantané
m.Jou : minimum journalier
DCE : débit caractéristique d'étiage
DCn : débit dépassé durant n mois

DCC : débit caractéristique de crue
M.Jou : maximum journalier
M.Ins : maximum instantané

Fig- H.I.27 - LE COUFFO A LANTA



Chapitre 2

ANALYSE DES DONNEES COLLECTEES SUR LES BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX

Vers la fin des années cinquante, les services techniques du Bénin et l'Orstom ont mené des observations de la pluviométrie et des écoulements sur plusieurs petits bassins versants, il s'agit :

- du bassin de Boukoumbé, 3.2 km², situé à 35 km au sud ouest de Natitingou, et observé en 1960 ;
- du bassin de la Téro, 32 km², à quelques km au sud de Djougou, observé de 1956 à 1957 ;
- du bassin de la Lhoto, 45 km², situé à quelques km au nord de Dassa-Zoumé, observé de 1956 à 1959.

Nous n'avons pas retrouvé les documents originaux de ces études ; nous ne disposons donc que des rapports finals, assez sommaires pour le bassin de Boukoumbé, beaucoup plus complets pour les deux autres.

Il n'est pas question ici de reprendre toutes les analyses présentées dans les rapports finals de ces études, auxquels le lecteur pourra toujours se référer. Nous essayerons surtout d'interpréter les observations faites sur les bassins dans l'optique de la régionalisation des écoulements qui est le principal objectif de cette partie de la présente monographie. Nous nous efforcerons donc de préciser la représentativité de ces bassins versants.

Par ailleurs, les observations simultanées de la pluie et des écoulements faites sur les bassins permettent d'analyser séparément chaque événement averse/crue ; ce qu'il est impossible de faire à partir des données collectées sur le réseau hydrométrique. Il est donc possible de différencier le ruissellement pur, (qui arrive rapidement à l'exutoire et forme l'essentiel des crues), de l'écoulement retardé qu'il soit souterrain ou "hypodermique". C'est ce que nous essayerons de quantifier.

Pour atteindre ces deux objectifs, nous emploierons le modèle hydropluviométrique décrit en Annexe M5 et que nous avons déjà présenté lors de l'analyse des données collectées sur le réseau hydrométrique.

Selon ce modèle, chaque surface élémentaire d'un bassin est supposée contribuer à l'écoulement de la façon suivante :

$$L_s = P_s \left[1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + P_s^2}} \right] \quad (1)$$

où L_s est la contribution en mm de la surface élémentaire à l'écoulement.
 P_s est la hauteur de l'averse sur la surface élémentaire.

L'expression (1) est appelée fonction de production, son paramètre est la capacité d'absorption de la surface élémentaire qui est fonction de son état de saturation.

L'intégration de la fonction de production peut se faire et dans l'espace et dans le temps :

- * dans l'espace : L'intégration permet alors de définir le volume écoulé au cours d'une averse. Il faut pour cela en connaître la distribution spatiale des hauteurs. Dans le rapport en notre possession, cette distribution n'est décrite que par deux caractéristiques : les hauteurs moyenne et maximale sur le bassin. Nous avons alors admis que l'on pouvait considérer que la répartition spatiale des pluies était uniforme. Selon cette hypothèse la lame écoulée à l'exutoire du bassin s'écrit :

$$LB = R \cdot \left[\left(\frac{P_x + P_n}{2} \right) - \frac{a}{(P_x - P_n)} \cdot (\sqrt{a^2 + P_x^2} - \sqrt{a^2 + P_n^2}) \right] \quad (2)$$

où LB = lame moyenne écoulée sur le bassin
 P_x, P_n = pluie maximale et minimale observée sur le bassin
 $P_n = 2 P_m - P_x$ si $2 P_m - P_x$ est > 0
 $= 0$ si $2 P_m - P_x$ est < 0
 P_m = pluie moyenne sur le bassin
 $R = \frac{2 \cdot P_m}{(P_x + P_n)}$ (en effet si $2 P_m - P_x < 0$, la loi uniforme doit être tronquée).

- * dans le temps : L'intégration dans le temps permet de définir la contribution d'une surface élémentaire au cours d'une période plus ou moins longue. En supposant que la distribution des averses reçues par la surface est exponentielle, que a est invariant et que le nombre d'averses est suffisamment grand, on peut avoir une bonne estimation du résultat de l'intégration de la fonction de production par l'expression suivante :

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

où N = est le nombre d'averses au cours de la période
 P_t = la hauteur de pluie tombée au cours de la période.

Si on admet en plus que sur une période suffisamment longue la distribution des averses est invariante dans l'espace, l'expression (3) peut être appliquée à l'ensemble du bassin.

Dans les interprétations que nous allons faire des données collectées sur ces bassins expérimentaux, nous utiliserons l'expression (3) pour déterminer la valeur moyenne annuelle du paramètre de la fonction de production que nous pourrions comparer d'une part à celle trouvée lors de l'analyse des crues (expression (2)) et d'autre part à celle observée aux stations du réseau hydrométrique.

I. Le bassin versant expérimental de Bokoumbé

1. Historique

Le petit bassin versant (3,2 km²) du Kounakankuo, petit marigot de la région de Boukoubé, a été étudié en 1960 par l'Orstom pour le compte du Service des Eaux et Forêts du Bénin.

Cette étude avait pour but de tester l'efficacité d'aménagements antiérosifs, banquettes notamment. Les observations devaient initialement s'étaler sur deux ans, 1960 et 1961. La première année devait permettre de chiffrer l'érosion et le ruissellement dans les conditions naturelles, la seconde d'étudier l'influence des aménagements.

Par manque de crédits, ceux-ci n'ont jamais été réalisés et le bassin n'a donc été observé qu'une année, en 1960.

2. Description du bassin

Le bassin de 3,2 km² est situé sur le flanc nord-ouest de l'Atakora et s'étend entièrement sur les schistes et micaschistes de la série de Kandé-Boukoubé.

Situé à 10°12' de latitude Nord et 1°8' de longitude Est, son altitude varie entre 280 et 240 mètres. En 1960 la quasi-totalité du bassin était cultivée.

Le réseau de mesure était constitué d'un limnigraphe à l'exutoire du bassin, de 11 pluviomètres et d'un pluviographe. Parallèlement deux parcelles d'érosion de 100 m² avaient été installées.

3. Les observations

L'année 1960 a été, à Boukoubé, sur le plan de la pluviométrie proche de la moyenne. Il y a plu 1 183 mm alors que la moyenne calculée sur la période 1940-1984 est de 1 064 mm.

De mai à octobre, il y a eu 75 averses totalisant 1 022 mm, dont 25 ont donné lieu à un ruissellement notable.

3.1. Événements averses/crues

Nous n'avons pu retrouver que le rapport provisoire de la campagne 1960 qui ne comporte pas de description détaillée des événements averses/crues. Seules les 10 crues les plus importantes y sont sommairement décrites. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-après :

N°	Date	Px mm	Pm mm	LR mm	Kr %	Qx m ³ /s	Qo m ³ /s	Ac mm
1	04/06/60	28.7	24.9	1.03	4.1	0.875	0	84.5
2	08/06/60	27.4	25.0	1.52	6.1	2.05	0	68.7
3	24/06/60	34.1	32.5	3.17	9.8	3.35	0	68.2
10	14/06/60	27.8	22.8	0.81	3.6	0.39	0.014	85.1
11	17/08/60	55.8	46.2	6.63	14.4	2.94	0.035	77.7
14	25/08/60	23.8	19.6	1.10	5.6	0.268	0.072	57.1
15*	02/09/60	43.8	35.3	1.69	4.8	0.400	0.021	(113)
18	12/09/60	86.0	60.7	15.3	25.2	3.70	0.090	71.8
19	14/09/60	?	(31.5)	8.19	26.0	2.80	0.140	?
23*	25/09/60	29.6	25.3	1.37	5.4	0.390	0.048	74.6

(*) : crue complexe

où Px, Pm = pluie maximale et moyenne observée sur le bassin
 Kr = coefficient de ruissellement
 Qo = débit initial juste avant la crue
 Ac = paramètre de la fonction de production calculée en supposant uniforme la distribution spatiale des averses
 LR = lame écoulée
 Qx = débit de pointe

3.2. Bilan d'écoulement

	Jv	Fv	Ms	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc	An
Pm (mm)	8	0	5.6	69.3	100	156	124	204	325	140	16.4	33.2	1183
Lr (mm)	0	0	0	0	0	12.8	4.57	77.6	164	63.5	0.45	0	323
Ke %	0	0	0	0	0	8.2	3.7	38.0	50.3	45.4	2.7	0	27.3

Pm : pluie moyenne - Lr : lame écoulée - Ke : coefficient d'écoulement

4. Interprétation

4.1 Evénements averses/crués

Si on suppose que la distribution spatiale des averses peut être considérée comme uniforme, on peut calculer pour chacune d'entre elles le paramètre de la fonction de production. Les résultats obtenus sont compris entre 58 mm et 85 mm, exception faite de la crue complexe n° 15 du 2 septembre (113 mm).

On peut obtenir une très bonne reconstitution des lames écoulées en adoptant comme valeur de paramètre de production 74.6 mm pour toutes les averses. Le modèle hydropluviométrique explique alors 97 % de la variance des lames ruisselées observées. On trouvera sur la figure H.II.1 la correspondance entre les lames écoulées calculées et observées.

4.2. Ecoulement annuel

Il y a eu 75 averses au cours de l'hivernage (de mai à octobre). En supposant que celles-ci sont issues d'une même distribution exponentielle, on peut appliquer le modèle hydropluviométrique annuel pour calculer le paramètre de production moyen pour l'année d'observation. On trouve la valeur de 26 mm qui est très voisine de celle déterminée sur le bassin de la Mekrou à Kompongou, 30 mm, pour une même hauteur de pluie d'hivernage (1 050 mm).

Cette valeur de 26 mm est beaucoup plus faible que celle déterminée lors de l'analyse des crues.

La part du ruissellement souterrain ou hypodermique est donc très importante. Le coefficient d'écoulement annuel, 27 %, est d'ailleurs beaucoup plus élevé que ceux observés lors des crues.

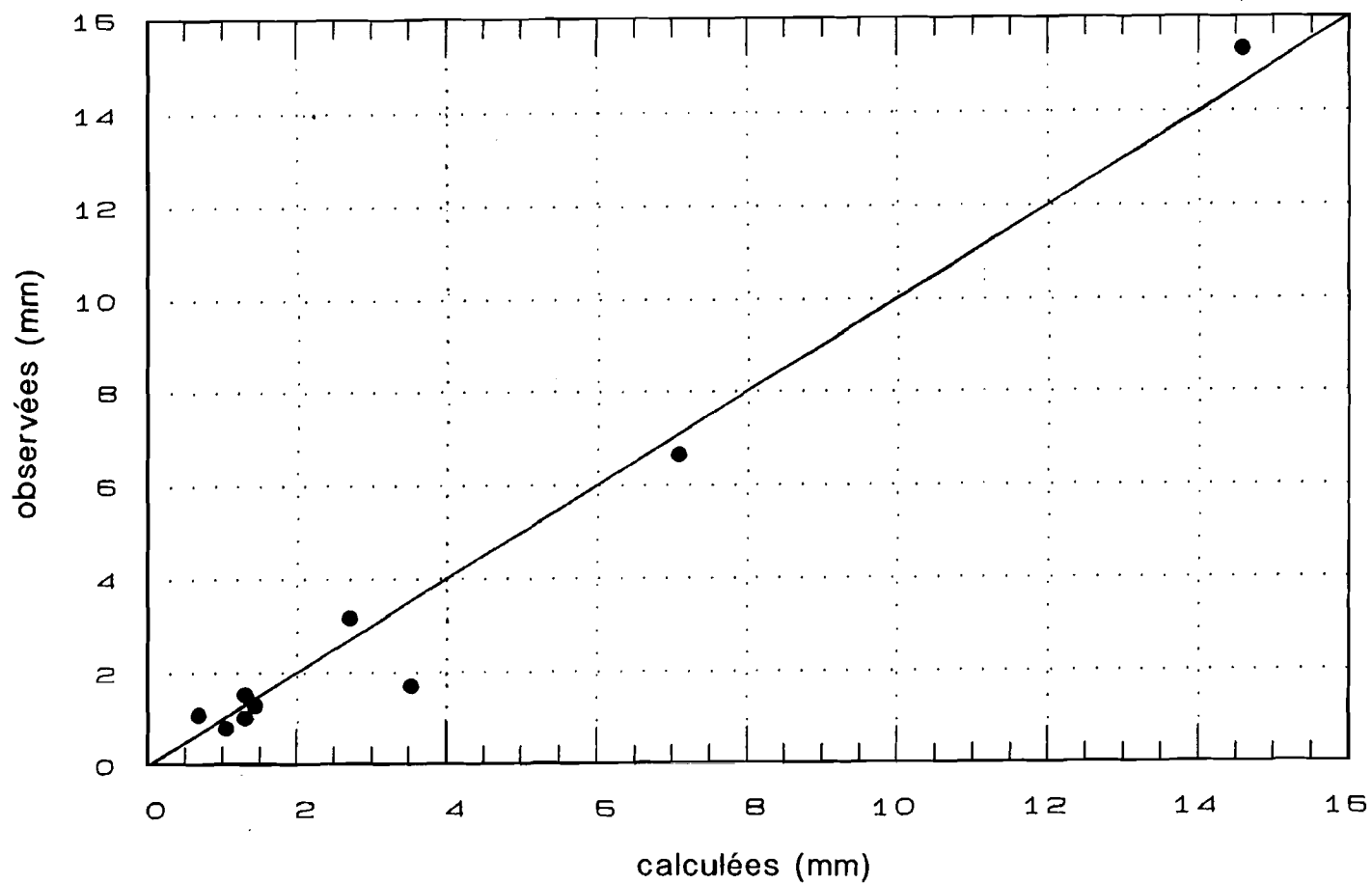
En faisant la même hypothèse que celle présentée plus haut quant à la distribution statistique des averses, on peut estimer le ruissellement pur en appliquant le modèle hydropluviométrique annuel et en prenant comme valeur du paramètre 76,6 mm, c'est-à-dire celle déterminée lors de l'analyse des événements averses/crués. Nous obtenons alors le bilan annuel résumé dans le tableau suivant :

Pluie annuelle	: 1 183 mm
Pluie d'hivernage	: 1 050 mm
Ecoulement total	: 320 mm
Ruissellement pur	: 74.6 mm
Ecoulement souterrain et hypodermique	: 248.4 mm
Coefficient annuel d'écoulement	: 27.3 %
Coefficient annuel de ruissellement	: 6.3 %

En prenant comme durée d'écoulement 180 jours, le débit de base moyen calculé sur cette période serait de l'ordre de 50 l/s ce qui est en accord avec les valeurs observées des débits initiaux du tableau du paragraphe 3.1..

Fig. H.II.1

BASSIN DE BOUKOUMBE
LAMES RUISSELLEES LORS DES CRUES



5. Conclusion

La valeur du paramètre de la fonction de production trouvée à partir de l'écoulement annuel est très proche de celle déterminée à Kompongou sur la Mekrou pour une même pluie d'hivernage. Ceci laisserait supposer que les conditions d'écoulement sur la série géologique de Boukoubé ne sont pas radicalement différentes de celles rencontrées à l'est de l'Atakora sur les formations du socle.

En outre l'analyse des données collectées lors des crues nous a permis de préciser l'importance relative du ruissellement pur et de l'écoulement retardé ou souterrain. Le premier ne représentant en moyenne que 30 % du second.

II. Le bassin versant de la Téro

1. Historique

La Téro est un petit affluent de l'Ouémé qui coupe la route de Savalou à 3 km au sud de Djougou. Le bassin versant en cet endroit a été étudié en 1956 et 1957 par le Service de l'Hydraulique du Bénin et l'Orstom. Le service de l'Hydraulique était chargé des mesures, l'Orstom de leur interprétation.

2. Description du bassin

Le bassin a une superficie de 32 km² et s'inscrit dans un rectangle allongé dans le sens Est-Ouest, de 10 km de long et 3 km de large.

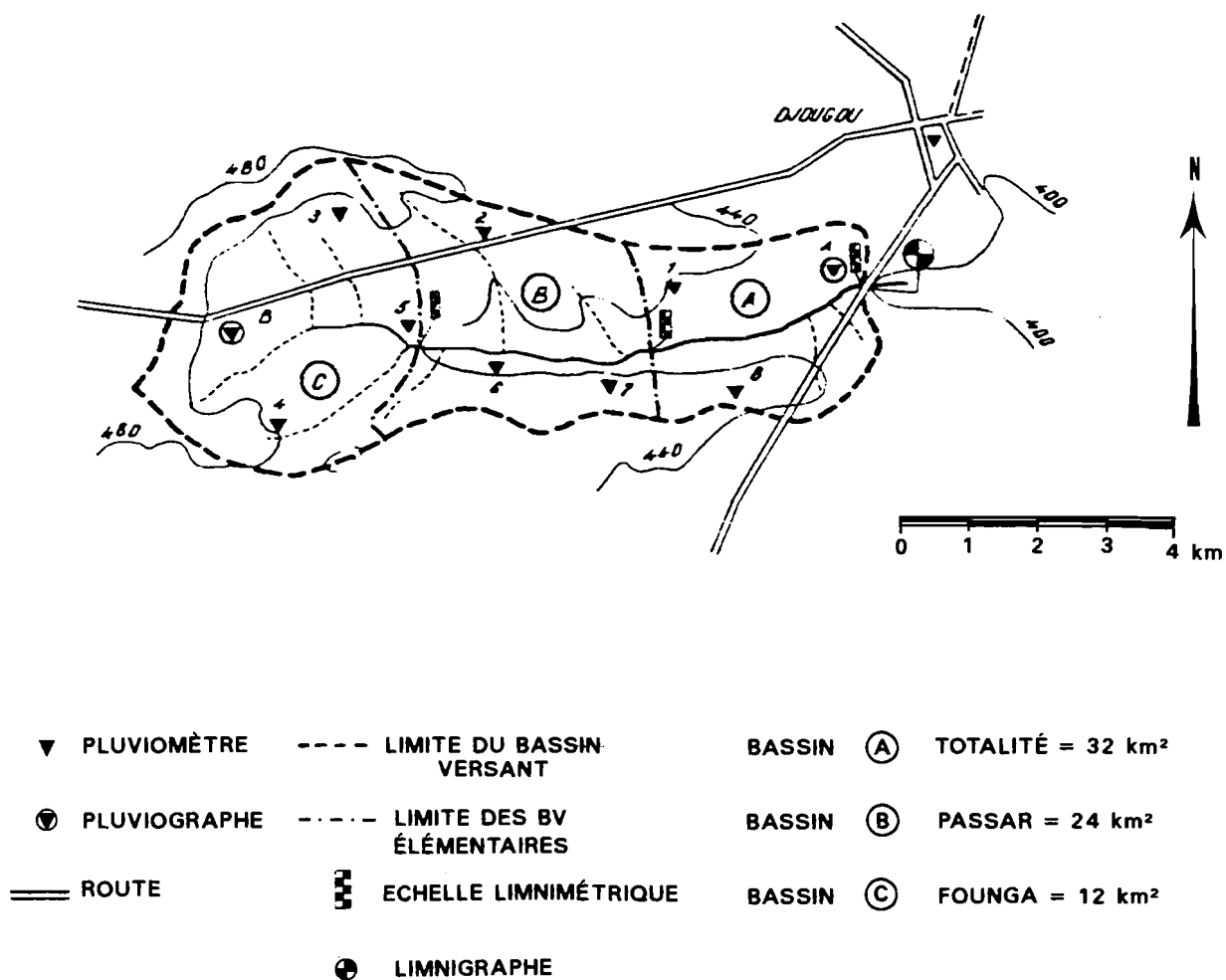
Il est compris entre les parallèles 9°39' et 9°42' de latitude Nord et entre les méridiens 1°34' et 1°40' de longitude Est.

Il s'étend sur les formations gneissiques de la série de Djougou. Sur le pourtour du bassin existent des buttes tabulaires correspondant à des vestiges d'une vaste cuirasse latéritique. Sur le reste du bassin les sols sont essentiellement ferrugineux, avec cependant des sols hydromorphes dans les bas-fonds.

L'altitude du bassin est comprise entre 496 m et 416 m. La pente moyenne du marigot sur les 12 km de son cours, est de l'ordre de 5 m/km. Les pentes latérales sont comprises entre 20 à 60 m/km. Lors des années d'observations, la majeure partie du bassin était cultivée. Subsistaient cependant près des plateaux des vestiges d'une végétation forestière.

Fig- H.II.2 - BASSIN VERSANT DE LA TERO

SUPERFICIE : 32 km²



En 1956, l'équipement hydropluviométrique était très restreint puisqu'il se limitait à un limnigraphe et à trois pluviomètres. En 1957 il était complété par un pluviographe et cinq pluviomètres. Deux stations hydrométriques étaient en outre installées pour contrôler les apports de deux sous-bassins, l'un de 12 km², l'autre de 24 km².

Dans ce qui suit, nous nous intéresserons uniquement au bassin principal de 32 km² contrôlé par la station de Soubroukou.

3. Observations

En 1956, la pluviométrie annuelle à Djougou a été de 1 158 mm, ce qui correspond à une année sèche de fréquence quinquennale environ. De mai à octobre il y a eu 73 averses totalisant 1 025 mm de pluies.

L'année 1957 a été exceptionnellement humide. Le total annuel de 1 804 mm aurait une période de retour de près de 50 ans. De mai à octobre il est tombé au cours de 102 averses, 1 419 mm de pluie.

3.1. Evénements averses/crués

En 1956, le limnigraphe a mal fonctionné et seules les crues les plus importantes ont pu être observées.

En 1957, 27 averses ont donné lieu à des ruissellements.

Dans le rapport final de cette étude seules les 12 crues les plus importantes sont décrites, leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

	N°	Date	Pm mm	Px mm	Lr mm	Kr %	Qx m ³ /s	Qo m ³ /s	Ac mm
1	1	21/06	96.5	112	3.09	3.2	2.35	0	376
9	2	13/07	38.9	50.0	1.17	3.0	0.56	0.03	161
5	3	16/07	22.7	32.0	1.11	4.9	0.91	0.25	75
6	4	28/07	18.9	24.0	0.89	4.7	2.06	0.91	62
	5	07/09	25.8	65.0	1.57	6.1	4.33	2.71	123
	1	23/05	53.6	91.4	3.43	6.4	3.47	0.12	171
1	2	19/07	42.0	68.9	3.86	9.2	3.70	0.44	106
9	3	21/07	14.3	25.5	1.12	7.8	2.30	1.03	42.5
5	4	24/08	37.0	55.5	4.11	11.1	3.98	0.8	79.0
7	5	05/09	74.2	120.4	19.4	26.1	19.2	1.9	90
	6	07/09	78.9	97	24.4	30.9	27.2	2.5	76
	7	27/09	85.0	103.1	13.7	16.1	15.0	0.85	133

Ac : paramètre de la fonction de production calculée en supposant uniforme la distribution spatiale des averses

LPm, Px : pluie moyenne et maximale sur le bassin

LR : lame ruissellée

Kr : coefficient de ruissellement

Qx : débit de pointe

Qo : débit initial juste avant la crue

3.2. Bilan d'écoulement

	1956			1957		
	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)
Jv	0	0	0	0	0	0
Fv	33	0	0	0	0	0
Ms	33	0	0	55	10	0
Av	34	0	0	155	0	0
Mi	59	0	0	146	12	8.2
Jn	235	10	4.3	169	48.5	28.7
Jl	202	37	18.3	242	69.5	28.7
Ao	150	53	35.3	248	79.5	32.1
Sp	293	144	49.1	393	212	53.9
Oc	57	34	(59.6)	112	73.5	(65.6)
Nv	4	5	-	11	10	-
Dc	0	3	-	69	6	-
AN	1100	286	26.0	1600	511	31.9

Pm : Pluie moyenne - Le : Lame écoulee - Ke : coefficient d'écoulement

4. Interprétation

4.1. Evénements averses/crués

Si on fait l'hypothèse que la distribution spatiale des averses suit une loi uniforme, on peut calculer pour chacune d'entre elles le paramètre de la fonction de production.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau du paragraphe 3.1.. L'évolution du paramètre au cours de l'année est représentée sur la figure H.II.3.

La capacité d'absorption du bassin décroît en fonction des pluies antérieures. En 1956, elle était lors de la première crue de 316 mm ; à la fin du mois de juillet, elle n'était plus que de 62 mm. La relative faiblesse des pluies du mois d'août a eu pour conséquence une remontée de ce paramètre. En 1957, l'évolution a été très comparable. Cependant à la suite de l'abondance des pluies du mois d'avril et de mai, la capacité d'absorption à la fin du mois de mai était comparable à celle atteinte à la fin du mois de juillet en 1956.

Si on met à part les premières crues, on peut obtenir une reconstitution à peu près satisfaisante en adoptant une valeur unique pour toutes les averses, 98.7 mm. Le modèle hydropluviométrique explique alors 84 % de la variance des lames ruisselées observées. On trouvera sur la figure H.II.4 représentée la correspondance entre les lames ainsi calculées et celles observées.

4.2. Ecoulement annuel

En faisant la même hypothèse que celle faite lors de l'analyse des données du bassin de Boukoumbé, on peut appliquer le modèle hydropluviométrique annuel pour calculer le paramètre de production moyen pour les deux années d'observations. On trouve respectivement pour les années 1956 et 1957, des valeurs de 26,9 mm et de 17,4 mm qui sont bien inférieures, pour des totaux de pluie d'hivernage similaires à celles déterminées sur les bassins de l'Ouémé à Bétérou et de la Mekrou à Kompongou.

Cette grande aptitude à l'écoulement serait générale sur tous les bassins situés sur les flancs des reliefs de la région de Djougou. Ainsi la médiane des lames écoulées à Dompago sur la Binaho qui draine le versant voltaïque des monts de Djougou est plus de deux fois supérieure à la médiane observée à Bétérou sur l'Ouémé.

Comme cela avait été observé sur le bassin de Boukoumbé, le paramètre de la fonction de production observée lors des crues est toujours bien inférieur à la valeur moyenne déterminée à partir de l'écoulement annuel. La part de l'écoulement souterrain ou retardé est donc extrêmement importante. En suivant la même démarche que celle exposée pour le bassin de Boukoumbé, on peut séparer le ruissellement pur de l'écoulement souterrain ou hypodermique. Le bilan pour les années 1956 et 1957 est résumé dans le tableau suivant :

	1956	1957
Pluie annuelle (mm)	1 100	1 600
Pluie d'hivernage (mm)	996	1 310
Ecoulement total (mm)	286	511
Ruissellement pur (mm)	36.4	41.1
Ecoulement souterrain ou hypodermique (mm)	250	470
Coefficient annuel d'écoulement (%)	26.0	31.9
Coefficient annuel de ruissellement (%)	3.3	2.6

En prenant comme durée de l'écoulement pour 1956 et 1957, 7 et 8 mois, les débits moyens de base calculés sur ces périodes seraient de l'ordre de 0.44 pour 1956 et de 0.73 pour 1957 ce qui est en accord avec les valeurs observées des débits initiaux du tableau du paragraphe 3.1..

5. Conclusion

Le bassin de la Téro serait représentatif de la région de Djougou qui se caractériserait par des écoulements bien plus importants que dans le reste du pays.

La part de l'écoulement souterrain ou hypodermique est prépondérante et serait de l'ordre de 90 % du volume écoulé.

Fig- H.II.3 - LA TERO A SOUBROUKOU

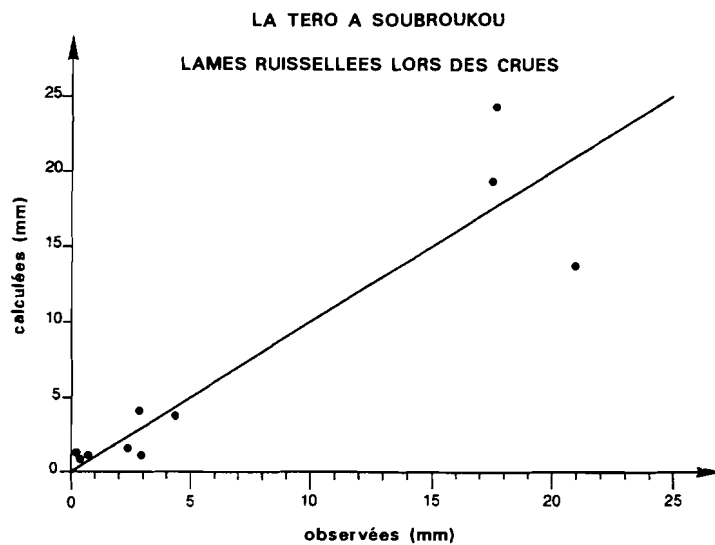
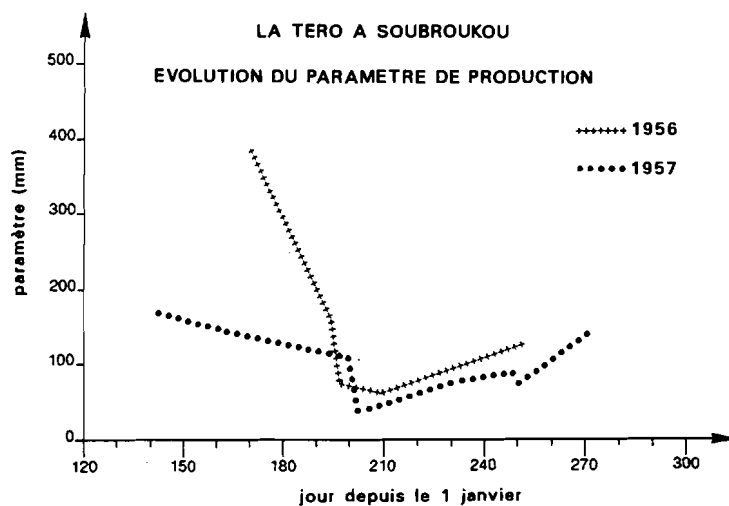
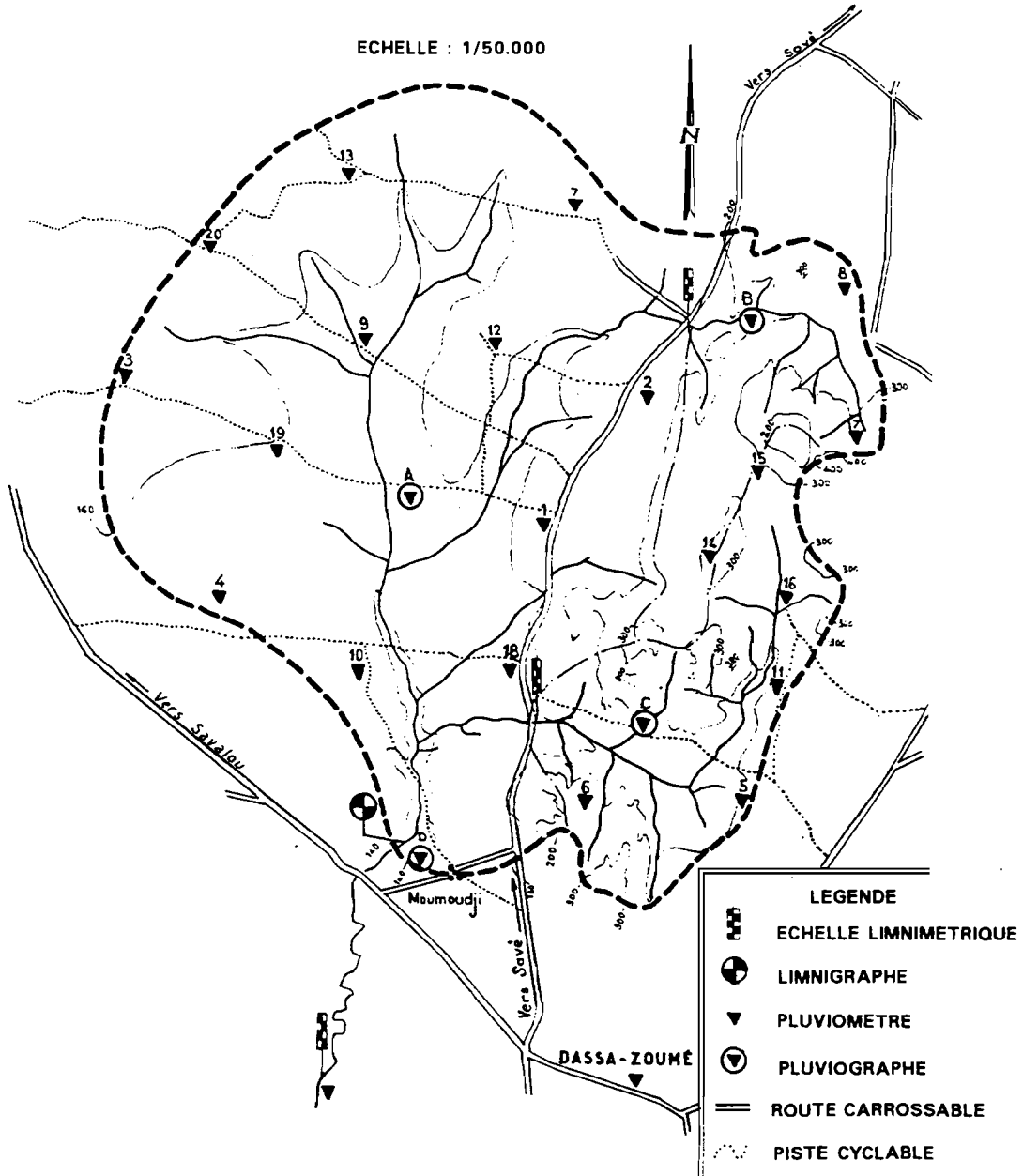


Fig- H.II.4 - BASSIN VERSANT DE LA LHOTO (45km²)



III. Le bassin versant de la Lhoto

1. Historique

La Lhoto est un affluent de l'Agbado, lui-même principal affluent du Zou. Son bassin versant à proximité du village de Moumoudji, à quelques kilomètres au nord-ouest de Dassa-Zoumé, a été étudié durant quatre ans, de 1956 à 1959 par la Direction des Travaux Publics du Bénin et l'Orstom.

2. Description

A la station de Moumoudji, le bassin versant de la Lhoto a une superficie de 45 km^2 . Sa forme est compacte et s'inscrit grossièrement dans un carré de 7 km de côté. Son exutoire situé au sud, se trouve à $7^{\circ}48'$ de latitude Nord et à $2^{\circ}10'$ de longitude Est.

Il s'étend sur les formations granitiques de Dassa-Zoumé qui forment à l'est du bassin des reliefs assez marqués.

Sur 1/5 du bassin à l'est, la roche granitique, plus ou moins altérée affleure et est bordée par une zone de colluvions. A l'ouest se trouvent des sols faiblement ferrallitiques. La zone centrale où coule la Lhoto est recouverte de sols alluviaux.

L'altitude du bassin est comprise entre 465 m et 138 m. 95 % des surfaces ne dépassent pas 300 m d'altitude. La pente moyenne du marigot sur les 12 km de son cours est de l'ordre de 20 m/km. Les pentes latérales sont donc beaucoup plus importantes et peuvent dépasser 150 m/km.

Au cours des quatre années d'observations, la pluviométrie était suivie à partir d'un réseau de quatre pluviographes et d'une vingtaine de pluviomètres. Un limnigraphe était installé à la station principale à Moumoudji. Plusieurs autres stations secondaires ont été également équipées, durant des durées variables, de limnigraphes à l'aval de sous-bassins (5.1 , 7.4 et 12.5 km^2) et à l'exutoire d'un bassin adjacent de 13 km^2 , celui de la Kolomandje.

Dans ce qui suit nous nous intéresserons qu'aux observations faites sur le bassin principal.

3. Observations

Les quatre années observées sont très différentes quant à la pluviométrie comme le montre le tableau suivant résumant les principales caractéristiques de la pluviométrie à Dassa-Zoumè ces années là.

	1956	1957	1958	1959
Pluie annuelle en mm	1 002	1 327	762	1 157
Pluie des mois de juillet-août en mm	96.4	237	45	266
Pluie des mois d'hivernage avril-octobre en mm	799	1 184	706	964
Nombre d'averses durant l'hivernage	95	83	55	76

Les années 1956 et 1958 sont des années sèches de période de retour 3 et 20 ans environ. L'année 1959 est très proche de la moyenne ; l'année 1957 est une année humide de récurrence 5 ans environ.

Ces quatre années se différencient aussi par l'importance de la petite saison sèche des mois de juillet et août. Très marquée en 1958 où il n'a pas plu du tout au mois de juillet, elle est quasi inexistante en 1959.

3.1. Evénements averses/crués

L'écoulement a été quasi nul à Moumoudji durant les années 1956 et 1958. Il y a eu 34 crues en 1957 et 22 en 1959. Les caractéristiques des crues les plus importantes sont données dans le tableau T.H.II.1.

3.2. Bilan d'écoulement

	1956			1957			1958			1959		
	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)
Jv-Av	157	0	0	173	0	0	160	0	0	255	0	0
Mi	112	0	0	236	3.1	3.1	123	0	0	162	0	0
Jn	190	0	0	169	22.6	13.6	82	0	0	129	0	0
Jl	16	0	0	142	23.9	16.8	0	0	0	151	0.4	0.3
Ao	19	0	0	149	33.7	22.6	69	0	0	136	2.2	1.6
Sp	107	0	0	187	67.7	36.2	106	0	0	186	47.9	25.7
Oc	129	e	e	115	26.0	22.6	74	0	0	176	50.5	28.6
Nv-Dc	164	0	0	57	21	(37)	30	0	0	5	0.1	(2)
AN	894	e	e	1228	198	16.1	644	0	0	1200	101	8.4

Pm : pluie moyenne - Le : lame écoulée - Ke : coefficient d'écoulement

**Tableau T.H.II.1 - Caractéristiques des crues les plus importantes observées
à la station de Moumoudji (45 km²)**

	Date	Pm mm	Px mm	LR mm	Kr %	Qx	Ac
1 9 5 7	21/05(*)	85.3	110.5	0.10	0.12	0.3	(1814)
	05/06	24.4	52.9	0.41	1.7	0.595	199
	08/06	15.1	35.7	0.24	1.6	0.525	138
	10/06	29.7	41.6	1.22	4.1	1.85	107
	17/06	23.1	44.1	1.82	7.9	2.34	87
	18/06	37.5	88	6.56	17.5	11.0	81
	06/07(*)	29.1	64.5	1.19	4.1	2.05	(152)
	07/07	22.9	57.9	2.18	9.5	2.38	85
	09/07	17.9	38.1	3.17	17.7	6.82	37
	13/07	20.3	50.4	1.85	9.1	3.72	76
	19/07	16.8	57.9	1.78	10.6		79
	01/08	30.5	54.5	2.84	9.3	5.58	81
	04/08	52.3	80.4	9.31	17.8	22.0	83
	24/08	19.8	42.0	1.94	9.8	2.39	60
	07/09(*)	44.3	60.7	2.57	5.8	3.95	(132)
	10/09(*)	19.0	24.4	3.12	16.4	3.72	(32)
	13/09	36.2	49.4	6.37	17.6	9.69	55
	17/09	15.7	40.8	2.92	18.6	5.87	38.5
	23/09	24.7	43.9	4.69	19.0	7.68	41.2
	26/09(*)	18.0	35.0	2.38	13.2	3.98	41.8
	04/10	22.9	40.9	1.81	7.9	2.82	68
	15/10	28.1	82.3	3.62	12.9	9.21	99
	25/10	30.9	65.3	3.55	11.5	5.07	85
1 9 5 9	31/08(*)	53.8	88.0	2.53	4.7	2.83	199
	06/09	31.2	50.0	2.68	8.60	5.70	80.7
	06/09	20.0	28.0	2.22	11.1	5.50	41.3
	07/09	17.8	47.0	2.76	15.5	7.45	50.0
	26/09	45.5	87.0	4.41	9.7	11.5	125
	29/09	27.0	56.0	3.11	11.5	4.85	73
	03/10	24.4	33.0	3.66	15.0	8.46	41.1
	09/10	37.8	54.0	8.47	22.4	14.0	49.4
	11/10	16.0	21.0	2.30	14.4	4.88	27.4
	22/10	19.8	31.0	1.62	8.2	2.70	52.9
	23/10	13.2	24.5	1.98	15.0	3.85	27.0

(*) : Crues complexes.

Pm, Px : pluie moyenne et maximale sur le bassin

LR : lame ruissellée

Ac : paramètre de la fonction de production calculée en supposant
uniforme la distribution spatiale des averses

Kr : coefficient de ruissellement

Qx : débit de pointe

3.2. Bilan d'écoulement

	1956			1957			1958			1959		
	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)	Pm (mm)	Le (mm)	Ke (%)
Jv-Av	157	0	0	173	0	0	160	0	0	255	0	0
Mi	112	0	0	236	3.1	3.1	123	0	0	162	0	0
Jn	190	0	0	169	22.6	13.6	82	0	0	129	0	0
Jl	16	0	0	142	23.9	16.8	0	0	0	151	0.4	0.3
Ao	19	0	0	149	33.7	22.6	69	0	0	136	2.2	1.6
Sp	107	0	0	187	67.7	36.2	106	0	0	186	47.9	25.7
Oc	129	e	e	115	26.0	22.6	74	0	0	176	50.5	28.6
Nv-Dc	164	0	0	57	21	(37)	30	0	0	5	0.1	(2)
AN	894	e	e	1228	198	16.1	644	0	0	1200	101	8.4

Pm : pluie moyenne - Le : lame écoulée - Ke : coefficient d'écoulement

4. Interprétation

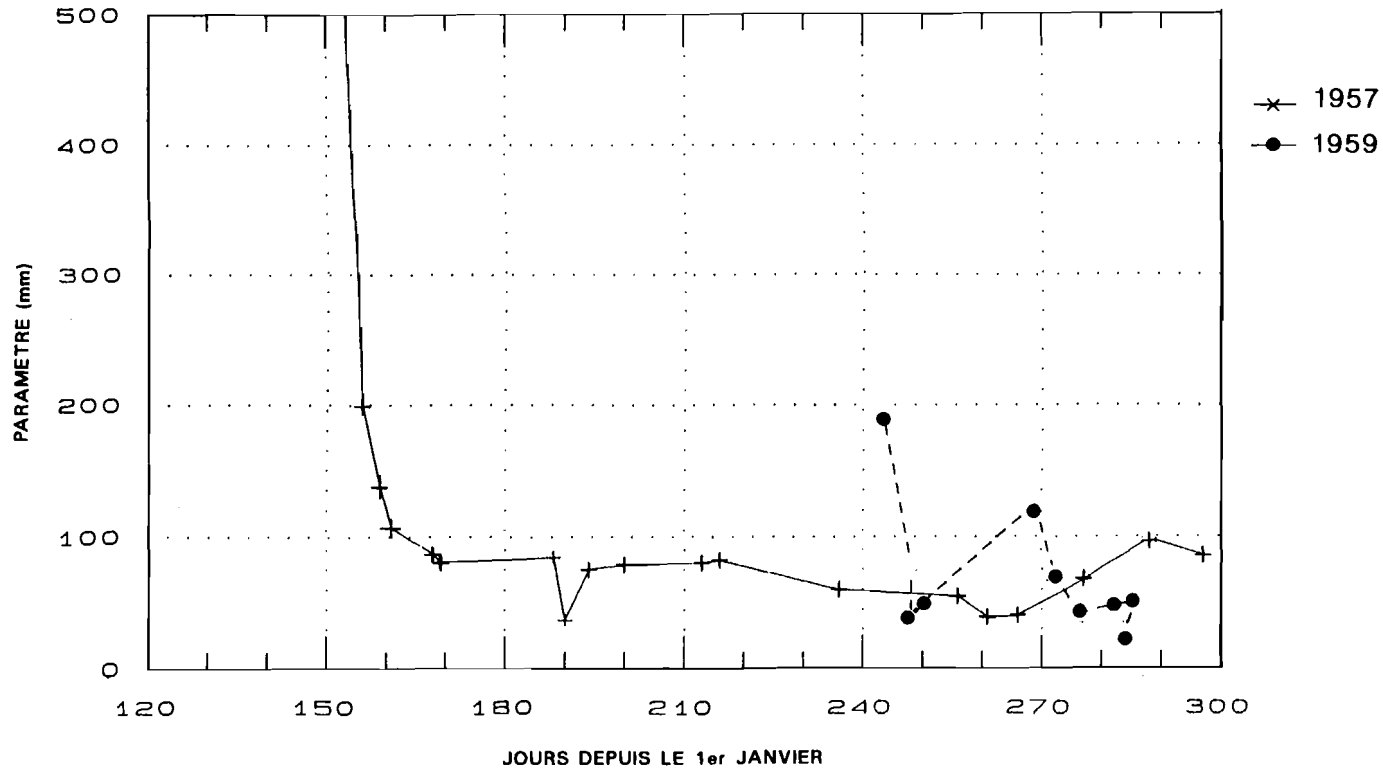
4.1. Evénements averses/crues

L'aptitude au ruissellement du bassin de la Lhoto varie de façon considérable en fonction de son état de saturation, lié lui-même à la répartition temporelle des pluies. En 1956 et 1958, la faiblesse des précipitations et surtout la rigueur de la petite saison sèche se sont traduites par une absence totale d'écoulement. En 1957, l'importance des pluies du mois de mai a permis dès début juin l'instauration de conditions favorables au ruissellement. On a représenté sur la figure H.II.5 l'évolution du paramètre de production au cours de l'année : très élevé (supérieur à 1 800 mm) lors de la première crue, il décroît relativement rapidement ensuite ; il n'est plus que de 80 mm fin juin, 80 mm fin juillet, 60 mm fin août, 40 mm fin septembre. A partir du mois d'octobre l'espacement des pluies entraîne une remontée de la capacité d'absorption qui sera de l'ordre de 100 mm fin octobre.

En 1959 du fait de la relative faiblesse des précipitations de début de saison, le ruissellement n'a réellement commencé qu'à la fin du mois d'août, la capacité d'absorption du bassin a diminué alors assez rapidement et est resté de l'ordre de 40 mm au cours du mois d'octobre où les pluies ont été relativement fréquentes.

Fig. H.1.5

LA LHOTO A MOUMOUDJI - 1957 ET 1959
EVOLUTION DU PARAMETRE DE PRODUCTION



Il n'est pas possible dans ces conditions, d'adopter comme nous l'avons fait pour les autres bassins expérimentaux, une valeur unique pour la reconstitution des événements averses/crués.

N'ayant pas à notre disposition les chroniques des précipitations de 1956 à 1959 sur le bassin, nous ne pouvons aller plus loin dans l'analyse.

4.2. Bilan d'écoulement

Le nombre d'averses survenues chaque année au cours de l'hivernage est connu : 95, 83, 55 et 76. Il diffère sensiblement de celui, théorique, calculé à partir de la hauteur moyenne mensuelle et des paramètres des Lois des Fuites ajustées aux totaux mensuels observés à Dassa-Zoumé : 55, 64, 52 et 65.

Par application du modèle hydropluviométrique on peut donc calculer le paramètre de la fonction de production en supposant exponentielle la distribution des hauteurs d'averses. Les valeurs trouvées pour 1957 et 1959, à partir du nombre réellement observé d'averses, 38 mm et 62 mm sont assez voisines de celles déterminées à Atcherigbe pour des hauteurs de pluies d'hivernage comparables : 55 mm et 63 mm.

A l'inverse, si on utilise la fonction de production déterminée sur le bassin d'Atcherigbe pour calculer les lames écoulées sur la Lhoto, nous trouvons 0.19 mm, 115 mm, 1.6 mm et 98 mm en prenant le nombre d'averses réellement observées, et 2.3 mm, 171 mm, 2.1 mm et 126 mm en prenant le nombre théorique d'averses. Ces valeurs sont à comparer aux lames écoulées observées 0 mm et 198 mm, 0 mm et 101 mm.

Les valeurs de la capacité d'absorption calculées à partir des événements averses/crués sont dans l'ensemble plus élevées que la valeur calculée à partir du bilan annuel.

5. Conclusion

Le bassin de la Lhoto (45 km²) semble bien être représentatif de l'ensemble du bassin du Zou en amont d'Atcherigbe (6 350 Km²).

Comme pour les autres bassins étudiés, la part de l'écoulement retardé ou hypodermique serait importante.

IV. Conclusion générale

L'analyse des données collectées sur les trois bassins versants étudiés dans les années 1956-60 complète de façon très intéressante celles que nous avons faites des observations sur le réseau hydrométrique.

Elle a permis tout d'abord de montrer l'importance du ruissellement retardé ou hypodermique sur les trois bassins. La part du ruissellement pur est toujours assez faible. L'utilisation du paramètre de production déter-

miné à partir du bilan annuel, pour estimer le volume d'une crue conduirait donc à une surestimation considérable des débits.

Elle a permis ensuite de confirmer la grande aptitude à l'écoulement des bassins situés sur les flancs des reliefs de Djougou et que les données collectées aux stations de Dompago sur la Binaho et dans une moindre mesure de Wéwé sur la Wéwé, nous faisaient pressentir.

Enfin nous avons pu constater la similitude des capacités d'absorption des bassins de Boukoumbé et de la Mekrou d'une part, et de ceux de la Lhoto et du Zou d'autre part.

Ceci est un argument pour régionaliser les fonctions de production déterminées à partir des données du réseau. Ce sera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 3

SYNTHESE REGIONALE

ESTIMATION DES REGIMES HYDROLOGIQUES AUX SITES NON JAUGES

Les grands fleuves du Bénin (Niger, Ouémé, Basse Pendjari et Bas Mono) sont assez bien suivis, et depuis relativement longtemps déjà, par des stations hydrométriques. La description des régimes hydrologiques à ces stations que nous avons faites précédemment, et l'étude des variations interannuelles, que nous traiterons dans le chapitre suivant, devraient permettre, dans la plupart des cas, une estimation satisfaisante de la ressource en eau et des contraintes à surmonter pour leur aménagement.

Mais il n'y a pas au Bénin que ces grands fleuves, il y a aussi le grand nombre de marigots et de rivières, qui forment une richesse potentielle et pour lesquels l'on ne dispose pas d'observations directes des écoulements. Il nous paraissait donc très important dans le cadre de cette monographie de procéder à une étude régionale des écoulements afin de pouvoir estimer les régimes hydrologiques de sites non jaugés. C'est l'objet de ce chapitre.

Nous limiterons nos ambitions à l'estimation :

- des distributions des apports et des crues,
- des répartitions mensuelles des apports,
- des étiages et des tarissements.

I. Les unités hydrologiques

Les analyses que nous avons faites des données collectées tant sur le réseau que sur les bassins versants représentatifs, nous permettent d'identifier cinq unités hydrologiques :

- les hauts reliefs de l'Atakora et des Monts de Djougou,
- les plateaux gréseux de Kandi et Kalale,

- le socle,
- le contact socle-bassin sédimentaire côtier,
- le bassin sédimentaire côtier.

1. Les hauts reliefs de l'Atakora et des Monts de Djougou

C'est la région la plus arrosée du Bénin et aussi celle qui semble avoir la plus grande aptitude à l'écoulement comme l'indiquent les valeurs limites de la capacité moyenne d'absorption des bassins situés en totalité ou en partie sur cette zone : 17,4 mm sur le bassin de la Téro, 25 mm sur le bassin de la Mekrou à Kompongou. Les écoulements y sont donc importants : plus de 400 mm en moyenne sur le bassin de la Binaho, près de 200 mm sur ceux de la Wéwé et du Magou, 160 mm sur celui de l'Ouémé à Bétérou.

2. Les plateaux gréseux

La fonction de production calculée sur le bassin de la Sota compris entre Gbasse et Coubéri, et situé presque exclusivement sur les grès de Kandi, est très différente de celle observée sur les autres régions du Bénin. La capacité moyenne d'absorption au lieu de décroître comme ailleurs avec la pluie d'hivernage reste voisine de 75 mm, valeur bien supérieure à la limite atteinte sur les autres formations géologiques. Cela s'expliquerait d'une part par l'importance de l'infiltration et d'autre part, par la restitution à la rivière d'une partie des eaux infiltrées. Les débits d'étiages et les coefficients de tarissement sont bien supérieurs à ceux observés dans les autres régions du pays.

Il est logique d'admettre un comportement analogue pour les bassins situés sur les grès de la région de Kandi et Kalale.

3. Le socle

Les fonctions de production pour les bassins situés sur le socle, sont très proches les unes des autres. Les limites atteintes par la capacité moyenne d'absorption sont très voisines et sont comprises entre 35 et 45 mm.

En revanche la décroissance de ce paramètre avec la hauteur de la pluie d'hivernage diffère. Elle semble d'autant plus rapide que les bassins sont situés plus au sud. Cela pourrait s'expliquer essentiellement par les différences des régimes pluviométriques. La saison des pluies étant plus longue au sud qu'au nord, il est logique que les conditions moyennes de saturation y soient pour les années sèches, et à pluviométrie égale moins favorables à l'écoulement.

4. Le contact socle - bassin sédimentaire côtier

Les pertes très importantes constatées, lors des années humides, le long de l'Ouémé entre la confluence avec l'Okpara et Sagon, et le long du Zou entre Atcherigbe et Domé, indiquent que le contact entre le socle et les formations sédimentaires du bassin côtier, représente sur le plan hydrologique, une singularité. Il n'est pas possible actuellement de préciser comment agit cette singularité : est-ce la rupture brutale de la pente à ce niveau qui induit des débordements des rivières ? Ou bien est-ce une zone d'infiltration intense ? On ne peut répondre. Mais il est sûr que ces pertes sont réelles et que le phénomène mériterait d'être étudié.

5. Le bassin sédimentaire côtier

Sur le bassin sédimentaire côtier, les conditions géomorphologiques sont bien différentes de celles du reste du pays. Il est donc certain que les conditions hydrologiques sont également très différentes. Malheureusement nous n'avons aucune donnée concernant les écoulements dans cette région.

II. Etude régionale des apports annuels

1. La méthode

Pour l'estimation des apports aux sites non jaugés nous avons utilisé le même modèle hydropluviométrique que celui employé lors de l'analyse des données (cf. Annexe M5).

Selon ce modèle, on admet que l'écoulement à l'exutoire d'un bassin peut être considéré comme résultant de l'intégration spatiale d'écoulements ponctuels qui peuvent être estimés par l'expression suivante :

$$EC = Ph.exp (- 0,75 (a.N/Ph)^{0,75}$$

où : Ph : total pluviométrique des mois d'hivernage
 N : somme des nombres, n_i , les plus probables d'averses au cours des mois d'hivernage

$$n_i = \Omega - 0,5 + \sqrt{\frac{S_i P_i}{H_i} + 0,25\Omega}$$

avec : S_i, H_i : paramètres de forme et d'échelle de la Loi des Fuîtes ajustée à la distribution des totaux pluviométriques du mois i
 P_i : hauteur des pluies du mois i
 a : $f(Ph)$ = capacité moyenne d'absorption.

La reconstitution des chroniques ponctuelles nécessite donc de connaître :

- les champs spatiaux des hauteurs mensuelles de pluies,
- les champs spatiaux des paramètres de la Loi des Fuites ajustée à ces hauteurs,
- le champ spatial des capacités moyennes d'absorption ponctuelle.

Les premiers champs sont des données de base, les seconds résultent de l'analyse des données pluviométriques que nous avons faites dans la deuxième partie de cette monographie. Il restait donc à déterminer celui des capacités d'absorption. A partir de l'analyse des unités hydrologiques présentée plus haut, nous avons découpé le pays en six zones (*cf. figure H.III.1*) :

- la zone des hauts reliefs de l'Atakora et des Monts de Djougou (zone 2),
- une zone correspondant aux contreforts nord de l'Atakora (zone 1),
- la zone des grès (zone 3),
- 3 zones (4, 5, 6) correspondant à un découpage nord-sud du socle.

Nous avons admis que sur chacune de ces zones la fonction de production était identique en tout point. Nous avons ensuite déterminé les valeurs de ces différentes fonctions qui permettaient la meilleure reconstitution des lames écoulées observées sur les différents bassins.

Nous avons pu alors reconstituer les chroniques des écoulements ponctuels desquelles il est aisé de déduire celles des apports à l'exutoire de n'importe quel bassin.

Pour être plus synthétique, nous avons cartographié la moyenne et la variance des écoulements ponctuels. La moyenne des apports sur un bassin se déduit par une simple intégration spatiale des moyennes ponctuelles. La détermination de la variance nécessiterait de définir des fonctions de covariance. Nous nous sommes contentés de préciser, à partir d'un certain nombre de bassins, une relation empirique entre, d'une part, la surface et, d'autre part, le rapport de la moyenne des variances des écoulements ponctuels et la variance des lames écoulées.

Si l'on admet en outre que, comme cela a été vérifié sur la plupart des bassins du Bénin, que la distribution des apports suit une Loi des Fuites, ces cartes et cette relation permettent d'en définir les paramètres puisque si A et B sont ses paramètres d'échelle et de forme :

$$A = \frac{V}{2 M}$$

$$B = \frac{2 M^2}{V}$$

M et V étant la moyenne et la variance des apports.

FONCTIONS DE PRODUCTION DE L'ÉCOULEMENT

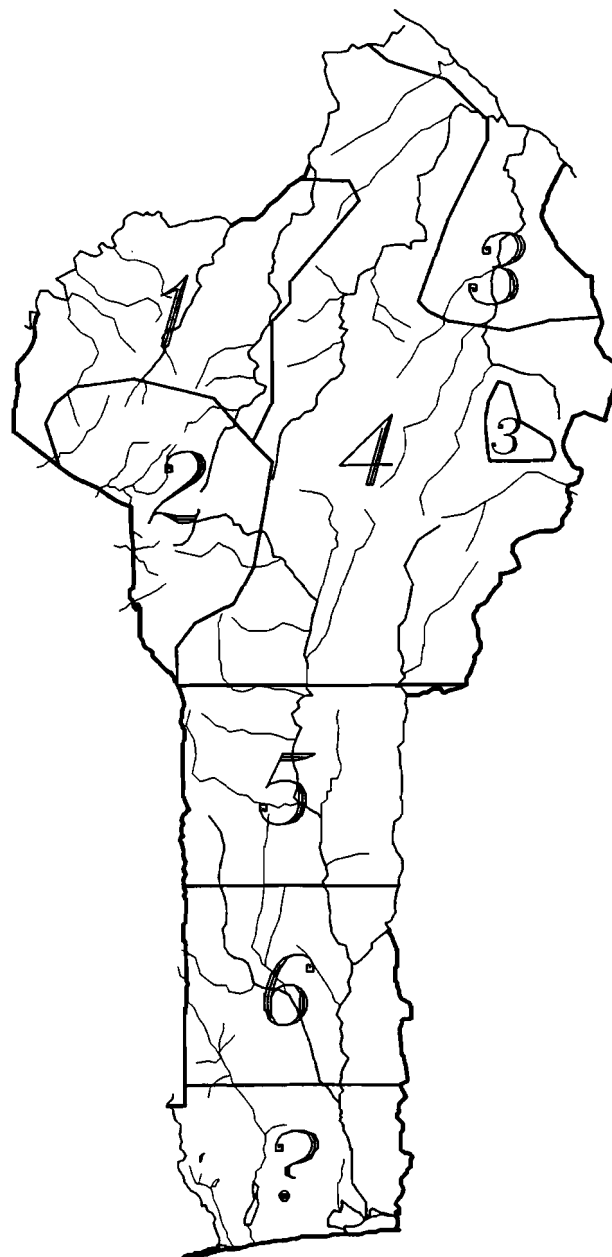


Fig- H.III.1

LES CHIFFRES INDICQUÉS DANS CHAQUE ZONE
SONT LES NUMÉROS DE LA FONCTION DE PRODUCTION

2. Les résultats

2.1. Fonctions de production

Les fonctions de production obtenues sur les six zones sont données dans le tableau suivant (*Fig. H.III.2*).

Fonction de production (en mm)

Zone Ph (mm)	1	2	3	4	5	6
600	190	160	84	172	174	203
700	140	110	84	140	144	160
800	100	77	84	107	111	123
900	70	52	84	86	90	99
1000	55	38	84	67	71	78
1100	43	29	84	59	63	61
1200	38	25	84	52	56	50
1300	37	23	84	49	53	45
1400	37	21	84	46	50	42
1500	37	20	84	45	49	42
1600	37	20	84	44	48	42
1700	37	20	84	44	48	42
1800	37	20	84	44	48	42

*Ph = pluie d'hivernage : - Mai à Octobre pour les zones 1 à 4
- Avril à Octobre pour les zones 5 à 6*

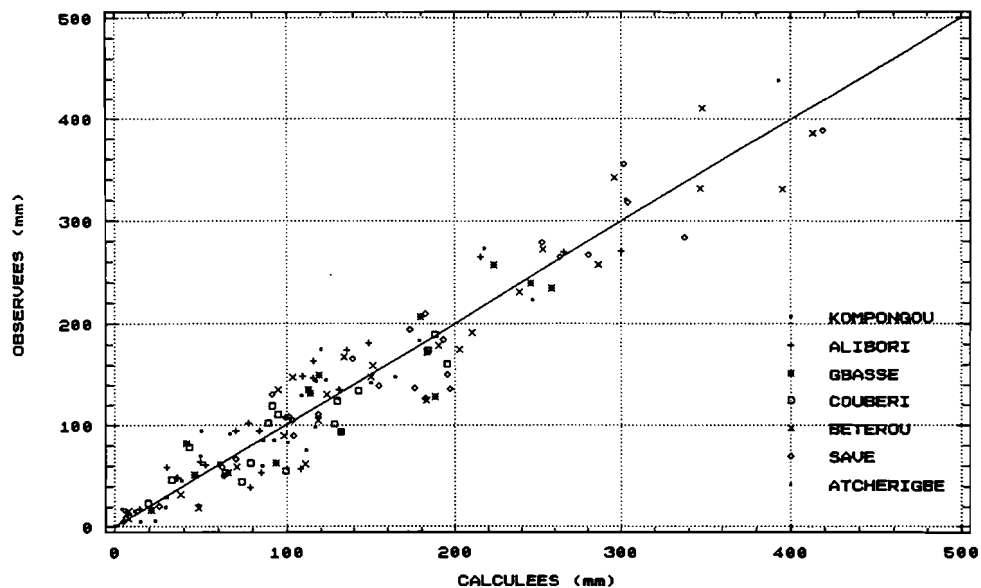
Ces fonctions permettent une reconstitution satisfaisante des lames écoulées observées sur les différents bassins, comme l'illustre la figure H.III.2.

On notera la grande similitude des fonctions de production pour les différentes zones du socle (zones n° 4, 5 et 6).

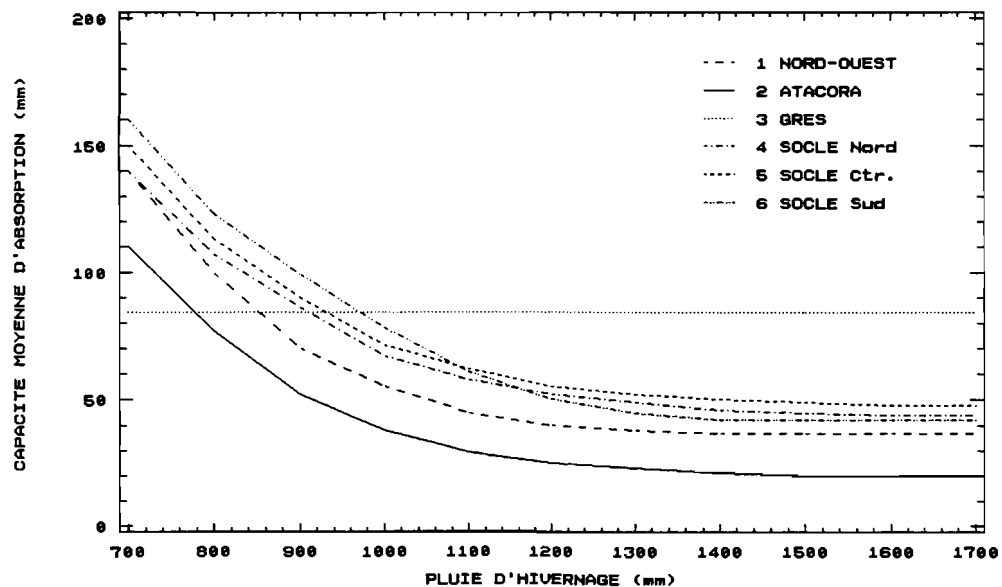
Vu le manque total de données concernant les écoulements sur les bassins situés sur les formations du sédimentaire côtier, nous ne pouvons avancer aucune estimation pour cette région.

LAMES ECOULEES ANNUELLES AUX PRINCIPALES
STATIONS HYDROMETRIQUES DU BENIN

Fig- H.III.2



FONCTIONS DE PRODUCTION DE L'ECOULEMENT



2.2. Les lames écoulées

On trouvera cartographiés sur la figure H.III.3, la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation des lames écoulées ponctuelles. Le terme "écoulement ponctuel" est à considérer dans un sens statistique. De même que la Loi de Darcy ne peut permettre l'estimation de la vitesse de l'eau dans un pore élémentaire du sol et n'est valable qu'à partir d'un certain volume de sol, ces cartes n'ont de sens qu'à partir d'une certaine surface de bassin versant (100 km² ?).

On remarquera sur ces cartes les faits suivants :

- les reliefs de la région de Djougou, à la fois très arrosés et propices aux écoulements, forment ce que l'on pourrait appeler le "Château d'eau du Bénin" puisque les lames écoulées en moyenne interannuelle varient de plus de 380 mm à 200 mm ;
- les écoulements au Nord du 11^e parallèle sont faibles et décroissent du sud au nord. Ils sont inférieurs à 50 mm en moyenne interannuelle ;
- sur le reste du pays, les lames écoulées varient peu et sont comprises en moyenne la plupart du temps entre 100 et 150 mm ;
- les coefficients de variation les plus faibles (entre 0,25 et 0,50) sont observés sur les plateaux gréseux où le soutien des nappes aux débits des rivières atténue la variabilité interannuelle des écoulements ;
- les coefficients les plus forts (entre 1 et 1,25) s'observent au sud et à l'extrême nord du pays. Ceci est directement lié à la variabilité des régimes pluviométriques.

Ces cartes permettent aussi l'estimation des distributions des lames écoulées sur n'importe quel bassin ne traversant pas la singularité socle-bassin sédimentaire côtier. La moyenne est obtenue par simple intégration spatiale des lames écoulées ponctuelles. L'estimation de la variance se fait en deux temps : par intégration spatiale on fait la moyenne des variances ponctuelles, on multiplie alors le résultat obtenu par le coefficient, fonction de la surface, que l'on lit sur les courbes de la figure H.III.4. Ces deux courbes ont été tracées en comparant pour différents bassins les variances des chroniques reconstituées des lames écoulées à la moyenne des variances ponctuelles. La première ("bassins homogènes") correspond à des bassins situés sur une même zone ou sur des zones peu différentes (par exemple zone 4, 5 et 6). La seconde ("bassins hétérogènes") à des bassins à cheval sur des zones très contrastées (par exemple zone 4 et zone 2, zone 4 et zone 3).

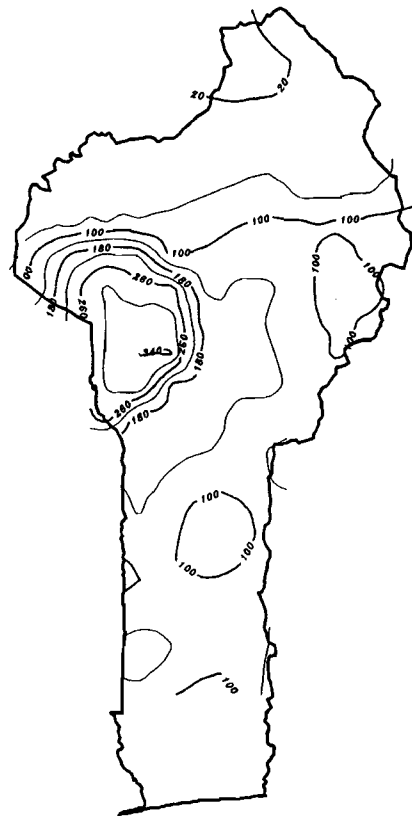
De ces estimations de la variance et de la moyenne, on peut en déduire à l'aide des formules du paragraphe 2, les valeurs des paramètres de la Loi des Fuites qui d'une façon générale décrit au Bénin les distributions des lames écoulées annuelles.

2.3. Conclusion

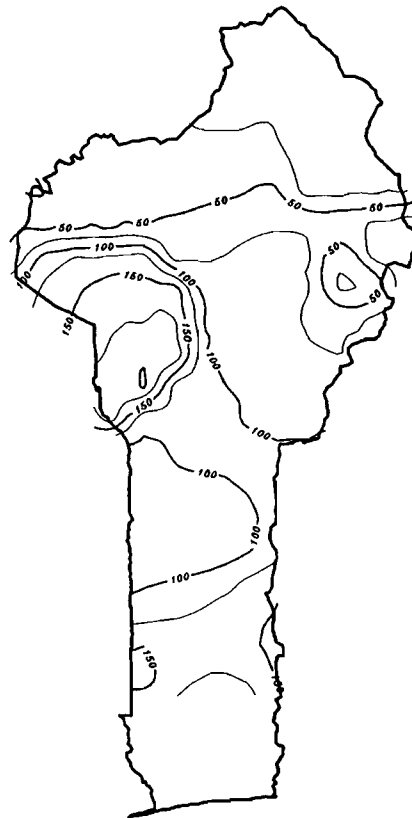
La méthode proposée pour l'estimation des distributions des apports est certainement entachée d'incertitudes. Par manque de données, nous ne sommes pas en mesure de les préciser.

LAMES ECOULEES ANNUELLES (1940-1984)

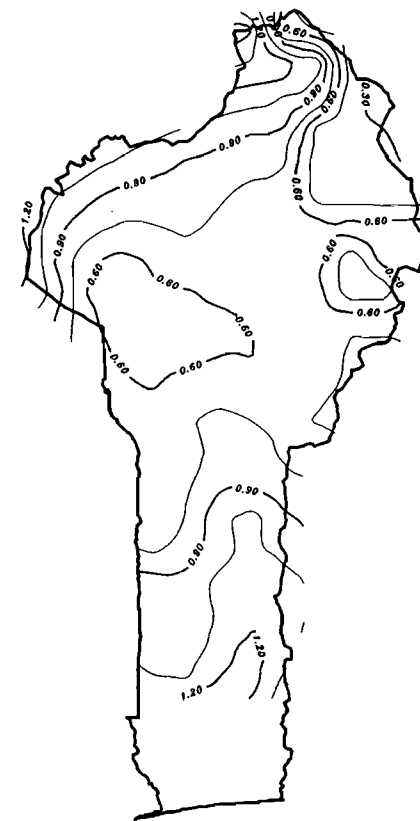
Fig- H.III.3



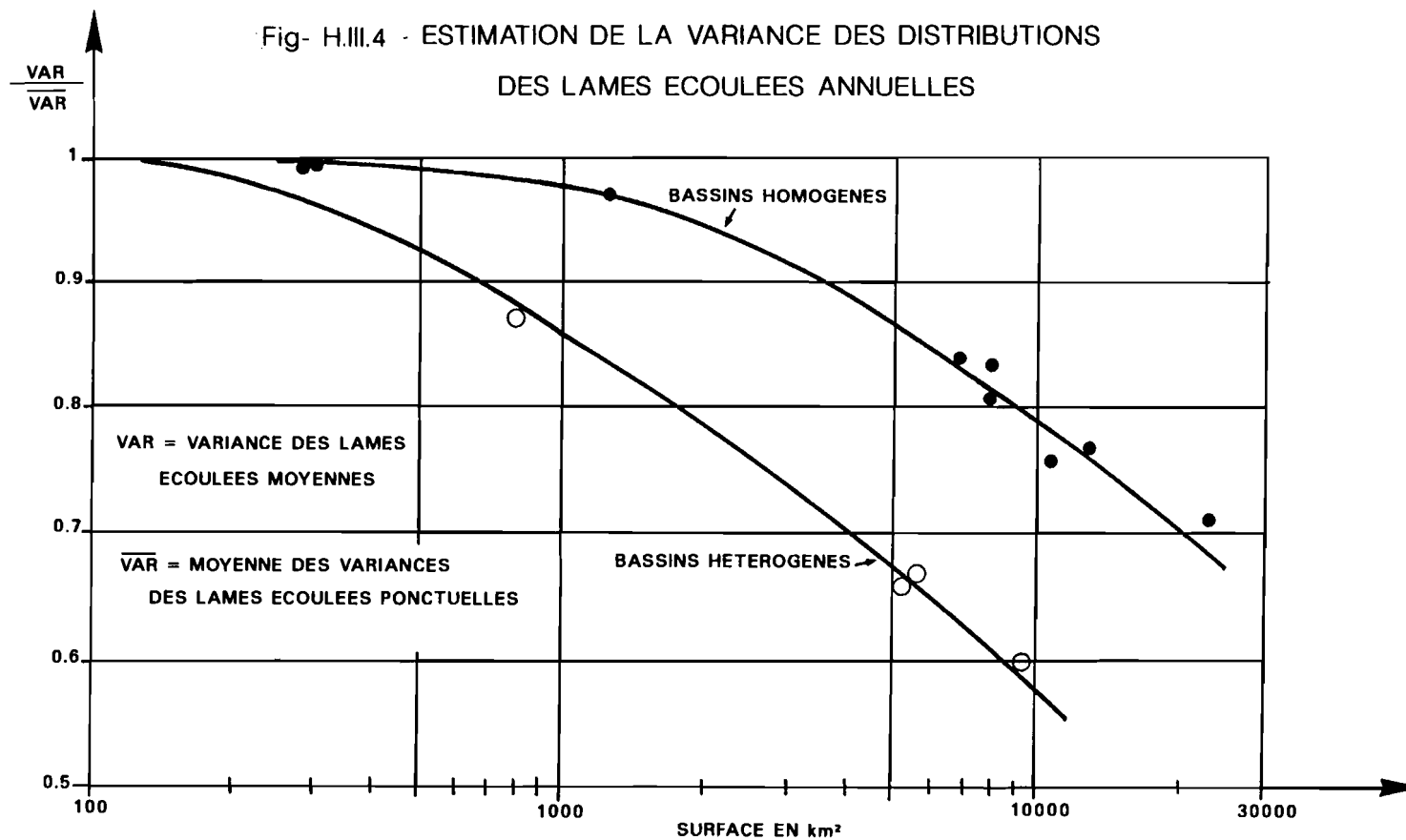
MOYENNE (mm)



ECART-TYPE (mm)



COEFF. DE VARIATION



Les valeurs ponctuelles de la lame écoulée que nous avons cartographiées doivent être considérées comme autant de moyennes régionales. Il est donc certain que plus les bassins seront petits, plus la variabilité des écoulements autour de la moyenne de ces moyennes régionales sera forte. Pour les très petits bassins, les cartes des écoulements ne donneront donc que des ordres de grandeur. En revanche la méthode proposée donne des résultats satisfaisants pour les bassins supérieurs à 100 km² et est relativement précise au delà de 1 000 km².

III. Etude régionale des crues

L'analyse des données collectées sur le réseau hydrométrique nous a montré qu'il existait une liaison statistique entre les débits maximaux annuels et les modules.

Par ailleurs nous avons pu constater que, pour les rivières ne traversant pas la zone de contact entre le socle et le bassin sédimentaire côtier où se produisent des pertes considérables lors des crues, la Loi des Fuites décrivait bien les distributions des modules et des crues. Pour ces rivières, il était donc logique de rechercher des corrélations entre les paramètres de ces lois (cf. tableau T.H.III.1). Elles existent bien et sont étroites puisque :

- * les paramètres de forme des distributions sont très fortement corrélés entre eux de façon linéaire :

$$S_x = 1.29 \cdot S_m \quad R^2 = 0.97 \quad (1)$$

avec : S_x : paramètre de forme pour les débits maximaux
et S_m : paramètre de forme pour les modules.

- * les moyennes des distributions sont liées par la relation suivante :

$$M_x = 24.3 \cdot M_m^{0.711} \quad R^2 = 0.97 \quad (2)$$

avec : M_x : moyenne de la distribution des débits maximaux (m³/s)
et M_m : moyenne de la distribution des modules (m³/s)

Pour une rivière ne traversant pas la zone de contact, l'estimation de la distribution des débits maximaux à son exutoire est donc possible ; elle se fera en deux temps :

- 1) à l'aide de la méthode décrite au paragraphe précédent, on estimera les paramètres de la distribution des modules ;
- 2) à l'aide des formules (1) et (2) on en déduira ceux de la distribution des débits maximaux.

L'estimation des différents quantiles par cette méthode est satisfaisante comme le montrent les graphiques de la figure H.III.5, obtenus en comparant les débits maximaux de récurrence, 2, 5, 10, 20 et 50 ans, observés et calculés. Dans la quasi totalité des cas la précision est de 35 %, dans 80 % des cas elle est de 20 %.

Pour les rivières traversant la zone de contact, l'estimation devient beaucoup plus difficile. Du fait des pertes qui se produisent lors des crues (*cf. chapitre I § IV.7 et IV.12*), il y a un étalement des hydrogrammes qui se traduit par un aplatissement des distributions des débits maximaux qui sera d'autant plus important que les pertes relatives par rapport aux volumes écoulés seront fortes. Les distributions des débits maximaux à ces stations sont décrites par des lois bêta bornées supérieurement, à trois paramètres. N'ayant à notre disposition que les données sur deux stations (Domé et Sagon), il n'est pas possible d'aller plus loin dans l'analyse.

Tableau T.H.III.1 - Paramètre des Lois des Fuites ajustées aux distributions des modules et des crues

Rivière	Station	Surface	Module		Débits maximaux	
		(km ²)	Hm (m ³ /s)	Sm	Hx (m ³ /s)	Sx
Mekrou	Kompougou	5670	4.17	5.49	28.4	6.50
Mekrou	Barou	10500	7.16	4.61	30.1	7.59
Alibori	Pont-route	8150	5.55	5.59	45.6	7.31
Sota	Gbasse	8300	5.98	4.19	62.7	4.18
Irane	Koutakroukrou	1250	0.81	4.40	9.5	4.31
Sota	Coubéri	13400	5.00	6.67	31.9	7.80
Magou	Tiéélé	836	0.32	16.10	2.4	21.10
Pendjari	Porga	22280	6.74	8.73	33.2	10.80
Wéwé	Wéwé	293	0.41	4.59	7.8	5.69
Ouémé	Bétérou	10330	11.00	4.76	56.1	7.15
Ouémé	Save	23600	30.70	4.64	124.0	6.63
Okpara	Kaboua	9600	7.52	4.00	39.7	5.79
Omini	Pira	88	0.08	3.54	1.5	4.46
Klou	Loghozoe	300	0.60	2.91	13.6	3.76
Zou	Atcherigbe	6950	9.47	3.30	76.8	4.63
Couffo	Lanta	1680	1.35	3.58	13.1	5.93

Hm, Sm = paramètres d'échelle et de forme de la Loi des Fuites décrivant la distribution des modules annuels.

Hx, Sx = paramètres d'échelle et de forme de la Loi des Fuites décrivant la distribution des maximaux annuels des débits journaliers.

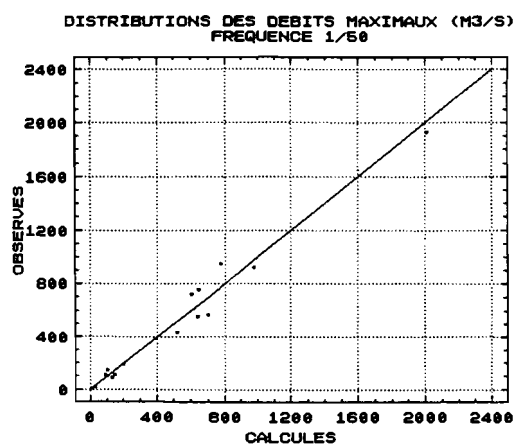
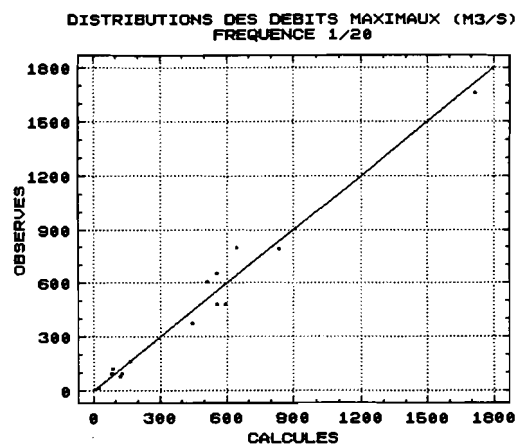
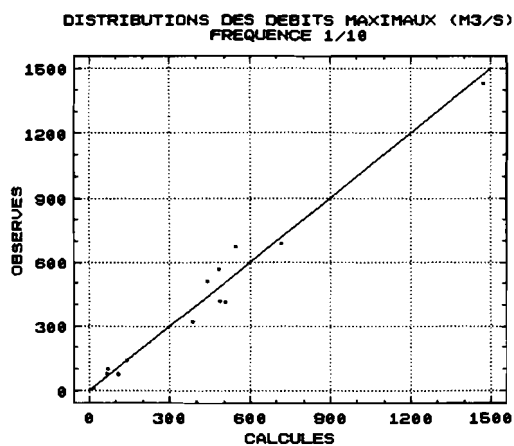
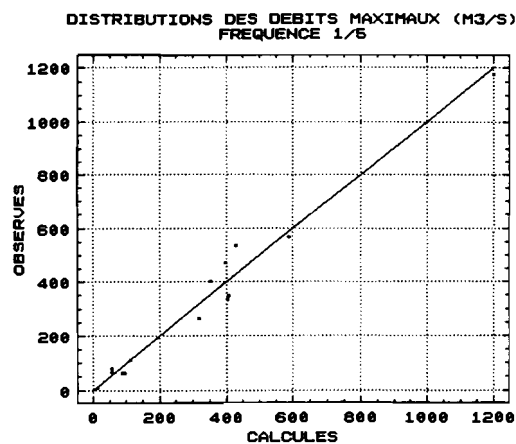
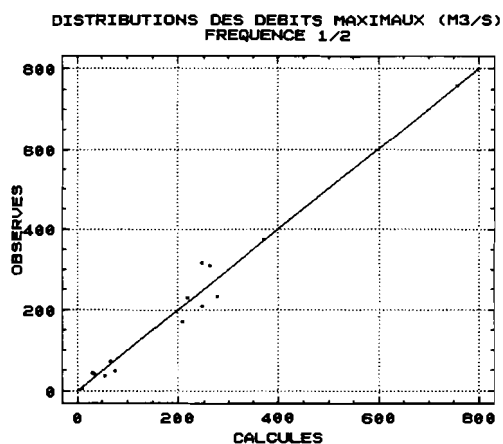


Fig- H.III.5
**DISTRIBUTIONS
DES DEBITS MAXIMAUX
AUX PRINCIPALES
STATIONS HYDROMETRIQUES
DU BENIN**

**QUANTILES
ESTIMES ET OBSERVES**

IV. Etude régionale des répartitions mensuelles des apports

Il s'agit ici d'estimer la répartition mensuelle des apports à l'exutoire de bassins versants dont la surface ne dépasse pas 10 000 km². Pour ces bassins, on peut en effet admettre que les processus de transfert influent peu sur la répartition mensuelle, à l'inverse de ce qui se passe sur les bassins plus grands.

Dans l'analyse des données collectées aux stations hydrométriques, nous avons identifié pour chacune d'entre elles les profils modaux définis comme étant les répartitions les plus fréquentes des apports exprimées pour chaque mois en pourcentage des volumes écoulés annuels. On trouvera récapitulés dans le tableau suivant ces profils pour les stations hydrométriques contrôlant un bassin inférieur ou très peu supérieur à 10 000 km² :

Répartition mensuelle des apports - Profils modaux en % des apports annuels
(mois d'avril à novembre)

		Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.
Mekrou à Kompongou		0.3	0.1	0.1	4.2	17.2	52.0	21.2	3.7
Alibori au Pont de Kandi		0	0.8	1.4	5.3	25.6	51.1	14.2	1.4
Sota à Gbasse		0.4	0.6	1.7	4.8	20.1	49.2	18.6	2.8
Irane à Koutakroukrou		1.4	2.3	4.5	6.6	20.9	38.6	14.2	4.3
Sota à Coubéri		1.3	1.6	2.5	5.1	17.3	41.8	20.4	4.3
Binaho à Dompago		0.2	0.3	1.0	9.7	27.3	47.0	12.8	1.6
Wéwé à Wéwé		0.2	0.97	1.93	5.54	28.7	41.1	17.8	2.8
Ouémé à Bétérou		0.1	0.1	0.8	4.80	22.0	46.8	21.9	2.9
Klou à Loghzoze	mode 1	5.6	6.2	18.2	17.8	5.6	27.7	16.7	1.5
	mode 2	0.6	1.1	5.5	15.9	29.7	27.6	17.6	0.9
Zou à Atcherigbe	mode 1	0.4	0.7	5.35	23.2	28.3	24.6	14.7	1.42
	mode 2	0.9	2.3	5.0	9.9	9.0	38.7	29.9	2.83

Ce tableau appelle plusieurs commentaires :

- 1) On constate du nord au sud, en relation avec l'allongement de la durée de la saison des pluies, un aplatissement des profils.

Au nord (Kompongou, Bétérou, Gbasse), près de 90 % des apports sont concentrés au cours des mois d'août, septembre et octobre. Le mois de septembre représente à lui seul près de 50 % des volumes écoulés.

Au sud en revanche (Logozohe, Atcherigbe) les apports s'étalent du mois de juin au mois d'octobre. Du fait de la grande irrégularité des régimes pluviométriques, on constate en outre l'apparition de deux modes liés à l'importance relative des deux saisons des pluies.

- 2) Pour les bassins situés sur les zones gréseuses de Kandi (Koutakroukrou et Coubéri) les apports de saison sèche représentent entre 10 et 20 % des volumes écoulés. On constate donc un aplatissement des profils.
- 3) Pour les bassins situés sur les zones très favorables à l'écoulement des reliefs de l'Atakora et des monts de la région de Djougou (Dompago et Wéwé), les écoulements débutent plus tôt et les apports des mois de juillet et août représentent près de 35 % du total annuel.

Compte tenu de ces considérations nous proposerons comme profil modal de chacune des six zones définies précédemment les ordres de grandeur suivants :

		Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.
Zone 1		0.1	0.1	0.1	5.0	20	51	20	3.0
Zone 2		0.2	0.3	1.0	9.5	27	47	13	2.0
Zone 3		1.5	2.0	3.0	5.0	20	40	20	4.0
Zone 4		0.1	0.1	1.0	5.0	23	45	21	3.0
Zone 5		0.2	1.0	2.0	5.0	29	41	18	3.0
Zone 6	1	1.0	1.0	5.0	16.0	30	28	18	1.0
	2	5.0	6.0	18.0	18.0	6.0	28	17	1.5

V. Etude régionale des étiages et des tarissements

On trouvera récapitulées dans le tableau suivant, les valeurs médianes des paramètres caractérisant les étiages (débit et nombre de jours sans écoulements) et les tarissements (coefficients et débits charnières).

1. Les étiages

Les débits d'étiages ne sont pas nuls uniquement pour les rivières drainant les formations gréseuses du Nord-Est du pays mais aussi pour celles traversant la singularité hydrologique que forme le contact socle-bassin sédimentaire côtier et que nous avons déjà évoquée plus haut.

Etiages et tarissements

	S km ²	Etiage		Tarissement		
		Qn m ³ /s	Ns jours	TR1 jours	Qc m ³ /s	TR2 jours
Mekrou à Kompoungou	5670	0	107	16,4	0,17	3,3
Alibori au Pont routier	8150	0	137	12,3	0,07	1,5
Sota à Gbasse	8300	0,630	-	12,0	2,6	30,3
Irane à Koutakroukrou	1250	0,150	-	21,7	0,45	29,4
Sota à Coubéri	13450	4,0	-	15,9	8,22	14,2
Binaho à Dompago	62	0	142	-	-	-
Wéwé à Wéwé	293	0	127	16,3	0,04	7,6
Ouémé à Bétérou	10324	0	95	17,2	0,08	0,7
Ouémé à Save	23600	0,006	-	9,8	-	-
Okpara à Kaboua	9600	0	73	12	0,03	2,4
Ouémé à Sagon	37980	1,35	-	9,3	5,13	55,6
Klou à Logozohe	300	0	110	-	-	-
Zou à Atcherigbe	6950	0	66	9,0	0,04	2,0
Zou à Domé	8210	1,0	-	7,6	3,0	62,5
Ouémé à Bonou	46990	1,57	-	13,1	5,1	40,0

C'est sur le plateau gréseux que les étiages sont les plus soutenus : une année sur deux, ils sont supérieurs à 4,0 m³/s à Coubéri sur la Sota, à 0,63 m³/s à Gbasse sur la Sota et 0,150 m³/s à Koutakroukrou sur l'Irane. La superficie des grès sur ces bassins étant respectivement de 5 150 km², 750 km² et 190 km², il semblerait que l'on puisse estimer la valeur spécifique de l'étiage médian sur les formations gréseuses par 0,8 l/s/km². L'irrégularité interannuelle des étiages est assez faible à Gbasse comme à Coubéri puisque les rapports des 1er et 3ème quartiles à la médiane y sont identiques et égaux respectivement à 0,8 et 1,10.

Les rivières qui traversent le contact socle-bassin sédimentaire côtier, connaissent, nous l'avons vu, des pertes sensibles d'écoulement et un laminage des fortes crues. La traversée de cette singularité se traduit par l'apparition de débits d'étiage relativement importants : 1,35 m³/s à Sagon sur l'Ouémé, 1,0 m³/s à Domé sur le Zou, en valeurs médianes. L'irrégularité interannuelle des étiages, est également assez faible. Le rapport des 1er et 3ème quartiles à la médiane sont à Domé comme à Sagon, de 0,8 et 1,30. Les apports de saison sèche de l'Ouémé semblent bien être limités à cette zone : à Bonou le débit médian d'étiage est à peine plus fort qu'à Sagon, 1,57 m³/s contre 1,35 m³/s, alors que le bassin versant a augmenté de 9 000 km² et que l'Ouémé a reçu entre temps les apports du Zou où le débit d'étiage est important. L'irrégularité à Bonou des étiages est également bien plus forte qu'à Sagon ou à Domé, puisque les rapports des 1er et 3ème quartiles à la médiane y sont de 0,5 et 1,6.

Sur les autres régions du pays, les étiages sont toujours nuls. Le nombre de jours sans écoulement varie en fonction de trois facteurs principaux : la latitude, la taille du bassin versant, et son aptitude à l'écoulement.

Du Nord au Sud, le nombre de jours sans écoulement décroît parallèlement au raccourcissement de la saison sèche : 137 sur l'Alibori, 95 sur l'Ouémé à Bétérou, 73 sur l'Okpara à Kaboua, 66 sur le Zou à Atcherigbe.

A latitude égale, le destockage des eaux contenues dans le réseau hydrographique est d'autant plus rapide que le bassin versant est petit. Si on compare les bassins du Klou à Logozohe et du Zou à Atcherigbe d'une part et ceux de la Wéwé et de l'Ouémé à Bétérou d'autre part, à latitude égale le nombre de jours sans écoulement serait supérieur de 30 à 40 jours pour des bassins de moins de 300 km² à celui pour des bassins de 8 000 à 10 000 km².

On constate également qu'à taille et à latitude égale, les rivières drainant des bassins plus aptes à l'écoulement, connaissent des périodes de tarissement plus courtes : 107 à Kompongou contre 137 sur l'Alibori au niveau du pont routier.

2. Tarissement

Le tarissement résulte de deux processus :

- le destockage de l'eau emmagasinée dans le réseau hydrographique ;
- l'apport des nappes aux rivières.

Dans un premier temps le processus de destockage domine quelles que soient les formations géologiques drainées par la rivière. Les coefficients de tarissements correspondant à cette première phase sont compris entre 9 et 17 jours. Ils sembleraient être plus forts au Nord (entre 12 et 17 jours) qu'au Sud (entre 9 et 12 jours).

Les choses diffèrent ensuite selon que les apports souterrains sont négligeables ou non.

C'est le cas sur les formations du socle où l'on constate un tarissement très rapide des rivières dès que leurs débits atteignent une valeur charnière, variables selon les cours d'eau mais toujours de l'ordre de quelques dizaines de l/s.

En revanche, sur les formations gréseuses et au passage de la zone de contact entre le socle et le bassin sédimentaire côtier, les apports souterrains deviennent prédominants.

Sur les grès, le débit charnière semble croître avec la superficie drainée : 0.45 m³/s à Koutakroukrou, 2.6 m³/s et 8.2 m³/s sur la Sota à Gbasse et Coubéri pour des surfaces sur grès de 190, 750 et 5 150 km². Une fois atteint ce débit, le tarissement se fait très lentement : à Coubéri le coefficient de tarissement est de 142 jours.

Au passage du contact entre le socle et le bassin côtier, à partir d'un débit charnière relativement élevé, 5 m³/s à Sagon sur l'Ouémé, et 3,0 m³/s à Domé sur le Zou, le tarissement devient lent. A Domé comme à Sagon la valeur du coefficient de tarissement est voisin de 60 jours. Comme pour les étiages, il semble que ce comportement soit limité à cette zone de transition puisqu'à Bonou où l'Ouémé a déjà reçu les eaux du Zou, le débit charnière est toujours de 5 m³/s et le coefficient de tarissement n'est plus que de 40 jours.

Chapitre 4

ÉCOULEMENTS ET VARIATIONS CLIMATIQUES

Du fait de la nature de la relation entre les pluies et les débits, les fluctuations interannuelles des écoulements amplifient celles de la pluviométrie. Leur étude présente donc un intérêt sur le plan climatologique.

Elle est en outre indispensable pour résoudre certains problèmes de gestion des ressources en eaux du pays.

L'utilisation des descriptions fréquentielles des régimes sous-entend que ce qui s'est déjà produit par le passé peut se réaliser dans l'avenir avec la même probabilité. Cette hypothèse peut ne pas être réaliste s'il existe des tendances climatiques. Un aménageur, suivant ses objectifs, pourra donc être amené à donner dans ses projections sur l'avenir, plus de poids au passé récent. Par exemple, pour évaluer la rentabilité d'un petit ouvrage de dix ans d'espérance de vie, il sera souvent préférable de se fonder sur les distributions des apports déterminées à partir des données collectées au cours des dix ou vingt dernières années. En revanche, pour des aménagements plus importants, il faudra exploiter la totalité des chroniques.

Par ailleurs pour la planification de l'emploi des ressources en eaux du Bénin, il peut être nécessaire d'avoir une vision globale des fluctuations inter-annuelles des écoulements et non uniquement rivière par rivière. En effet, les mesures à prendre pour se prémunir contre un déficit peuvent être fort différentes selon que celui-ci est très localisé ou au contraire général.

Dans ce chapitre, nous allons donc nous efforcer de décrire, sous ces deux aspects, les variations inter-annuelles des apports et des étiages

I. Variations interannuelles des apports

1. Description des chroniques

Dans notre analyse nous séparerons les écoulements des rivières dont les bassins sont situés en totalité au Bénin de ceux du Niger, de la Pendjari et du Mono, dont les bassins s'étendent essentiellement hors du pays.

1.1. Les bassins béninois

Nous avons caractérisé chacune des années de la période 1940-1984, par sept variables : les écoulements moyens sur chacune des six zones définies au chapitre précédent, avec en plus une partition Nord-Sud de la zone 4 de part et d'autre de 10.5° de latitude Nord. Nous avons ensuite procédé à une Analyse en Composantes Principales de cet ensemble de points.

Deux axes regroupent à eux seuls près de 90 % de la variance. Le premier (57 % de la variance) caractérise la sécheresse, le second la répartition Nord-Sud des apports exprimés en écarts normalisés à la moyenne.

La figure H.IV.1 représente les chroniques annuelles des projections sur chacun de ces deux axes ainsi que celles de leurs moyennes mobiles sur cinq ans ; les figures H.IV.2 et H.IV.3 celles des lames écoulées sur les différentes zones (en mm et centrées réduites). Plusieurs faits sont à noter.

a) Fluctuations à long terme

On peut distinguer dans l'évolution des moyennes mobiles quatre périodes :

- 1940 à 1947 : il s'agit d'un "cycle" de sécheresse dont le maximum d'intensité se situe au cours des années 43-44. La répartition Nord-Sud des apports est à peu près normale sur tout le cycle.
- 1948 à 1960 : il s'agit d'un "cycle" humide dont le paroxysme se situe en 1953-1955. La répartition spatiale des apports évolue de façon synchrone avec l'humidité : d'une situation normale en 1948, l'importance des apports du Nord croît jusque dans les années 1953-1955 pour diminuer jusqu'en 1960 où le Sud devient prépondérant.
- 1960 à 1970 : il s'agit d'un "cycle" humide moins intense que le précédent. A partir de 1961, l'importance relative du Sud décroît régulièrement. En 1970 la répartition redevient normale.

Fig- H.IV.1 - ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES
DES LAMES ECOULEES

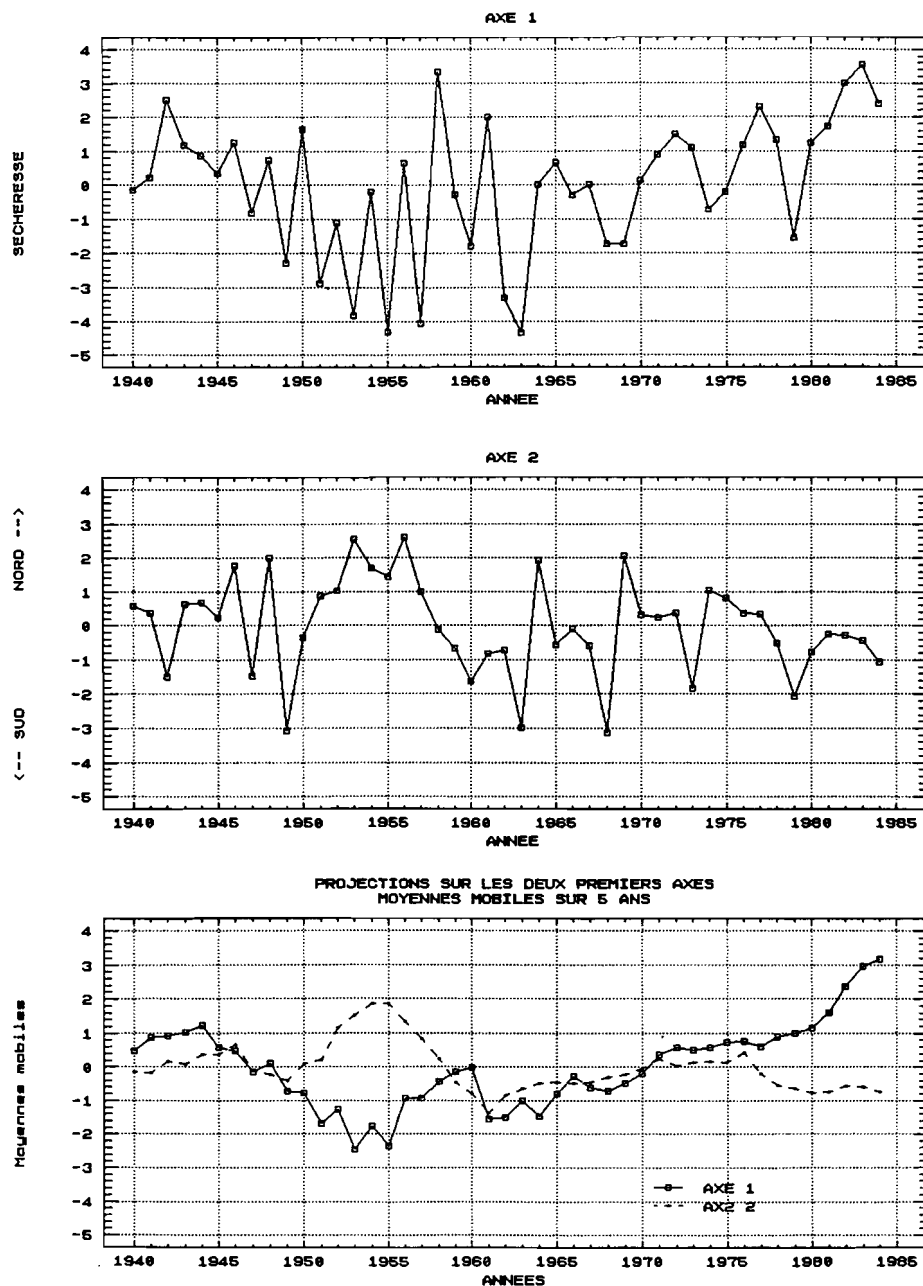


Fig- H.IV.2 - LAMES ECOULEES CENTREES REDUITES SUR DIFFERENTES ZONES DU BENIN

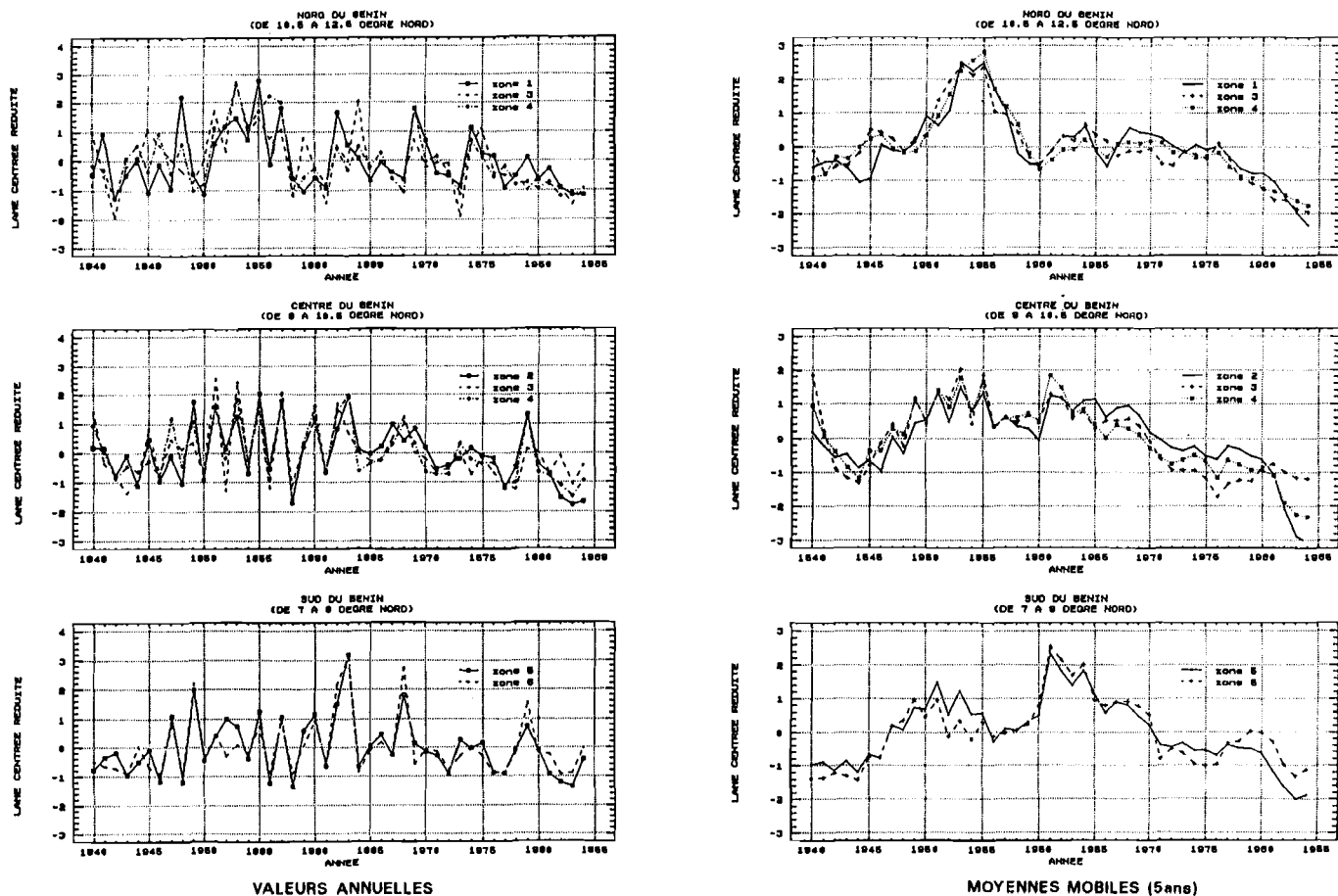
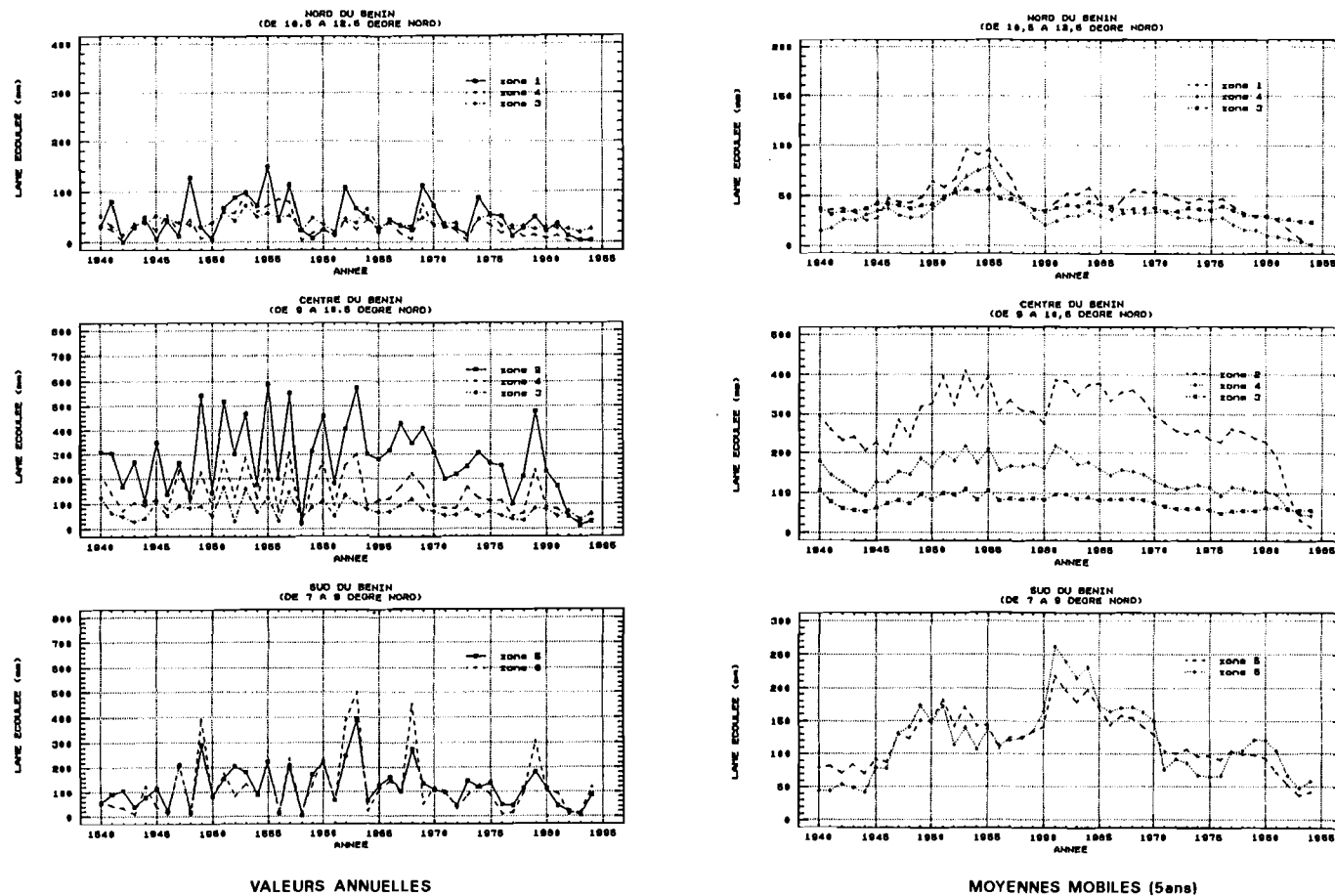


Fig- H.IV.3 - LAMES ECOULEES, EN (mm), SUR DIFFERENTES ZONES DU BENIN



- 1971 à 1984 : à partir de 1971 la tendance à la sécheresse est permanente et s'accroît en 1980. De 1971 à 1975 la répartition spatiale des apports reste normale, à partir de 1976 les déficits sont plus importants au Nord qu'au Sud.

b) Fluctuations à court terme

Aux tendances que nous venons de décrire, se superposent des fluctuations à court terme qui ne paraissent pas être purement aléatoires. On peut distinguer quatre périodes :

- 1940 à 1945 : au cours de cette période, la sécheresse marquée de 1942 est plus intense au Sud qu'au Nord.
- 1945 à 1958 : cette période se caractérise par un rythme bisannuel selon le premier axe : les années paires sont sèches, les impaires humides. C'est au cours de cette période qu'ont été observées à la fois des sécheresses parmi les plus intenses, 1950, 1956 et 1958, et des années exceptionnellement humides comme 1953, 1955 et 1957. Jusqu'en 1949, la répartition spatiale suit le même rythme binaire et les années sèches et humides sont davantage marquées au Sud qu'au Nord. A partir de 1950, cette alternance disparaît et la répartition spatiale suit l'évolution que nous avons décrite au paragraphe précédent.
- 1957 à 1963 : le rythme selon l'axe 1 devient de trois ans. Les amplitudes sont très fortes : 1958 et 1963 représente les deux extrêmes observées.
- 1963 à 1984 : sur les deux axes apparaît de façon synchrone un rythme de 5 ans. Le maximum selon l'axe 2 précède celui selon le premier axe et les années les plus humides sont surtout dus à des excédents au Sud. L'amplitude des variations de la répartition spatiale semble aller s'amortissant.

1.2. Niger, Pendjari et Mono

On trouvera représentées sur la figure H.IV.4, pour ces trois fleuves, les chroniques et les moyennes mobiles sur 5 ans des lames écoulées exprimées en écarts normalisés à la moyenne.

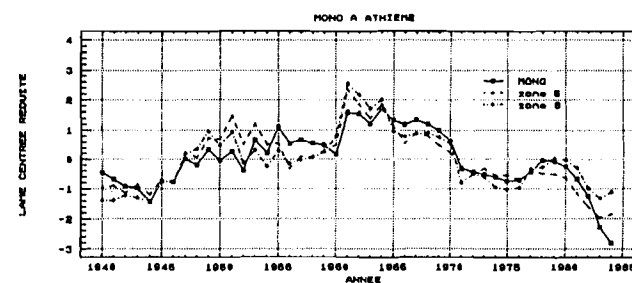
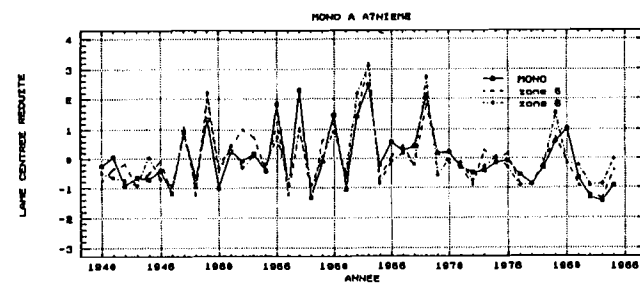
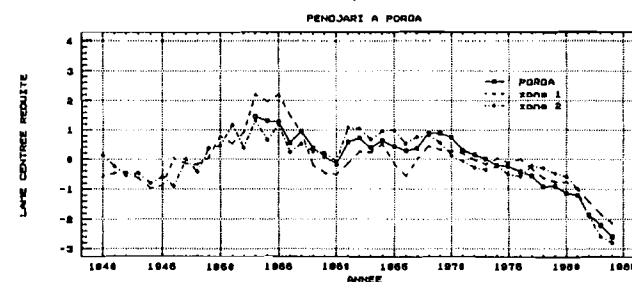
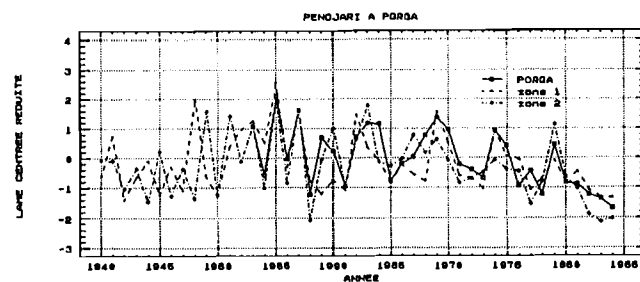
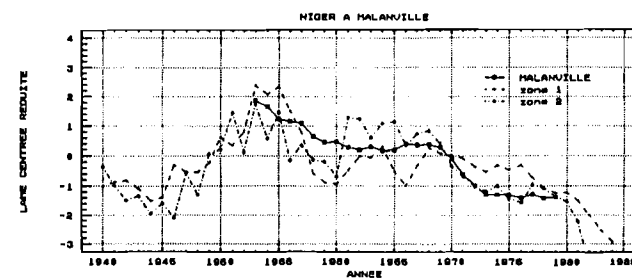
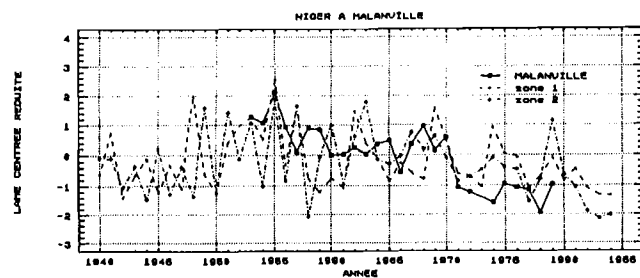
Pour la Pendjari comme pour le Mono, la similitude des variations interannuelles avec celles observées sur les zones les plus proches saute aux yeux. Les lames écoulées à Porga sur la Pendjari et à Athiémé sur le Mono sont d'ailleurs très fortement corrélées avec celles calculées sur ces zones :

$$L_p = .18 Z_1 + .14 Z_2 + .88 Z_{3n} + 1.87 \quad (R^2 = .81)$$

$$L_a = .25 Z_5 + .27 Z_6 + .25 Z_2 + 7.82 \quad (R^2 = .84)$$

où : *L_p* et *L_a* sont les lames écoulées à Porga et Athiémé ;
Z_x est la lame écoulée sur la zone *x* (*Z_{3n}* = Zone 3 au Nord de 10.5°).

Fig- H.IV.4 - LAMES ECOULEES,CENTREES REDUITES,NIGER,PENDJARI,MONO



VALEURS ANNUELLES

MOYENNES MOBILES (5ans)

L'évolution générale des modules du Niger à Malanville est très semblable à celle observée sur les différentes zones du Bénin, la zone 2 notamment.

Le synchronisme des fluctuations des écoulements mis en évidence au Bénin pourrait donc concerner la majeure partie de l'Afrique de l'Ouest.

2. Analyse fréquentielle

Si l'analyse précédente semble montrer une certaine organisation spatio-temporelle des lames écoulées annuelles, on ne peut en préciser les causes. Les rythmes mis en évidence ne paraissant pas stables, il n'est pas possible d'en déduire des procédures de prévision qui puissent être utilisées à des fins opérationnelles. Nous nous contenterons donc de comparer les distributions des lames écoulées avant et après 1968.

Sur la figure H.IV.5 sont cartographiés la moyenne et le coefficient de variation de ces distributions. Sauf pour les zones gréseuses, les lames écoulées après 1968 ne représentent plus en moyenne qu'environ 60 % de celles avant 1968. Sur les zones gréseuses où les contributions des nappes aux rivières atténuent la variabilité des écoulements, le même rapport est plus fort et est de l'ordre de 70 %.

Les coefficients de variation des lames écoulées sur les bassins gréseux sont légèrement inférieurs après 1968 puisqu'ils ne représentent plus qu'environ 80 % de ceux observées avant. Sur les autres formations géologiques, en revanche, ils augmentent d'environ 20 % après 1968.

Pour le Mono et la Pendjari, les apports après 1968 chutent en moyenne eux aussi de 40 % environ, ce qui est logique vu les corrélations qui existent entre ceux-ci et les lames écoulées sur les différentes zones du Bénin.

Les apports du Niger à Malanville connaissent en moyenne après 1968 une baisse identique de 40 %. Cette baisse se traduit par celles des débits maximaux des deux crues, malienne (- 14 %) et soudanaïenne (- 34 %) et s'accompagne d'une arrivée beaucoup plus précoce de la crue malienne (1 mois environ), ce qui va entraîner, nous le verrons par la suite, une chute considérable des étiages.

3. Description de quelques années remarquables

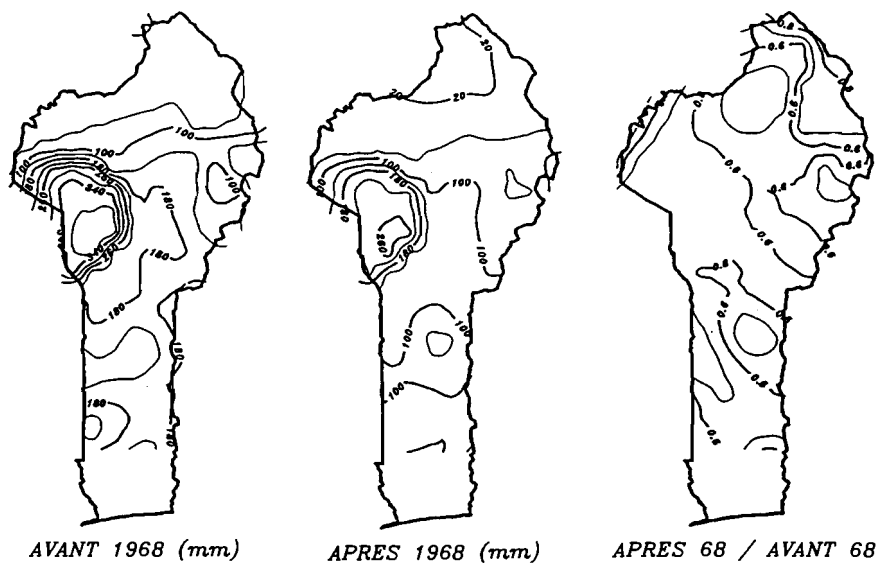
Avant de conclure sur ces variations interannuelles des apports, il nous paraît intéressant d'examiner un peu plus en détail quelques années remarquables : trois années sèches (1958, 1976, 1983), trois années humides (1962, 1963, 1968) et l'année 1974, assez proche de la normale, qui servira de référence.

On trouvera sur la figure H.IV.6, cartographiées les lames écoulées calculées pour les années exceptionnelles ; les hydrogrammes observés sur les principales rivières du Bénin en 1974, 1958, 1976, 1962 et 1963, sont représentés sur les figures H.IV.7 à 12.

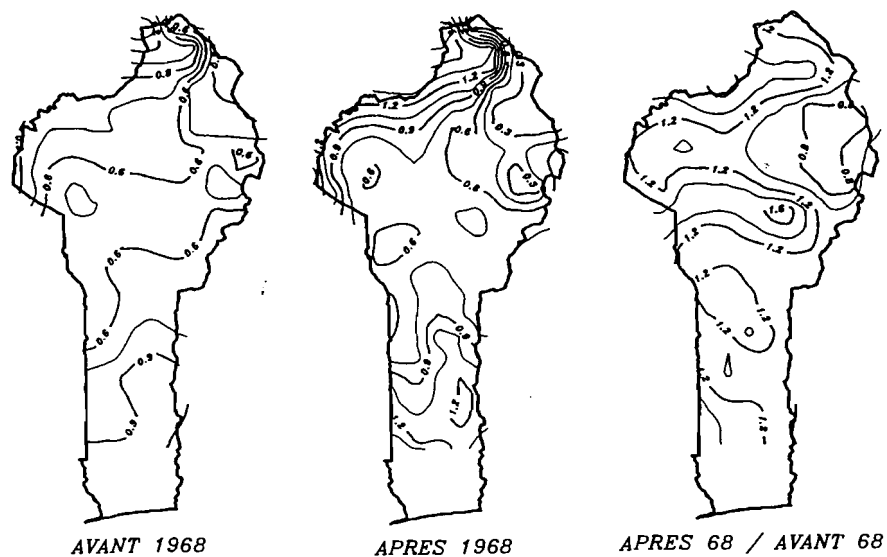
**DISTRIBUTIONS DES LAMES ECOULEES ANNUELLES
AVANT ET APRES 1968**

Fig- H.IV.5

MOYENNE



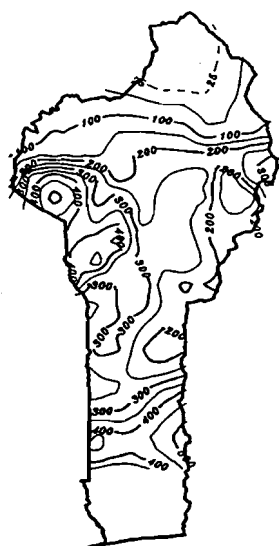
COEFFICIENT DE VARIATION



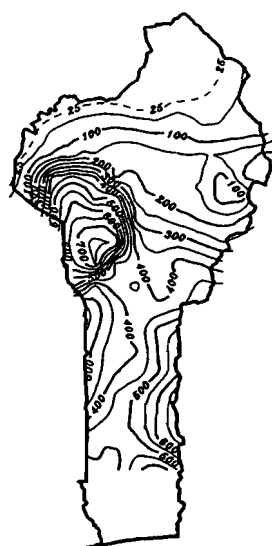
LAMES ECOULEES - ANNEES EXCEPTIONNELLES

ANNEES HUMIDES

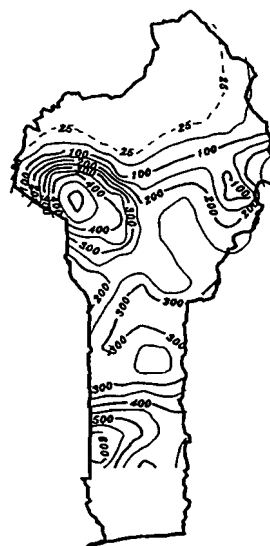
Fig- H.IV.6



1962



1963

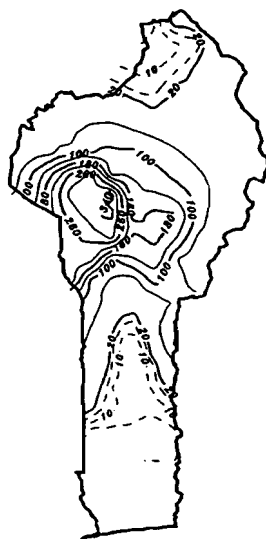


1968

ANNEES SECHES



1958



1976



1983

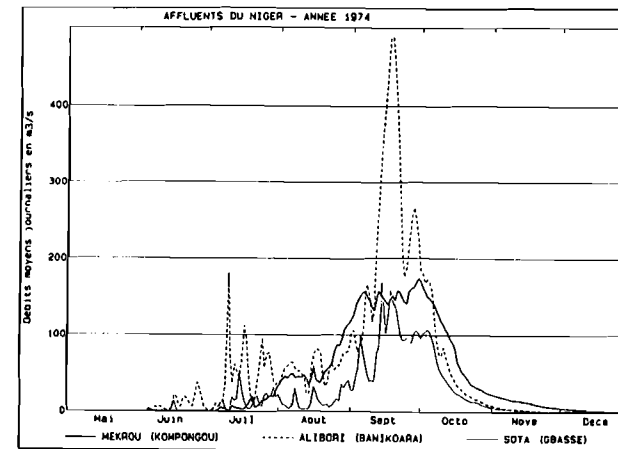
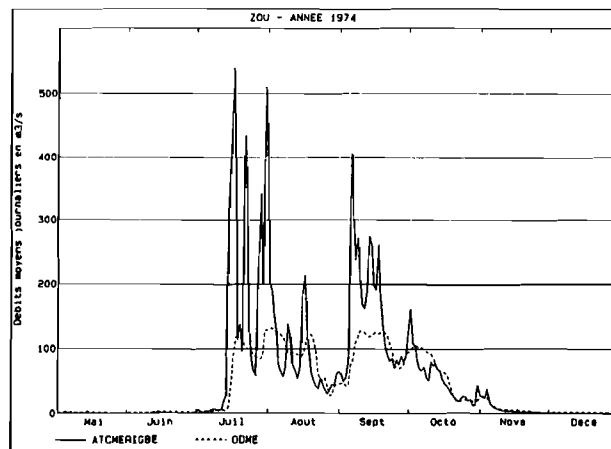


Fig- H.IV.7 - ANNÉE 1974

HYDROGRAMMES OBSERVES AUX EXUTOIRES
DES BASSINS BENINOIS

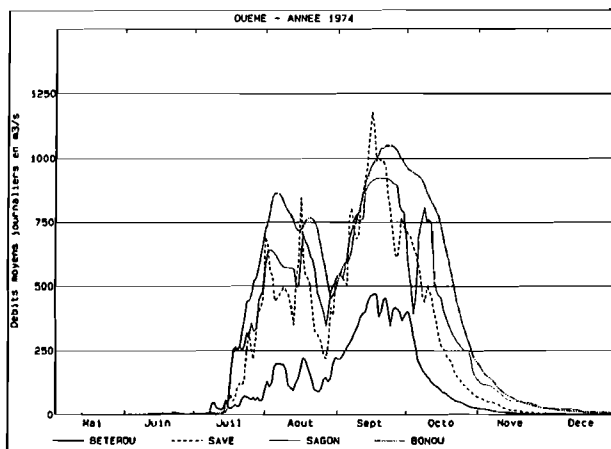


Fig- H.IV.8 - ANNEE 1974

HYDROGRAMMES OBSERVES A MALANVILLE (NIGER) ET A PORGA (PENDJARI)

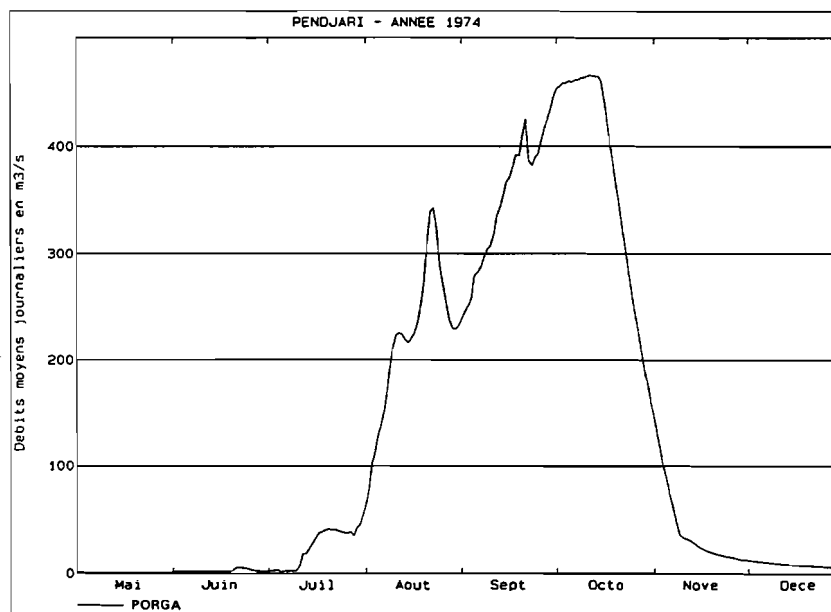
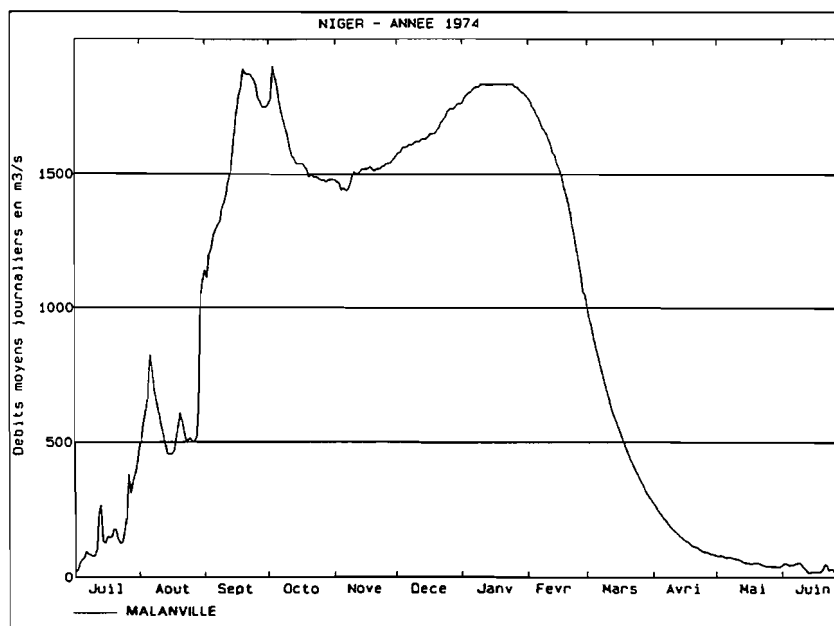


Fig- H.IV.9 - ANNEE 1958 - HYDROGRAMMES OBSERVES

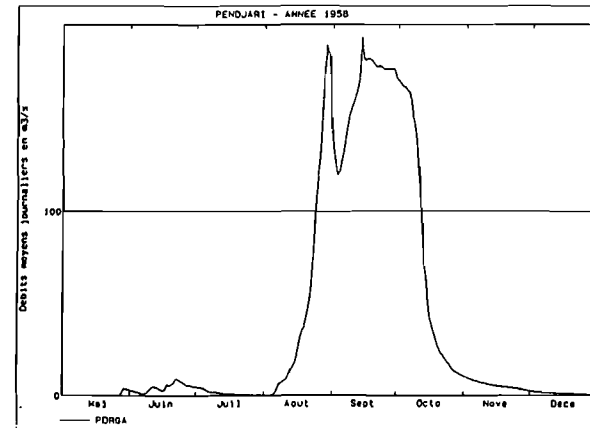
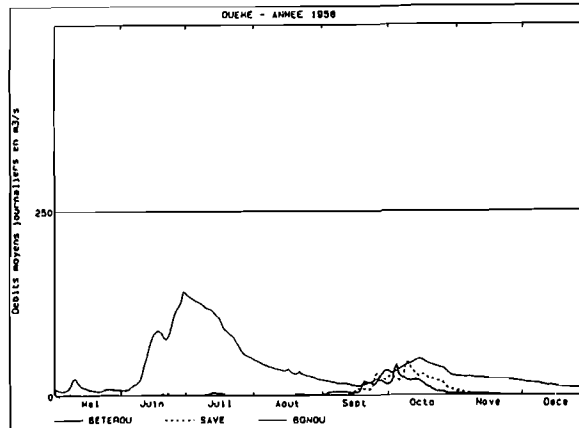
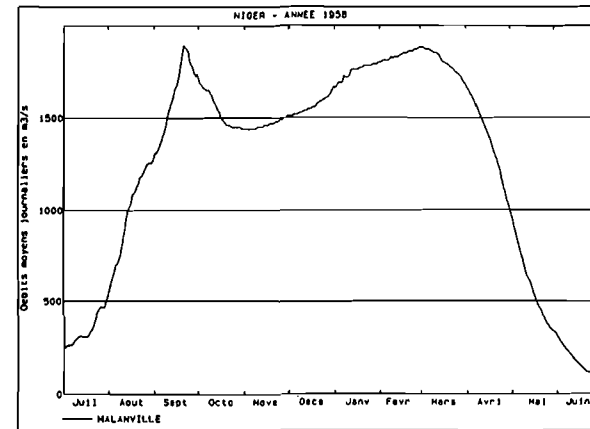
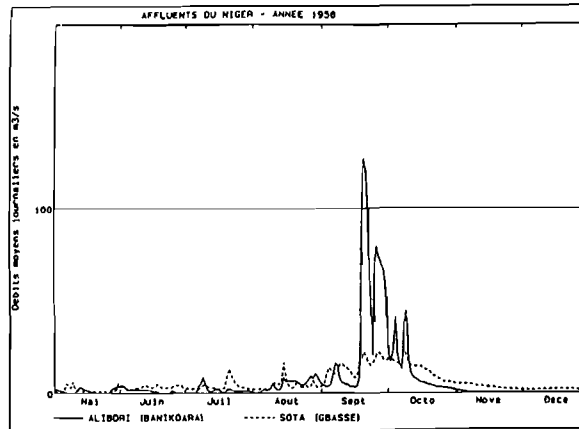
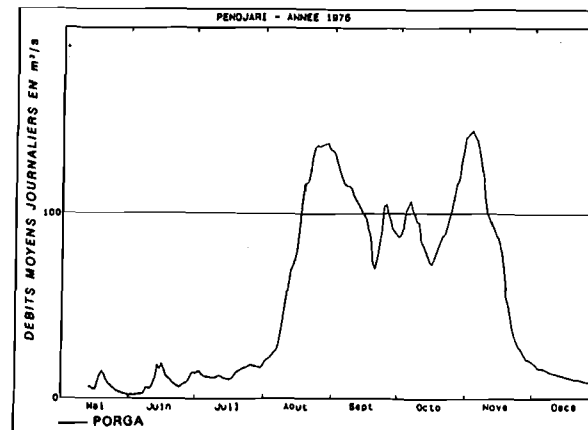
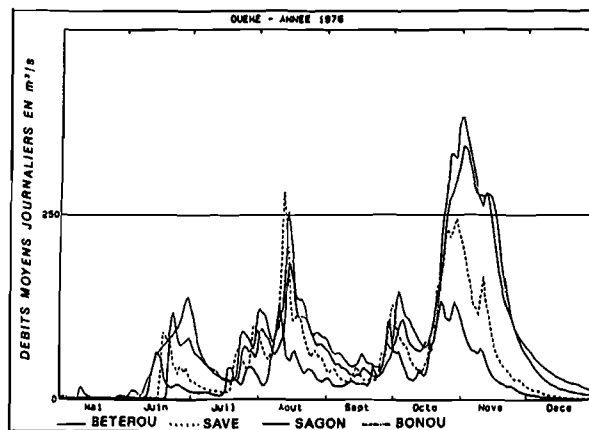
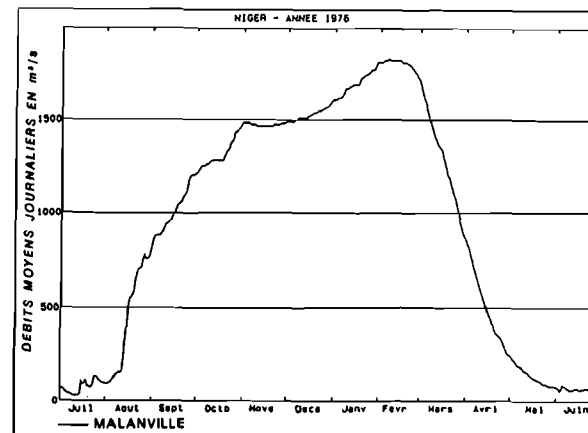
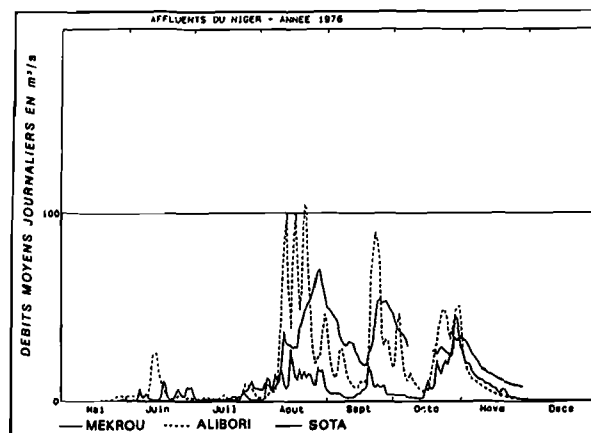


Fig- H.IV.10 - ANNEE 1976 - HYDROGRAMMES OBSERVES



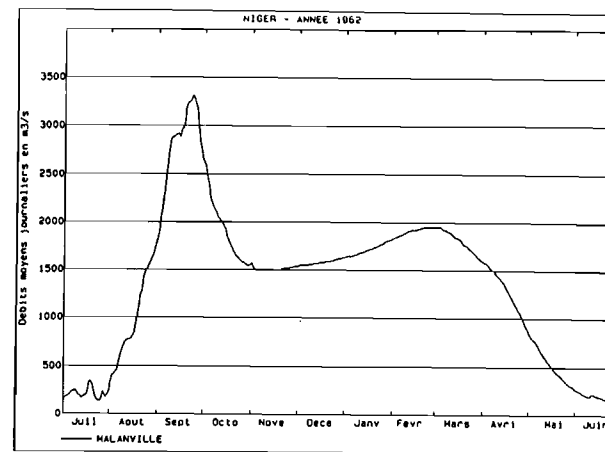
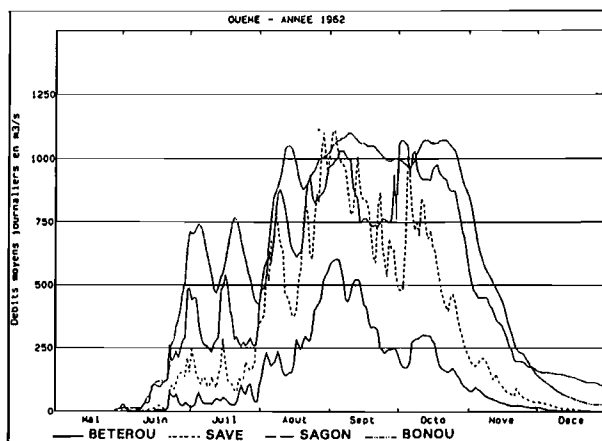
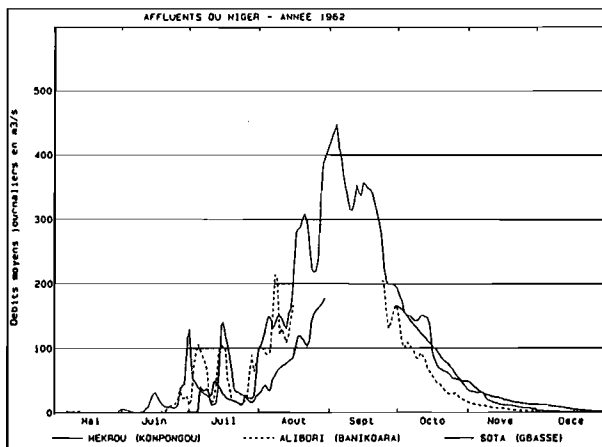
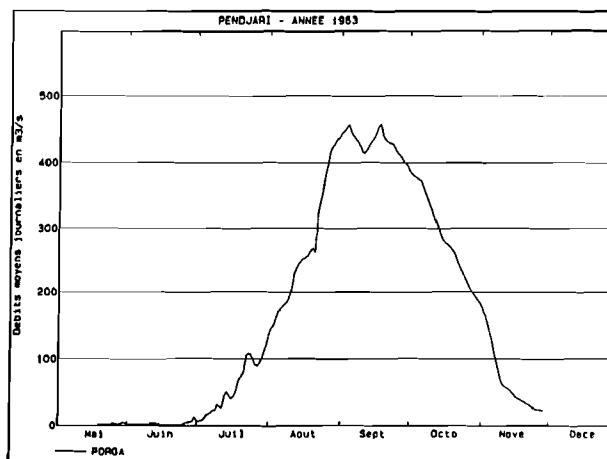
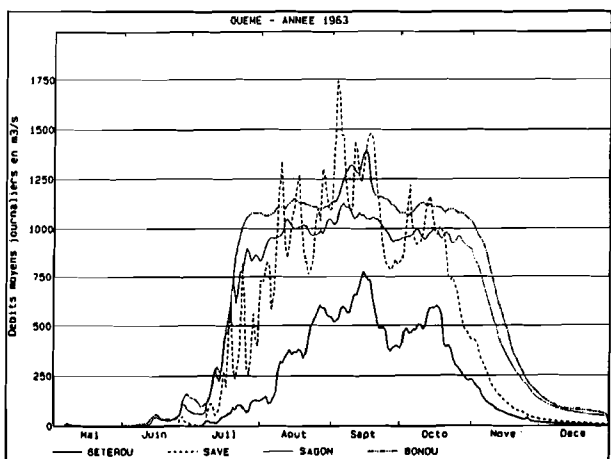
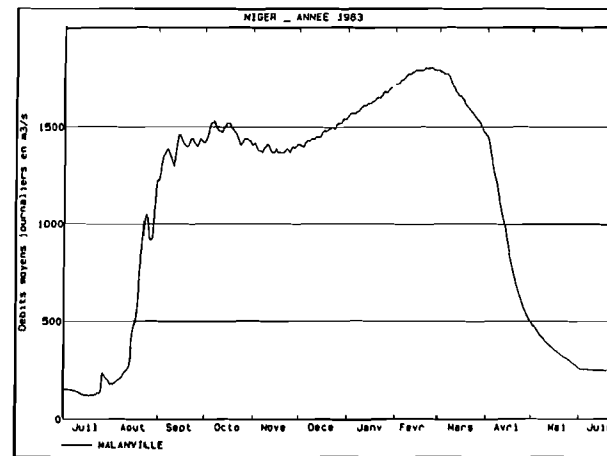
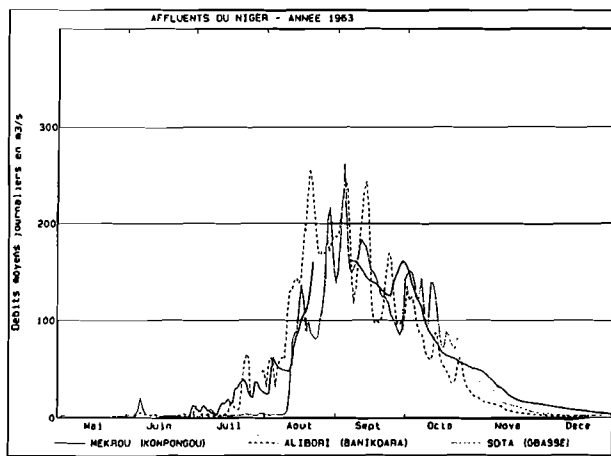


Fig- H.IV.11 - ANNEE 1962 -

HYDROGRAMMES OBSERVES

Fig- H.IV.12 - ANNEE 1963 - HYDROGRAMMES OBSERVES



3.1. 1974

La répartition spatiale des lames écoulées est très proche de la normale présentée au chapitre précédent, nous n'insisterons donc pas d'avantage.

La répartition saisonnière des apports passe d'un régime bi-modal au Sud (Zou et Ouémé) à un régime mono-modal au Nord (affluents du Niger et Pendjari). Les maxima de la première comme de la seconde saison des pluies apparaissent presque en même temps sur les rivières du Sud. Sur celles du Nord, les crues évoluent également de façon simultanée. On notera les pertes importantes qui ont lieu sur le Zou entre Atcherigbe et Dome et sur l'Ouémé entre Save et Sagon, lors des grosses crues.

Les maxima des deux crues du Niger sont à peu près égaux.

3.2. 1958, 1976, 1983

Les répartitions spatiales des années 1958 et 1983 sont très voisines, la sécheresse touche l'ensemble du pays et est aussi intense au Sud qu'au Nord. En 1976 en revanche la sécheresse est beaucoup plus marquée au Sud qu'au Nord du pays.

En 1958, au Sud, les apports de la première saison des pluies sont à la fois très faibles et très précoces, ceux de la deuxième saison des pluies sont quasi-inexistants ; au Nord, du fait de la très grande extension spatiale de la petite saison sèche, les écoulements débutent très tard et sont peu importants. L'hydrogramme du Niger à Malanville est presque normal.

En 1976, la répartition saisonnière est atypique : après une année partout déficitaire caractérisée par une petite saison sèche très étendue, surviennent fin octobre début novembre des écoulements relativement importants puisque, par exemple, ils représentent sur l'Ouémé près de 60 % des apports annuels. Cette reprise tardive des pluies semble avoir été générale sur l'Afrique de l'Ouest ; ainsi le maximum de la crue de la Volta à l'entrée du Ghana a eu lieu cette année là début novembre.

Les apports à Malanville sont faibles et, à cause de ces écoulements tardifs, la crue soudanienne se télescope avec la crue malienne, ce qui explique l'allure particulière de l'hydrogramme.

3.3. 1962, 1963, 1968

Dans l'analyse des précipitations que nous avons faite dans la deuxième partie de cette monographie, nous avons mis en évidence la similitude des profils pluviométriques des années 1963 et 1968. Ces deux années se caractérisent par l'absence de petite saison sèche et par des pluies très abondantes, 1963 étant plus arrosée que 1968. En 1962, en revanche, si la première saison des pluies avait été extrêmement importante au Sud, une petite saison sèche était apparue en juillet ; la pluviométrie était cependant restée partout excédentaire.

On retrouve dans la répartition spatiale des écoulements la similitude entre 1963 et 1968 où les excédents sont importants surtout au Sud et au Centre du pays à l'inverse de 1962 où ils s'étendent sur la totalité du pays.

Les hydrogrammes observés en 1962 et 1963 sur les rivières béninoises résultent directement de la répartition des pluies.

En 1962, à Malanville, les apports ont été très importants, la crue "Soudanienne" atteignant même son record historique. En 1963, en revanche, la crue n'a rien d'exceptionnelle.

4. Conclusion

Le synchronisme des fluctuations des écoulements des rivières du Bénin, montre que les échelles des phénomènes climatiques qui sont à leur origine dépassent largement la taille du pays. Certaines sécheresses comme celle de 1983, ou certaines années exceptionnellement humides comme 1962, concernent même la quasi totalité de l'Afrique de l'Ouest.

Ce qui est vrai à l'échelle interannuelle semble l'être aussi à l'échelle saisonnière : les excédents ou déficits ont lieu presque simultanément sur les rivières Béninoises.

Les années exceptionnelles qu'elles soient sèches ou humides, peuvent être de nature très différente. Les anomalies peuvent être plus intenses au Sud qu'au Nord (1963, 1968, 1942, 1956, 1976), ou l'inverse (1953, 1955, 1984), ou d'une même importance sur tout le pays (1958, 1961, 1983).

Les variations des écoulements ne paraissent pas être purement aléatoires mais il n'est pas possible de les modéliser.

Sur le plan opérationnel ces résultats ont plusieurs conséquences :

- pour la définition d'un plan national d'utilisation des ressources en eaux, il faut tenir compte du risque bien réel d'une pénurie généralisée ;
- pour l'évaluation de la rentabilité d'un projet hydraulique, la non-stationnarité des distributions limite la confiance à accorder aux modèles probabilistes classiquement employés.

II. Variations interannuelles des étiages

Lors de l'étude régionale des étiages faite au chapitre précédent, nous avons distingué trois zones :

- les plateaux gréseux, où l'écoulement est permanent grâce à des apports souterrains importants ;
- le socle, où les rivières n'ont pas leurs débits soutenus par les nappes et se tarissent chaque année ;

- la discontinuité au contact entre le socle et le Continental Terminal, et qui entraîne à son passage des pertes d'écoulement pouvant être très importantes et des débits d'étiages non négligeables.

1. Les plateaux gréseux

La nappe souterraine joue un rôle "tampon" et les variations interannuelles des étiages reflètent de façon amortie les variations climatiques. Ce comportement est illustré par l'évolution des étiages à Coubéri (Fig. H.IV.13). La tendance à la sécheresse qui prévaut depuis 1970, se traduit par une baisse très régulière des débits d'étiage, de l'ordre de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ par an.

2. Le socle

Le tarissement des rivières situées sur le socle résulte essentiellement du destockage des eaux emmagasinées dans le réseau hydrographique. De ce fait les débits d'étiages y sont toujours nuls, sauf pour les bassins importants lors des années très humides. Le nombre de jours sans écoulements dépend à la fois des apports de l'année précédente et de la date de la reprise de l'écoulement. C'est donc un paramètre extrêmement variable d'une année à l'autre comme le montre la figure H.IV.14 où sont représentées les chroniques des étiages observés sur le socle. On constate depuis 1970, une tendance très nette à l'allongement de la durée du tarissement. Cette augmentation est très importante au nord du pays. Elle atteint à Kompongou la valeur de quatre fois l'écart-type entre 1973 et 1985.

3. Contact socle-Continental Terminal

On trouvera sur la figure H.IV.13 représentées les chroniques des étiages observés à Sagon et à Dome sur l'Ouémé et le Zou au passage de cette singularité.

Les étiages sont à ces deux stations extrêmement fluctuants et à l'inverse de ce qui se passe sur le reste du pays, on ne remarque pas à partir de 1970 de tendance à la baisse.

A l'aval de ce contact, comme à Bonou, les chroniques reprennent la même allure que sur le reste du pays.

Cette évolution très particulière incite à penser qu'il existerait au niveau de cette singularité un réservoir souterrain de capacité limitée qui restituerait une partie des pertes d'écoulements constatées lors des crues.

4. Niger, Pendjari et Mono

Sur les figures H.IV.13 et 14, sont représentées les évolutions des étiages de ces trois fleuves dont les bassins sont situés majoritairement hors du Bénin.

On constate la similitude de ces chroniques avec celles des rivières béninoises. A partir de 1970, on constate la même tendance générale à la baisse des étiages, plus marquée au Nord qu'au Sud.

Le tarissement du Niger à Malanville résulte de deux processus, la propagation de la crue "malienne" et la vidange des nappes des plateaux gréseux. Pour les années où la crue malienne est forte, et donc tardive, les apports souterrains restent toujours négligeables. Ce comportement était la règle avant 1970, les étiages à Malanville sont très fluctuants et n'évoluent pas de la même façon que ceux de Coubéri. Après 1970, au contraire, la précocité de la crue malienne due à sa faible puissance, fait qu'en fin d'hivernage les apports souterrains deviennent prédominants. L'évolution des étiages devient alors beaucoup moins erratique et très comparable à celle observée à Coubéri. En moyenne, la différence entre ces deux périodes est considérable puisque le débit minimum annuel passe de 157 à 44 m³/s.

5. Conclusion

La tendance actuelle à la sécheresse mise en évidence lors de l'étude de la variation des apports apparaît encore plus nettement dans celle des étiages. Cette analyse conforte donc les conclusions émises précédemment.

Fig- H.IV.13 - EVOLUTION DES ETIAGES DES PRINCIPALES RIVIERES DU BENIN

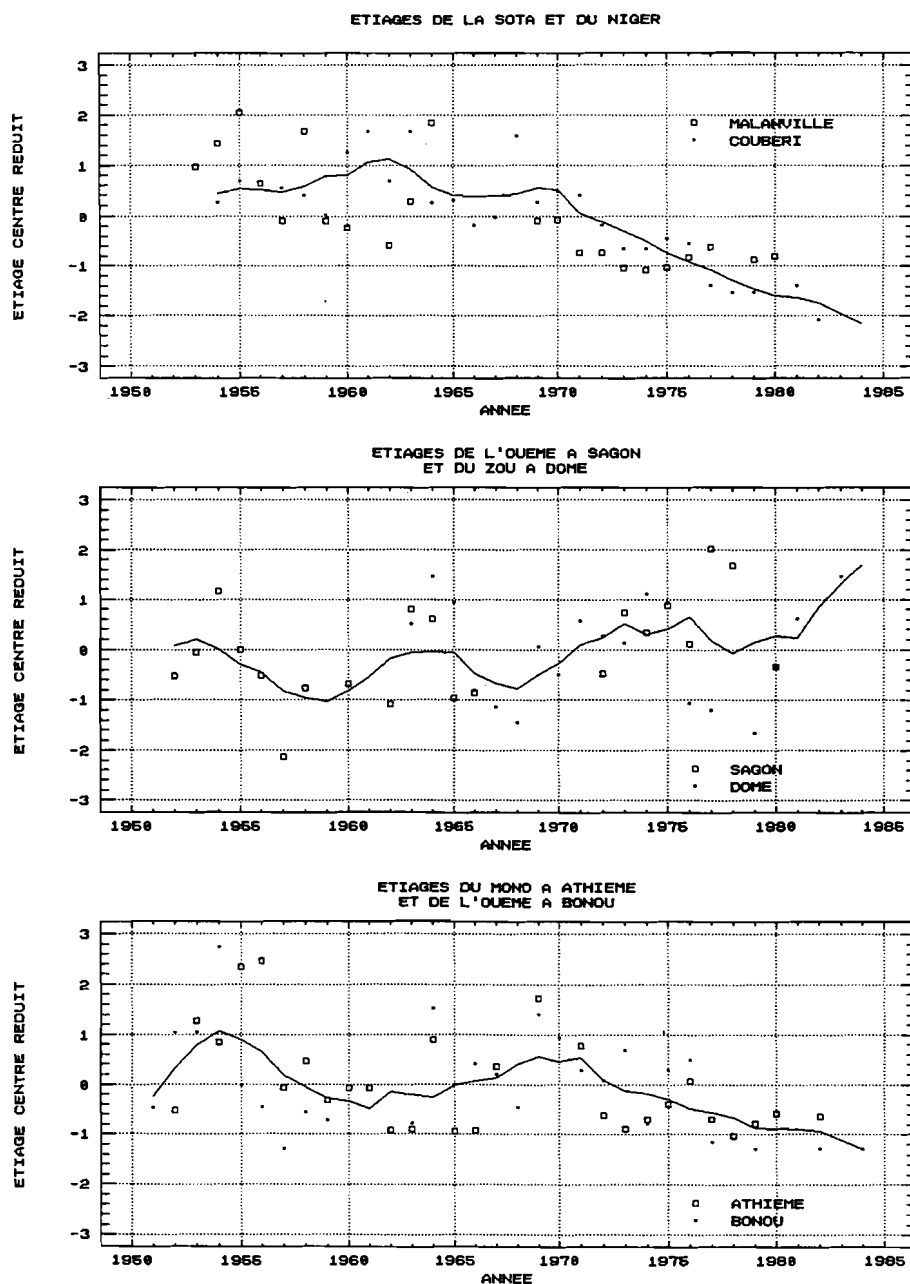
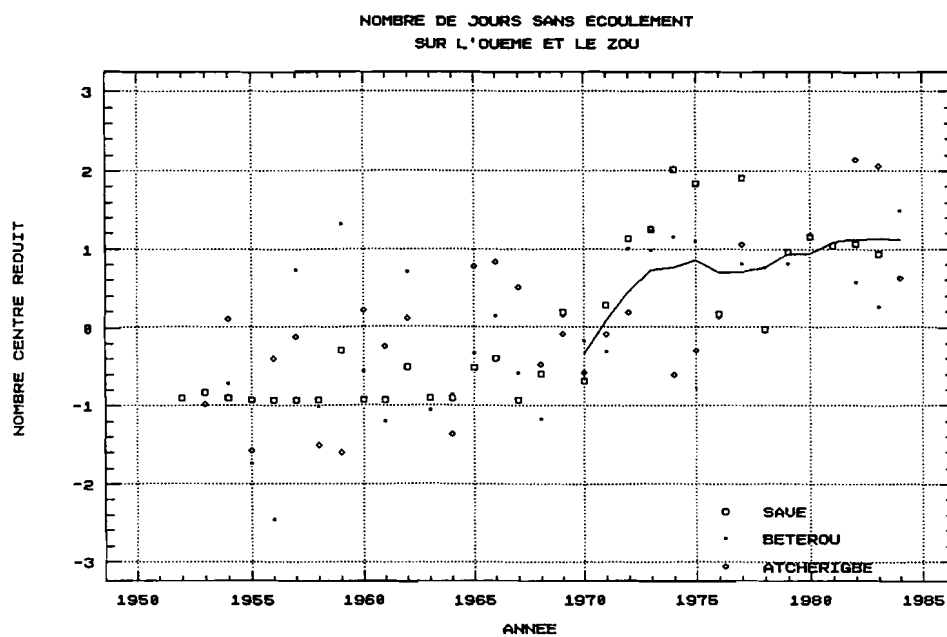
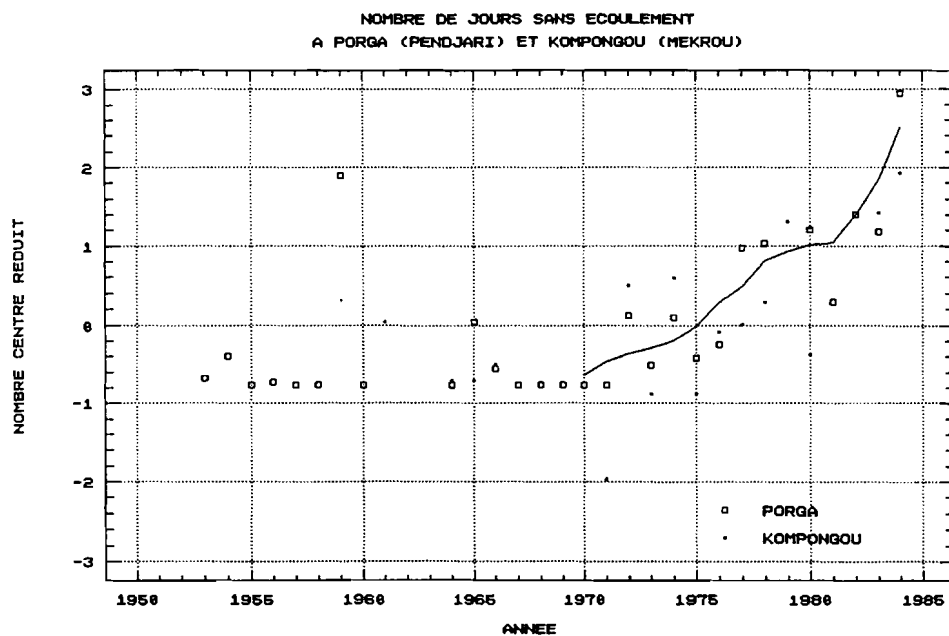


Fig- H.IV.14



Chapitre 5

LE DELTA DE L'OUEME

Dès que l'Ouémé pénètre dans les formations sédimentaires de la zone côtière, les conditions d'écoulement changent brusquement. Alors que sur la dernière partie de son parcours en terrain cristallin, la pente de son lit était voisine de 1 m/km, elle n'est plus en moyenne que de quelques centimètres par kilomètre sur le bassin sédimentaire côtier. La vitesse de l'écoulement va alors considérablement chuter, la sédimentation va croître, le lit du fleuve va perdre de sa puissance et s'anastomoser, il ne pourra plus contenir la totalité des débits d'où la présence de vastes zones d'inondation. Ce sont ces différents facteurs qui, au fil du temps, ont abouti à la formation du delta de l'Ouémé, couloir alluvionnaire long de 90 km, dont la largeur varie entre 10 km au Nord et 25 km au Sud.

La mise en valeur des potentialités agricoles du delta est un enjeu d'autant plus important qu'il s'étend au sein d'une des régions les plus peuplées du pays. La définition des moyens à mettre en oeuvre passe par une connaissance du fonctionnement du delta tant quantitatif que qualitatif (la salinité notamment peut être un facteur limitant l'exploitation agricole des eaux). L'idéal serait de pouvoir en bâtir un modèle mathématique qui permettrait, en simulation, de tester l'efficacité des aménagements projetés, et, en temps réel, de gérer au mieux ceux en place. Il n'était pas possible dans le cadre de cette monographie de mettre au point un tel modèle. Nous ne disposons ni du temps ni surtout de toutes les données nécessaires.

Dans ce chapitre après avoir décrit le réseau hydrographique du delta, nous allons présenter des résultats partiels concernant les inondations et la salinité. Pour le rédiger nous nous sommes largement inspiré de la "Monographie du delta de l'Ouémé" de J. Colombani *et al.*, publiée en 1972 par l'Orstom et qui fait la synthèse des connaissances acquises à cette date et qui ont peu évolué depuis.

I. L'Hydrographie du Delta

(Fig. H.V.1)

Nous avons vu dans les chapitres précédents qu'à l'amont de la confluence du Zou et de l'Ouémé, se produisent des pertes d'écoulement d'autant plus importantes que la crue est forte. En 1963, année exceptionnellement

humide, le déficit total sur le module s'est élevé à 160 m³/s. La superficie des zones inondables le long des ces deux fleuves en amont de la confluence ne dépasse pas 80 km². Il n'est donc pas possible d'expliquer ces pertes seulement par le débordement des eaux dans ces zones, même en tenant compte de l'évaporation. Il paraît alors réaliste d'imputer un grande partie de ce déficit à des infiltrations qui se produiraient au passage de l'accident géologique majeur que constitue la faille post-Eocène de direction SW-NE, coupant le Zou à proximité de Domé et l'Ouémé près de Sagon. Le passage de cette faille se traduit également par l'apparition d'un débit d'étiage soutenu. Nous avons vu aussi que ces phénomènes paraissaient bien être localisés à cette singularité géologique. Pour toutes ces raisons, nous pensons qu'il ne faut pas l'inclure dans le delta que nous ferons donc débiter à la confluence du Zou et de l'Ouémé.

Le réseau hydrographique du delta est constitué par deux axes parallèles, l'Ouémé à l'est, et la Sô à l'Ouest. Ils sont reliés entre eux par des marigots, jouant le rôle tantôt d'affluents, tantôt de défluent : la Zounga, l'Agbagbe, l'Ouovi et la Zouvi. Ils se trouvent bordés par de vastes zones inondables. Dans le tableau T.H.V.1 sont récapitulées quelques caractéristiques de ce réseau.

On peut distinguer les parties Nord et Sud du Delta séparées par le Zouvi.

II. Affluents/défluent de l'Ouémé et la Sô

Nom	Longueur en km
Zounga	18.9
Ouovi	7.0
Agbagbe	10.2
Zouvi	6.9

1. La partie Nord du Delta

Le cours de l'Ouémé longe les terres exondées situées à l'est où est implanté un chapelet de villages (Bonou, Affame, Décame, Adjohon, Fanvié, etc.). Il n'y a qu'un affluent notable en rive gauche, le Petit Zou, à proximité de Bonou, et dont l'importance du lit semble être plutôt due aux remontées des eaux de l'Ouémé qu'aux écoulements en provenance de son bassin versant. Sur les 27 km séparant les stations de Bonou et d'Adjohon, la cote du fond du lit passe de 1,17 m (NG) à 0,05 m (NG).

Les plaines d'inondation s'étendent, sur 6 à 10 km de large, presque exclusivement à l'ouest de l'Ouémé, isolées du lit par un bourrelet de berge de hauteur variable.

L'origine de la Sô se trouve à la sortie des marais du lac Hlan qui pourrait lui même être alimenté par des débordements du Zou. La cote du fond du lit de la Sô est de 2,69 m (NG) peu après la confluence avec l'Agbagbe ; elle n'est plus que de 1,05 m (NG) à la confluence avec l'Ouovi, 19,5 km à l'aval. A la

confluence avec le Zouvi, 27,5 km plus bas, elle est de 0,27 m (NG). Les débits transitant dans les quatre marigots reliant l'Ouémé et la Sô vont dépendre des lignes d'eau dans chacune de ces deux rivières qui constituent en réalité deux axes de drainage d'un même système.

Tableau T.H.V.1 - Caractéristiques du réseau hydrographique du Delta

I. Ouémé et Sô

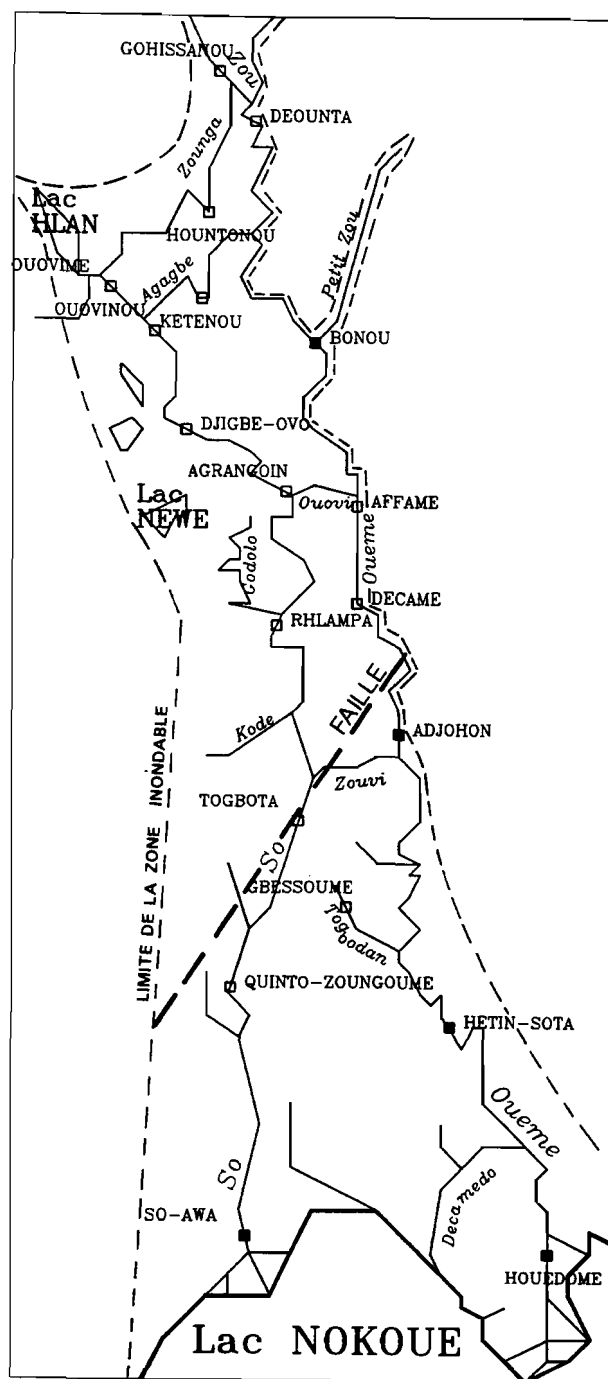
Stations	Distance (en km)	Largeur (en m)	Cote du fond (en m NG)	Cote de la berge la plus basse (en m NG)	Cote P.H.E (en m NG)	Cote P.B.E (en m NG)
Ouémé (Origine des distances : confluence avec le Zou)						
Déounta	0.9	115	+4.29	+12.00	+13.00	+4.50
Bonou	22.5	130	+1.17	+7.90	+9.70	+0.90
Affame	36.3	130	+0.15	+6.00	+7.90	-0.05
Décame	42.0	100	+0.33	+5.55	+6.50	-
Adjohon	49.5	100	+0.05	+4.25	+5.60	-0.15
Hétin-Sota	73.1	125	+0.07	+1.25	+3.25	-0.15
Houédomé	87.6	-	-0.45	+0.40	+1.50	-0.20
Lagune de Porto-Novo	97.8	-	-	-	(+0.15) ¹ (+1.15) ²	-0.25
Sô (Origine des distances : lac Hlan)						
Ouovinou	6.0	40	+2.69	+10.20	+10.00	+2.45
Djigbe-Ovo	15.0	40	-	-	-	-
Agrangoin	25.5	-	+1.05	-	-	-
Rhampla	37.0	50	+0.70	+5.70	+6.70	-0.20
Togbota	53.0	70	+0.27	+5.20	+6.00	-0.20
Quinto-Zoungomé	65.5	65	+0.06	+2.90	+4.80	-0.30
Sô-Awa	79.9	-	-0.21	+1.30	+1.40	-0.45
Lac Nokoué	83.9	-	-	-	(+0.15) ¹ (+1.15) ²	-0.25

1 : Chenal de la lagune de Cotonou ouvert sur la mer

2 : Chenal de la lagune de Cotonou fermé

Fig- H.V.1

Delta de l'OUEME



SCHEMA DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

- STATIONS PRINCIPALES
- STATIONS SECONDAIRES

2. La partie Sud du Delta

Au Sud du Zouvi, le delta s'élargit progressivement pour atteindre 25 km en bordure du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo. L'Ouémé conserve jusqu'à son embouchure un bourrelet de berge assez haut, occupé par une succession de villages de cultivateurs et surtout de pêcheurs. Mais les plaines d'inondation s'étendent aussi en rive gauche sans pourtant dépasser 3,5 km au droit de Hétin-Sota. Le cours de l'Ouémé devient alors moins sinueux.

Un peu en amont de Houédomé, l'Ouémé se sépare en plusieurs bras qui vont se jeter soit dans la lagune de Porto-Novo, soit dans le lac Nokoué. Le cône d'alluvionnement créé par l'Ouémé a presque colmaté le passage entre la lagune et le lac, qui est actuellement composé par un réseau anastomosé de bras d'eau.

La Sô a également créé un cône d'alluvionnement qui s'avance dans le lac Nokoué. Comme l'Ouémé, la Sô présente des bourrelets de berge jalonnés par des villages.

Le fond du lit de l'Ouémé, comme celui de la Sô, peut se trouver au dessous du niveau de la mer.

Entre Ouémé et Sô, la vaste plaine déprimée est presque toujours recouverte par les eaux en période de crue ; on n'y rencontre ni village ni habitations permanentes.

II. L'Hydrologie du Delta

Le lit de l'Ouémé a dans le delta, une puissance limitée ; dès que les débits dépassent cette puissance, se produisent des débordements qui peuvent être soit détournés par les défluent vers la Sô, soit être stockés dans les zones d'inondations. Une partie des volumes débordés peut par ailleurs être restituée à la rivière, par exemple, lors de la décrue pour les eaux stockées et lorsqu'au niveau des défluent la cote de la Sô dépasse celle de l'Ouémé, pour les eaux détournées.

En ce qui concerne les échanges entre l'Ouémé et la Sô dans la partie amont du delta, J. Colombani propose le schéma suivant :

- Tant que la crue de l'Ouémé ne dépasse pas à Bonou la cote 7,50 m (NG), les apports de l'Ouémé vers la Sô acheminés par la Zounga et l'Agbagbe, sont négligeables ; les cotes de la Sô restent toujours inférieures à celles de l'Ouémé. L'Ouovi et le Zouvi ne peuvent donc couler que dans le sens Ouémé vers Sô ; ce qui se produit dès que la cote à Bonou dépasse 5,50 m (NG). Suivant l'importance de la crue, le sens du courant dans la Sô en amont des défluent peut alors s'inverser.
- Lorsque la crue dépasse 7,50 m (NG) à Bonou, la Zounga comme l'Agbagbe peuvent acheminer de l'Ouémé vers la Sô des volumes très importants. A l'aval, les cotes de la Sô peuvent dépasser celles de l'Ouémé et le courant alors s'inverse dans l'Ouovi et le Zouvi.

Dans la partie Sud du delta, bien qu'il n'y ait plus de marigot bien individualisé liant les deux rivières, il est probable que des échanges se produisent encore par l'intermédiaire des plaines d'inondation.

La propagation des crues de l'Ouémé et la topographie, ne sont pas les seuls facteurs conditionnant les inondations dans le delta. Il y a aussi les apports en provenance du bassin propre du delta (environ 5 000 km²) qui ne peuvent être a priori négligés lorsque les pluies et les surfaces inondées sont importantes. Il y a également le niveau de remplissage du lac et de la lagune, influencé par la marée, et qui dépend de l'ouverture ou de la fermeture du chenal de Cotonou. Enfin il paraît difficile d'exclure le rôle des nappes souterraines dans la redistribution des eaux à l'intérieur du delta.

Les observations hydrologiques faites dans le delta ne nous permettent pas de quantifier de façon précise les processus que nous venons d'évoquer. Si les données de hauteurs d'eau sont dans l'ensemble satisfaisantes, les données de débits sont beaucoup trop incertaines pour être utilisées dans une optique déterministe. Nous ne disposons pas en outre des données topographiques suffisantes pour évaluer les surfaces et les volumes des zones inondées. Dans l'analyse qui va suivre nous avons donc été contraints d'adopter une démarche statistique très empirique.

1. Pente des lignes d'eau de l'Ouémé

On trouvera sur la figure H.V.2 représentées les relations entre les hauteurs moyennes mensuelles à Bonou et celles à Hétin-Sota d'une part et d'autre part les pentes de lignes d'eau correspondantes.

En moyenne, la pente croît de façon presque linéaire avec la cote à Bonou tant que celle-ci reste inférieure à 8,00 m et atteint un palier ensuite. Pour les très basses eaux, la pente est très voisine de celle du fond du lit de l'Ouémé, 2 cm/km. Le maximum est proche de 13 cm/km.

A cette tendance générale se superpose des nuances en fonction de la période de l'année. En basses eaux et pour les mois où les apports locaux peuvent devenir non négligeables par rapport à ceux de l'Ouémé, c'est-à-dire mai-juin et octobre-novembre, les cotes atteintes à Hétin-Sota sont supérieures à celles qui résulteraient de la seule propagation des débits amont, la pente de la ligne d'eau est alors plus faible d'environ un demi-centimètre par km. En hautes eaux, une distinction très nette apparaît entre la période de stockage (juillet à septembre) et celle de destockage (octobre à décembre). Les pentes au cours de la première phase étant supérieure de 1 cm/km environ à celles au cours de la seconde.

Sur la figure H.V.3, sont représentées les relations entre les cotes maximales annuelles atteintes à Bonou et celles observées aux principales stations du delta d'une part, et d'autre part les pentes associées, qui sont fictives puisqu'elles ne correspondent pas à des observations simultanées. Plusieurs faits sont à noter :

- a) La relation entre les cotes maximales à Bonou et à Hétin-Sota est identique à celle déterminée pour les cotes moyennes mensuelles. Nous admettons donc que, sur les différents biefs du delta, les pentes fictives associées aux hauteurs maximales sont de bons estimateurs des pentes réelles.
- b) Entre Bonou et Adjohon, la pente atteint un maximum pour une cote à Bonou voisine de 8 m (NG). Ceci semblerait indiquer que c'est à partir de cette cote que se produiraient sur ce bief d'importants débordements.

Fig- H.V.2

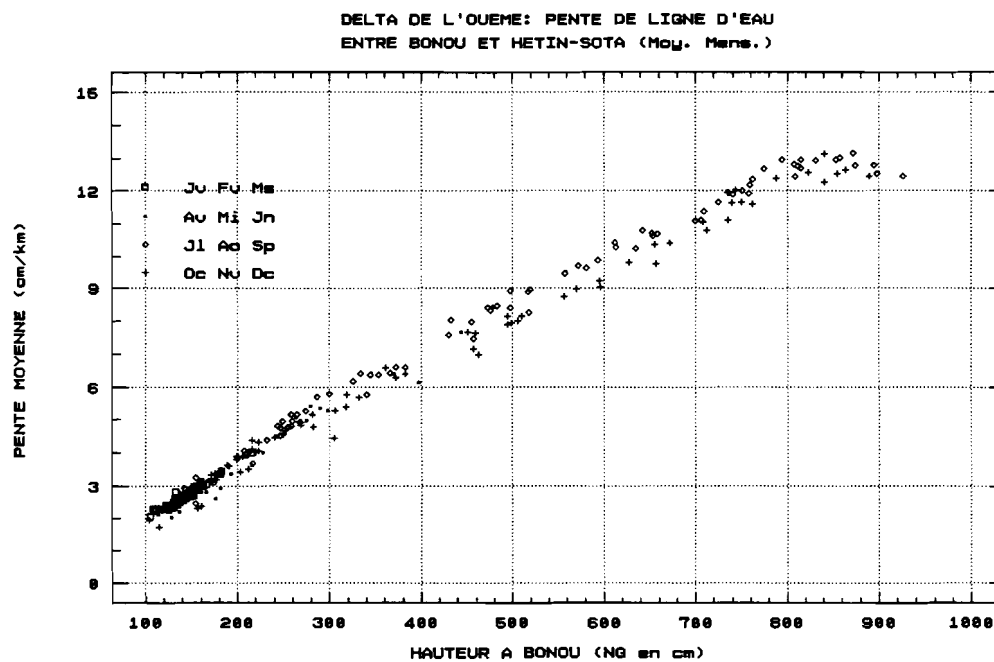
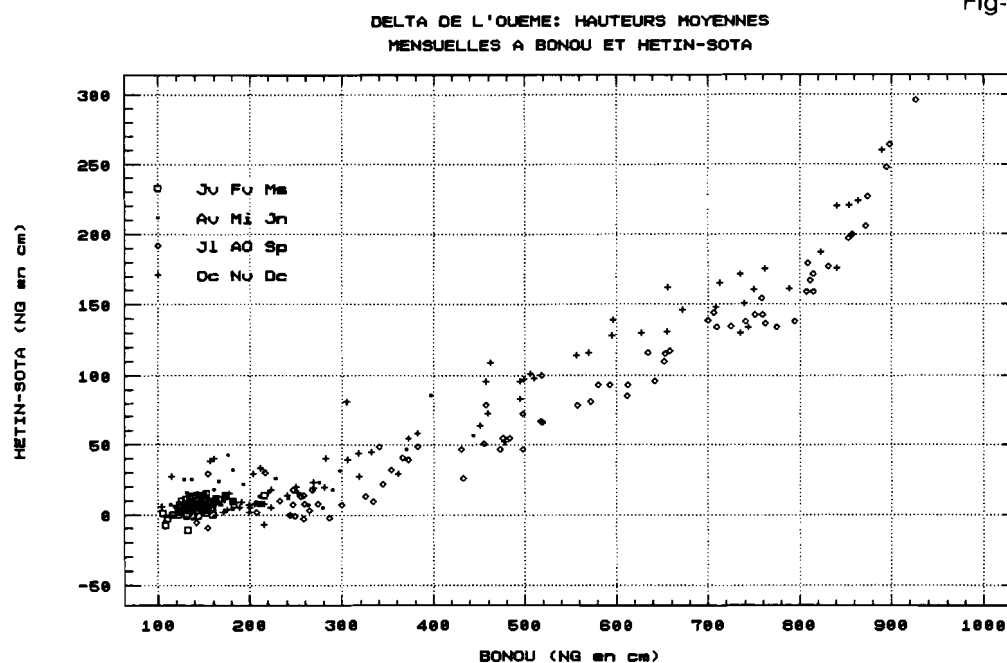
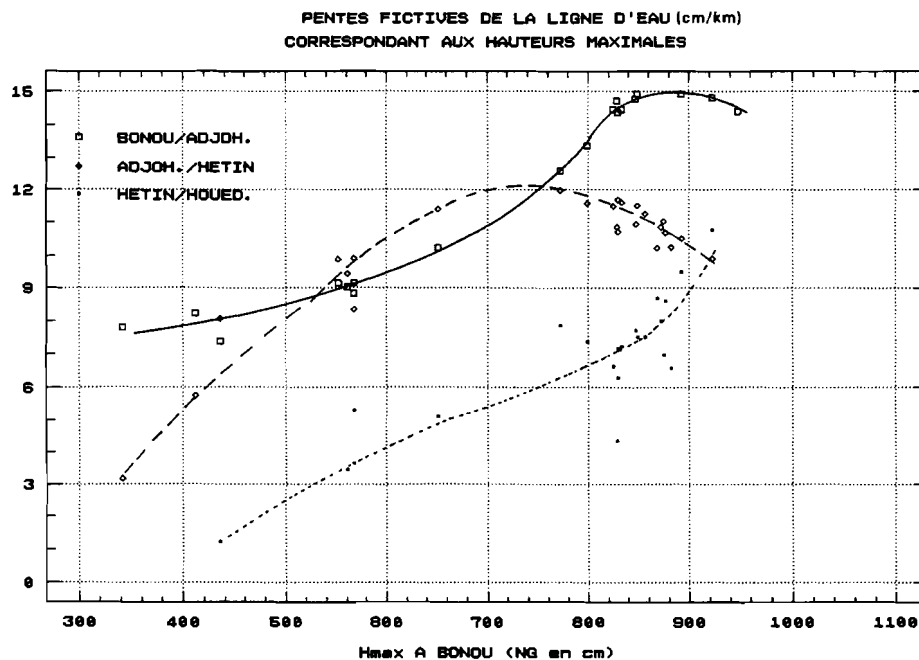
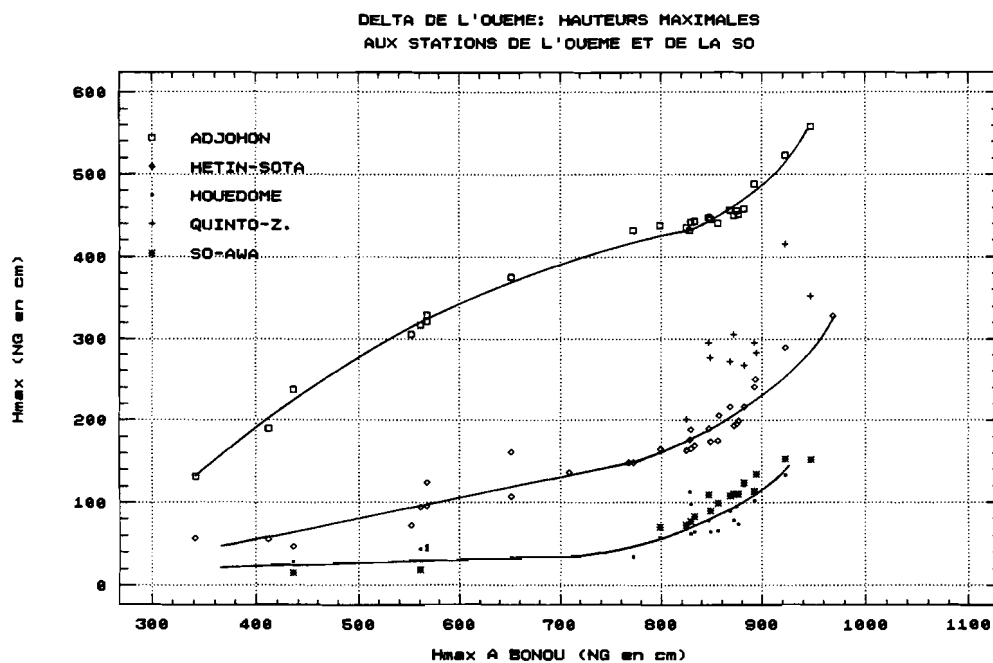


Fig- H.V.3



- c) Sur le bief situé entre Adjohon et Hétin-Sota, les débordements auraient lieu plus tôt puisqu'ils commenceraient dès que la cote à Bonou dépasse environ 7 m.
- d) La relation entre la cote à Bonou et la pente sur le bief entre Hétin-Sota et Houédomé, est beaucoup moins bonne que sur les autres biefs. Cette dispersion est due au contrôle aval imposé par le niveau du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo, lui même influencé par la marée.

Sur la figure H.V 4, sont représentées les lignes d'eau moyenne de l'Ouémé pour différentes cotes à Bonou. La comparaison de ces lignes d'eau avec le profil des berges conforte l'analyse des débordements que nous venons de faire.

2. Propagation de la crue de l'Ouémé

2.1. Temps de propagation

Les temps de propagation entre Bonou et Hétin-Sota varient entre 0 et 6 jours. Ils croissent avec l'importance des zones inondées, donc des débordements que l'on suppose liés à l'indice volumique, I_v , suivant :

$$I_v = (H_x - 8) \cdot NJ8 / 365$$

où : H_x est la cote maximale en m (NG) atteinte à Bonou,
 $NJ8$ est le nombre de jours où cette cote a dépassé 8 m.

La relation entre cet indice et le temps séparant les maxima à Bonou et à Hétin-Sota est représentée sur la figure H.V.4. La dispersion des points est compatible avec la précision avec laquelle est connue le temps de propagation (2 jours).

2.2. Prévisions des crues dans le Delta

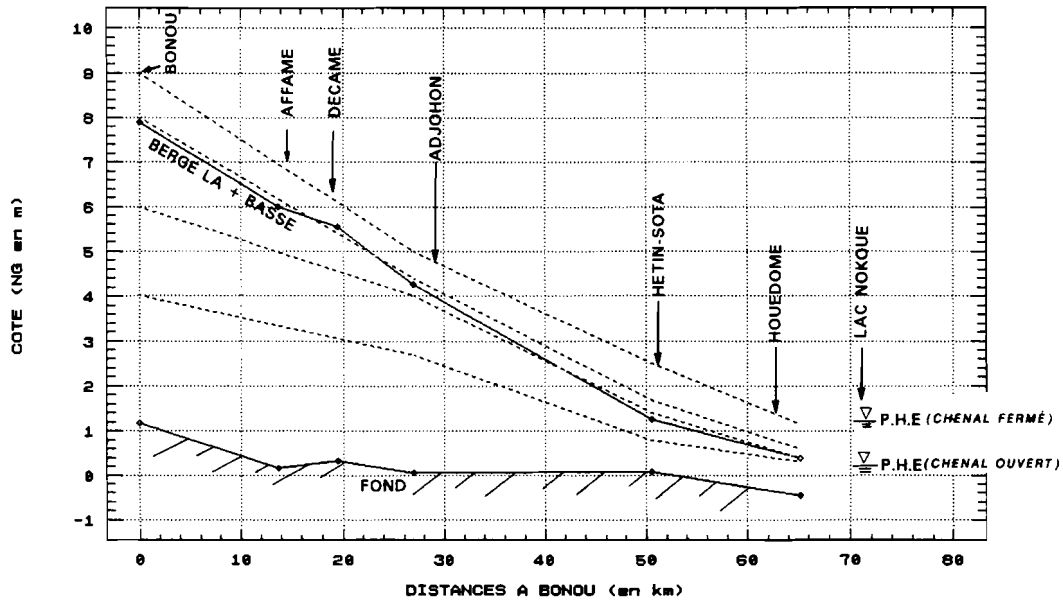
Dans le cadre du Projet d'Aménagement Hydro-agricole Pilote dans la Vallée de l'Ouémé, l'Orstom (H. Dosseur) a en 1972 cherché à prédire le niveau à Adjohon et Hétin-Sota en fonction des apports du bassin supérieur de l'Ouémé et a abouti aux équations de régression suivantes :

- Adjohon :	$H_4(j+9) = .303 * H_4(j) + .154 * H_2(j) + .0693 * H_3(j) + 200$
- Hétin-Sota :	$H_1(j+9) = .611 * H_1(j) + .0960 * H_2(j) + .0481 * H_3(j) + 8.7$

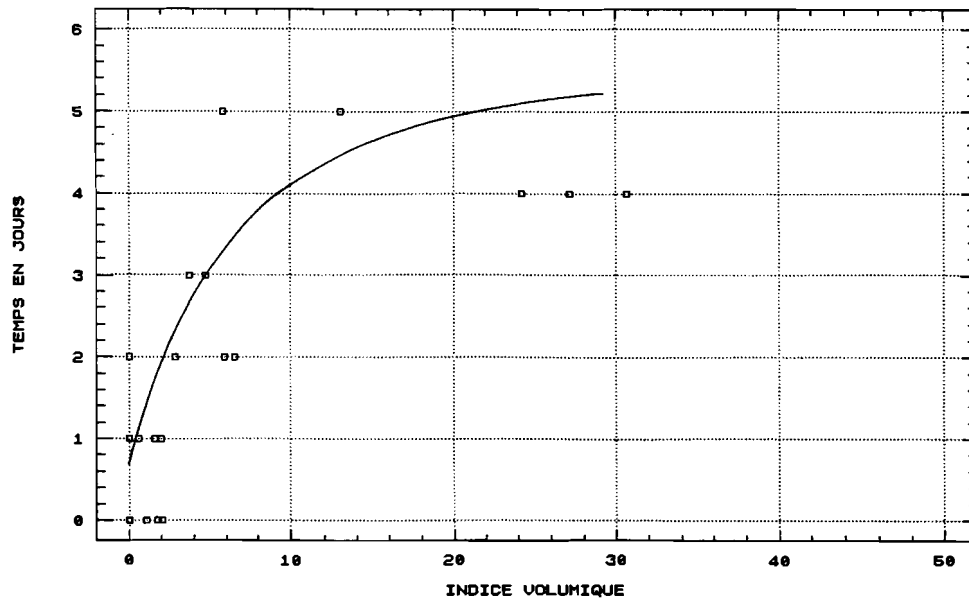
où $H_1(j)$, $H_2(j)$, $H_3(j)$, $H_4(j)$ représentent les cotes en cm atteintes le jour j aux échelles de Hétin-Sota, Save, Atcherigbe et Adjohon.

LIGNES D'EAU DANS LE DELTA DE L'OUEME
POUR DIFFERENTES COTES A BONOU

Fig- H.V.4



TEMPS DE PROPAGATION DE LA CRUE ENTRE
BONOU ET HETIN-SOTA



Ces relations permettent de prédire 9 jours à l'avance les cotes à Adjohon et Hétin-Sota avec un intervalle de confiance à 80 % de 37 cm et 20 cm.

3. Apports et pertes le long de l'Ouémé

A toutes les stations hydrométriques les traductions des hauteurs en débits sont très imprécises. Les analyses portant sur les volumes écoulés sont donc sujettes à caution. Les valeurs données dans le tableau T.H.V.2 et les résultats qui vont suivre, sont à considérer avec prudence.

Par soustraction des modules à Hétin-Sota et à Bonou, on peut calculer le bilan global des pertes et des apports sur les 2/3 du parcours de l'Ouémé dans le delta. Il varie entre - 160 m³/s en 1963 et 70 m³/s en 1982. Ceci montre bien qu'il y a à la fois des apports et des pertes et que celles-ci dépassent ceux-là lors des fortes crues. Pour essayer de faire la part entre apports et pertes, nous avons d'abord considéré les années où l'on pouvait admettre que les débordements étaient négligeables sur le bief, c'est-à-dire celles où la crue n'a pas dépassé la cote 6,00 m à Bonou. Pour ces années là, le solde entre les modules des deux stations est positif et résulte bien des seuls apports qu'ils soient souterrains ou superficiels. Il est donc logique de le corrélérer avec la pluie d'hivernage sur le bassin intermédiaire, estimée par celle observée au poste d'Adjohon. La liaison entre ces deux variables paraît étroite comme le montre le graphique de la figure H.V.5. Nous avons donc utilisé les résultats de la corrélation pour estimer les apports pour la totalité des années observées. Nous en avons ensuite déduit les pertes.

3.1. Les apports

L'équation de la régression entre les apports et le total des pluies observées d'Avril à Octobre à Adjohon est la suivante :

$$Ap = .163 * (Pha - 446)$$

$$R^2 = .90$$

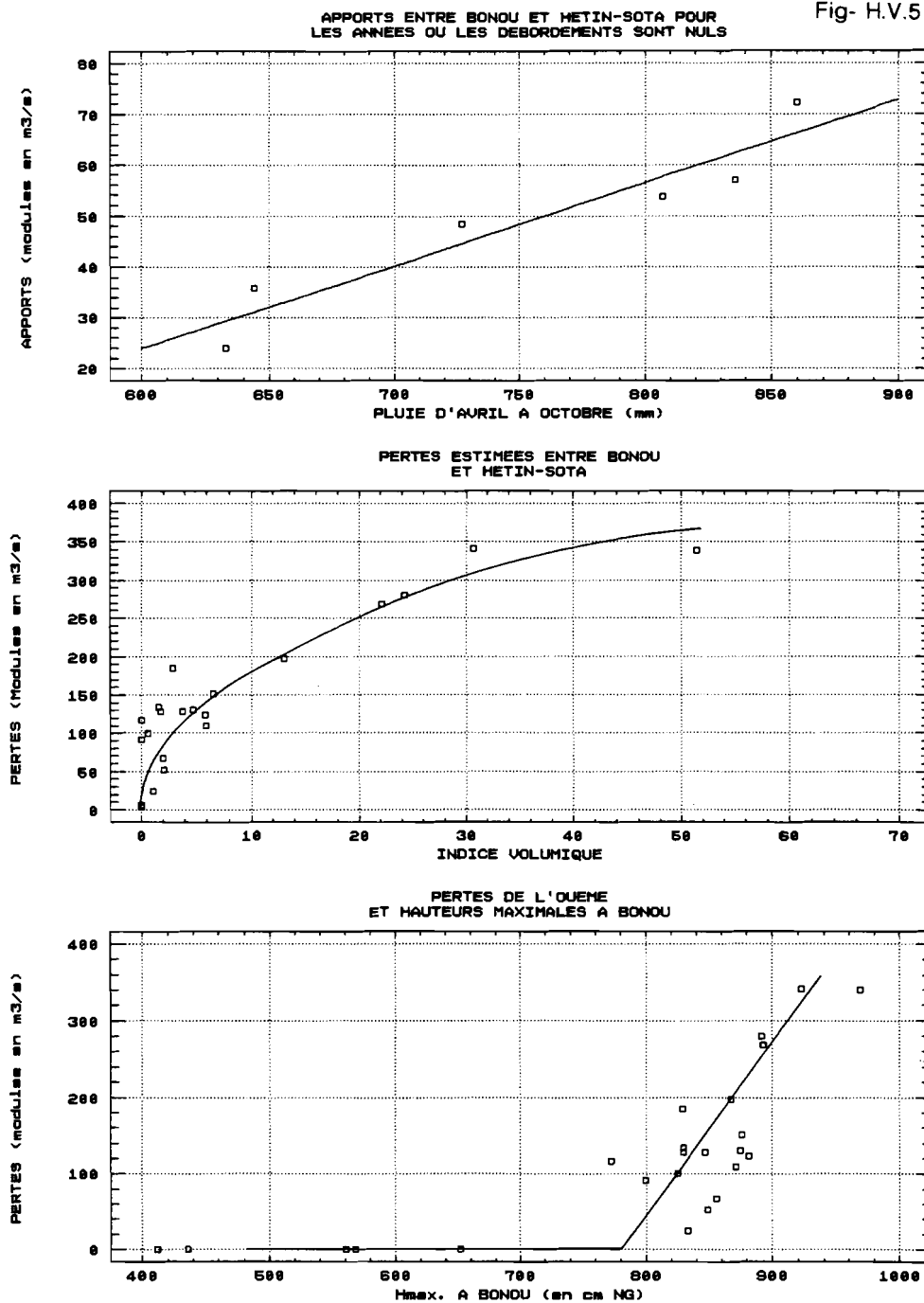
avec :
- *Ap* = module des apports entre Bonou et Hétin-Sota (m³/s) ;
- *Pha* = pluie (mm) tombée de Mai à Octobre à Adjohon.

Le bassin intermédiaire a une superficie voisine de 5 000 km², la pente de la droite de régression calculée non plus sur les modules mais sur les lames écoulées, serait voisine de 1. Cela correspondrait en année moyenne à un coefficient annuel de ruissellement de près de 40 %. Cette valeur bien que possible, paraît très élevée et on ne peut exclure l'hypothèse d'apports souterrains non négligeables.

Tableau T.H.V.2 - Quelques valeurs caractéristiques de l'hydrologie de Delta de l'Ouémé

Année	Bonou			Hétin-Sota		Sô-Awa		Défluent		Pluie Avril à Octobre mm
	Module m ³ /s	Hmax cm (NG)	Nb de jours où Hx>800	Module m ³ /s	Hmax cm (NG)	Module m ³ /s	Hmax cm (NG)	Zouvi Module m ³ /s	Ouovi Module m ³ /s	
1951	218.	829	36	136.	176	-	-	14.7	6.6	1080
1952	206.	882	26	142.	216	-	124	12.5	5.7	816
1953	305.	868	70	189.	216	-	108	20.4	7.5	950
1954	154.	825	9	113.	164	-	73	8.4	5.0	814
1955	331.	892	96	171.	241	83.0	114	17.8	1.7	1192
1956	61.0	652	0	-	107	-	-	2.9	1.8	603
1957	335.	948	67	-	-	77.0	152	16.5	2.9	1299
1958	27.6	382	0	-	-	8.00	-26	0.2	-0.4	667
1959	157.	894	27	-	-	37.0	135	11.6	3.8	1101
1960	282.	903	61	-	-	-	-	15.0	3.1	1220
1961	139.	768	0	-	148	-	-	9.5	5.6	850
1962	346.	893	87	215.	250	-	-	20.0	4.5	1300
1963	390.	969	111	230.	328	-	-	10.7	-5.3	1556
1964	129.	849	15	140.	174	-	90	9.4	4.0	840
1965	199.	847	29	154.	190	-	109	15.0	5.7	963
1966	156.	772	0	142.	149	-	-	13.4	5.6	1080
1967	201.	872	30	149.	194	59.0	110	14.1	5.3	810
1968	337.	923	91	203.	289	95.6	153	13.9	0.8	1724
1969	166.	830	21	137.	166	55.2	77	11.2	4.5	1059
1970	160.	875	23	146.	196	57.0	111	12.8	5.1	1171
1971	128.	833	12	130.	169	49.6	83	-	-	614
1972	32.0	436	0	85.7	47	37.3	15	-	-	807
1973	163.	856	13	125.	175	54.0	99	-	-	634
1974	215.	877	31	151.	199	68.7	111	-	-	991
1975	170.	799	0	147.	165	-	70	-	-	873
1976	54.0	561	0	78.0	94	36.4	18	-	-	633
1977	51.0	568	0	87.0	95	-	-	-	-	644
1978	125	568	0	177.	124	-	-	-	-	1032
1979	248.	-	5	-	214	-	-	-	-	1395
1980	164.	830	19	171.	189	-	-	-	-	1320
1981	97.0	-	-	142.	157	-	-	-	-	937
1982	19.0	412	0	91.3	55	-	-	-	-	860
1983	6.60	342	0	55.0	56	-	-	-	-	727
1984	67.0.	652.	0	124.	161	-	-	-	-	836

Fig- H.V.5



Nous verrons plus bas qu'à Hétin-Sota (comme à Sô-Awa) les débits d'étiages sont élevés, de l'ordre de 33 m³/s, et montrent que l'Ouémé et la Sô drainent une nappe souterraine. Si on admet que l'écoulement de la nappe vers la rivière varie peu tout au long de l'année autour de la valeur observée durant les mois d'étiage, le module annuel des apports souterrains serait voisin de 33 m³/s. Les modules ruisselés seraient alors reliés à la pluie moyenne d'hivernage par l'équation suivante :

$$As = .163 * (Pha - 655)$$

avec : - *As* = module des apports superficiels entre Bonou et Hétin-Sota (m³/s) ;
- *Pha* = pluie (mm) tombée de Mai à Octobre à Adjohon.

En année moyenne, le coefficient de ruissellement sur le bassin intermédiaire serait voisin de 20 %, ce qui paraît plus satisfaisant que la valeur de 40 % trouvée précédemment.

3.2. Les pertes de l'Ouémé et le régime de la Sô

Les pertes estimées sont corrélées de façon relativement étroite à l'indice volumique défini au paragraphe 2.1 et, de façon plus lâche à la cote maximale à Bonou, comme le montrent les graphiques de la figure H.V.5. Les pertes sont donc bien imputables en majeure partie aux débordements. Le problème est de savoir ce que deviennent ces pertes notamment quelle en est la part qui alimente la Sô. Avant d'essayer de répondre à cette question il est nécessaire de préciser le régime de la Sô.

3.2.1 Le régime de la Sô

Du début des années 50 à la fin des années 60, la Sô a été suivie aux stations indiquées sur la figure H.V.1. Les modules calculés sur cette période sont donnés dans le tableau suivant :

Modules mensuels et annuels en m³/s (51-70) aux stations de la Sô

Stations	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Année
Ouovinou	0.20	0.08	0.12	0.19	0.67	5.39	6.38	20.5	28.0	48.7	14.9	1.53	10.6
Djigbe-Ovo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	3.14	4.81	19.1	35.3	42.9	9.91	0.97	9.72
Rhampla	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	3.62	11.7	55.2	109.	135.	36.0	0.52	29.3
Togbota	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41	15.7	59.0	116.	135.	48.4	0.43	31.4
Quinto-Z.	17.8	18.0	17.4	17.9	17.8	19.8	28.0	76.1	119.	175.	90.9	21.2	51.6
Sô-Awa	31.7	32.9	34.3	34.5	36.4	41.1	53.5	94.3	144.	166.	89.8	36.7	66.3

Compte tenu de la très grande imprécision des tarages, les débits figurant dans ce tableau sont trop approximatifs pour qu'une analyse quantitative ait un sens. Cependant la comparaison des modules aux différentes stations permet de mettre en évidence trois zones distinctes le long de la Sô.

La première va de l'origine de la rivière à la confluence avec l'Ouovi, les apports sur ce tronçon sont quasi nuls et les débits de la Sô proviendraient essentiellement du bassin en amont et des éventuels débordements de l'Oué mé par la Zounga où l'Aghagbe.

La seconde va de la confluence de l'Ouovi à celle du Zouvi et voit le débit de la Sô augmenter brusquement à cause des apports de ces défl uents.

La troisième à l'aval du Zouvi se caractérise par des apports de saison sèche très importants qui augmenteraient du Nord au Sud : environ 18 m³/s à Quinto-Zoungoumé et 35 m³/s à Sô-Awa. En admettant que ces apports sont souterrains et qu'ils peuvent être considérés comme constants tout le long de l'année, ils expliqueraient à eux seuls l'augmentation des débits sur ce tronçon.

3.2.2. Relations entre la Sô et l'Oué mé

Les modules de la Sô à Sô-Awa et les pertes estimées de l'Oué mé sont bien corrélées (cf. figure H.V.6):

$$SS = .162 * PO + 39.5$$

$$R^2 = .95$$

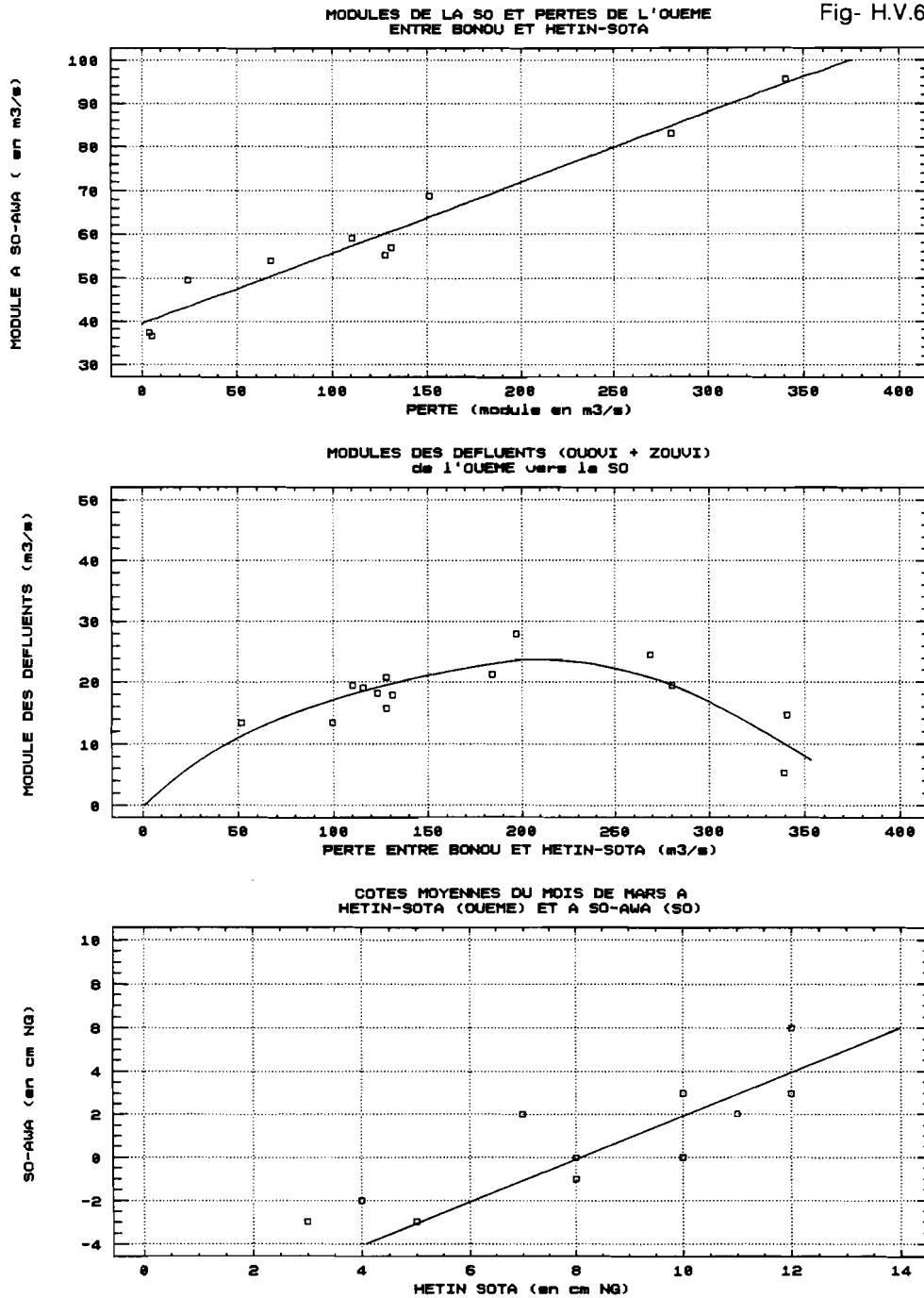
où *SS et PO sont les modules en m³/s des écoulements de la Sô à Sô-Awa et des pertes de l'Oué mé entre Bonou et Hétin-Sota.*

La valeur de l'ordonnée à l'origine de la droite de régression est très voisine de la valeur moyenne des apports souterrains de la Sô que l'on a estimée au paragraphe précédent. On pourrait donc en conclure qu'en moyenne la Sô récupère 16 % des pertes qui surviennent le long de l'Oué mé si les incertitudes sur les volumes écoulés ne nous obligeaient pas à une certaine prudence.

Dans la monographie du delta, déjà citée, les auteurs ont pu estimer, toujours de façon très imprécise, les modules des défl uents de l'Oué mé vers la Sô. On a représenté sur la figure H.V.6 la relation entre ces modules et celui des pertes de l'Oué mé. On constate que les écoulements dans les défl uents croissent avec les pertes tant que celles-ci restent inférieures en module à 200 m³/s et décroissent ensuite. Ceci est conforme au schéma de fonctionnement du delta proposé par J. Colombani, et que nous avons présenté plus haut.

On remarque également que les modules des défl uents représentent à peu près 16 % des modules des pertes tant que ceux-ci restent inférieurs à 150 m³/s. On pourrait donc en déduire qu'alors, les apports de l'Oué mé vers la Sô se font uniquement par l'intermédiaire de ces défl uents.

Fig- H.V.6



4. Les étiages

Les modules mensuels des mois d'étiage, observés ou reconstitués aux différentes stations de l'Ouémé, sont donnés dans le tableau suivant tiré de la "Monographie du delta de l'Ouémé" :

Modules des mois d'étiages en m³/s (51-70) aux stations de l'Ouémé

Stations	Janvier	Février	Mars
Déhounta	13.0	8.9	7.6
Bonou	11.2	6.2	4.7
Affame	11.5	7.3	5.5
Décame	13.0	8.4	6.1
Adjohon	14.6	11.0	9.9
Hétin-Sota	29.2	33.3	32.9

Les chiffres portés dans ce tableau sont eux aussi très imprécis. Ils montrent cependant que les apports souterrains restent négligeables entre Déhounta et Décame, augmentent de façon notable à Adjohon et deviendraient très importants à Hétin-Sota. Cette évolution est analogue à celle constatée sur la Sô. On ne peut s'empêcher de la relier à la présence de l'accident géologique majeur de direction SW-NE et dont la trace semble coïncider tant sur la Sô que sur l'Ouémé à la zone où les étiages se mettent à croître.

Les cotes moyennes de mars à Sô-Awa et à Hétin-Sota, semblent relativement bien corrélées entre elles comme le montre la figure H.V.6. La dénivelée entre les deux reste à peu près constante et est de l'ordre de 8 cm. Si on admet qu'à l'étiage, les deux rivières drainent une même nappe s'écoulant dans le sens Nord-Sud, le gradient de cette nappe serait de l'ordre de 1 cm/km. Cela suffirait à expliquer l'évolution des étiages le long des deux fleuves. En effet les altitudes du fond du lit à Décame sur l'Ouémé, comme à Togbota sur la Sô, seraient dans ces conditions trop élevées pour que la nappe puisse affleurer. L'influence de la faille citée plus haut pourrait donc s'expliquer uniquement par la topographie qui en découle.

5. Schéma de fonctionnement du Delta

A partir des analyses précédentes, et bien que la mauvaise qualité des données nous ait souvent contraints à faire des raisonnements plus spéculatifs que rigoureux, on peut proposer pour le fonctionnement du delta le schéma suivant qui complète celui proposé par Colombani.

5.1. Fonctionnement de la partie Nord

Dans cette partie, les apports souterrains sont très faibles. Seul l'Ouémé reçoit des apports intermédiaires notables. La Sô, elle, se comporte essentiellement comme un canal par lequel transitent d'une part les faibles apports en provenance du lac Hlan et d'autre part une partie des débordements de l'Ouémé acheminés par les quatre défluent.

D'après la "monographie du delta de l'Ouémé" la somme des débits de la Zounga et de l'Agbagbe, ne dépasserait pas $20 \text{ m}^3/\text{s}$ tant qu'à Bonou la cote $8,50 \text{ m}$ (NG) ne serait pas atteinte. Les écoulements importants n'auraient donc lieu dans ces défluent qu'au cours des années exceptionnellement humides comme en 1963 où le module annuel de l'Agbagbe a été évalué à $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

A l'aval de Bonou, dès que la cote atteint une valeur comprise entre 750 et 800 cm (NG), se produisent le long de l'Ouémé, des débordements dont une partie (près de 20% ?) alimente la Sô. Tant que ces pertes ne dépassent pas $150 \text{ m}^3/\text{s}$ en module, c'est-à-dire pour des cotes maximales à Bonou restant inférieures à environ $8,50 \text{ m}$ (NG), les débits détournés vers la Sô transitent en quasi totalité par l'Ouovi et le Zouvi. Au delà, si la proportion des pertes qui arrivent à la Sô reste identique, elle n'est plus acheminée uniquement par les défluent et il faut envisager des connexions plus complexes entre l'Ouémé et la Sô (par des zones inondées ?).

5.2. Fonctionnement de la partie Sud

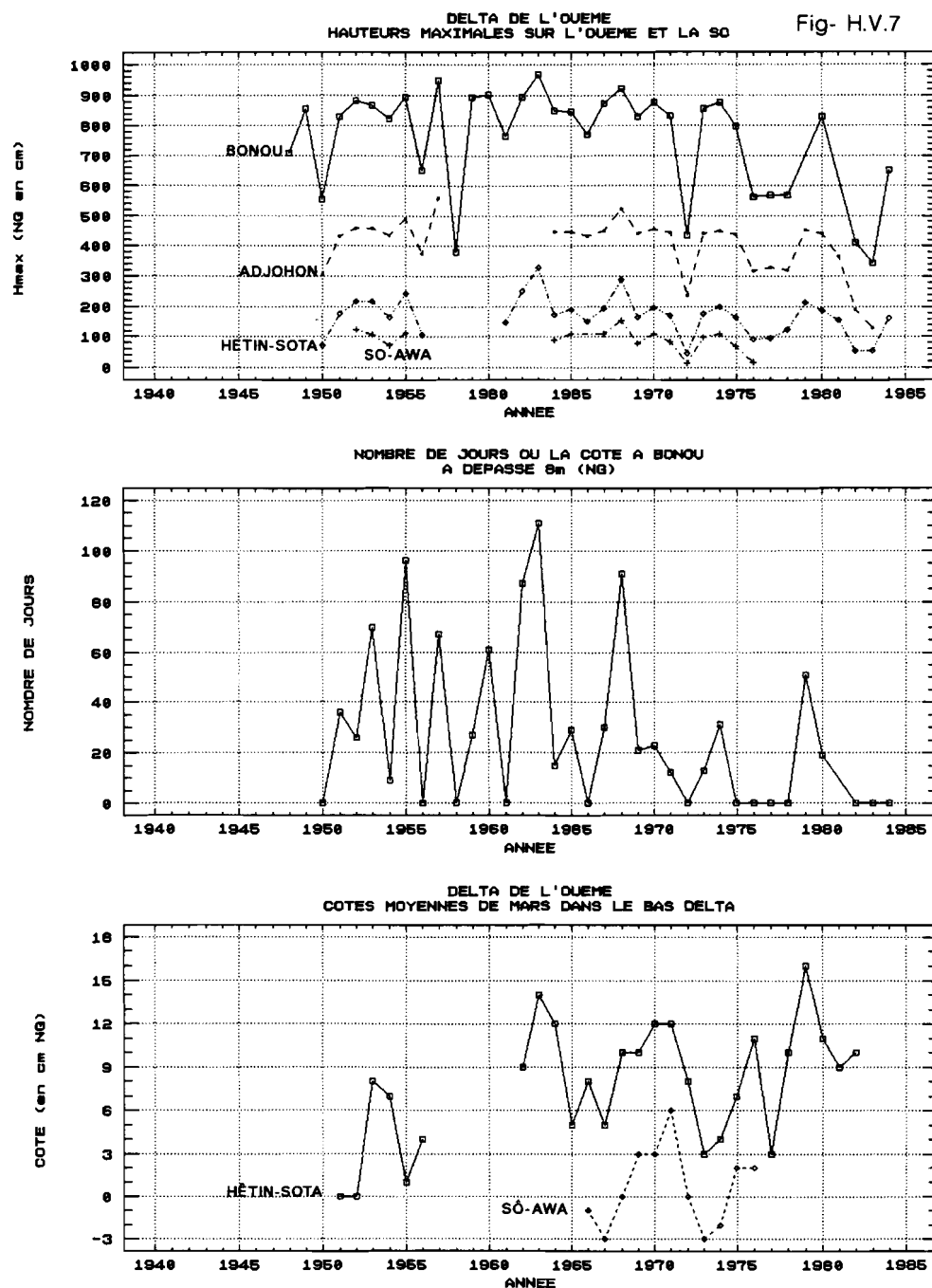
Dans cette partie qui débute au Sud de la faille coupant le delta aux environs du Zouvi, l'Ouémé comme la Sô drainent une nappe dont on ne peut actuellement préciser le mode d'alimentation. Cette nappe s'écoulerait du Nord vers le Sud avec un gradient d' 1 cm/km . Les apports souterrains des deux rivières croissent du nord vers le Sud.

Les débordements sont beaucoup plus fréquents et se font uniquement en nappe. Ils débuteraient dès que la cote à Bonou dépasse environ $6,00 \text{ m}$ (NG).

C'est dans cette zone que se situe la majorité des terres inondées du delta.

6. Les variations interannuelles

On trouvera représentées sur la figure H.V.7 les chroniques observées des hauteurs maximales de l'Ouémé, du nombre de jours où la cote à Bonou a dépassé $8,00 \text{ m}$ (NG) et des hauteurs moyennes de mars aux stations du bas delta (Hétin-Sota et Sô-Awa). Les deux premiers graphiques permettent de décrire l'importance des inondations, le troisième caractérise le niveau de la nappe du bas-delta.



On notera les faits suivants :

- a) Aux différentes stations du delta, les fluctuations s'amortissent au delà d'un seuil situé aux environs de 8 m à Bonou, 4 m à Adjohon, 1.6 m à Hétin-Sota, 1.00 m à Sô-Awa ; ce qui s'explique très bien par le mécanisme des débordements que nous avons proposé plus haut.
- b) A partir des années 1970, la fréquence des années sans inondations importantes devient très élevée puisque proche de 0.5.
- c) Les fluctuations de la nappe sont décalées d'un an par rapport à celles des deux autres paramètres ; ce qui paraît logique puisque l'on conçoit que le niveau piézométrique en mars soit lié à l'importance de la crue de l'année précédente. Il n'a pas été possible cependant de le corréler même de façon grossière à aucune des variables prises en compte dans les analyses des paragraphes précédents. L'alimentation de cette nappe doit obéir à des mécanismes complexes que nous ne sommes pas pour l'instant capables de préciser.

Les profils saisonniers des niveaux d'inondation sont extrêmement variables d'une année à l'autre comme le montrent les graphiques de la figure H.V.8 où est représentée la dispersion, autour des moyennes mensuelles, des cotes des plans d'eau à Bonou et à Hétin-Sota et de la pente de la ligne d'eau entre ces deux stations.

Cotes moyennes mensuelles (51-84) à Bonou et Hétin-Sota

Stations	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Bonou (cm NG)	150	135	133	148	151	224	346	523	657	648	386	195
Hétin-Sota (cm NG)	5	7	8	7	10	21	34	78	129	138	68	11

III. La salinité des eaux

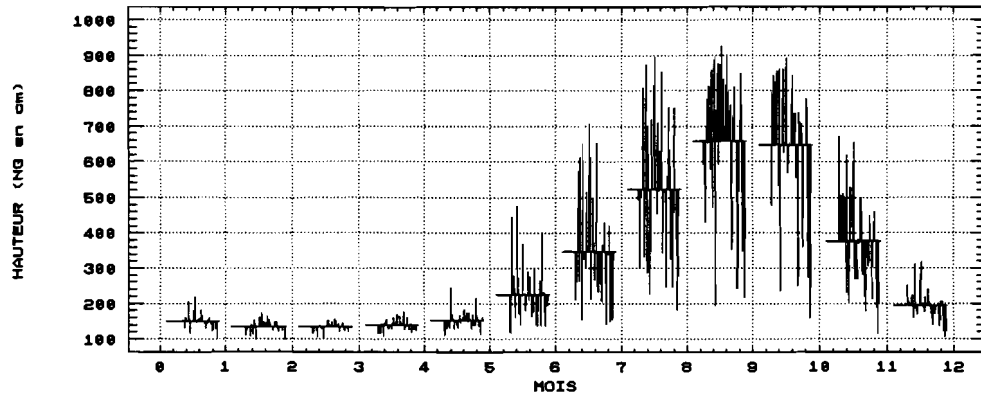
Au cours des années 1960, ont été effectuées des campagnes de mesures de salinité en plusieurs endroits sur la Sô et l'Ouémé. Les principaux résultats de ces campagnes ont été publiés dans la "Monographie du Delta". Nous ne présenterons ici qu'une synthèse.

Il faut tout d'abord insister sur le fait que toutes ces mesures ont été réalisées alors que le chenal de Cotonou était ouvert en permanence sur la mer. Or nous verrons dans la quatrième partie de cet ouvrage que la salinité du lac Nokoué comme de la lagune de Porto-Novo peut varier de façon considérable selon que le lac communique ou non avec la mer. Les résultats que nous allons présenter ne sont donc que partiels et ne sont pas extrapolables aux périodes où le chenal est resté fermé.

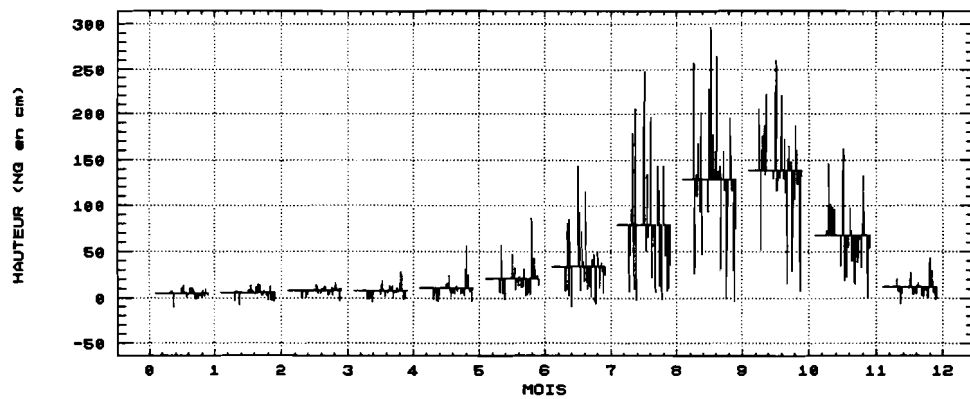
La salinité des eaux du delta résulte de la confrontation de deux masses d'eau : les eaux continentales et les eaux lagunaires. On peut schématiser les processus conditionnant la salinité des eaux deltaïques en considérant deux situations extrêmes, la période de hautes eaux et la période d'étiage.

BONOU : HAUTEURS MOYENNES MENSUELLES

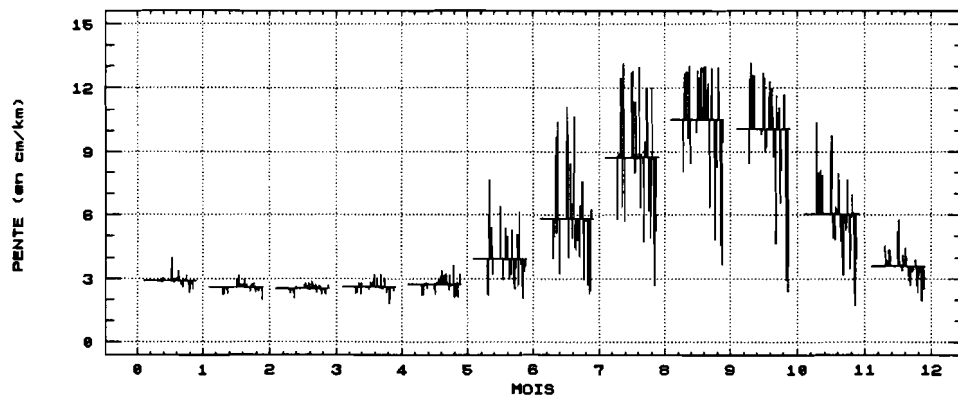
Fig- H.V.8



HETIN-SOTA: HAUTEURS MOYENNES MENSUELLES



PENTE MOYENNE DE LA LIGNE D'EAU
ENTRE BONOU ET HETIN SOTA



1. Salinité en hautes eaux

Texier (cf. la quatrième partie de cet ouvrage) a montré que de septembre à novembre, la montée des eaux empêchait toute intrusion d'eaux marines dans le système lagunaire. Le renouvellement des eaux du lac est alors très important et ses eaux sont douces puisque leur salinité est en moyenne voisine de 0,2 ‰.

Les mesures de salinité faites sur les tributaires du delta sont voisines de 0,1 ‰. La faible différence entre les salinités des eaux continentales et lagunaires, ainsi que la force du courant, font qu'il n'est alors guère possible que se produisent des remontées d'eau du lac vers le delta. La salinité des eaux deltaïques est donc celle des eaux continentales.

2. Salinité en étiage

A l'étiage, toujours selon Texier, les entrées d'eau de mer dans le lac deviennent importantes et dépassent même les sorties des eaux lagunaires. Le lac s'enrichit donc en sel. Du fait de la pénétration des eaux de l'Ouémé et de la configuration du lac, apparaît un gradient de salinité, orienté d'Ouest en Est. Ainsi à l'embouchure de la Sô, la salinité est proche de 2 ‰, elle n'est plus que de 1 ‰ environ à proximité de celle de l'Ouémé. Sur l'ensemble du lac, les eaux sont suffisamment brassées par les vents et les variations verticales de la salinité sont très faibles.

A l'étiage, en amont des embouchures de l'Ouémé et de la Sô, la pente de la ligne d'eau est faible, le fond du lit des rivières peut être situé plus bas que le niveau de la mer, le brassage vertical est peu important, les eaux continentales et lagunaires ont des salinités très différentes. Toutes ces raisons concourent à une stratification des eaux et à une remontée des eaux lagunaires dans le delta sous les actions conjuguées des courants de densité et des marées.

Ce schéma se trouve validé par les profils de salinité observés et par les mesures de résistivité faites en 1967 tout le long des 40 derniers km du parcours de l'Ouémé et de la Sô.

Sur les profils de salinité (cf. Fig. H.V.9), la stratification apparaît en effet très nettement. Sur le fond du lit se trouve une nappe d'eau très salée séparée d'une couche d'eau presque douce par une zone de transition très restreinte. La salinité de la strate inférieure paraît bien être liée à celle du lac aux embouchures et est plus forte dans la Sô que dans l'Ouémé.

Les mesures de résistivité permettent de suivre le long des deux fleuves la présence du coin salé (cf. Fig. H.V.10). Sur l'Ouémé, il est encore très nettement perceptible jusqu'à Hétin-Sota, 25 km en amont du lac ; il disparaît brutalement ensuite. Sur la Sô on constate une évolution très comparable, les eaux lagunaires remonteraient cependant davantage puisque le coin salé est encore détectable à 30 km de l'embouchure. On est tenté de rapprocher cette différence entre les deux fleuves de celle des salinités du lac à leurs embouchures.

La SO à QUINTO - ZOUNGOME
Mesure de la salinité le 19-3-65

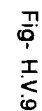
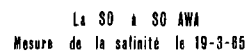
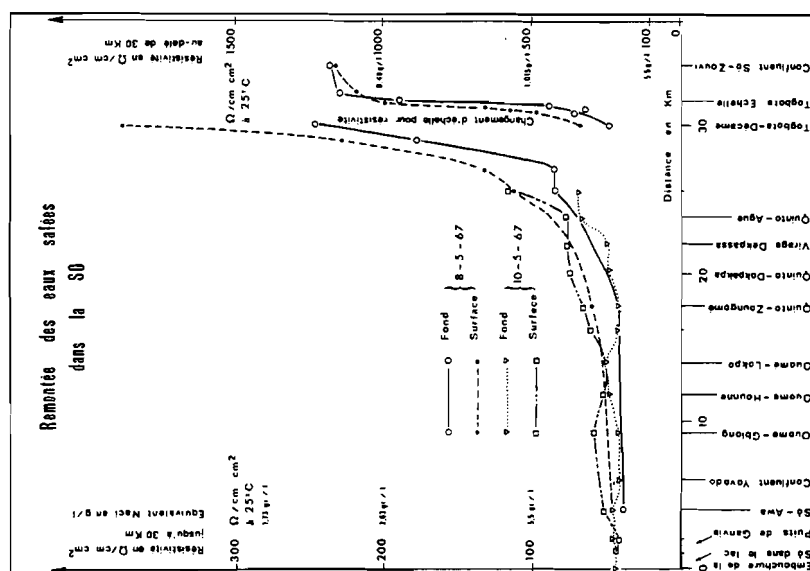
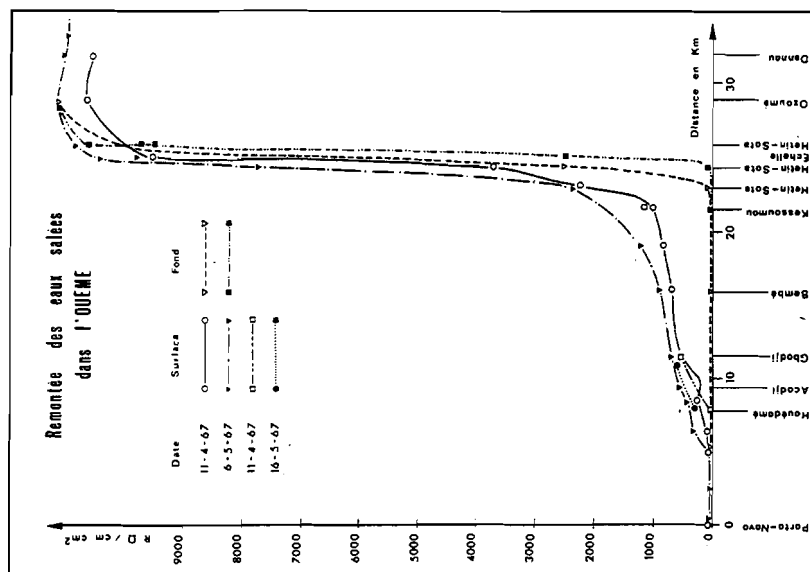


Fig- H.V.10



Bibliographie

I. RESEAU HYDROMETRIQUE ET DONNEES DE BASE

Anonyme - 1986/03 - Annales hydrologiques de la République Populaire du Bénin. De l'origine des stations à l'année 1976. Tome 1 : bassins du Niger et de la Volta - Lomé, Orstom 157 p. multigr.

Anonyme - 1986/03 - Annales hydrologiques de la République Populaire du Bénin. De l'origine des stations à l'année 1976. Tome 2 : bassins du Couffo, du Mono et de l'Ouémé Supérieur - Lomé, Orstom, 233 p. multigr.

Anonyme - 1986/03 - Annales hydrologiques de la République Populaire du Bénin. De l'origine des stations à l'année 1976. Tome 3 : le delta de l'Ouémé - Lomé, Orstom, 220 p. multigr.

Anonyme - 1986/03 - Annales hydrologiques de la République Populaire du Bénin. Tome 4 : années 1977 à 1984 - Cotonou, Orstom, 207 p. multigr.

Bouchardeau ; Colombani ; Estrup - 1963/12 - Annuaire hydrologique du Dahomey : année 1961 (et lectures d'échelles de 1962) - Cotonou, Orstom, 164 p. multigr.

Camus ; Colombani ; Tourné - 1967 - Annuaire hydrologique du Dahomey : années 1961, 1962, 1963, 1964, 1965 - Cotonou, Orstom, 131 p. multigr.

Gualde - 1984/12 - Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose : campagne 1984 - Cotonou, Orstom, 34 p. multigr.

Gualde - 1986/08 - Convention Direction de l'hydraulique de la République Populaire du Bénin/Orstom : rapport d'installation et de restauration du réseau hydrologique - Cotonou, Orstom, 16 p. multigr.

Gualde - 1988/04 - Convention Direction de l'hydraulique de la République Populaire du Bénin/Orstom : rapport d'installation des différents appareils d'enregistrement des données et du système Argos de télétransmission des données à la centrale de réception de Cotonou - Cotonou, Orstom, 8 p. multigr.

Le Barbé ; Borel - 1987/12 - Historique, description et étalonnages des stations hydrométriques de la République Populaire du Bénin - Montpellier, Orstom, 148 p. multigr.

Mlatac - 1982/03 - Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose : installation et étalonnage des stations hydrométriques dans le bassin de l'Ouémé, campagne 1981 - Cotonou, Orstom, 31 p. multigr.

Orstom, Service Hydrologie, Cotonou ; Ministère de l'Équipement et des Transports, Direction de l'Hydraulique, Cotonou - 1988/10 - Convention Direction de l'hydraulique de la République Populaire du Bénin/ Orstom : rapport final : automatisation et exploitation du réseau hydrométrique de base ; développement de la banque de données hydrologiques ; formation du personnel de service de l'hydrologie - Cotonou, Orstom, 24 p. multigr.

Orstom, Service Hydrologie, Cotonou ; Ministère des Travaux Publics et de l'Énergie, Direction de l'hydraulique et de l'énergie, Cotonou - 1972 - La Mekrou à Kompongou : station de jaugeage : observations hydrométriques réalisées avant 1971 - Cotonou, Orstom.

Thiébaux - 1969/10 - Observations hydrologiques : résultats de mesures de débits, de vitesses, de directions des courants dans la vallée de l'Ouémé : aménagement hydroagricole pilote - Cotonou, Orstom, 4 p. multigr.

Thiébaux - 1971/10 - Observations hydrologiques, delta de l'Ouémé : observations et mesures demandées, compte-rendu sommaire chronologique, cartes des entrées d'eau - Cotonou, Orstom, 5 p. multigr.

Thiébaux - 1972 - Dahomey. Observations hydrométriques réalisées avant 1971. La Mekrou à Kompongou - Cotonou, Orstom, 5 p. multigr.

II. PETITS BASSINS VERSANTS

Brunet-Moret ; Touchebeuf de Lusigny ; Roche ; Jarre - 1960/05- 06 - Etudes hydrologiques des petits bassins versants d'Afrique occidentale française : rapport préliminaire sur les résultats de la campagne 1958 - Paris, Orstom, 80 + 58 p. multigr.

CEB - 1984 - Etude d'inventaire des ressources hydroélectriques potentielles du Togo et du Bénin. Plan directeur de développement de sa production et du transport. Rapport définitif - Cotonou, CEB.

Colombani ; Fauck - 1960/12 - Etudes hydro-pédologique du bassin versant expérimental de Boukombé : rapport provisoire - Cotonou, Orstom, 62 p. multigr.

Colombani ; Fauck - 1960/12 - Etudes hydro-pédologiques du bassin versant expérimental de Boukombé - Cotonou, Orstom, 63 p. multigr.

Dubreuil ; Ruat - 1958 - Etudes hydrologiques des petits bassins versants d'Afrique occidentale française : rapport préliminaire sur les résultats de la campagne 1957 - Paris, Orstom, 120 + 73 + 125 p. multigr.

Dubreuil ; Ruat - 1960/06 - Etudes hydrologiques des petits bassins versants d'Afrique occidentale française : rapport préliminaire sur les résultats de la campagne 1959 - Paris, Orstom, 144 p. multigr.

Orstom, Paris, Fr. ; Haut-Commissariat de la République en Afrique occidentale française, Service des Travaux Communs d'Équipement de Base et du Plan, Dakar, Sn. - 1957 - Etudes hydrologiques des petits bassins versants d'Afrique occidentale française : rapport préliminaire sur les résultats de la campagne 1956 - Paris, Orstom, 181 p. multigr.

Orstom, Service Hydrologie, Cotonou ; Ministère des travaux publics, Arrondissement de l'hydraulique, Cotonou - 1960/02 - Etudes hydrologiques de petits bassins versants au Dahomey : rapport général - Cotonou, Orstom, 124 p. multigr.

Sircoulon - 1964 - Etude hydrologique des bassins versants du Tiapalou et du Dodou (Dahomey) : tome 1. Bassin du Tiapalou. Tome 2. Bassins du Dodou - Paris, Orstom, 115 p. multigr.

Sircoulon - 1964 - Etude hydrologique des bassins versants du Tiapalou et du Dodou (Dahomey) : tome 1. Bassin du Tiapalou. Tome 2. Bassins du Dodou. - Paris, Orstom, 61 + 115 p. multigr.

III. SYNTHES ET MONOGRAPHIES

Bouchardeau ; Bauduin - 1964/06 - Monographie du delta de l'Ouéomé - Cotonou, Orstom, 119 + 111 p. multigr.

Bouchardeau ; Colombani - 1963 - Les études des eaux superficielles au Dahomey : rapport pour la réunion préparatoire de la décennie hydrologique internationale Unesco - Paris, 20-29 mai 1963 - Paris, Orstom, 13 p. multigr.

Brunet-Moret ; Chaperon ; Lamagat ; Molinier - 1986 - Monographie hydrologique du fleuve Niger - Paris, Orstom, 402 + 510 p.

Colombani ; Sircoulon ; Moniod ; Rodier - 1972/10 - Monographie du delta de l'Ouéomé - Paris, Orstom, 201 + 287 p. multigr.

Dosseur - 1972 - Etude des inondations dans le lit majeur. In : Rodier Jean ; Dosseur H. -Projet d'aménagement hydagricole pilote dans la vallée de l'Ouéomé. Dahomey : étude hydrologique - Paris, Sedagri, 16 p. multigr.

EDF, Electricité de France, Paris, Fr. ; Orstom, Paris, Fr. ; Sedes, Société d'étude pour le développement économique et social, Paris, Fr. ; Sogetha, Société générale des techniques hydro-agricoles, Grenoble, Fr. ; Sogreah, Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques, Grenoble, Fr. - 1965 - Aménagement du bassin du Mono : rapport intermédiaire - Paris, Sofrelec, 53 p. multigr.

EDF, Electricité de France, Paris, Fr. ; Orstom, Paris, Fr. ; Sedes, Société d'étude pour le développement économique et social, Paris, Fr. ; Sogetha, Société générale des techniques hydro-agricoles, Grenoble, Fr. ; Sogreah, Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques, Grenoble, Fr. - 1965 - Aménagement du bassin du Mono : rapport final. Dossier 1 : résumé et conclusions. Dossier 2 : mémoire. Dossier 3 : annexes. Dossier 4 : plans et graphiques - Paris, Sofrelec, 10 + 100 + 100 + 100 p. multigr.

EDF, Electricité de France, Paris, Fr. ; Orstom, Lomé, Tg. ; ONU, Lomé, Tg. - 1967/05 - Etude du développement de l'énergie électrique au Dahomey et au Togo : rapport du point C, partie 2, hydrologie - Paris, EDF, 60 p. multigr.

Moniod - 1973 - Régime hydrologique de l'Ouéomé (Dahomey) - Cahiers Orstom. Série hydrologie (Fr.), vol. 10, n° 2, p. 171- 183.

Moniod ; Pouyaud ; Séchet - 1977 - Le bassin ou fleuve Volta - Monographies hydrologiques Orstom - Paris, Orstom, 395 + 513 p.

Orstom, Paris, Fr. - 1952 - Monographie du Mono - Paris, Orstom, 30 p. multigr.

Rodier ; Sircoulon - 1963 - Monographie de l'Ouémé Supérieur : tome 1. Facteurs conditionnels du régime, équipement hydrométrique. Tome 2. Interprétation des résultats d'observations, éléments caractéristiques du régime - Paris, Orstom, 182 p. multigr.

Orstom, Service Hydrologie, Paris, Fr. ; Sedagri, Société d'études et de développement agricole, Paris, Fr. - 1970/08 - Projet d'aménagement hydro- agricole dans la vallée de l'Ouémé : étude fréquentielle des crues dans le bief Adjohoun-Hetin Sota : crues dans le lit mineur - Paris, Orstom, 14 p. multigr.

Rodier ; Dosseur - 1971 - Etude fréquentielle des crues dans le lit mineur. In : Rodier Jean ; Dosseur H. - Projet d'aménagement hydro-agricole pilote dans la vallée de l'Ouémé. Dahomey : étude hydrologique - Paris, Sedagri, 14 p. multigr.

Sutcliffe ; Piper - 1986 - Bilan hydrologique en Guinée et Togo- Bénin - Hydrologie continentale (Fr), vol. 1, n° 1, p. 51- 61.

IV. QUALITE DES EAUX ET TRANSPORT SOLIDE

Colombani - 1967 - Premiers résultats des mesures de qualité des eaux au Togo et au Dahomey - Cahiers Orstom. Série hydrologie (Fr.), vol. 4, n° 2, p. 3-25.

Colombani - 1967 - Contribution à la méthodologie des mesures systématiques de débits solides en suspension - Cahiers Orstom. Série hydrologie (Fr.), vol. 4, n° 2, p. 27- 36.

Colombani ; Tourné ; Gouzy ; Dossou-yovo - 1966 - Premiers résultats des mesures des eaux au Togo et au Dahomey. Contribution à la méthodologie des mesures systématiques des débits solides en suspension - Lomé, Orstom, 26 p. multigr.

QUATRIEME PARTIE :

LE DOMAINE PARALIQUE MERIDIONAL

par

Bertrand Millet et Hervé Texier

Il aurait été regrettable d'achever cette monographie hydrologique sans envisager les milieux humides du littoral sud-béninois, longtemps méconnus jusqu'à ce que soit créé, à l'initiative de quelques chercheurs de l'Université Nationale du Bénin, et sous la responsabilité scientifique de H. Texier, le "Groupe de recherche Lagunes et Mangroves", qui a étudié de 1978 à 1983, de façon éminemment pluridisciplinaire, les caractéristiques originales du domaine paraliq (^{*}) béninois, essentiellement constitué de lagunes de différents types.

Cette partie respecte l'esprit monographique de l'ouvrage et se propose de regrouper, de la façon la plus exhaustive possible, la totalité des observations et mesures obtenues jusqu'en 1986, sur les lagunes béninoises, qu'elles soient déjà publiées ou encore inédites mais de nature à en définir tout d'abord une typologie, puis à approcher la compréhension de leur fonctionnement hydrologique.

On ne devra pas s'étonner de la rareté des observations limnigraphiques et hydrométriques classiques de ces milieux, aucun programme de recherche n'ayant encore disposé des moyens nécessaires au déploiement d'un véritable réseau hydrologique sur ces vastes systèmes complexes.

On remarquera par contre le souci de quantifier les principaux "paramètres traceurs" du régime hydrologique lagunaire, ce qui conduit les recherches dans le domaine de la qualité physico-chimique des eaux, de la sédimentologie ou encore de la phytosociologie des berges.

L'esprit "monographique" du texte ne l'empêchera pas d'être parfois ponctué de quelques interprétations rapides et schématiques des données, dans le seul but de rendre leur lecture plus explicite.

(^{*}) du grec : para : "à côté" et halios "le sel" (par extension "la mer") terminologie géologique inaugurée par Naumann en 1854.

Chapitre 1

ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

I. Situation géographique

(cf. Fig. L.I.1)

Le domaine paralique sud-béninois s'étend sur la totalité de la frange littorale du Bénin, soit 120 km entre 6°15' et 6°22' de latitude nord, depuis l'embouchure du Mono dans la lagune de Grand Popo à proximité de la frontière togolaise à l'ouest, jusqu'à la frontière nigériane à l'est.

Cet ensemble est cependant très hétérogène et constitué de trois principaux systèmes lagunaires indépendants :

- * un système occidental très étiré parallèlement au trait de côte, soumis à une forte influence marine due à la présence d'un exutoire unique sur la mer au niveau des "Bouches du Roi" (Boca del Rio) et constitué de trois parties : vers l'ouest les estuaires du Mono et de la Sazue ; au centre, le lac Ahémé avec son affluent le Couffo et son effluent l'Aho ; vers l'est une lagune côtière longue de 65 km s'étendant depuis Agoué jusqu'à Togbin.
- * un système central beaucoup plus confiné et essentiellement tributaire d'apports continentaux et constitué de lagunes et marais s'étirant en forme de doigts de gant entre d'anciens cordons littoraux au sud et le plateau d'Allada vers le nord. Ce sont les plans d'eau d'Agbananou, Toho, Todouba, Dati, Ahouangan, Bakame et Djonou.
- * un système oriental caractérisé par un balancement semi saisonnier d'eau douce et d'eau salée constitué par le lac Nokoué et la lagune de Porto-Novu, avec les estuaires de l'Ouémé et de la Sô au nord et les exutoires vers le chenal de Cotonou et la lagune de Badagry (Nigéria) au sud et sud-est, respectivement.

II. Environnement géologique et pédologique

(cf. Fig. L.I.2)

Les systèmes lagunaires béninois se situent dans le bassin sédimentaire côtier qui présente une structure mono-clinale faiblement inclinée vers la mer (pendages inférieurs à 1 %). On peut distinguer dans le domaine paralique béninois, trois principaux ensembles géomorphologiques :

1. Les grands plateaux du Continental Terminal

Ces structures très étendues bordent vers le nord l'ensemble des systèmes lagunaires et estuariens qu'elles dominent d'une dizaine de mètres. Il s'agit des grands plateaux de Porto-Novo, Sakété, Pobé, Allada, généralement plantés d'une savane arborée, et présentant les formations épaisses argilo-sableuses post-éocène du Continental Terminal stricto sensu.

Les sols rencontrés sur ces plateaux et classés : "ferralitiques faiblement désaturés, appauvris et modaux" sont communément appelés "Terre de Barre".

Les teneurs en argile augmentent depuis l'horizon superficiel (5 à 15 %) jusqu'en profondeur où elles peuvent atteindre 55 %. Les limons fins ne représentent que 10 % environ. La matière organique se concentre surtout dans les 10 premiers centimètres, ce qui confère à ces sols une grande vulnérabilité à l'érosion. Ces sols présentent généralement de bonnes conditions de drainage. Le pH passe de 6,5-7 dans l'horizon superficiel à 5,5-6 en profondeur.

2. Le cordon littoral sableux

L'ensemble du domaine paralique est séparé de la mer par un cordon littoral sableux généralement planté de cocoteraies et de filaos, d'une largeur variant de quelques centaines de mètres au niveau de la lagune de Grand Popo jusqu'à 4 km au niveau de Cotonou et 10 km au niveau de Porto-Novo et constitué de formations détritiques sableuses quaternaires présentant plusieurs types de sols :

- les sols peu évolués de la frange sud du cordon en bordure de mer, sur sables littoraux présentant des éléments grossiers (moins de 5 % de sables fins) et un taux de matière organique inférieur à 1 % dans l'horizon humifère.

Fig- L.I.1 - SCHEMA DE SITUATION GENERALE
DES SYSTEMES LAGUNAIRES BENINOIS

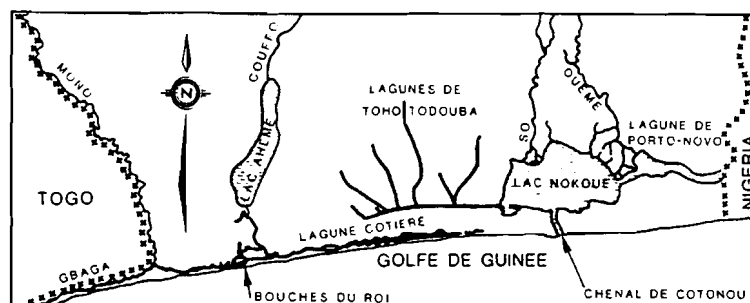
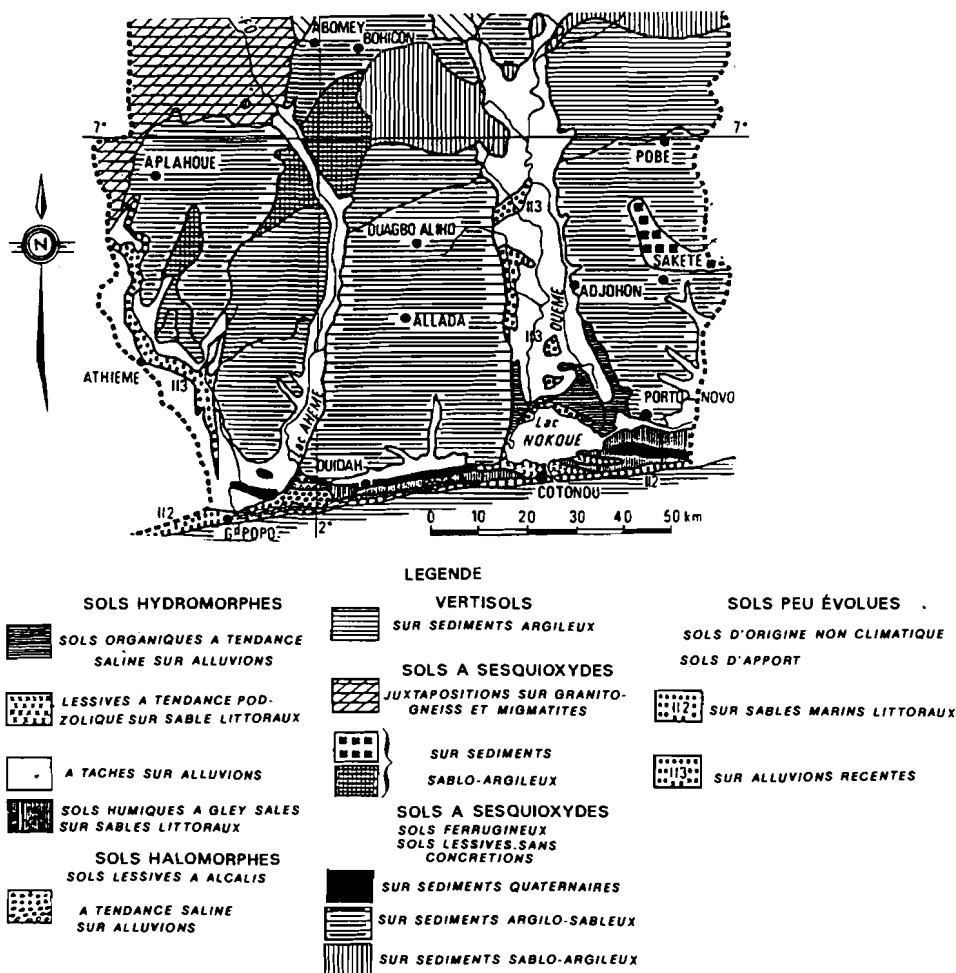


Fig- L.I.2 - ESQUISSE PEDOLOGIQUE DU SUD BENIN



- les sols lessivés à sesquioxydes de fer et les sols hydromorphes à tendance podzolique qui se rencontrent sur la frange nord (intérieure) des cordons sableux en bordure des lagunes. Les sols à sesquioxydes ne sont que très faiblement argileux (3 à 5 % d'argile) en surface avec un horizon humifère de 15 à 20 cm. Les sols hydromorphes par contre, essentiellement sableux, appauvris chimiquement et engorgés sont impropres à toute culture.
- les sols hydromorphes humifères à gley plus ou moins salés qui se présentent sur toute la formation sablo-argileuses des basses vallées et des lagunes côtières. Ces sols se caractérisent par la présence d'une nappe très superficielle freinant la dégradation de la matière organique et pouvant parfois subir des influences salées.

3. Les plaines alluviales

Ces plaines constituées de formations détritiques alluvionnaires récentes se concentrent au niveau des estuaires des principaux tributaires des systèmes lagunaires tels que le Couffo, la Sô et l'Ouémé et le plus souvent plantés de prairies à *Paspalum vaginatum*. On y rencontre deux principaux types de sols hydromorphes :

- les sols hydromorphes minéraux à gley, qui occupent les zones les plus basses et subissent une immersion prolongée lors des crues. Les teneurs en argile sont élevées (supérieures à 60 %) et la teneur en limons fins est faible (10-20 %). Ces sols se caractérisent par des capacités de drainage externe et interne très faibles. La teneur en matière organique est de l'ordre de 3 à 5 %.
- les sols hydromorphes humifères à gley qui caractérisent sur alluvions argileuses les sols de "Tidodji" de la vallée de l'Ouémé. Ces sols très argileux (40 à 80 % d'argile), pauvres en limons fins (inférieur à 10 %) et riches en matière organique (10 à 15 %) présentent une assez bonne perméabilité et sont très cultivés.

A noter également, la présence de sols halomorphes à tendance hydromorphe riches en alcalis, recouverts de mangroves sur les platiers alluvionnaires du système lagunaire occidental fortement influencé par la pénétration d'eau de mer au niveau des "Bouches du Roi".

III. Paléomorphologie du littoral Béninois

Un exemple classique de la genèse des milieux lagunaires.

J.P. Tastet, 1975-1979 ; G. Germain, 1975 ; J. Lang et G. Paradis, 1977, retrouvent quant à la formation des systèmes lagunaires au Bénin, le schéma chronologique proposé par Assemien en 1970 pour la Côte d'Ivoire.

- Au cours de l'avant dernière transgression (Inchirien du Sénégal), un niveau plus élevé qu'actuellement de la mer s'accompagne de la formation de falaises dans le "Continental Terminal".

- Le niveau de la mer s'abaisse d'une centaine de mètres au cours de la régression suivante (Ogolien du Sénégal, Pré-Flandrien d'Europe) avec un maximum régressif à - 18 000 ans BP environ, ce qui favorise la formation d'un glaciais sablo-argileux détritique d'origine fluviale au pied des "falaises". Le passage à un climat plus humide serait à l'origine du creusement des vallées littorales enoyées ensuite profondément par la mer au cours de la dernière transgression (Nouakchottien du Sénégal, Flandrien d'Europe).

La sédimentation rapide des fleuves, qui en résulte est à l'origine des deltas actuels de la Sô et de l'Ouémé. La dérive littorale d'ouest en est contribue à reprendre les sédiments en un cordon littoral sableux qui isole progressivement les systèmes lagunaires actuels.

Une légère régression contemporaine serait à l'origine de la plage actuelle.

IV. Géomorphologie des plans d'eau lagunaires

1. La lagune côtière et le lac Ahémé

(cf. Fig. L.I.3)

La lagune côtière est constituée d'un chenal étroit de 500 mètres au maximum de large qui s'étire parallèlement à la côte depuis l'embouchure du Mono à Agbanakin à l'ouest, jusqu'au village de Togbin situé à proximité de Cotonou à l'est, auquel il faut ajouter le chenal du Gbaga qui rejoint vers l'ouest le système lagunaire togolais à Aného et le chenal du Aho qui rejoint vers le nord le lac Ahémé à Guézin ; soit un total de 100 km. La section de ces chenaux est très irrégulière et se ramifie souvent entre de nombreux bancs de sable. A l'est de Grand Popo, se situe une communication étroite (100 à 200 m) avec la mer à travers le cordon littoral sableux au lieu dit actuel "les Bouches du Roi" (autrefois "Boca del Rio" qui représente l'exutoire naturel du Mono et de tout le système lagunaire occidental béninois. La morphologie de ce passage est très variable et demeure fortement conditionnée par l'importance des courants de vidange lagunaire. Les profondeurs de ce système lagunaire sont toujours faibles, et le tableau T.L.I.1 regroupe les profondeurs maximales et minimales observées aux différentes stations citées entre décembre 1980 et octobre 1982.

Le lac Ahémé, de 24 km de long (nord-sud) et d'une largeur variant de 2 à 5,5 km a une superficie d'étiage de 78 km² et de 100 km² en crue. Son principal tributaire est le Couffo, de faible débit, au nord.

**Tableau T.L.I.1 - Profondeurs observées à quelques stations de la lagune côtière
(H. Texier)**

Station	P. mini (m)	Date (m)	P. maxi	Date
Togbin	0,4	27/01/82	1,10	02/06/82
Hyo	0,9	14/04/81	1,45	06/06/81
Avrékété	0,85	26/08/82	1,65	06/06/81
Akpohoué	0,70	26/08/82	1,25	06/06/81
Djondji	0,85	06/02/82	1,30	21/03/82
Hakoué	1,35	05/07/81	3,40	06/02/82
Avlo	1,70	05/05/81	2,90	18/11/81
Agbanakin	1,20	26/01/81	4,20	30/11/82
Djjégbamé	0,75	02/12/81	2,30	15/08/82

2. Les plans d'eau de Toho et de Todouba

(cf. Fig. L.I.4)

Situés à l'est de Ouidah, ces deux plans d'eau très étirés vers le nord-ouest ne constituent pas actuellement des lagunes proprement dites mais appartiennent géographiquement au domaine côtier et sont toujours intégrés aux réflexions d'ensemble portant sur l'aménagement et la mise en valeur des zones humides littorales. Les observations ont été dirigées jusqu'à présent par H. Texier sur cinq stations dont les localisations sont reportées sur la figure L.I.4 et les profondeurs extrêmes regroupées dans le tableau T.L.I.2 :

**Tableau T.L.I.2 - Profondeurs observées à quelques stations du plan d'eau de Toho-Todouba
(H. Texier)**

Station	P mini (m)	Date (m)	P. maxi	Date
I Segbanou	1,20	12/01/82	2,90	06/11/82
II Tchiapékodji	1,50	12/01/82	3,05	06/11/82
III Sémé	1,10	12/01/82	3,45	06/11/82
IV Usine pompage	1,40	05/05/82	3,25	06/11/82
V Dozouzrame	0,45	05/05/82	3,35	06/11/82

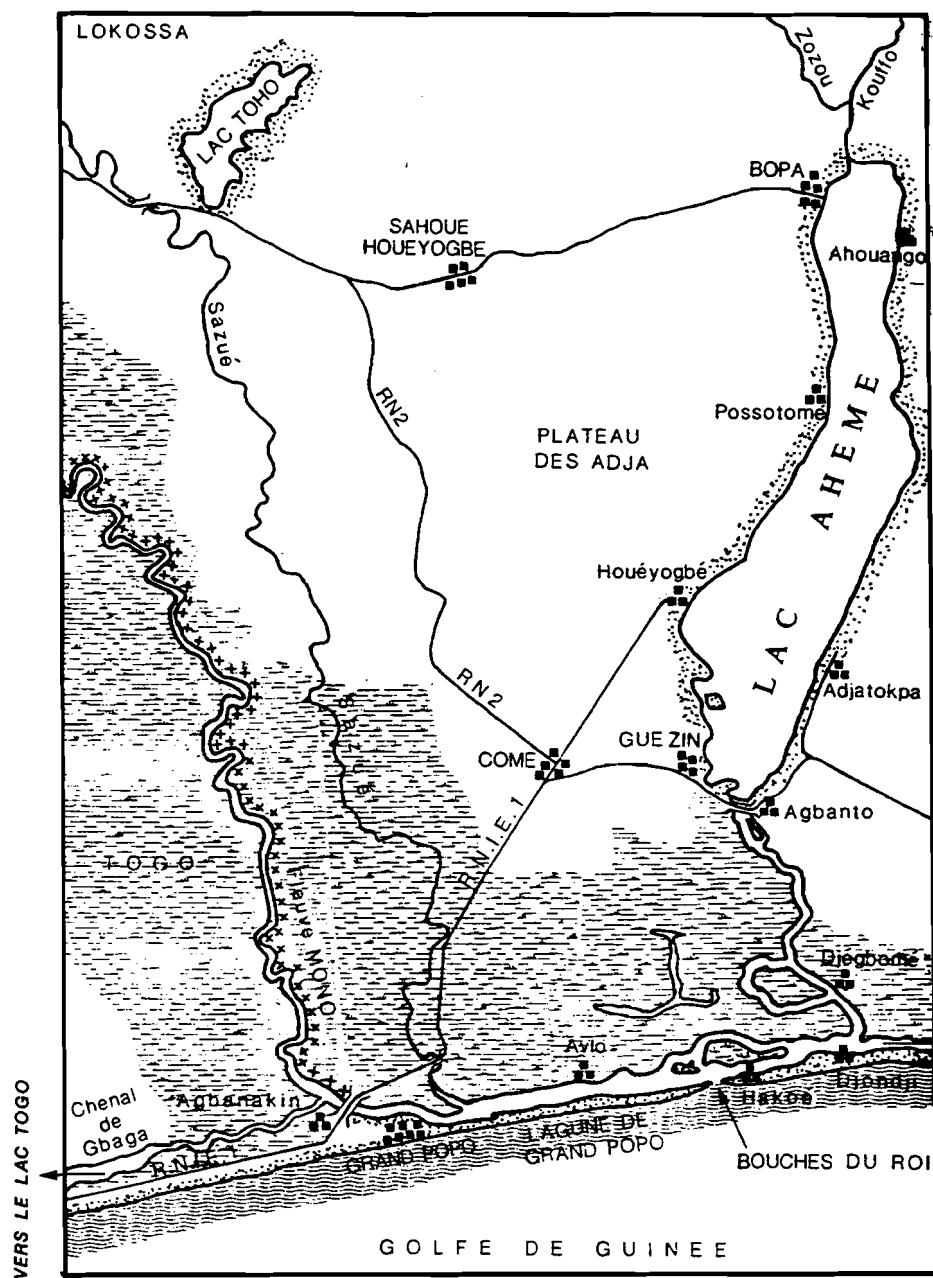


Fig- L.I.3 - CARTE DE SITUATION DU SYSTEME LAGUNAIRE OCCIDENTAL

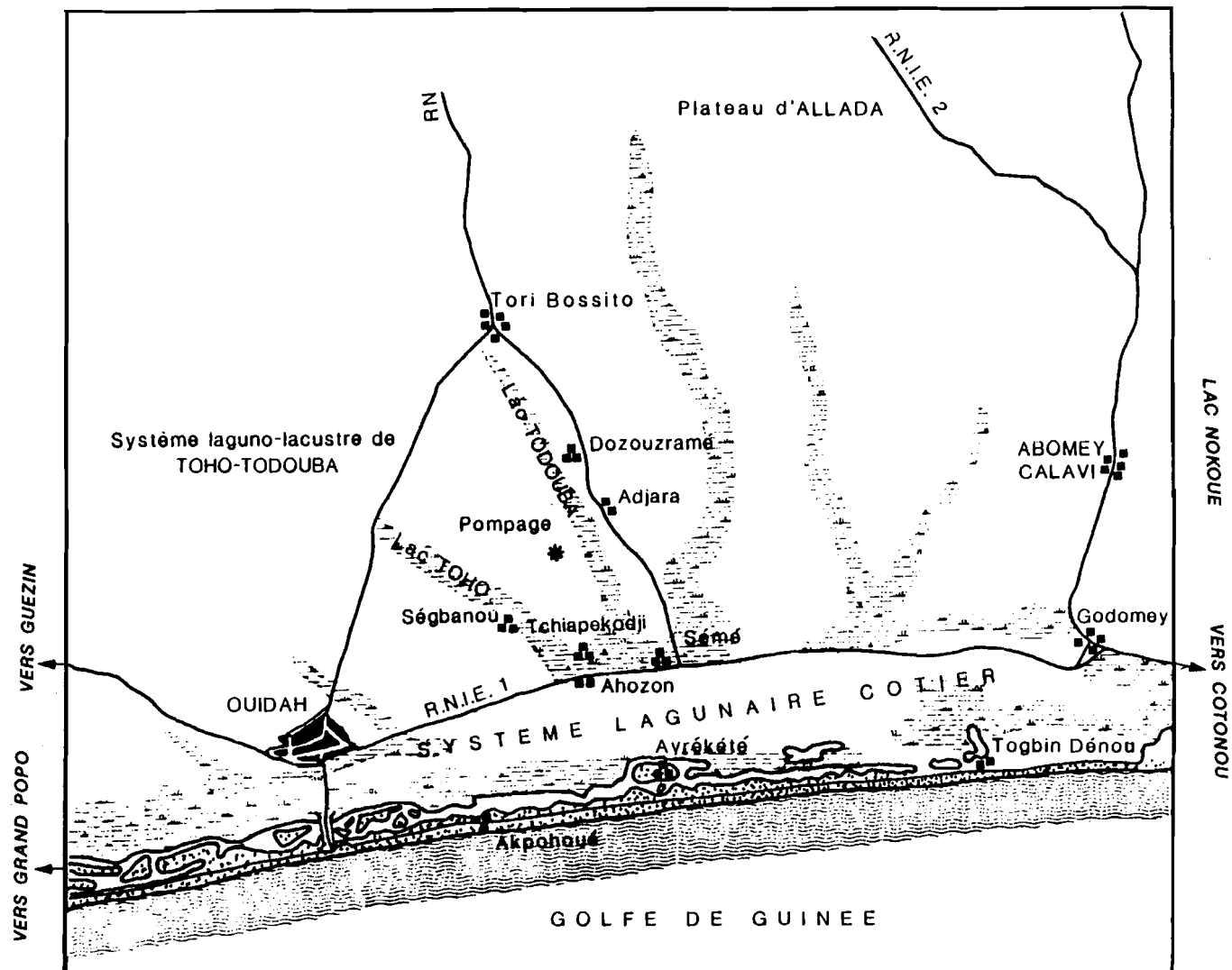


Fig- L.I.4 - CARTE DE SITUATION DU SYSTEME LAGUNAIRE CENTRAL

3. Le lac Nokoué

(cf. Fig. L.I.5)

Long de 20 km (est-ouest) et large de 11 km (nord-sud), le lac Nokoué a une superficie d'étiage d'environ 160 km² et représente le plus large plan d'eau lagunaire béninois et le plus important du point de vue de son aménagement en raison de sa proximité avec la ville de Cotonou.

La figure L.I.6 présente la répartition bathymétrique de la lagune à partir des premières observations effectuées en 1978 et 1979. Le lac Nokoué communique au nord par l'intermédiaire de grandes prairies inondables à "Paspalum vaginatum" avec les deltas de la Sô et de l'Ouémé. Le lac communique avec la lagune de Porto-Novo à l'est par le canal de Totché et temporairement avec la mer, au sud, par le chenal de Cotonou dont l'ouverture reste étroitement dépendante des conditions hydrodynamiques locales.

4. La lagune de Porto-Novo

(cf. Fig. L.I.5)

Ce plan d'eau est le plus oriental du système béninois. Il communique en permanence avec le lac Nokoué à l'ouest et avec la mer par l'intermédiaire des chenaux lagunaires du Nigéria qui rejoignent Lagos à l'est, sur plus de 100 km.

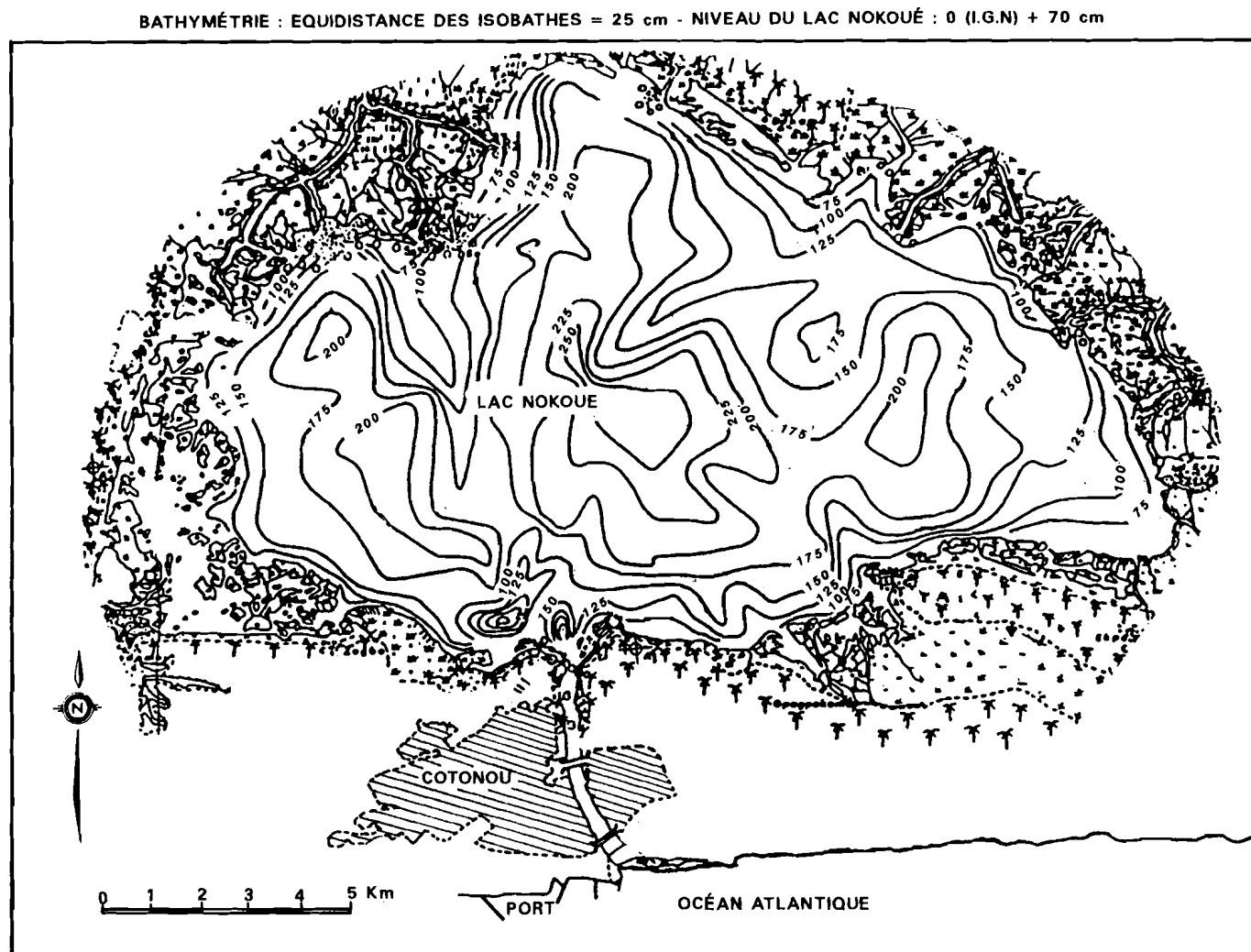


Fig- L.1.6 - CARTE BATHYMETRIQUE DU LAC NOKOUÉ
(d'après H.TEXIER ET AL.1980)

Chapitre 2

REGIMES HYDROLOGIQUES DES PLANS D'EAU

Nous nous rapporterons aux études hydrologiques et physico-chimiques menées sur le système lagunaire occidental (Grand Popo) et sur le lac Nokoué par H. Texier.

I. Observations limnimétriques sur la lagune côtière

(cf. Fig. L.II.1)

Des observations limnimétriques effectuées à proximité des "Bouches du Roi" en janvier et avril 1981 font apparaître un retard moyen de 40 minutes de la marée par rapport aux enregistrements de Cotonou. D'autre part, en considérant la moyenne des marnages en mer et de ceux qui ont été observés dans la lagune, on calcule un coefficient d'amortissement de l'ordre de 0,71 qui correspond à un marnage moyen à chaque marée de 0,78 m dans la lagune. Cette étude encore très ponctuelle dans le temps, permet tout de même de mettre en évidence l'importance quantitative des phénomènes de marée dans le système ouvert de Grand Popo.

II. Régime hydrologique du lac Ahémé

(cf. Fig. L.II.2)

Les premières interprétations du régime hydrologique du lac Ahémé, qui s'appuient essentiellement sur des observations de la qualité physico-chimique des eaux (cf. Chapitre 3) ont été faites par H. Texier et J.L. Maslin entre 1979 et 1982.

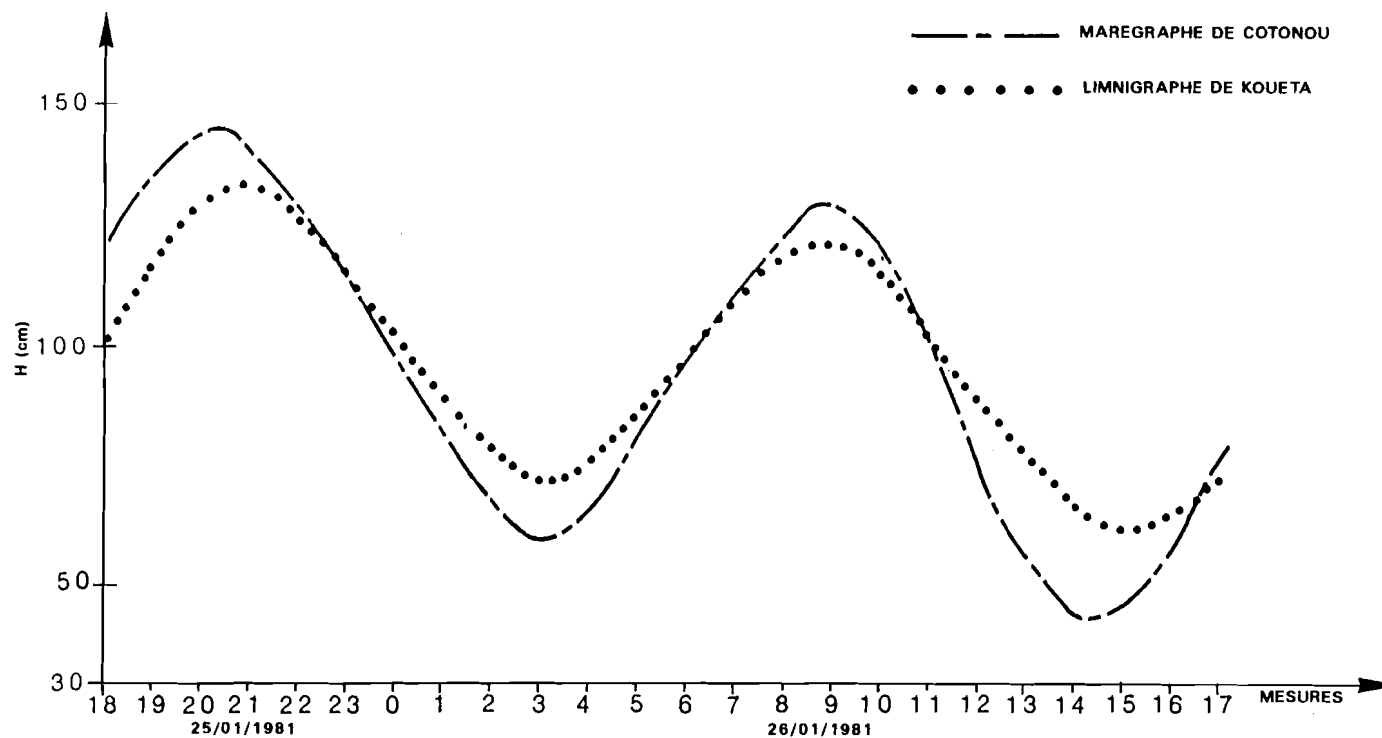
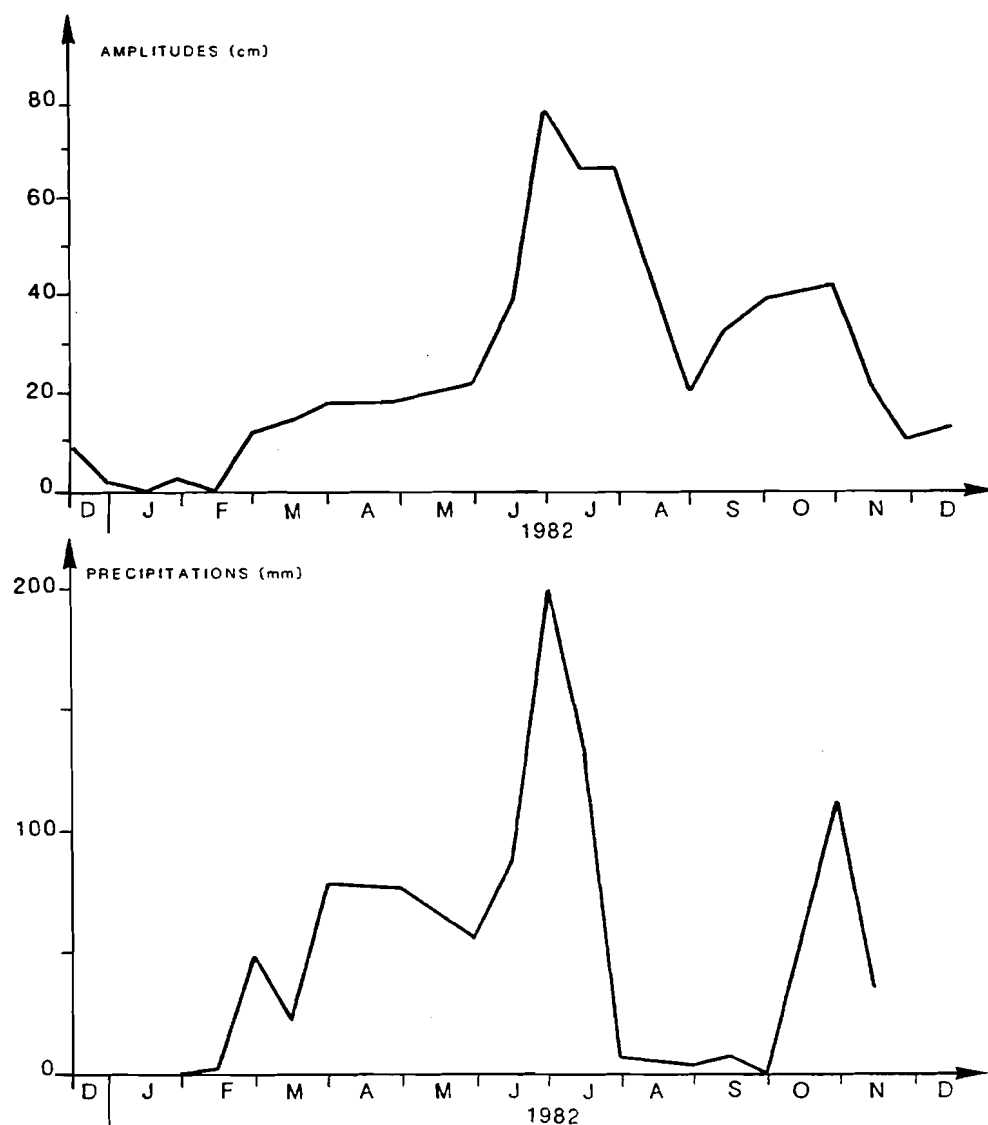


Fig- L.II.1 - VARIATIONS LIMNIMÉTRIQUES COMPARÉES DES ENREGISTREMENTS A KOUETA (lagune cotière)
ET DU MARÉGRAPHE DE COTONOU.(élévation par rapport au zéro hydrographique)
(d'après H.TEXTIER ET AL.1982)

Fig- L.II.2 - COMPARAISON ENTRE LES VARIATIONS DU NIVEAU DU LAC AHEME
A BOPA ET LES PRECIPITATIONS A LA STATION DE BOPA EN 1982
(d'après MASLIN, 1983)



Le lac Ahémé présente, du fait de sa situation relativement "continentale" à l'extrémité des longs chenaux de la lagune côtière, une grande originalité hydrologique qui n'est pas sans rappeler celle du système lagunaire du Togo (B. Millet, 1986).

Le cycle hydrologique annuel du lac Ahémé se caractérise en effet par un balancement entre les eaux douces du Couffo du nord qui est un petit tributaire de 155 km de long au régime guinéen à deux saisons de crue, les eaux saumâtres de la lagune côtière qui pénètrent dans le système à l'étiage par le chenal du Aho et enfin, les eaux de crue du fleuve Mono au régime soudanien qui peuvent remonter également le chenal du Aho lors des maxima de crue en août ou septembre.

A cette période de l'année, en effet apparaissent traditionnellement d'importantes inondations sur tout le système lagunaire occidental et ces phénomènes restent en étroite relation avec le régime d'ouverture du grau des Bouches du Roi dont dépend toute la problématique d'aménagement de ces zones. Le grau est resté ouvert (en face de l'île Kouéta) au cours de la période des observations présentées ici, de 1979 à 1982 mais s'est complètement fermé en décembre 1982.

A court terme, l'hydrodynamisme de la lagune est essentiellement conditionné par l'effet du vent, la brise de mer diurne régulière de secteur sud-ouest qui procure à tous les plans d'eau lagunaires peu profonds du Golfe de Guinée, une parfaite homogénéité verticale.

Trois principales phases peuvent être distinguées dans le cycle annuel typique du lac Ahémé :

- a) une première phase correspond au tout début de la saison des pluies au Sud-Bénin de février à mai et se traduit par une augmentation rapide de la salinité des eaux et par une lente augmentation du niveau du lac. Le débit du Mono est quasi nul. Les rendements de la pêche sont les plus faibles.
- b) une seconde phase, de juin à octobre, correspond au maximum de la saison humide au sud du pays et se traduit par une remontée du niveau du lac, une baisse de la salinité et la crue du Mono.
- c) une troisième phase, de novembre à janvier correspond au début de la saison sèche et se traduit par une baisse de niveau des eaux et une salinité stabilisée à l'issue de la crue du Mono. Les rendements de la pêche sont maxima.

La figure L.II.2 présente les évolutions comparées des précipitations et du niveau du lac Ahémé observées à la station de Bopa sur la rive nord au cours de l'année 1982 (J.L. Maslin, 1982).

III. Régime hydrologique du lac Nokoué

L'hydrodynamisme du lac Nokoué est principalement contrôlée par le régime saisonnier des apports continents de la Sô et de l'Ouémé et le régime des échanges avec la mer qui s'effectuent de deux façons :

- à travers le chenal de Totché (5 km de long et 150 m de large) qui rejoint la lagune de Porto-Novo vers l'est et qui reste ouvert en permanence.

- à travers le chenal de Cotonou (4,5 km de long et 250 m de large) qui rejoint directement la mer au sud du système et qui représente la principale voie d'échange avec la mer, mais qui subit depuis la construction du port de Cotonou en 1964 de grandes fluctuations interannuelles quant à son ouverture ou fermeture.

1. Historique de l'ouverture du chenal de Cotonou

Initialement, les populations riveraines procédaient chaque année au moment du maximum de mise en charge de la lagune à l'ouverture artificielle du cordon littoral à l'extrémité sud du chenal de Cotonou qui s'était ensablé au cours de la période d'étiage précédente.

Depuis 1959, et consécutivement à la construction du port de Cotonou, le transit sableux sous l'effet de la dérive littorale d'ouest en est a été détourné et le chenal de Cotonou reste ouvert en permanence.

Un barrage artificiel achevé en 1977 à proximité de l'embouchure du chenal sur la mer a provoqué un réensablement spectaculaire de la passe au cours de l'étiage 77-78 qui a suivi.

Le confinement qui résulte de cette fermeture prolongée du chenal de Cotonou ne peut pas être sans conséquence écologique sur l'ensemble des systèmes lagunaires du lac Nokoué et deltaïques de l'Ouémé et de la Sô à l'amont desquels la marée se faisait sentir jusqu'à 40 km en période d'ouverture permanente du chenal.

2. Quantification des volumes oscillants

Le suivi limnimétrique du plan d'eau du lac est suivi depuis 1951 à partir d'une échelle rattachée au système IGN et placée sur un pont du chenal de Cotonou. Le marnage observé est très variable en fonction de l'importance des crues et du régime de circulation entre le système lagunaire et la mer reste d'un ordre de grandeur limité, inférieur à 1,50 m. (Monographie du Delta de l'Ouémé).

Depuis la reprise des études (H. Texier, en 1978), le suivi limnimétrique du plan d'eau est effectué à partir des relevés à l'échelle du pont de Cotonou rattaché à la borne SH 34 de la carte des polygonales.

Le volume moyen du lac est estimé à : 236 400 000 m³
 Le volume du lac en crue, à : 325 600 000 m³
 Le volume du lac à l'étiage, à : 147 100 000 m³

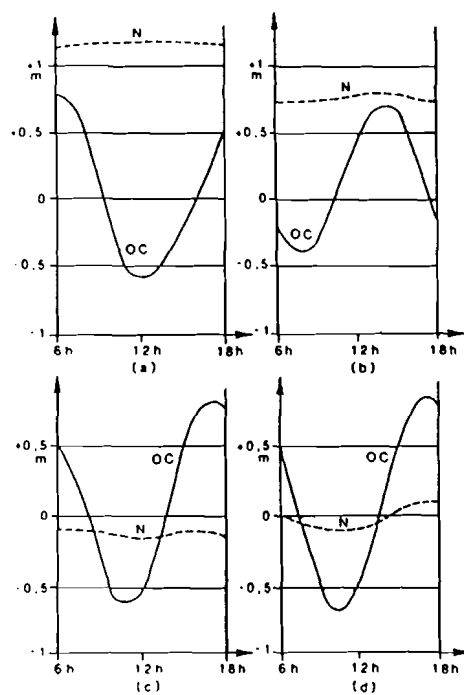
Une estimation des volumes échangés par comparaison des hauteurs cumulées du plan d'eau lagunaire et des marnages de la mer à Cotonou conduit aux ordres de grandeur suivants établis au cours d'un cycle annuel (d'après Texier, 1984b) :

	Entrée (M.m ³)	Sortie (M.m ³)
période d'étiage : (décembre-août)	45,4	44,5
montée des eaux : (août-septembre)	10,5	77,8
crue : (septembre-novembre)	0	104,5
décrue : (novembre-décembre)	29,2	57,5

Ces résultats soulignent l'importance considérable des volumes échangés entre le lac Nokoué et la mer. Le volume de sortie des eaux en période de crue représente à chaque marée à peu près le tiers du volume total du lac à la même époque.

Les figures L.II.3 et L.II.4 présentent quelques résultats relatifs à la comparaison des niveaux mer-lagune dans le chenal de Cotonou à différentes époques, ce qui permet de situer un ordre de grandeur de la variabilité saisonnière du marnage ainsi que l'impact de la fermeture du chenal.

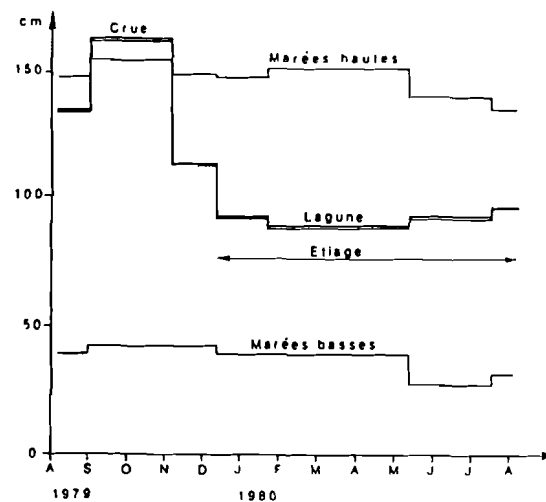
Fig- L.II.3 - VARIATIONS COMPAREES DES NIVEAUX DU LAC
NOKOUE ET DE LA MER (d'après H.TEXIER ET AL.1982)



LÉGENDE

- N : niveau du lac Nokoué
 OC : niveau de la mer
 a - 25 octobre 1952 chenal fermé (crue)
 b - 30 octobre 1952 chenal ouvert (crue)
 c - 12 avril 1952 chenal fermé (étiage)
 d - 14 avril 1953 chenal ouvert (étiage)

Fig- L.II.4 - HAUTEURS RELATIVES LAGUNE - MER A COTONOU
(d'après COLOMBANI ET AL.1972)



Chapitre 3

TRACEURS DU REGIME HYDROLOGIQUE DES SYSTEMES LAGUNAIRES

Une lagune représente toujours un milieu particulièrement instable, soumis à de très fortes influences d'origine à la fois continentale et marine et reste le siège de perpétuelles transformations sur des cycles très courts à l'échelle géologique.

Le repérage des caractéristiques du fonctionnement hydrologique d'un système lagunaire et la compréhension de sa dynamique interne nécessitent, outre le suivi des paramètres hydroclimatologiques et limnigraphiques classiques en temps réel, la mesure continue in situ de paramètres traceurs de l'origine du déplacement et de l'évolution spatiale des masses d'eau lagunaires. La salinité des eaux est un paramètre conservatif important pour suivre le déplacement des masses d'eau à pas de temps court, à l'échelle journalière ou mensuelle. Des études botaniques et phytosociologiques sont souvent capables d'apprécier qualitativement une évolution du fonctionnement lagunaire à moyen terme.

Des études granulométriques et minéralogiques sur le sédiment sont enfin utiles pour contribuer à reconstituer quelques caractéristiques du fonctionnement lagunaire à long terme.

Nous reprendrons dans ce qui suit les résultats publiés par le Groupe Pluridisciplinaire de Recherches Scientifiques "lagunes et Mangrove" de l'Université Nationale du Bénin.

I. Evolution de la physico-chimie des eaux

1. Système lagunaire du lac Nokoué

1.1. La température des eaux

Les eaux du lac Nokoué sont particulièrement homogènes quant à la température (oligo-mictique) qui demeure élevée sur toute la tranche d'eau toute l'année. Les variations journalières de la température sont par conséquent beaucoup plus importantes que les variations saisonnières. On distingue une amplitude moyenne de 5°C (de 25,6° à 30,6°) au cours de la matinée et une amplitude de 2°C (de 30°C à 32°C) au cours de l'après-midi.

1.2. Le PH des eaux

Les eaux du lac Nokoué présentent un caractère faiblement alcalin. Les valeurs extrêmes observées ont été respectivement de 8,0 et 7,0 en 1978 et 8,1 et 6,5 en 1979.

L'évolution saisonnière du pH est parfaitement synchrone sur l'ensemble du plan d'eau et sur toute la tranche d'eau (cf. Fig. L.III.1). On notera la chute brutale du pH au début du mois de mai (impact probable des premières précipitations) et à la fin du mois d'août (mise en charge de la lagune).

1.3. La transparence des eaux

Ce paramètre (T) est exprimé en pourcentage de la transmission par mètre de l'énergie radiante solaire totale et calculé par la formule suivante à partir de la mesure de la turbidité (Z) mesurée au disque de Secchi.

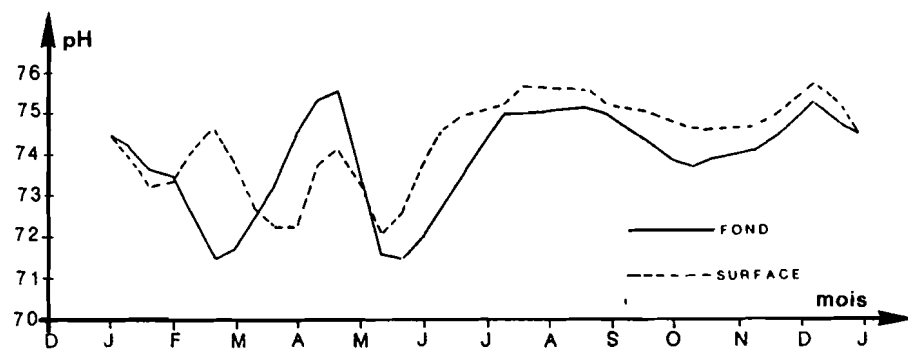
$$T = 100.\exp(-a) \quad \text{avec} \quad a = 2,06.Z - 1,04 \quad (\text{d'après Jones et Wills, 1956}).$$

La transparence se révèle être un bon paramètre traceur de l'évolution des courants d'origine fluviale dans la lagune.

En période d'ouverture du chenal à Cotonou, les eaux de crues de l'Ouémé et de la Sô envahissent l'ensemble de la lagune et la transparence s'homogénéise à une valeur très faible (T = 2,1 %) sur tout le plan d'eau. Il apparaît en période d'étiage un gradient croissant d'est en ouest (de 14,1 % à 31,8 %).

L'Ouémé reste turbide au cours de l'étiage (T = 3,1 %) mais ce n'est pas le cas pour la Sô (T = 28,4 %).

**Fig- L.III.1 - VARIATION SAISONNIERE DE pH A LA SURFACE
ET AU FOND DU LAC NOKOUE (d'après H.TEXIER ET AL.1980)**



En période de fermeture du chenal à Cotonou, une transparence homogène apparaît sur l'ensemble du plan d'eau au cours de l'étiage ($T = 25,5 \%$) et en période de crue ($T = 23,8 \%$) à l'exception de la zone des villages lacustres au Nord-Ouest à proximité desquels la transparence demeure assez faible ($16,8 \%$ à l'étiage et $12,8 \%$ en crue). La pénétration des eaux de l'Ouémé est très faible en période de fermeture du chenal car seule l'extrémité orientale de la lagune présente en crue une baisse de la transparence jusqu'à 5% .

1.4. La salinité des eaux

Tableau T.L.III.1 - Typologie de la salinité des eaux dans le lac Nokoué
(d'après H. Texier *et al.*, 1980)

	Partie Est (A)			Partie Centrale (B)		Partie Ouest (C)
	A1	A2	A3	B'	B''	C
Crue	Eaux oligo-halines	Eaux oligo-halines	Eaux oligo-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines
Novembre 1978	b (1 ‰)	b (2 ‰)	b (4 ‰)	b (5 ‰)	b (6 ‰)	b (7 ‰)
Etiage	Eaux oligo-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines
Mars 1979	b (3 ‰)	b (5 ‰)	b (7 ‰)	b (8 ‰)	b (8 ‰)	b (8,5 ‰)
Crue	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces	Eaux douces
Octobre 1979						
Etiage	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines	Eaux méso-halines	Mi-janv. Eaux poly-halines	Mi-mars Eaux poly-halines
Février/Mars 1987	(7 ‰)	(9 ‰)	(12 ‰)	(13 ‰)	(19 ‰)	(19,5 ‰)

Les mesures de la salinité S des eaux lagunaires (paramètre conservatif) restent un excellent moyen de traçage du déplacement des eaux d'origine marine ou lagunaire.

En ce qui concerne le lac Nokoué, la salinité des eaux apparaît fortement dépendante de l'ouverture ou de la fermeture sur la mer du chenal de Cotonou.

En période d'ouverture du chenal :

- Au cours de la période d'ouverture prolongée du chenal (1959-1978), les eaux lagunaires sont poly-typiques et présentaient toute la gamme de salinité depuis le faciès d'eau douce jusqu'au faciès euhalin (0 à 33 ‰).

- Après la réouverture du chenal en août 1979, l'écoulement des eaux de crue est général dans l'ensemble de la lagune (salinité moyenne 0,2 ‰) et le renouvellement des eaux lagunaires est total.

Il apparaît par contre au cours de l'étiage un gradient important de salinité croissant d'est en ouest visible sur la figure L.III.2.

La zone A orientale présente des eaux meso-halines de salinité croissante d'est en ouest, de 7 ‰ à 12 ‰.

La zone B centrale subit la pénétration d'un courant d'eau de mer qui s'oriente vers l'ouest dès son entrée dans le lac Nokoué et présente un facteur de salinité croissant du nord au sud de 13 ‰ à 19 ‰.

La zone C occidentale rejoint directement les eaux marines et la salinité culmine en fin d'étiage à 19,5 ‰.

En période de fermeture du chenal, entre mai 1978 et août 1979, les eaux présentent toute l'année une faible salinité (faciès oligo méso-halin) et on distingue à nouveau un gradient de salinité croissant d'est en ouest décrit par les mêmes zonations que précédemment en période d'ouverture.

La zone A présente un gradient est-ouest de 2 ‰ à 5,5 ‰. Cette zone est soumise au flot à la pénétration des eaux oligo-halines de la lagune de Porto-Novo et, au jusant, des eaux douces de l'Ouémé. Ce rôle des grandes marées en provenance de Lagos par le canal de Totché est alors important dans le renouvellement des eaux de la partie orientale du lac Nokoué.

La zone B centrale présente une salinité constante de 7 ‰ en moyenne mais les régions les plus profondes du lac Nokoué, devant l'embouchure de la Sô et devant l'entrée du chenal de Cotonou, présentent une salinité plus forte (de 8,5 à 11 ‰).

La zone C occidentale reste encore la plus salée (8 ‰ en moyenne) mais la zone deltaïque de la Sô présente des salinités plus fortes montrant que la Sô constitue un bras mort du système deltaïque en fin d'étiage.

D'une manière générale, si la salinité des eaux présente de grandes variations spatiales et saisonnières sur le lac Nokoué, aucune stratification verticale notoire n'est observée sur le plan d'eau soumis toute l'année à une brise de mer importante. La connaissance de l'évolution de ces principaux paramètres physico-chimiques des eaux du lac Nokoué, permet d'en approcher la dynamique spatiale et saisonnière, de proposer une zonation homogène du plan d'eau et de distinguer différents états hydrologiques pouvant obéir à une logique journalière dépendante de l'environnement climatique (température, vent) ou à une logique saisonnière dépendante du régime de fonctionnement hydrologique de la lagune soumise à l'alternance saisonnière entre le lessivage des eaux de crue et la pénétration des eaux marines d'étiage. Il ressort que le mode d'ouverture du système sur la mer par le chenal de Cotonou reste le facteur déterminant quant au fonctionnement hydrologique de la lagune et la qualité de ses eaux, ce qui n'est pas sans conséquences sur la mise en valeur du système.

2. Lagune de Porto-Novo

Quatre stations situées sur la lagune, et observées dans les mêmes conditions que le lac Nokoué par H. Texier *et al.* permettent de suivre en 1981 et 1982 l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux. La figure L.III.3 présente les variations de la salinité des eaux en surface et en profondeur.

Fig- L.III.2 - ZONATION DU LAC NOKOUE SELON UNE TYPOLOGIE SALINE

A L'ETIAGE ET CHENAL OUVERT (d'après H.TEXTIER ET AL.1980)

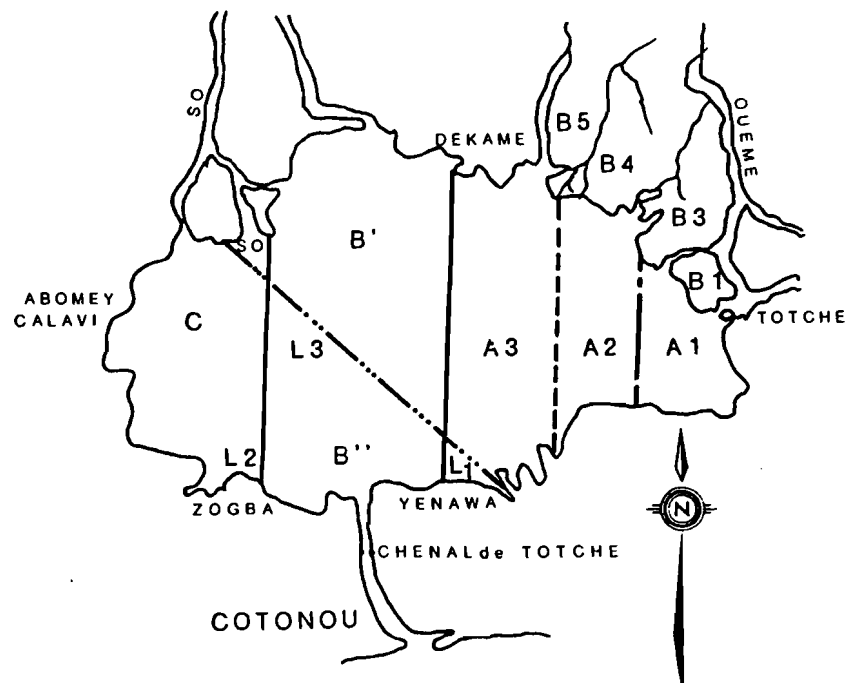
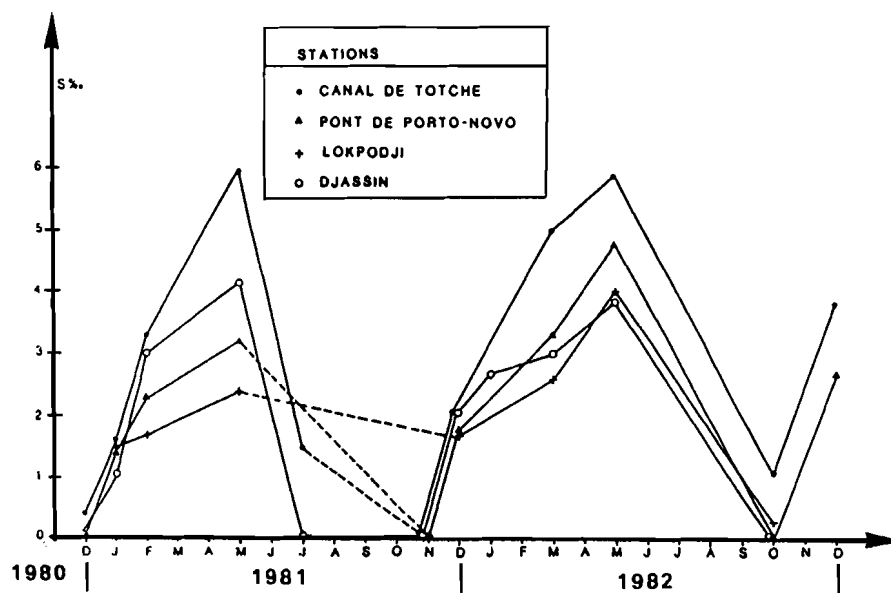


Fig- L.III.3 - OBSERVATION DE LA SALINITE DES EAUX (S‰)
DANS LA LAGUNE DE PORTO-NOVO (d'après H.TEXTIER)



3. Système lagunaire côtier

3.1. La température des eaux

La lagune côtière est également du type oligo-mictique avec une température homogène à toute époque sur toute la tranche d'eau.

A l'embouchure sur la mer la température annuelle moyenne est de 29,7° avec des valeurs extrêmes de 26,4°C et 31,6°C. A Ouidah, les températures sont légèrement plus faibles avec une moyenne annuelle de 28,7°C et des extrêmes de 25,2°C et 32,2°C.

3.2. Le pH des eaux

La moyenne générale établie sur l'ensemble de la lagune donne une valeur de 7,45 ; ce caractère faiblement alcalin persiste toute l'année. L'arrivée des eaux de crue est classiquement accompagnée d'une légère acidification, en raison probablement de l'enrichissement en matières humiques des eaux de drainage des prairies marécageuses qui s'écoulent en début de crue. Le pH plus basique des eaux marines (pH = 8,2) peut influencer la zone située à proximité de l'embouchure.

Les variations spatiales du pH sont importantes et les valeurs extrêmes sont pH = 6,5 à Togbin et pH = 8,2 à Hakoué.

3.3. La transparence des eaux

Les mesures au disque de Secchi permettent de distinguer trois zones :

- la région de Ouidah, présentant une transparence assez stable de 90 cm (juillet) à 55 cm (décembre),
- la proximité de l'embouchure aux Bouches du Roi présentant de grande fluctuation en fonction du flot et du jusant (200 cm de variations entre janvier et avril).
- la région occidentale de Grand-Popo en 1981 présentant une turbidité très dépendante du régime saisonnier d'écoulement du fleuve Mono - transparence moyenne de 40 cm à Grand-Popo en période de crue (juillet-janvier) atteignant 130 cm à l'étiage.

3.4. Le potentiel d'oxydo-réduction

Cette mesure du potentiel red-ox des eaux permet d'approcher l'état de confinement des eaux par rapport à la mer et les différences entre l'état d'évolution chimique des eaux de surface et des eaux profondes à Ouidah, le potentiel se présente de façon homogène sur la tranche d'eau autour d'une valeur proche de 100 mV.

A proximité des Bouches du Roi, on note une différence entre des eaux profondes plus oxydante qu'en surface sous l'effet d'une influence marine plus importante en profondeur. A Djondji, E moyen = 117 mV en surface et E moyen = 132 mV au fond. A Hakoué, E moyen = 125 mV en surface et E moyen = 133 mV au fond.

3.5. La salinité des eaux

Tableau T.L.III.2 - Variation de la salinité des eaux dans le système lagunaire côtier
(d'après H. Texier *et al.*, 1982)

Station	Maximum de la crue	Période	Minimum de l'étiage	Période
Grand-Popo	Eaux douces	Septembre	Eaux poly-halines 21 ‰	Mars
Avloh	Eaux oligo-halines 2 ‰	Septembre	Eaux poly-halines 29 ‰	Mars
Kouéta (Bouche du Roi)	Eaux méso-halines 1 ‰	Septembre	Eaux euhalines 32 ‰	Mars Mai
Hakoué	Eaux oligo-halines 2 ‰	Septembre	Eaux euhalines 32 ‰	Mars Mai
Djondji	Eaux oligo-halines 1 ‰	Septembre	Eaux euhalines 32 ‰	Mars
Ouidah	Eaux méso-halines 5 ‰	Octobre	Eaux euhalines 31 ‰	Mars
Aho (Nazoumé)	Eaux oligo-halines	Septembre	Eaux poly-halines 29 ‰	Avril

Le système lagunaire restant ouvert en permanence sur la mer, la salinité des eaux sera d'autant plus influencée par celle de l'eau de mer qui présente une valeur moyenne de surface de 33 ‰ au large des "Bouches du Roi" mais qui reste très sensible aux effets des "upwelling" saisonniers de la côte béninoise. C'est ainsi que la salinité de l'eau de mer atteint 35 ‰ en août et 34 ‰ en mars au cours des saisons sèches tandis qu'elle tombe à 27 ‰ en juin et 24 ‰ en novembre.

Du fait de ses dimensions relativement restreintes et de son régime hydrologique annuel soumis au balancement des eaux continentales du Mono et de la Sazue en crue et des eaux marines à l'étiage, le système lagu-

naire occidental présente une grande variabilité spatiale et saisonnière quant à la salinité des eaux sans pour autant qu'apparaisse de stratification saline importante.

A proximité de l'embouchure aux "Bouches du Roi", la salinité augmente très vite dès le mois de novembre à la fin de l'écoulement des tributaires pour atteindre des valeurs de 30 à 32 ‰ jusqu'à la fin de l'étiage en mai-juin, période à laquelle la salinité retombe également très rapidement avec l'arrivée des eaux de crue.

La partie occidentale de la lagune, vers le Mono présente tout au long de l'année un gradient décroissant vers l'ouest important.

La partie orientale de la lagune, vers Ouidah présente au contraire un faciès plus confiné marqué par un gradient décroissant vers l'est beaucoup moins fort en période d'étiage, de décembre à mai, au cours de laquelle le front salé remonte progressivement sur une distance de 25 km. La baisse de salinité reste également moins brutale que dans la partie occidentale de la lagune au moment des crues (juin-novembre) et la salinité y demeure toujours plus élevée en raison de l'éloignement relatif des tributaires principaux du système (Mono et Sazue).

Les figures L.III.4 a et b présentent les variations saisonnières et spatiales de la salinité des eaux, depuis septembre 1979 jusqu'en février 1983.

4. Système lagunaire du lac Ahémé

4.1. La température des eaux

Le lac Ahémé est également du type oligo-mictique et les eaux présentent en toute saison une température élevée comprise entre 26 et 32°C. La figure L.III.5 présente à titre indicatif, l'évolution journalière de la température (en moyenne mensuelle) en fonction de la profondeur.

4.2. Le pH des eaux

Les valeurs du pH des eaux du lac Ahémé, mesurées entre 1979 et 1982 sont comprises entre les valeurs extrêmes pH = 6,9 et pH = 8,4, ce qui demeure tout à fait conforme aux observations effectuées sur les systèmes lagunaires voisins. Les valeurs les plus faibles se rencontrent en saison humide et les plus fortes en fin d'étiage.

4.3. La transparence des eaux

Les valeurs extrêmes mesurées au disque de Secchi ont été de 0,40 m en février et de 1,45 m en juin. Comme dans tous les systèmes similaires, la transparence des eaux est très variable et reste étroitement liée au régime de crue et à plus court terme, au régime de turbulence dû au vent.

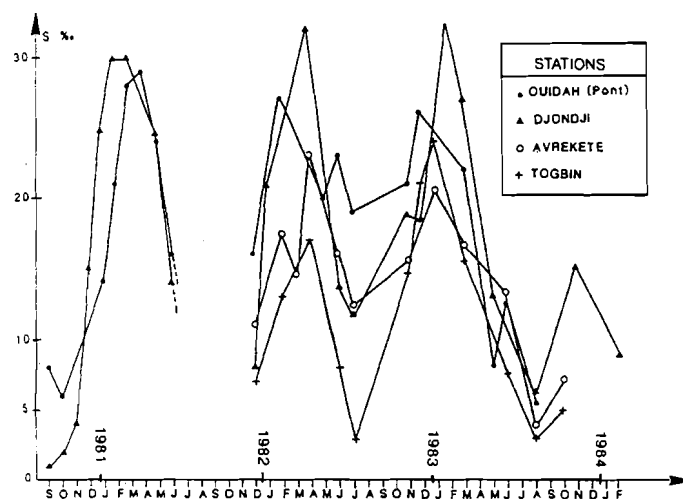


Fig- L.III.4a - LAGUNE COTIERE - EVOLUTION DE LA SALINITE A L'EST DE L'EMBOUCHURE

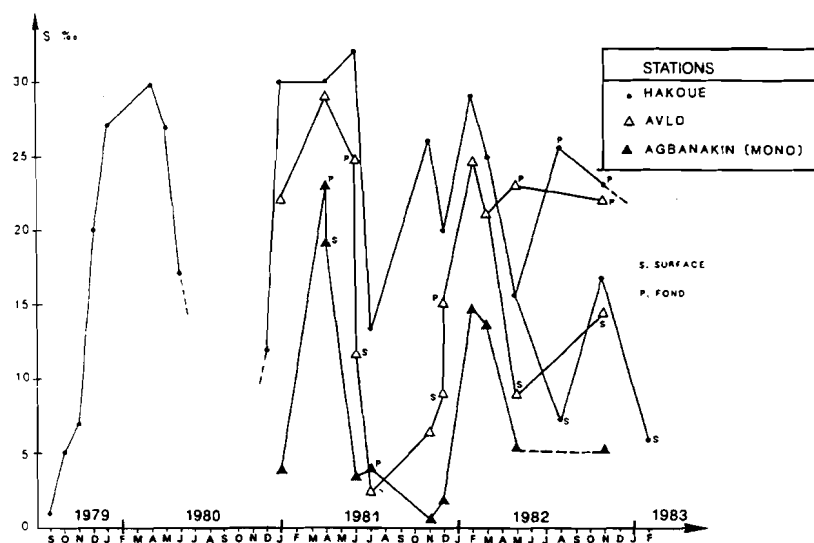


Fig- L.III.4b - LAGUNE COTIERE - EVOLUTION DE LA SALINITE AU NIVEAU DE L'EMBOUCHURE ET VERS L'OUEST
(d'après H.TEXIER)

4.4. La salinité des eaux

Le lac Ahémé présente un faciès mixo-halin caractérisé par un gradient nord-sud longitudinal permanent en toute saison, ce qui peut être la conséquence de sa morphologie très étirée et de son régime hydrologique particulièrement régulier, marqué d'une plus forte continentalisation.

Les valeurs extrêmes observées sont de 0,1 g/l (en novembre 1980) et de 26 g/l (en mars 1981) ; la salinité apparaissant beaucoup plus "tamponnée" au nord (écarts de 4 g/l entre les extrêmes) qu'au sud (écarts de 15 g/l). Aucune stratification verticale ne ressort des observations, ce qui est encore typique de ce milieu.

Les maxima de salinité remontent du sud vers le nord du lac entre avril et juin et le nord du lac se trouve être le plus salé au moment des plus hautes eaux ce qui souligne l'importante influence des crues du Mono dans tout ce système lagunaire occidental.

Les minima de salinité se situent en novembre à la fin de la saison humide.

La figure L.III.6 présente les variations saisonnières de la salinité à quatre stations du lac Ahémé, comparées aux salinités mesurées aux stations du Mono à Agbanakin, de l'Aho à Djégbame et du Couffo à l'amont du lac.

Les figures L.III.7 et L.III.8 présentent les courbes d'iso-salinités du lac Ahémé dans deux situations caractéristiques d'étiage et de crue, en mars 1982 et novembre 1980, respectivement.

Ces figures présentent des exemples représentatifs du type d'interprétation que l'on peut faire quant à la circulation des masses d'eau dans ces lagunes, à partir d'une cartographie des courbes iso-halines. Il s'agit d'une première approche qualitative, mais simple et efficace dans le cadre d'une compréhension globale des phénomènes et de la définition d'une zonation spatiale du plan d'eau. On remarquera l'hétérogénéité nord-sud du lac du point de vue de sa dynamique saline de part et d'autre d'une radiale située entre Possotomé et Domé en crue et entre Houeyogbé-Adjatokpa à l'étiage.

5. Plans d'eau de Toho et Todouba

Le tableau T.L.III.3 suivant présente respectivement les mesures de la conductivité et de la température des eaux de ces plans d'eau continentalisés, qui obéissent à une dynamique de nappe.

**Tableau T.L.III.3 - Evolution de la conductivité $X\mu S.cm^{-1}$ et la température des eaux ($T^{\circ}C$)
de Toho et Todouba (S = Surface ; F = Fond)**

Stations Date	Segbanou		Tchiapékodji		Sémé		Station de pompage		Fond lac Todouba	
	X	$T^{\circ}C$	X	$T^{\circ}C$	X	$T^{\circ}C$	X	$T^{\circ}C$	X	$T^{\circ}C$
01.02.81	200 F	27,7	185	27,4	190	27,9	195	28,7	170	27,7
22.03.81	230 S	30,3	249 S	31,2	240 S	31,4	245 S	30,4		
	900 F	29,4	220 F	29,8	240 F	30,4	292 F	30,2		
02.06.81	215 S	30,0	215 S	29,0	210 S	28,0	190 S	28,8		
	245 F	30,0	300 F	29,5	450 F	29,5	195 F	29		
13.07.81	640 S	27,0	800 S	26,5	700 S	27,0	800 S	27,0	660 S	26,8
	950 F	26,8	990 F	26,5	750 F	27,0	900 F	27,0	690 F	26,8
16.11.81	230 S	28,5	225 S	27,7	240 S	28,5	220 S	29,0	132 S	29,0
	430 F	27,0	310 F	26,2	280 F	28,0	250 F	27,6	170 F	27,0
12.01.82	225 S	24,6	290 S	24,7	250 S	27,0	230 S	26,3		
	310 F	24,6	330 F	24,7	300 F	26,5	330 F	25,1		
05.05.82	298 S	32,7	272 S	29,5	222 S	29,6				
	298 F	29,9	1100 F	29,3	260 F	28,5				
11.05.82	400 S	30,2	420 S	28,7						
	200 F	29,4	2500 F	28,9						
06.11.82	168 S	30,0	192 S	29,8	170 S	31,5	174 S	31,0	165 S	31,0
	168 F	30,0	242 F	29,0	178 F	30,5	167 F	30,0	150 F	28,3
12.03.83	208 S	30,5	150 S	30,5	182 S	32,0	180 S	31,0	168 S	31,0

Fig- L.III.5 - MOYENNE HORAIRE DES TEMPERATURES DE L'EAU (1980 - 1982)
SUR LE LAC AHEME (d'après H.TEXTIER ET MASLIN,1986)

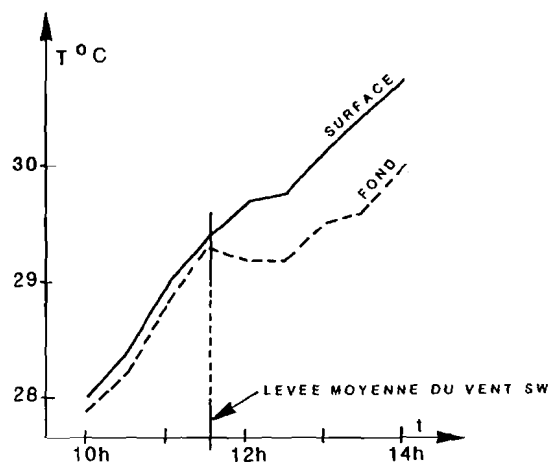


Fig- L.III.6 - VARIATION DE LA SALINITE DU LAC AHEME.COMPARAISON AVEC LE MONO
A AGBANAKIN,LE CHENAL DE AHO A DJEGBAME ET DU COUFFO A L'AMONT DU LAC
(d'après H.TEXTIER ET MASLIN,1986)

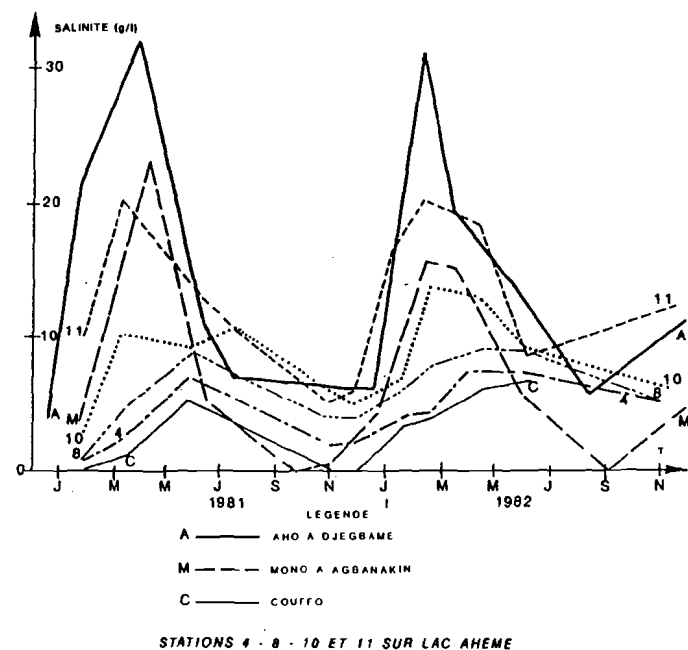
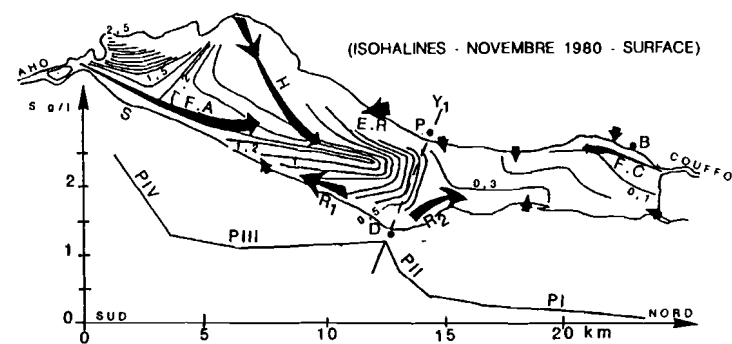


Fig- L.III 8 -SCHEMATISATION DE LA CIRCULATION DES EAUX DU LAC AHAME
A L'ETIAGE,D'APRES TRACAGE NATUREL SALIN
(d'après H.TEXIER ET MASLIN,1986)



LÉGENDE

F.C : COURANT DU COUFFO

F.A : COURANT DE L' AHO

V et H : VENT ET HOULE DE SW

R1 et R2 : RUISSELEMENT PÉRIPHÉRIQUE

E.R : RUISSELEMENT PÉRIPHÉRIQUE

Y1 : RADIALE DE ZONATION SALINE DU LAC
ENTRE POSSOTOURE ET DOUME

PI.PII.PIII.PIV : ZONATION DES GRADIENTS DE SALINITÉ

II. La répartition spatiale des sédiments superficiels

1. Faciès sédimentaires du lac Nokoué

(H. Texier *et al.*, 1980)

(B. Colleuil, 1984)

La carte des litho-faciès du lac Nokoué (cf. Fig. L.III.9) présente la répartition spatiale des caractéristiques granulométriques de la tranche superficielle d'une dizaine de centimètres d'épaisseur du sédiment lagunaire. L'étude citée ne concerne que la fraction granulométrique comprise entre 63 μ et 2 mm. Les résultats sont exprimés en pourcentage ramené au poids de sédiment brut.

La répartition spatiale des différents faciès sédimentaires présents est principalement conditionnée par la topographie du fond lagunaire et le déplacement des masses d'eau continentales et marines dont la charge et le comportement hydrodynamique peuvent varier considérablement au cours des saisons. Dans certaines zones lagunaires l'étude de carottages révèle de légères évolutions des faciès sédimentaires au cours du quaternaire récent.

On distingue trois principaux types de litho faciès sur le lac Nokoué.

a) Les vases :

Ce terme décrit les sédiments contenant une fraction inférieure à 35 % de particules dont la taille dépasse 63 μ .

Ce "faciès vaseux" occupe 14 % de la superficie totale du lac et se situe principalement dans la zone Sud-Ouest du lac qui correspond à la région la plus abritée de la lagune. Ce faciès se rencontre également au fond des dépressions centrales du lac Nokoué. Les vases contiennent généralement une grande proportion de matière végétale en décomposition.

b) Les sables-vaseux :

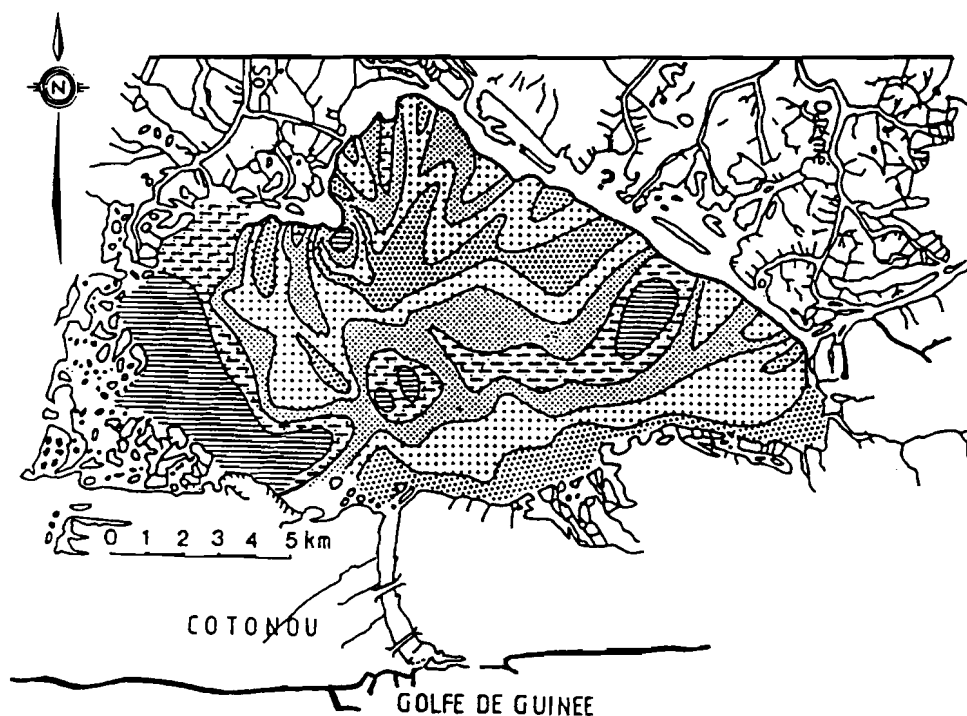
Ce faciès intermédiaire décrit les sédiments contenant une fraction comprise entre 35 % et 75 % de particules dont la taille dépasse 63 μ . Ce faciès est dominant sur un milieu lagunaire de ce type et représente 66 % de la superficie totale pour le lac Nokoué.

Le dépôt de ce faciès semble suivre la même logique que celui du faciès sableux.

Les "sables-vaseux" délimitent les contours des dépressions centrales à sédimentation "vaseuse" au centre de la lagune, suivant les orientations des bancs "sableux" dans le nord et se développent parallèlement à la rive méridionale dans la région sud-est.

Fig- L.III.9 - CARTE SEDIMENTOLOGIQUE DU LAC NOKOUE

(d'après COLLEUIL, 1984)



LEGENDE DES LITHOFACIES

-  a / Sables: $(\varnothing > 63 \mu\text{m}) > 90\%$
-  b / Sables vaseux: $75\% < (\varnothing > 63 \mu\text{m}) < 90\%$
-  c / Sables vaseux: $55\% < (\varnothing > 63 \mu\text{m}) < 75\%$
-  d / Sables vaseux: $35\% < (\varnothing > 63 \mu\text{m}) < 55\%$
-  e / Vases: $(\varnothing > 63 \mu\text{m}) < 35\%$

c) Les sables :

Ce terme décrit les sédiments contenant une fraction supérieure à 75 % de particules dont la taille est supérieure à 63 μ . Le faciès sableux occupe 20 % de la superficie de la lagune et se rencontre principalement au droit de l'embouchure de l'Ouémé et de la Sô, devant le chenal de Totche ainsi que sur de grandes plages dans le sud du lac.

C'est devant les débouchés de ces principaux tributaires que l'on rencontre les fractions les plus grossières du sédiment "sableux" dont les conditions de dépôt restent étroitement dépendantes de l'évolution saisonnière du régime hydrologique de l'Ouémé et de la Sô. Il semble que les sédiments sableux situés le long de la rive sud-est du lac Nokoué correspondent plutôt à une érosion météorique du cordon littoral.

2. Faciès sédimentaires de la lagune de Porto-Novo

(J. Rabier, 1979)

(cf. Fig. L.III.10)

a) Les vases :

Ce faciès occupe la majeure partie du fonds de la lagune, du canal de Totché ainsi que le delta de l'Ouémé. Le sédiment se présente de façon homogène sur l'ensemble de la lagune avec une proportion inférieure à 5 % de particules de taille supérieure à 40 μ .

La teneur en eau est généralement comprise entre 55 et 65 % pouvant dépasser 80 % en présence de débris végétaux grossiers, dans la partie nord de la lagune.

b) Les sables :

Ce faciès est très fréquent le long de la rive nord-est ainsi qu'aux extrémités nord et sud-est de la lagune. Les sables fluviaux sont de deux types : des sables brun-orangé grossiers (1 à 3 mm) rencontrés dans la partie nord du Delta de l'Ouémé (en aval de Gbodji) riches en grains émoussés luisants et des sables fins (0,10 à 0,25 mm) blancs plus fréquents dans le bras nord-sud du fleuve (aux environs de Donoukpa) riches en grains non usés.

Dans la lagune proprement dite, on distingue trois ensembles :

- les sables d'origine fluviale rencontrés le long de la rive nord-occidentale de la lagune au débouché du delta, caractérisés par des granules quartzes grossiers de 1 à 5 mm émoussés luisants en une forte proportion (75 à 90 %).
- les sables issus de l'érosion directe du Continental Terminal, rencontrés le long de la rive orientale, ayant une grande proportion de grains émoussés présentant des figures de corrosion d'origine pédogénétique.

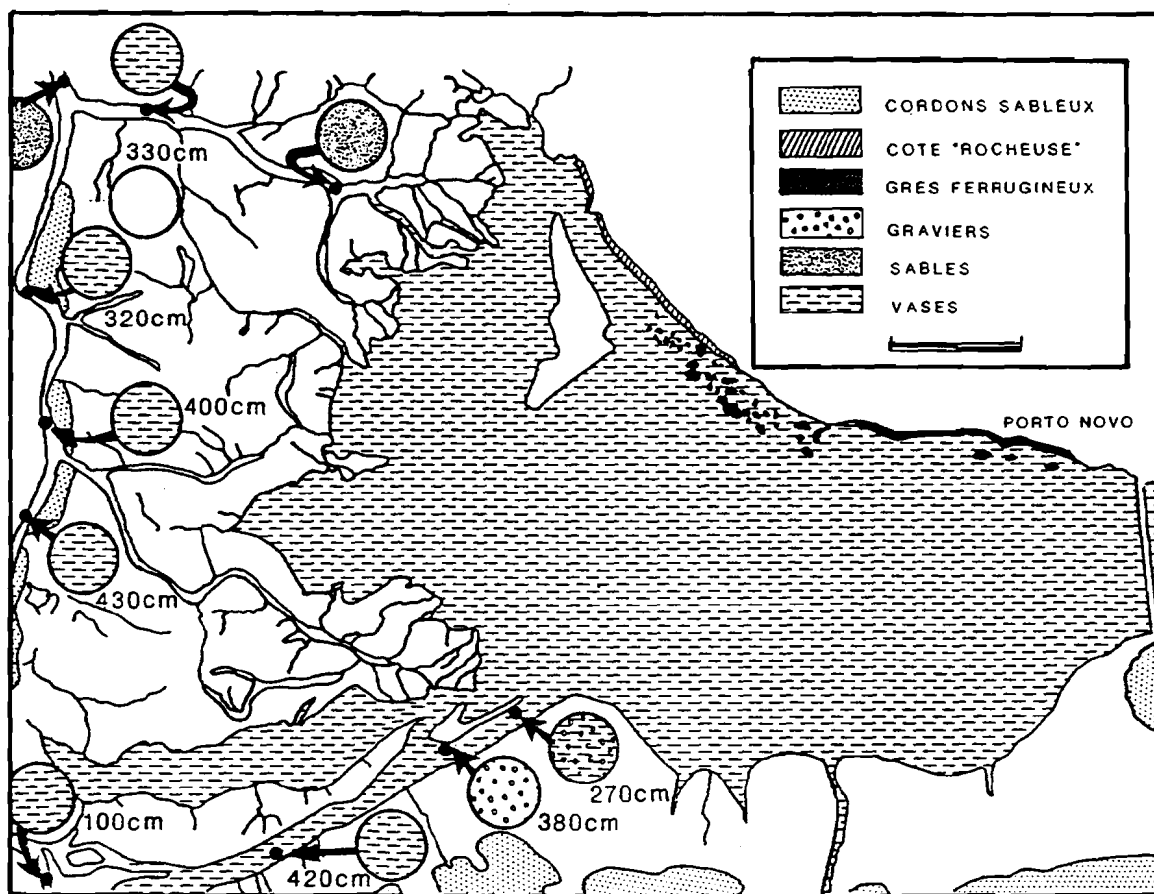


Fig- L.III.10 - CARTE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA LAGUNE DE PORTO NOVO

(D'après J.RABIER ET AL.1979)

- les sables issus de l'érosion du cordon littoral rencontrés dans le canal de Totché et à proximité de son débouché dans la lagune et caractérisés par une grande proportion de grains quarteux émoussés luisants ainsi que la présence de grains ronds mats dans une proportion non négligeable de 5 à 10 %.

Une série de carottages permet d'apporter les précisions suivantes :

- la persistance dans le quaternaire récent de faciès sédimentaires identiques aux faciès actuels à proximité des embouchures du delta.
- la superposition des faciès vaseux actuels sur des faciès sableux anciens dans le centre de la lagune.
- une succession alternée de faciès sableux et vaseux à l'extrémité nord de la lagune avec la présence de faciès riches en débits végétaux (flore actuelle) et de niveaux tourbeux.

3. Faciès sédimentaires du lac Ahémé

(L.M. Oyede, 1983)

Six faciès ont été mis en évidence à partir de l'analyse de 103 échantillons du sédiment superficiel du lac Ahémé. La figure L.III.11 présente leur répartition spatiale.

a) Le faciès sableux :

La fraction comprise entre 2 et 0,0625 mm est supérieure à 90 %.

Faciès localisé principalement le long de la rive orientale du lac, en mode battu.

b) Le faciès sablo-vaseux :

De 75 % à 90 % de fraction comprise entre 2 et 0,0625 mm.

Ce faciès présente une structure annulaire le long des rives du lac et domine au nord de Guézin.

c) Le faciès de "sables très vaseux" :

De 50 % à 75 % de fraction comprise entre 2 et 0,0625 mm.

Ce faciès intermédiaire se présente comme d'étroites bandes le long de la rive occidentale.

d) Le faciès de "vase très sableuse" :

De 25 % à 50 % de fraction comprise entre 2 et 0,0625 mm.

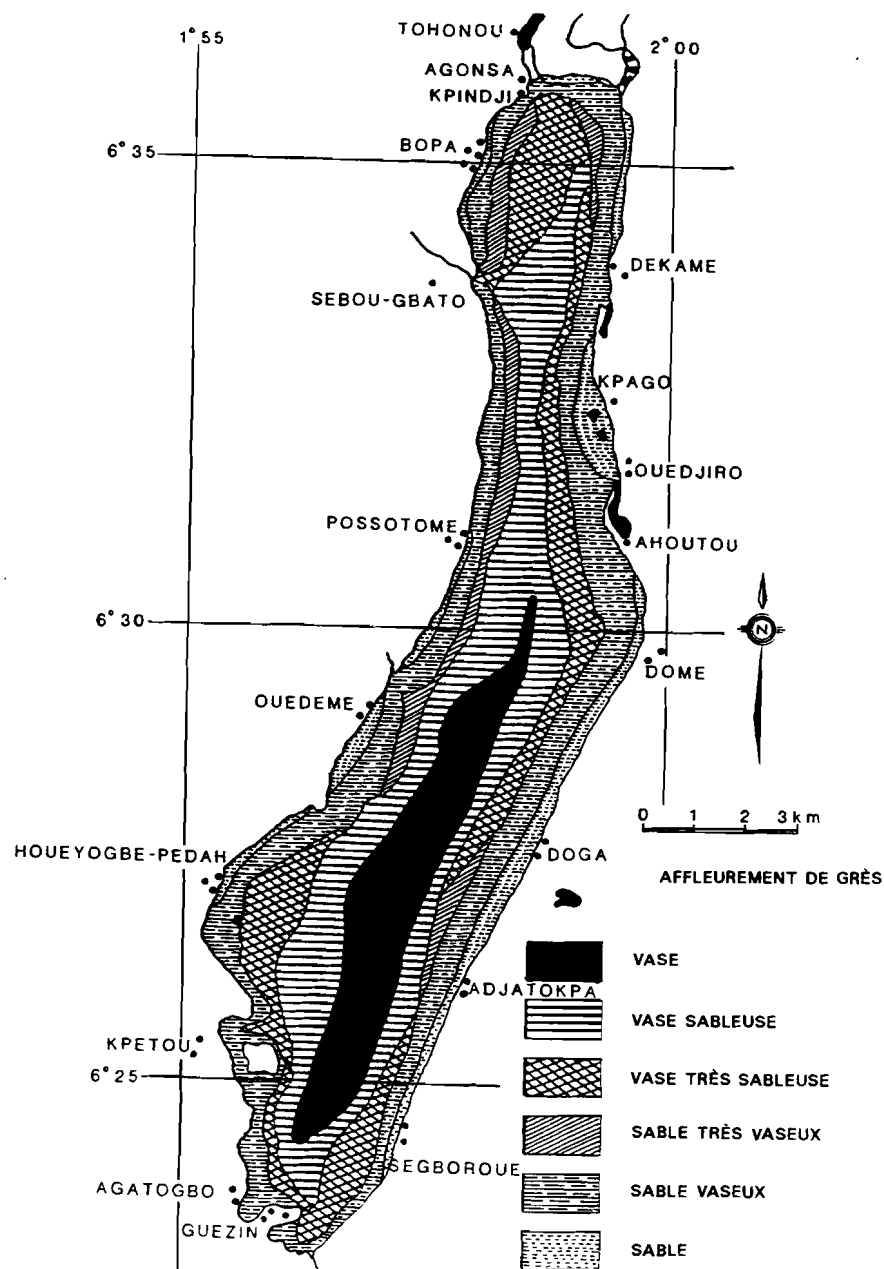


Fig- L.III.11- CARTE SEDIMENTOLOGIQUE DU LAC AHEME (sédiment superficiel)
(d'après M.OYEDE,1983)

Cet autre faciès intermédiaire domine surtout devant l'embouchure du Couffo au Nord et le long de la rive orientale.

e) Le faciès vaso-sableux :

De 10 % à 25 % de fraction comprise entre 2 et 0,0625 mm.

Ce faciès est largement répandu dans toute la partie centrale du lac et couvre environ le tiers de la superficie des fonds.

f) Le faciès vaseux :

Fraction comprise entre 2 μ 0,0625 mm inférieure à 10 %. Ce faciès occupe une position centrale dans toute la partie sud du lac sans correspondre avec les profondeurs maximales.

III. Répartition écologique de la végétation riveraine

De nombreuses études ont été menées sur les peuplements végétaux des rivages lagunaires :

(A. Mondjannagni, 1969 ; E. Adjanohoun, 1966 a et b ; G. Paradis et E. Adjanohoun, 1974 ; G. Paradis, 1975 a-b, 1976 a-b, H. Texier *et al.*, 1980).

D'après P. Pelissier (1963) et G. Paradis (1976 b), le système lagunaire oriental béninois (lac Nokoué et Lagune de Porto-Novo) était entouré d'une forêt marécageuse d'eau douce jusqu'à la création du chenal de Cotonou en 1885. La végétation actuelle est alors la conséquence d'une nouvelle adaptation à un milieu devenu saumâtre, s'accompagnant classiquement d'une baisse de la variété spécifique des peuplements.

On distingue actuellement deux principaux types de végétation répartis en fonction du régime hydrologique des différentes régions des plans d'eau lagunaires.

1. Végétation des rives saumâtres

La plupart des prairies basses périodiquement inondables et soumises nettement à l'influence des eaux saumâtres sont plantées de *Paspalum vaginatum* (Graminées) se présentant parfois sous forme d'un épais matelas végétal, pouvant même être flottant, et caractérisant l'ensemble du pourtour du lac Nokoué ainsi que les zones des bas deltas de la Sô et de l'Ouémé et toute la rive sud de la lagune de Porto-Novo.

Typha australis (Typhaceae) se rencontre dans les zones de plus forte salinité à proximité du chenal de Cotonou et au fond des anses où la salinité est plus permanente comme l'anse de Kétonou, le sud de Gbakpodji sur la rive sud-ouest du lac Nokoué.

On rencontre aussi ponctuellement les parties méridionales du lac Nokoué de la lagune de Porto-Novo, la fougère *Acrostichum aureum* qui serait un témoin d'une ancienne association végétale de mangrove. Quelques traces de mangrove d'installation récente sont observées au niveau du chenal de Cotonou où les eaux rejoignent la salinité de l'eau de mer à l'étiage.

2. Végétation d'eau douce

L'ensemble du delta de l'Ouémé et les rives du chenal de Totché sont plantées d'une végétation plus dulçaquicole caractérisée par des graminées telles que *Echinochloa pyramidalis*, *Vetiveria nigriflora*, *Phragmites australis*, *Vossia cuspidata*, *Sesbania pubescens* (Papilionacé) et *Mitragyna ciliata* (Rubiace). La pénétration plus importante d'eau salée au cours de l'étiage dans le delta de la Sô s'accompagne d'un appauvrissement spécifique au profit des seules prairies à *Paspalum vaginatum*. Enfin, au sud d'Ekpe, une végétation à *Raphia* sp. (Palme) caractérise les vestiges de la forêt marécageuse d'eau douce dégradée par l'homme.

3. Végétation des crues

En période de crue, une végétation continentale flottante à *Pistia stratiotes* (Aracé), *Aspilia africana* (composé), *Ipomea aquatica* (convolvulacé) et *Nymphaea lotus* (Nymphaeacé) se rencontre tout au long des bras deltaïques et du chenal de Totché, jusqu'à la remontée de la salinité d'étiage.

4. Végétation des zones non inondables

Les monticules sableux non inondables sont plantés d'une végétation classique à *Mariscus ligularis*, *Andropogon gayanus* (graminé) et *Hyptis lanceolata* (Labié).

Les autres zones non inondables sont également plantées artificiellement de palmeraie : *Cocos nucifera* (Palmeae) et de palmiers à huile : *Elaeis guineensis* (Palmeae). On retrouve par endroit des vestiges de la forêt tropicale humide semi décidue.

Conclusion

L'état actuel des connaissances de l'environnement physique des lagunes du Bénin permet déjà de resituer leurs caractéristiques parmi celles des milieux similaires du Golfe de Guinée, de mettre en évidence l'importance des facteurs conditionnant leur régime hydrologique et de suivre sur plusieurs années la sensibilité de leur mémoire hydrologique respective, ce qui constitue une bonne approche dans la compréhension de leur fonctionnement à l'échelle globale.

Il apparaît en effet que la connaissance de l'origine, de l'importance et de la qualité des différentes masses d'eau qui se succèdent au cours d'une année hydrologique au sein des lagunes, ainsi que le suivi du mélange des eaux et le calcul de leurs temps de séjour, sont à l'origine de toute réflexion concernant la mise en valeur des milieux saumâtres. Les activités de développement s'orientent essentiellement vers l'irrigation, la production de sel et surtout la pêche qui domine sur les lagunes : pêche par prélèvement direct mais aussi pêche en "acadjas" qui représente, dans le lac Nokoué, une des méthodes traditionnelles d'exploitation halieutique lagunaire les plus originales et les plus rentables au monde, sans oublier les récentes tentatives d'aquaculture intensive, plus sophistiquées et plus délicates. Toutes ces activités demeurent cependant étroitement dépendantes du régime d'ouverture de ces systèmes lagunaires sur la mer.

En effet, l'ensemble du système occidental de la lagune de Grand-Popo et du lac Ahémé reste tributaire de l'ouverture de la passe des Bouches du Roi qui, parce qu'elle est principalement entretenue chaque année par le courant fluvial du Mono, risque de se trouver comblée de plus en plus fréquemment et de plus en plus longtemps à la suite de la construction du barrage de Nangbéto, ce qui provoquera un adoucissement progressif, mais général de tous les plans d'eau.

D'autre part, le fonctionnement caractéristique du lac Nokoué reste totalement dépendant du régime d'ouverture et de fermeture du chenal de Cotonou qui demeure lui-même, comme sur toute la côte du Golfe de Guinée, extrêmement sensible aux conséquences des aménagements littoraux et portuaires.

Les recherches pourraient éventuellement s'orienter désormais vers une meilleure connaissance des mécanismes internes du fonctionnement de chacun de ces milieux à des échelles de temps et d'espace beaucoup plus fines, en s'appuyant sur l'adaptation d'une modélisation déterministe des phénomènes de circulation et de dispersion dans ces lagunes, couplée à une modélisation des phénomènes de production biologique.

Bibliographie

Beck U. - 1980 - Die Binnen und Lagunen - Fischerei des V.R. Benin Eschborn, GTZ.

Colleuil B. - 1984 - Un modèle d'environnement lagunaire soumis aux conditions du climat équatorial tempéré : le lac Nokoué (Bénin). Thèse doct. d'université. Univ. de Bordeaux 135 p., 63 fig.

Colleuil B. ; Texier H. - 1987 - Le complexe lagunaire du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo. in : "Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique". Chap. 3.1.d. - Répertoire UICN-WWF ; M.J. Burgis et J.J. Symoens (Publ.) - Coll. Travaux et Documents de l'Orstom, n° 211, pp. 188-196.

C.T.F.T. - 1963 - Etude sur la pêche lagunaire. Rapp. CTFT. de Kimple, Nogent-sur-Marne.

Dossou C. - 1981 - Peuplement animaux des lagunes du Bénin. in : La pêche du Bénin. IN. FO.S.E.C. Cahiers Etudes et Documents, 4, Cotonou.

Dossou C. - 1985 - Monogènes parasites de poissons d'eau douce au Bénin. Thèse doct. d'Etat. Univ. de Montpellier, 116 p., 29 fig.

Fagbohoun L. - 1981 - L'aquaculture et problèmes de pêches continentales. in : La pêche au Bénin. IN.FO.S.E.C. - Cahiers Etudes et Documents, 4, Cotonou.

Gadel F. ; Texier H. - 1986 - Distribution and nature of organic matter in recent sediments of Lake Nokoué. Benin (West-Africa). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 12, pp. 767-784.

Gaillard M. - 1980 - Etude sédimentologique des milieux de mangrove dans le domaine margino-littoral occidental du Bénin. Laboratoire de Géologie, Univ. du Bénin, Cotonou, 28 p.

Germain P. - 1975 - Contribution à la connaissance du quaternaire récent du littoral dahoméen. Bull. Assesqua, Sénégal, n° 44-45, pp. 33-45.

Jones D. ; Wills M.S. - 1956 - The attenuation of light in sea and estuarine waters in relation to the concentration of suspended solid matter. J. Mar. Bio. Ass., (35), 2, pp. 431-444.

Kwei E.A. - 1977 - Biological, chemical and hydrological characters of coastal lagoons of Ghana. Hydrobiologia, (56), pp. 157-174.

Klingebie A. - 1981-a - Un exemple de la mobilité du trait de côte : le système côtier du Togo et du Bénin. Unesco. Rapp. Sc. Mer, 17, p. 26, Paris.

Klingebie A. - 1981-b - Un exemple d'aménagement côtier non coordonné : la fermeture du chenal lagunaire de Cotonou (Bénin). Unesco. Rapp. Sc. Mer, 17, p. 48, Paris.

Lang J. et Paradis G. - 1977 - Un exemple d'environnement sédimentaire bio-détritique non carbonaté marin : le domaine margino-littoral du Bénin méridional. Rev. Géogr. Phys. Géol.dyn., (19), 3, pp. 295-312, Paris.

Leroux M. - 1970 - La dynamique des précipitations en Afrique occidentale. Thèse, doct. 3è cycle. Public. Direct. Exploit. Météo., n° 23.

Maslin J.L. - 1983 - Les mollusques benthiques d'une lagune du sud-Bénin, le lac Ahémé : les facteurs de leur répartition, dynamique de population et estimation de la production de *Corbula trigona*. Thèse doct. 3è cycle, Univ. de Lyon, 152 p., 68 fig.

Millet B. - 1986-a - Hydrologie et hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical : le lac Togo. Thèse, doct. 3è cycle, Univ. Paris XI, 1984. Coll. Etudes et Thèses de l'Orstom, 1er trim. 1986, 228 p.

Millet B. - 1986-b - Dynamique hydrologique d'un petit système lagunaire tropical : le lac Togo. Période d'étude 1981-1984. Hydrologie Continentale, 1, (1), 15 p., 15 fig.

Millet B. - 1987 - Les lagunes du Togo : le système lagunaire du lac Togo. in : "Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique". Chap. 3.1.C.. Répertoire UICN-WWF ; M.J. Burgis et J.J. Symoens (Publ.) - Coll. Travaux et Documents de l'Orstom, n° 211, pp. 182-187.

Ministère des Travaux Publics, de la Construction et de l'Habitat - 1984 - Rapport de synthèse, étude de développement urbain de la ville de Cotonou, Cotonou.

Mondjannagni A. - 1969 - Contribution à l'étude des paysages végétaux du Bas-Dahomey. Ann. Univ. Abidjan, Sér. G, tome 1, fasc. 2, 191 p.

Nozeran-Pasquier S. - 1976 - Ecologie des mollusques des lagunes du Sud-Dahomey. Centre d'Etudes et de Rech. Paleontol. Biostratigr. - Notes et Contributions n° 11, Univ. Paris XI, Centre d'Orsay, 95 p. 37 fig.

Oyede M. - 1983 - Un exemple de sédimentation biodétritique quaternaire dans le domaine littoral en climat tropical humide : le lac Ahémé. Thèse doct. 3è cycle. Univ. de Dijon, 165 p., 49 fig.

Orstom - 1972 - Monographie du Delta de l'Ouémé (2 tomes). Bureau Central Hydrologique. Orstom. Paris.

Paradis G. - 1976 - Recherches sur le quaternaire récent du Sud du Bénin : étude des thanatocénoses des mollusques. Thèse doct. 3è cycle, Univ. Paris XI, Centre d'Orsay, 173 p.

Paradis G. - 1976 - Contribution à l'étude de la flore et de la végétation du bord de mer du Dahomey. Bull. Museum Nat. Hist. Natur., Paris, 3è sér., n° 383. Botanique, pp. 33-67.

Pliya J. - 1980 - La pêche dans le sud-ouest du Bénin. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris, 296 p.

Rabier J. - 1979 - Etude sédimentologique de la lagune de Porto-Novo. Thèse doct. 3è cycle, Univ. de Bordeaux, n° 1450.

Rabier J. ; Klingebiel A. ; Lang J. - 1979 - Etude sédimentologique de la lagune de Porto-Novo. Bull. Inst. Géol. Bass. Aquit., Univ. de Bordeaux, n° 25, pp. 31-55.

Sanders et Thomas INC. - 1973 - Etude de la 1^è phase et étude définitive pour un nouveau pont, un barrage et la rénovation du pont de Cotonou.

Slansky M. - 1962 - Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. Mém. BRGM, Paris, n° 11, 270 p., 91 fig.

Sogream - 1980 - Etude de faisabilité de l'aménagement hydroélectrique de Nangbeto. Rapport final. Bénin/Togo/PNUD-BRD.

Tastet J.P. - 1975 - Les formations sédimentaires quaternaires à actuelles du littoral du Dahomey. Bull. de liaison Ass. Sénégal. Quatern. Afr., n° 46, pp. 21-44.

Tastet J.P. - 1979 - Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée. Thèse doct. d'Etat, Univ. de Bordeaux, n° 621, 2 tomes, 181 p.

Texier H. ; Dossou C. ; Colleuil B. - 1979 - Etude de l'environnement lagunaire du domaine margino-littoral sud-béninois. Etude hydrologique préliminaire du lac Nokoué. Bull. Inst. Géol. Bass. Aquit., Bordeaux, n° 25, pp. 149-166.

Texier H. ; Colleuil B. ; Profizi J.P. ; Dossou C. - 1980 - Le lac Nokoué, environnement du domaine margino-littoral sud-béninois : bathymétrie, lithofaciès, salinité, mollusque et peuplements végétaux. Bull. Inst. Géol. Bass. Aquit., Bordeaux, n° 28, pp. 115-142.

Texier H. ; Baglo M. - 1982 - Développement de la production du sel marin. Rapport Univ. Nat. du Bénin. Cotonou.

Texier H. - 1984a - Management of the lagoon sector in the People's Republic of Benin. Studies and reviews F.A.O., Rome, n° 61, 2, pp. 735-757.

Texier H. - 1984b - L'évolution hydrologique récente du lac Nokoué (1978-1981), Bénin. Table ronde sur quelques thèmes de recherche scientifique en coopération. USTL. Montpellier, pp. 365-377.

Texier H. ; Maslin J. - 1986 - "Hydrodynamique et facteur physicochimique d'une lagune sous climat semi équatorial du lac Ahémé, Bénin" (à paraître).

Webb J.E. - 1958 - The ecology of the Lagos Lagoon. Phil. Trans. Roy. Soc. London, sér. B, 681, (241), pp. 307-318.

Welcomme R.L. - 1971 - Evolution de la pêche intérieure, son état actuel et ses possibilités. Doc. Nations Unies F.A.O., Rome, n° AT 2938.

Welcomme R.L. - 1971 - An evaluation of the acadja method of fishing as practised in the coastal lagoons of Dahomey. J. Fish. Biol., 4, pp. 39-55.

ANNEXES

Annexe M1

La méthode du vecteur régional

La méthode du vecteur régional

1. Principe de la méthode

Pour vérifier l'homogénéité temporelle des suites de précipitations annuelles, il est habituel d'utiliser la méthode des doubles cumuls. Mais il faut reconnaître que la mise en oeuvre de cette méthode pour toutes les stations du Bénin et pour la période d'observation de ces stations serait une entreprise fastidieuse. Pour remédier à cet inconvénient, on a utilisé la méthode mise au point à l'Orstom, celle du vecteur indice des précipitations annuelles.

L'hypothèse de base est la même que pour le double cumul : à l'échelle de la durée des observations pluviométriques, les variations climatologiques sont pseudo-proportionnelles sur les différents postes pluviométriques d'une même région climatique supposée homogène. Le rapport des moyennes interannuelles établies sur une longue période d'observation à deux postes reste constant, aux fluctuations d'échantillonnage près, celles-ci étant d'autant plus petites que le coefficient de corrélation linéaire entre les deux postes est fort.

Mais au lieu de comparer les totaux annuels de précipitation des stations deux à deux, on crée une suite chronologique d'indices de précipitations annuelles z_i représentatifs de la pluviosité moyenne de l'année i sur une région climatique homogène dans l'espace. Cette suite chronologique est ensuite comparée par double cumul à chacune des stations de la région. Le calcul des indices z_i se schématise comme suit :

Considérons une région climatique comportant M stations observées pendant une période de N années au plus. Soit x_{ai} le total annuel de précipitation de l'année i à la station a et $\bar{x}_a$, la moyenne des totaux annuels de la station a pendant la période d'observation. Pour l'année i , l'indice z_i de la région climatique est lié à la valeur x_{ai} par :

$$\frac{x_{ai}}{\bar{x}_a} = z_i + e_{ai}$$

e_{ai} étant une variable aléatoire indépendante de z_i , d'autant plus petite que le coefficient de corrélation de x avec z est grand. Le programme "vecteur" mis au point par Y. Brunet-Moret calcule par itérations successives les indices z_i pour toute la période d'homogénéisation. L'ensemble de ces indices constitue ainsi "le vecteur régional" qui est tel que la moyenne des indices z_i est rigoureusement égale à 1.

Ce vecteur est ensuite utilisé en graphique de double cumul avec chacune des stations de la région climatique considérée pour vérifier leur homogénéité temporelle. Ces graphiques permettent de détecter des années ou suites d'années anormales, et de déterminer le sens et la valeur de la correction éventuelle à leur apporter.

Dans la pratique, il faut délimiter les régions climatiques présumées homogènes dans l'espace, avant d'utiliser le programme dit "vecteur" sur les données de chaque région déjà critiquées à vue, corrigées (corrections simples) et complétées.

Après un premier passage du programme, une première série de corrections flagrantes est effectuée en même temps qu'une suppression provisoire ou définitive d'années ou de postes entiers manifestement aberrants.

D'autres passages successifs permettent de vérifier la validité des corrections et suppressions précédentes et de mieux cerner les erreurs systématiques les moins évidentes jusqu'à obtention de séries chronologiques plausibles.

2. Son application sur les totaux annuels du Bénin

2.1. Délimitation des régions homogènes

Au total, six régions climatiques ont été retenues pour l'homogénéisation des données. Les limites entre régions ne sont pas formelles, certaines stations limitrophes ayant participé à la fois à deux régions voisines.

Région A : Côte Atlantique (6°N- 6°35'N)

- Période : 58 ans, de 1927 à 1984
- 3 à 4 stations de 1927 à 1943
- 5 à 7 les autres années.

Région B : Sud (6°35'N 7°35'N)

- Période : 60 ans, de 1925 à 1984
- 7 stations en 1926 et 1935
- 8 à 9 stations en 1925 et de 1936 à 1940
- 10 à 15 stations les années suivantes.

Région C : Centre (7°35'N- 9°N)

- Période : 48 ans, de 1937 à 1984
- 3 stations en 1937
- 4 stations de 1938 à 1942
- 5 à 6 stations de 1943 à 1950
- 8 à 9 stations de 1951 à 1961
- 10 à 12 les années suivantes.

Région D : Nord-Ouest (9°N- 11°N) à l'Ouest de 2°E

- Période homogénéisée : 60 ans, de 1925 à 1984
- 3 années de 1925 à 1931
- 4 stations de 1932 à 1940
- 5 stations de 1941 à 1950
- 6 à 8 stations les autres années.

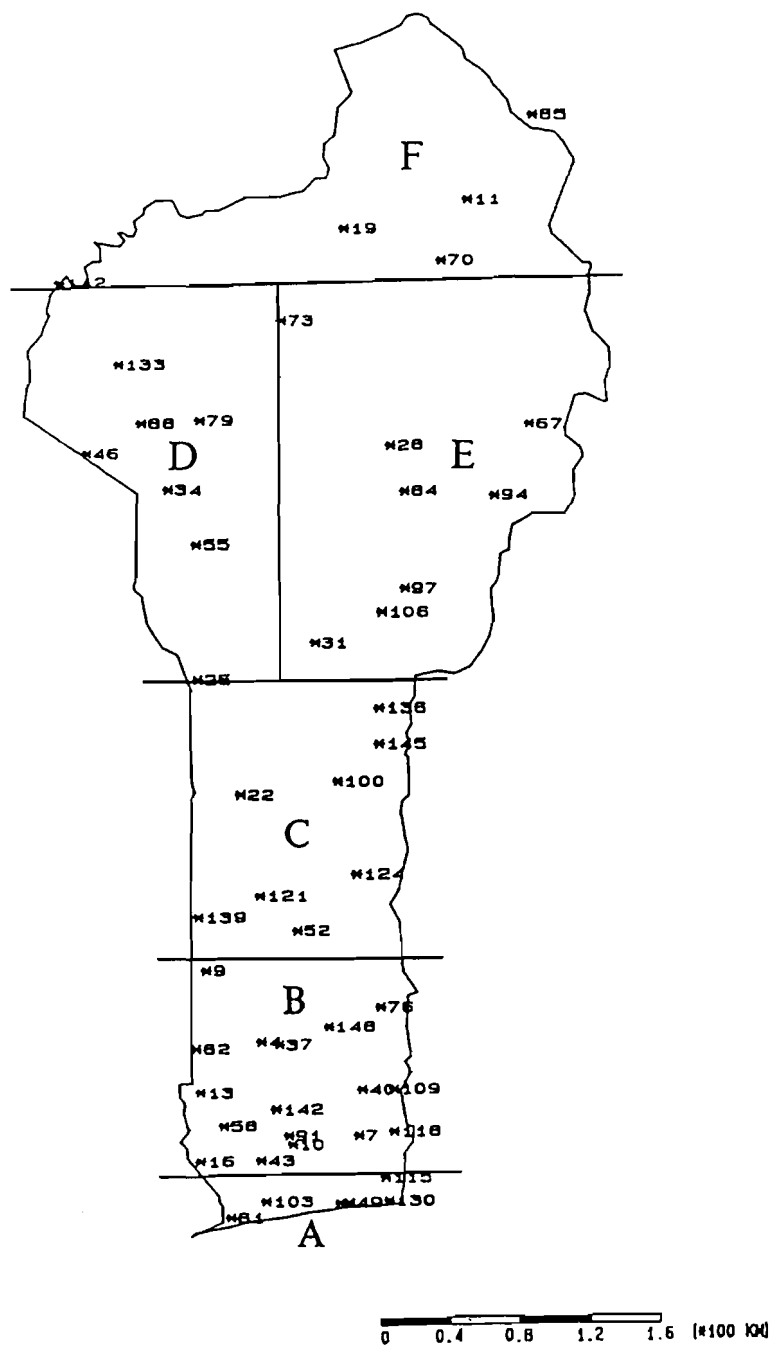


Fig- M.11 - CARTE DES ZONES CLIMATIQUES RETENUES POUR
L'UTILISATION DE LA METHODE DU VECTEUR REGIONAL

Région E : Nord-Est (9°N- 11°N) à l'Est de 2°E

- Période : 60 ans, de 1925 à 1984
- 3 stations de 1925 à 1931
- 4 stations de 1932 à 1946
- 5 stations de 1947 à 1953
- 6 stations de 1954 à 1956
- 7 à 8 stations les dernières années.

Région F : Grand-Nord (11°N- 12°30'N)

Cette zone comprend la station de GAYA au Niger.

- Période : 48 ans, de 1937 à 1984
- 3 stations de 1937 à 1948
- 4 stations de 1949 à 1953
- 5 à 7 stations les années suivantes.

2.2. Résultats et interprétations

Les valeurs des composantes z_i du vecteur régional Z de chaque région sont fournies dans le tableau (M1A). Ces valeurs caractérisent régionalement la pluviosité d'une année donnée i : une valeur z_i inférieure à 1 caractérise une année déficitaire par rapport à la moyenne interannuelle régionale, et une valeur z_i supérieure à 1 caractérise une année excédentaire. On voit par exemple que :

- L'année 1968 a été très excédentaire sur la Côte Atlantique, le Sud et le Centre (valeurs respectives de $z_i = 2,1258 - 1,6079$ et $1,3202$).

- De même, les années 1962 et 1963 ont été excédentaires dans les mêmes régions :

$$z_i = \begin{cases} (1962) : 1,7837 ; 1,3124 ; 1,2761 \\ (1963) : 1,5183 ; 1,5648 ; 1,5633 \end{cases}$$

- L'année 1957 a été très arrosée dans les régions Sud, Centre, Nord-Ouest, Nord-Est et Grand-Nord suivie d'une année 1958 très sèche dans les mêmes régions :

$$z_i = \begin{cases} (1957) : 1,3171 ; 1,2601 ; 1,2786 ; 1,2396 ; 1,2268 \\ (1958) : 0,8291 ; 0,6211 ; 0,7416 ; 0,6861 ; 0,8926 \end{cases}$$

- L'année 1977 a été sèche partout et plus sévèrement sur la côte et au Sud ($z_i = 0,5690 ; 0,6620 ; 0,8161 ; 0,7099 ; 0,7571 ; 0,9670$ du Sud au Nord).

Tableau M1.A - Vecteurs des indices annuels de précipitation

Région Année	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
1925		0.9926		1.1442	1.1109	
1926		0.8226		0.9337	0.9417	
1927	0.6093	0.8592		1.0890	1.0517	
1928	0.8230	0.8732		1.1676	0.9969	
1929	1.0391	1.1141		1.0422	1.3281	
1930	0.9479	0.8606		0.9844	1.0458	
1931	0.8985	0.8985		1.2518	1.2219	
1932	0.8602	0.8535		0.9145	0.9906	
1933	1.3031	1.4377		1.0313	1.0272	
1934	1.0593	1.1385		1.1274	1.1434	
1935	1.2590	1.0726		1.3005	1.2475	
1936	0.7503	0.8254		0.9551	0.9211	
1937	0.7529	0.8637	1.0213	0.8805	0.9330	0.8312
1938	0.7896	0.9192	0.8657	0.7894	0.8682	0.8949
1939	0.8949	0.9069	1.0330	1.2110	1.1889	1.1110
1940	0.9820	0.9504	0.9630	1.0408	1.1546	0.9717
1941	0.8777	0.9506	0.9898	1.0132	0.9776	0.9706
1942	0.9782	0.8790	0.8055	0.8047	0.8506	0.6881
1943	1.0240	0.9132	0.8636	0.9467	0.8965	0.9932
1944	0.7234	0.9118	1.0375	0.8899	0.9428	1.0148
1945	0.7624	0.7756	0.8318	0.9173	0.8712	0.9788
1946	0.7335	0.7830	0.6732	0.7899	0.7410	1.0302
1947	1.2124	1.0433	1.3328	0.9380	1.1831	0.9503
1948	0.7287	0.7980	0.7027	0.8967	0.9827	1.0864
1949	0.8769	1.1074	1.2971	1.1169	1.0312	0.9133
1950	0.8418	0.9057	0.9155	0.8387	0.8802	0.9914
1951	0.9003	1.1388	1.0809	1.1838	1.3054	1.1624
1952	0.9826	1.1230	1.0949	1.1280	1.0105	1.0816
1953	0.8447	1.0339	1.1717	1.1699	1.1918	1.2827
1954	1.1023	1.1471	0.9184	0.9696	0.9425	1.1576
1955	1.1189	1.1771	1.1866	1.2114	1.2000	1.2161
1956	0.9611	0.9448	0.8514	0.9616	0.8755	1.0787
1957	1.2392	1.3171	1.2601	1.2786	1.2396	1.2268
1958	1.1008	0.8291	0.6211	0.7416	0.6861	0.8926
1959	1.2064	1.1817	1.1160	1.0008	1.0363	1.0492
1960	1.1711	1.2793	1.2820	1.0892	1.2023	0.9957

Tableau M1.A - Vecteurs des indices annuels de précipitations

Région Année	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
1961	1.1791	0.9992	0.9339	0.8351	0.9042	0.8522
1962	1.7837	1.3124	1.2761	1.1608	1.1892	1.1443
1963	1.5183	1.5648	1.5633	1.2460	1.2134	1.1128
1964	0.9558	0.8958	0.8846	1.0760	0.9432	1.1438
1965	1.3027	1.0447	1.0064	0.9578	0.9234	0.9446
1966	0.8279	1.0518	1.0478	0.9789	0.9513	0.9603
1967	1.0630	0.9846	1.0763	1.1070	1.0563	1.0027
1968	2.1258	1.6079	1.3202	1.1599	1.2343	1.0152
1969	1.1492	0.9090	1.0379	1.1275	1.0562	1.1327
1970	0.9358	1.0813	0.9591	0.9605	0.8586	1.0661
1971	0.8259	0.7779	1.0073	0.8825	0.8910	0.9570
1972	1.0755	0.9453	0.8502	0.9491	0.8501	1.0422
1973	0.8493	0.8741	1.0590	0.9223	1.0314	0.7828
1974	1.1549	1.0438	1.0076	0.9872	0.9034	0.9809
1975	1.0588	0.9917	1.0478	0.9846	0.9640	1.0849
1976	0.8083	0.7168	0.8773	0.9526	0.9160	0.9351
1977	0.5690	0.6620	0.8161	0.7099	0.7571	0.9670
1978	1.0905	1.0887	1.0691	1.0498	1.0200	1.0535
1979	1.1512	1.2824	1.1561	1.1237	1.0941	0.9281
1980	0.7700	1.1634	0.9272	0.9933	0.8394	0.8940
1981	0.7394	0.9033	0.8654	0.8855	0.8223	0.9491
1982	1.1408	0.8171	0.7641	0.8366	0.8558	0.8374
1983	0.8696	0.6476	0.5755	0.6817	0.6078	0.7894
1984	0.7041	1.0060	0.9574	0.7919	0.8981	0.8545
Moyenne	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ecart-type	0.2647	0.1959	0.1944	0.1464	0.1555	0.1213

- La suite d'années 1980-1984 a été sèche partout avec une persistance de 1981 à 1983 et une amélioration en 1984 (sauf sur la côte). Dans cette série, la sécheresse de 1983 a été particulièrement sévère du Sud au Nord du pays : (z_i 1983 = 0,8696 ; 0,6476 ; 0,5755 ; 0,6817 ; 0,6078 ; 0,7894).

Pour chaque région, ce vecteur régional sert de référence et est utilisé pour la détection des erreurs systématiques des relevés en utilisant la méthode du double cumul.

Pour l'estimation de la moyenne sur la période de référence, on peut également utiliser ce vecteur. Les totaux annuels de pluies manquantes sont calculés à l'aide des composantes z_i du vecteur régional :

$$x_{ai} = \bar{x}_a \cdot z_i$$

où x_{ai} est le total de l'année i à la station a ; et $\bar{x}_a$ est la moyenne observée à la station a .

Le gain d'information, c'est-à-dire la réduction de l'écart-type de la moyenne, dépend étroitement du coefficient de corrélation entre la station considérée et le vecteur régional.

On peut estimer cet écart de la façon suivante (R. Véron) :

Si VaK = est la variance observée à la station a sur K années,
 $Va'n$ = l'estimation de la variance sur la période étendue sur n années,
 R^2 = coefficient de corrélation

on a : $Va'n = E.Va$

$$\text{où} \quad E = 1 + \left(1 - \frac{K}{n}\right) \left[\frac{1 - (K - 2) R^2}{(K - 3)} \right]$$

et l'écart-type de la moyenne étendue est alors égal à $Va'n/K$.

Il est plus parlant de traduire cette efficacité relative sous la forme du nombre d'années "efficaces" n' auquel correspond l'échantillon étendu. En d'autres termes, n' varie de K (aucun gain) à n (gain maximal) et s'évalue par la formule : $n' = K / E$.

On trouvera dans le tableau (M1B) les résultats obtenus au différents postes du Bénin.

Tableau M1.B - Evaluation des moyennes sur la période d'extension

N°	Nom de station	Echantillon observé		Echantillon étendu				
		Nombre d'années	Pluie moyenne en mm PM	Période de l'extension	Coefficient de corrélation avec Z	Pluie moyenne en mm	Ecart-type de moyenne en mm	Nombre d'années efficaces
001	COTONOUAERO	31	1284	1927-84	0,977	1193	49	56
004	ABOMEY	57	1071	1925-84	0,907	1084		
007	ADJON	50	1132	1925-84	0,921	1120		
009	AGOUNA	14	985	1925-84	0,543	1041	50	17
010	ALLADA	48	1063	1925-84	0,872	1055		
011	ALFAKOARA	15	898	1937-84	0,494	926	39	17
013	APLAHUE	55	1084	1925-84	0,903	1098		
016	ATHIEME	48	1001	1925-84	0,890	990	17	57
019	BANKOARA	31	1000	1937-84	0,760	995		
022	BANTE	38	1132	1937-84	0,917	1123		
025	BASSILA	33	1202	1925-84	0,799	1209	32	46
028	BEMBEREKE	58	1237	1925-84	0,802	1244		
031	BETEROU	30	1142	1925-84	0,922	1191		
034	BIRNI	28	1245	1925-84	0,907	1262		
037	BOHICON	44	1100	1925-84	0,912	1098	36	56
040	BONOU	21	1113	1925-84	0,830	1140	45	37
043	BOPA	56	866	1925-84	0,907	875		
046	BOUKOUMBE	58	1071	1925-84	0,850	1064	23	59
048	COTONOU-PORT	15	1003	1927-84	0,974	1049	32	51
049	COTONOU-VILLE	57	1257	1927-84	0,959	1255		
052	DASSA-ZOUME	44	1122	1937-84	0,917	1129	38	47
055	DIIOUGOU	50	1338	1925-34	0,852	1336		
058	DOGBO-TOTA	23	1126	1925-84	0,857	1053	41	41
060	GOUKA	16	1034	1937-84	0,808	1079	39	27
061	GRAND-POPO	51	971	1927-84	0,958	960	36	57
064	INA	38	1224	1925-84	0,901	1238		
067	KALALE	28	1183	1925-84	0,833	1208	28	44
070	KANDI	48	1060	1937-84	0,861	1064	24	48
073	KEROU	23	1101	1925-84	0,774	1121	28	36
076	KEIOU	32	1032	1925-84	0,888	996		
078	KORORO	15	1069	1937-84	0,593	1144	70	19
082	LONKLY	24	1147	1925-84	0,947	1097		
085	MALANVILLE	42	845	1937-84	0,791	833	17	46
088	NAITHINGOU	60	1318	1925-84	0,864	1325	28	60

Tableau M1.B - Evaluation des moyennes sur la période d'extension

N°	Nom de station	Echantillon observé		Echantillon étendu				
		Nombre d'années	Pluie moyenne en mm PM	Période de l'extension	Coefficient de corrélation avec Z	Pluie moyenne en mm	Ecart-type de moyenne en mm	Nombre d'années efficaces
091	NIACOLI	42	1165	1925-84	0,900	1151	29	54
094	NKKI	60	1193	1925-84	0,845	1194		
097	OKPARA	28	1171	1925-84	0,951	1216	34	53
100	OUESSE	20	979	1937-84	0,921	998	28	39
103	OUIDAH	53	1138	1927-84	0,967	1159	47	58
106	PARAKOU	59	1176	1925-84	0,793	1183	28	60
108	PENESSOULOU	15	1197	1925-84	0,376	1278	54	16
109	POBE	56	1179	1925-84	0,905	1199	31	59
110	PIRA	16	1139	1937-84	0,913	1189	49	35
112	PORGA	21	911	1925-84	0,555	951	30	25
115	PORTONOVO	56	1372	1927-84	0,963	1373	46	58
118	SAKEIE	58	1178	1925-84	0,881	1186		
121	SAVALOU	35	1197	1937-84	0,866	1159		
124	SAVE	48	1098	1937-84	0,904	1114	38	48
127	SEGBANA	20	1147	1937-84	0,839	1096		
130	SEME	37	1479	1927-84	0,959	1445	61	55
133	TENGUEIA	48	1085	1925-84	0,755	1092		
136	TCHACOUROU	42	1187	1937-84	0,939	1159		
139	TCHETI	18	1100	1937-84	0,941	1141		
142	TOFFO	30	1036	1925-84	0,944	980	32	54
145	TOLI	39	1131	1937-84	0,926	1133		
148	ZAGNANADO	56	1032	1925-84	0,909	1038		

Annexe M2

La méthode CAH :

(Classement Ascendant Hiérarchique)

La méthode CAH : son utilisation pour l'étude des régimes pluviométriques

1. Présentation de la méthode

La méthode CAH (Classement Ascendant Hiérarchique) est utilisée pour effectuer des partitions de populations d'individus, définis chacun par un certain nombre de variables.

Si l'on note N le nombre d'individus et n le nombre de variables, on peut représenter la population par un nuage de N points dans un espace à n dimensions. On peut affecter à chaque individu une masse et doter l'espace d'une distance. L'inertie totale de ce nuage par rapport au centre de gravité caractérise alors la dispersion du nuage.

Lorsque l'on effectue une partition, on regroupe les individus en classes. Chaque classe est alors représentée par son centre de gravité et a comme poids la somme de ceux des individus qui la composent. Le nuage constitué par les centres de gravité des classes, a le même centre de gravité que le nuage constitué par la totalité des individus et l'on peut calculer l'inertie "extraclasse" qui est la somme des inerties de chaque classe par rapport à ce point. Chaque classe forme un sous-nuage dont l'hétérogénéité peut se quantifier par son inertie par rapport à son centre de gravité. La somme des inerties de chacun des sous-nuages forme l'inertie "intraclasse". Il est facile de montrer que la somme des inerties intraclasse et extraclasse est égale à l'inertie totale du nuage.

Une partition se traduit toujours par une perte de l'information. Celle-ci sera d'autant plus faible, donc la partition d'autant plus représentative, que les classes seront homogènes et distantes entre elles, c'est-à-dire que l'inertie intraclasse représentera un faible pourcentage de l'inertie totale. La perte d'information liée à la fusion de deux classes peut être quantifiée par l'augmentation correspondante de l'inertie intraclasse, le "saut d'inertie".

La méthode CAH à partir de la partition initiale où chaque classe est constituée d'un individu (inertie intraclasse : 0 % ; inertie extraclasse : 100 %) va définir une série de partitions obtenues par fusions successives des deux classes les plus voisines, c'est-à-dire en minimisant le saut d'inertie. $N-1$ partitions sont ainsi faites successivement, la dernière est composée d'une seule classe constituée de l'ensemble des individus (inertie intra : 100 % ; inertie extra : 0 %).

Cette méthode nécessite bien sûr l'usage d'un ordinateur. Elle est incluse dans de nombreux logiciels (ADDAD, SAS, etc.). Les résultats obtenus peuvent être accompagnés de nombreuses sorties qui facilitent leurs interprétations :

- l'arbre de la hiérarchie présentant l'ordre des fusions des classes,
- la liste hiérarchisée des sauts d'inertie correspondant à chaque fusion,

- la décomposition selon les axes des différentes variables de l'inertie intraclasse,
- la distance du centre de gravité de chaque classe au centre de gravité du nuage avec la contribution de chacune des variables,
- le profil de chaque classe,
- etc.

2. L'utilisation de la méthode pour l'étude des régimes pluviométriques

2.1. Choix des variables

Pour l'étude des profils pluviométriques, nous avons caractérisé chaque station par la valeur des pluies moyennes mensuelles interannuelles.

Pour l'étude de la répartition spatio-temporelle nous avons caractérisé chaque année par les valeurs observées sur chacune des cinq zones durant les mois pluvieux (mars à novembre pour les zones 1 à 3, avril à octobre pour les zones 4 et 5). La prise en compte des mois de saison sèche introduirait en effet de l'inertie supplémentaire qui compliquerait inutilement les interprétations.

2.2. Choix de la distance

En pratique le choix doit se faire entre la distance euclidienne et celle du CHI2. Désirant étudier des répartitions sans tenir compte des effets d'abondance, nous avons choisi la distance du CHI2.

2.3. Choix des poids

Pour la même raison qu'au paragraphe 2.1., nous avons affecté un même poids à chaque année.

Annexe M3

Application de la Loi des Fuites à l'étude de la pluviométrie

Application de la Loi des Fuites à l'étude de la pluviométrie

Le total pluviométrique sur une période P donnée n'est que la somme des hauteurs d'averses tombées au cours de la période. S'il y a "n" événements pluvieux, on peut donc écrire :

$$H_n = \sum_{i=1}^n h_i$$

avec H_n = hauteur totale tombée au cours des "n" événements,
 h_i = hauteur tombée au cours du ième événement.

En admettant que les différentes valeurs de h_i sont la réalisation de "n" tirages indépendants dans une même distribution dont on notera la densité de probabilité f , la distribution des valeurs de H_n obéira à une loi statistique ayant la densité de probabilité F_n suivante :

$$F_n = f^{*n} \quad (1)$$

(*ⁿ indiquant une puissance au sens du produit de convolution).

Admettons que la distribution des durées entre deux événements successifs soit stationnaire et appelons t la fonction de densité de cette distribution. La probabilité qu'il y ait plus de n (ou n+1) événements au cours d'une durée P est égale à la probabilité que la somme de n (ou n+1) durées interévénements soit inférieure à P. On a donc, si $g(P, n)$ est la probabilité qu'il y ait n événements au cours de la période P :

$$g(P, n) = \int_0^P (t^{*n} - t^{*n+1}) \quad (2)$$

(*ⁿ indiquant une puissance au sens du produit de convolution).

Tant que les hypothèses de stationnarité des distributions initiales et d'indépendance des tirages restent valables on peut donc déduire de ces distributions celle des totaux pluviométriques sur n'importe quelle période P. Si on note $G(P, H)$ sa fonction de densité, on a en effet :

$$G(P, H) = \sum_{n=0}^{\infty} g(P, n) \cdot F_n(H) \quad (3)$$

Si on admet que la distribution des hauteurs des événements est une loi exponentielle :

$$f(h) = \frac{1}{h_0} \exp\left(-\frac{h}{h_0}\right)$$

h_0 = hauteur moyenne d'un événement.

L'expression (1) devient :

$$F_n(H) = \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{H}{h_o}\right)^{n-1} \cdot \frac{1}{h_o} \exp\left(-\frac{H}{h_o}\right) \quad (1')$$

C'est une Loi de Pearson III à paramètre de forme entier.

Si on admet que la distribution des durées interévénements suit également une loi exponentielle :

$$t(T) = \frac{1}{T_o} e^{-\frac{T}{T_o}}$$

(T_o = durée moyenne interévénements)

l'expression (2) devient :

$$g(P, n) = \frac{\exp(-P/T_o) \cdot (P/T_o)^n}{n!} \quad (2')$$

C'est une Loi de Poisson de paramètre P/T_o c'est-à-dire le nombre moyen d'événements au cours du mois.

L'expression (3) s'écrit alors :

$$G(P, H) = \frac{1}{h_o} \exp\left(-\frac{P}{T_o}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H}{h_o}\right) \cdot \frac{P}{T_o} \cdot \left[\sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{H}{h_o}\right)^i \cdot \left(\frac{P}{T_o}\right)^i \cdot \frac{1}{i! (i+1)!} \right]$$

On peut exprimer la partie entre crochets à l'aide de la fonction de Bessel modifiée d'ordre 1

$$I_1(2\sqrt{u}) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\sqrt{u})^{2i+1}}{i! (i+1)!}$$

L'expression (3) devient alors :

$$G(P, H) = \frac{1}{h_o} \exp\left(-\frac{P}{T_o}\right) \exp\left(-\frac{H}{h_o}\right) \cdot I_1\left(2\sqrt{\frac{H \cdot P}{h_o \cdot T_o}}\right) \cdot \sqrt{\frac{h_o \cdot T_o}{H \cdot P}}$$

C'est l'expression de la Loi des Fuites.

Les différents modes d'ajustements des paramètres, les principales caractéristiques de la loi, les programmes Fortran s'y rapportant et un exemple d'application, sont très bien décrits dans l'article de P. Ribstein "Loi des Fuites" (Cah. Orstom Hydrol. Vol. XX - n° 2 - 1983).

Les hypothèses implicites de la Loi des Fuites autorisent les inférences suivantes :

1. Si sur une période P la distribution des totaux pluviométriques suit une Loi des Fuites de paramètre d'échelle et de forme S et α , la distribution des totaux sur une période P' inférieure à P suit une Loi des Fuites de paramètre d'échelle et de forme S et $\alpha.P'/P$.
2. Si sur une période P la distribution des totaux pluviométriques suit une Loi des Fuites de paramètre d'échelle et de forme S et α , la distribution des valeurs extrêmes est une loi de Gumbel censurée à la valeur positive de paramètre d'échelle S et de position S. En α .

La démonstration de la première assertion se déduit aisément de ce qui précède. Celle de la seconde est également assez simple :

Admettre une Loi des Fuites de paramètre S et α pour décrire la distribution des totaux pluviométriques revient à admettre :

- a) que la distribution des hauteurs d'averses suit une loi exponentielle de paramètres,
- b) que la distribution du nombre d'événement au cours de la période suit une Loi de Poisson de paramètre α .

Dans ces conditions, s'il y a eu n averses au cours de la période, la probabilité que l'averse la plus forte soit inférieure à une valeur donnée est :

$$P_n(x) = \left[1 - \exp \left(- \frac{x}{S} \right) \right]^n$$

La distribution des valeurs extrêmes est donc :

$$G(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\exp(-\alpha) \cdot \alpha^n}{n!} \left[1 - \exp \left(- \frac{x}{S} \right) \right]^n$$

G(x) n'est autre que le développement en série de l'expression :

$$G(x) = \exp \left(- \alpha \exp \left(- \frac{x}{S} \right) \right)$$

qui est la loi de Gumbel de paramètre d'échelle S et de position S. En α .
x devant être toujours supérieur à 0 ou nul, la loi est dite censurée aux valeurs positives ou nulles.

Conclusion :

Malgré une expression mathématique un peu lourde, la Loi des Fuites est très simple puisqu'elle n'a que deux paramètres : le nombre moyen d'événements pluvieux au cours de la période (P/T_0) et la hauteur moyenne d'un événement pluvieux (H_0). L'existence de totaux nuls ne nécessite pas de tronquer la loi *.

La qualité des ajustements de cette loi sur les totaux mensuels valide a posteriori ses hypothèses de départ. Les paramètres correspondent à une réalité physique et leur cartographie a un sens. L'extrapolation pour d'autres pas de temps est possible et justifiée. On peut en déduire la distribution des valeurs extrêmes. On trouvera ci-après, une table simplifiée de la Loi des Fuites et sa représentation graphique pour diverses valeurs du paramètre de forme.

Si on recherche par exemple la distribution des hauteurs de pluie tombée au cours du mois d'avril au poste de Save (n° 124), on procédera de la façon suivante :

1°) A partir des cartes, on détermine les paramètres de la Loi des Fuites à utiliser à savoir :

- paramètre de forme $\alpha = 5$ événements par mois,
- paramètre d'échelle $S = 24$ millimètres.

2°) On peut déterminer les distributions des hauteurs de pluie tombée au cours du mois soit à partir de la table simplifiée de la Loi des Fuites, soit à partir des abaques.

a) utilisation de la table simplifiée :

Par interpolation entre les valeurs données pour les paramètres de forme 4 et 6 on peut déduire les valeurs caractéristiques de la distribution pour le paramètre de forme 5 correspondant au poste de Save. La distribution des hauteurs des pluies s'obtient alors en multipliant les valeurs ainsi obtenues par le paramètre d'échelle. Par exemple, si on veut estimer la valeur de la pluie décennale sèche, on lit 0,82 pour la variable réduite correspondant à $f = 4$ et 1,98 pour $f = 6$.

Par interpolation on déduit, pour $f = 5$ $X/S = 1,4$, soit : $X = 1,40 \times 24 = 33,6$ mm.

b) utilisation des abaques :

La démarche à suivre est la même. Entre les courbes correspondant à $f = 4$ et $f = 6$, on peut tracer par interpolation la courbe correspondant à $f = 5$ et définir ainsi la totalité de la distribution.

A l'intersection d'une ligne "paramètre de forme" et d'une colonne "fréquence", est donnée la valeur correspondante de la variable réduite X/S (S étant le paramètre d'échelle).

(*) On remarquera que l'adoption d'une loi de Pearson III tronquée revient implicitement à admettre :

- une loi exponentielle pour la distribution des hauteurs,
- deux valeurs possibles pour le nombre d'événements au cours de la période : 0 (total nul) et le nombre moyen d'événements survenus lors des périodes ayant des totaux non nuls.

Table simplifiée de la Loi des Fuites

f	Fréquence au non dépassement					1/2	Fréquence au dépassement				
	1/100	1/50	1/20	1/10	1/5		1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
0,1	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,68	1,64	2,37
0,2	-	-	-	-	-	-	0,0	0,66	1,42	2,43	3,19
0,3	-	-	-	-	-	0,0	0,30	1,11	1,91	2,96	3,75
0,4	-	-	-	-	-	0,0	0,61	1,45	2,29	3,38	4,20
0,5	-	-	-	-	-	0,0	0,87	1,75	2,62	3,75	4,60
0,6	-	-	-	-	-	0,0	1,10	2,01	2,91	4,08	4,95
0,7	-	-	-	-	0,0	0,01	1,31	2,25	3,18	4,39	5,28
0,8	-	-	-	-	0,0	0,15	1,50	2,48	3,44	4,68	5,60
0,9	-	-	-	-	0,0	0,28	1,68	2,70	3,68	4,95	5,89
1,0	-	-	-	-	0,0	0,40	1,86	2,91	3,92	5,22	6,18
2,0	-	0,0	0,0	0,0	0,24	1,47	3,42	4,73	5,96	7,50	8,62
4,0	0,0	0,02	0,37	0,82	1,54	3,49	6,16	7,84	9,37	11,26	12,61
6,0	0,36	0,68	1,29	1,98	3,00	5,49	8,71	10,67	12,44	14,59	16,12
8,0	1,08	1,55	2,39	3,28	4,54	7,49	11,17	13,37	15,34	17,71	19,39
10,0	1,96	2,56	3,60	4,66	6,14	9,50	13,57	15,98	18,12	20,69	22,49
12,0	2,95	3,67	4,89	6,11	7,77	11,50	15,93	18,53	20,83	23,58	25,49
14,0	4,03	4,85	6,23	7,60	9,44	13,50	18,27	21,04	23,48	26,39	28,42
16,0	5,16	6,09	7,63	9,13	11,13	15,50	20,58	23,52	26,09	29,15	31,27
18,0	6,36	7,38	9,06	10,69	12,84	17,50	22,87	25,96	28,65	31,85	34,08
20,0	7,60	8,71	10,52	12,27	14,56	19,50	25,14	28,38	31,19	34,52	36,84
25,0	10,84	12,16	14,28	16,31	18,93	24,50	30,78	34,34	37,43	41,06	43,58
30,0	14,27	15,77	18,17	20,44	23,36	29,50	36,35	40,21	43,54	47,46	50,15
35,0	17,82	19,49	22,14	24,64	27,82	34,50	41,87	46,01	49,56	53,73	56,60
40,0	21,47	23,30	26,19	28,9	32,35	39,50	47,36	51,75	55,52	59,93	62,95
50,0	29,01	31,13	34,45	37,54	41,46	49,50	58,25	63,10	67,26	72,09	75,41
60,0	36,77	39,16	42,87	46,31	50,65	59,50	69,05	74,33	78,83	84,06	87,63
80,0	52,83	55,67	60,08	64,14	69,23	79,50	90,48	96,51	101,63	107,54	111,57
100,0	69,35	72,60	77,62	82,22	87,97	99,50	111,74	118,42	124,09	130,62	135,07

f : paramètre de forme

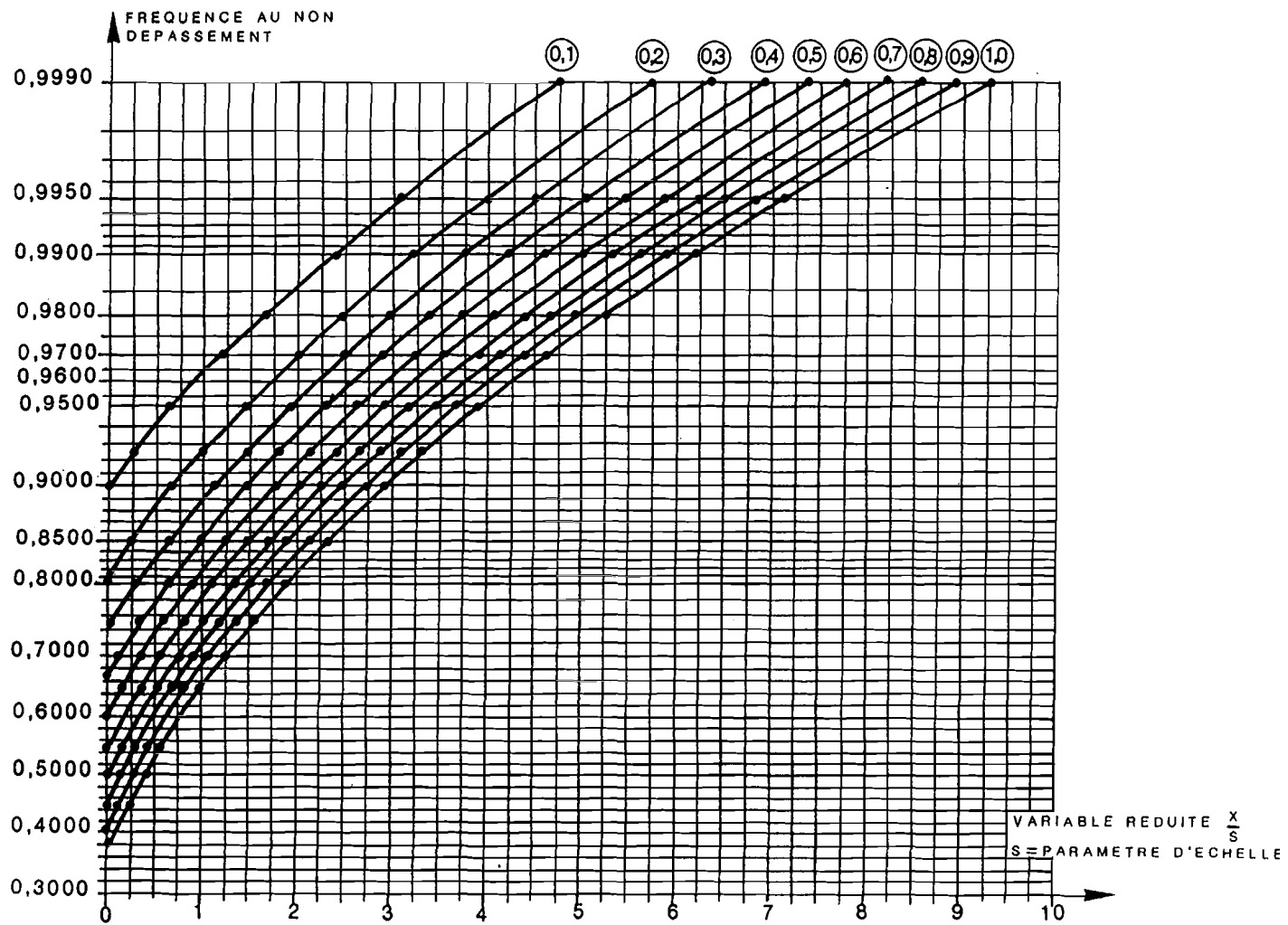


Fig- M3-1 - LOI DES FUITES - PARAMETRES AU FORME COMPRIS ENTRE 0,1 ET 1,0

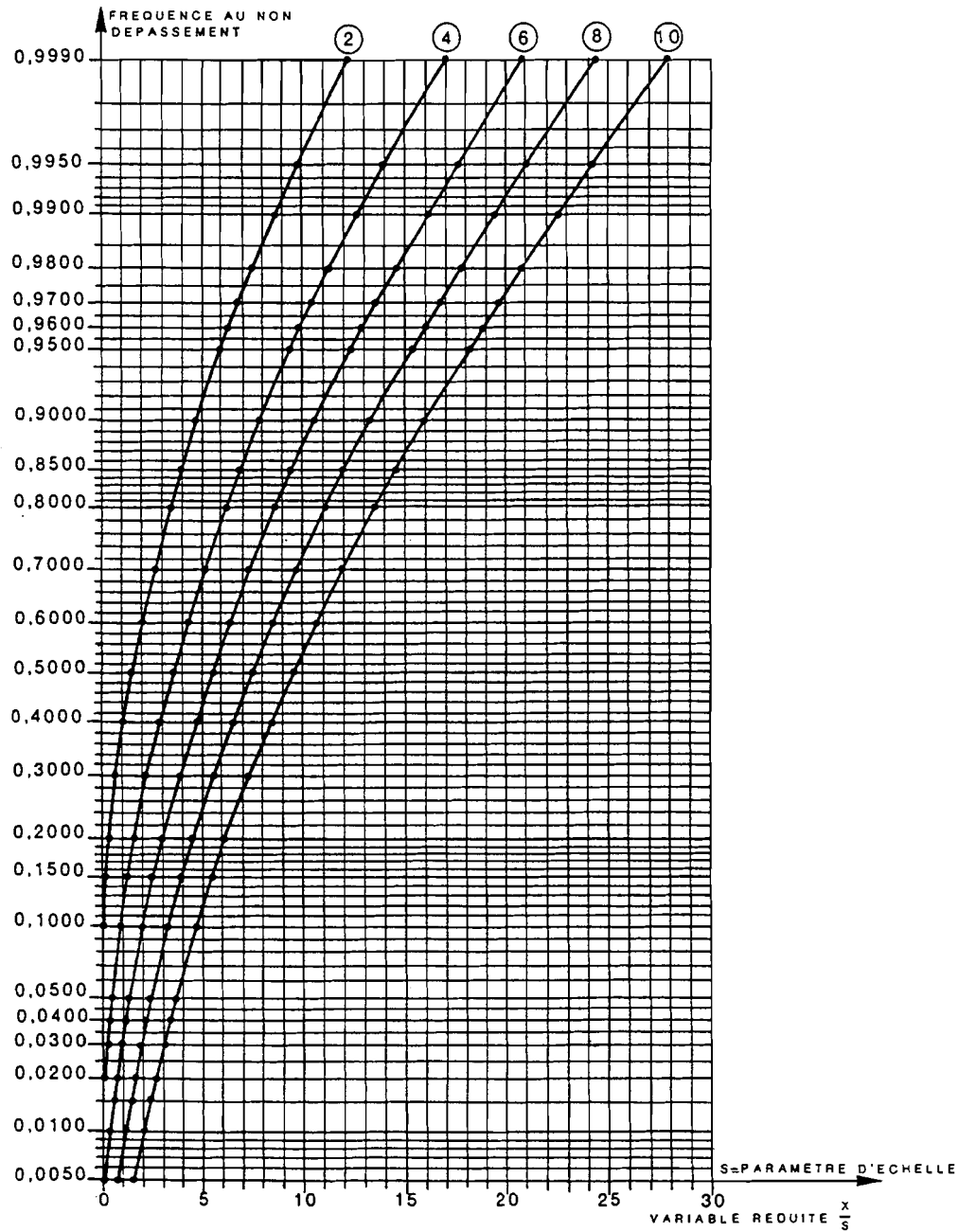


Fig- M3-2 - LOI DES FUITES PARAMETRES DE FORME COMPRIS ENTRE 2 ET 10

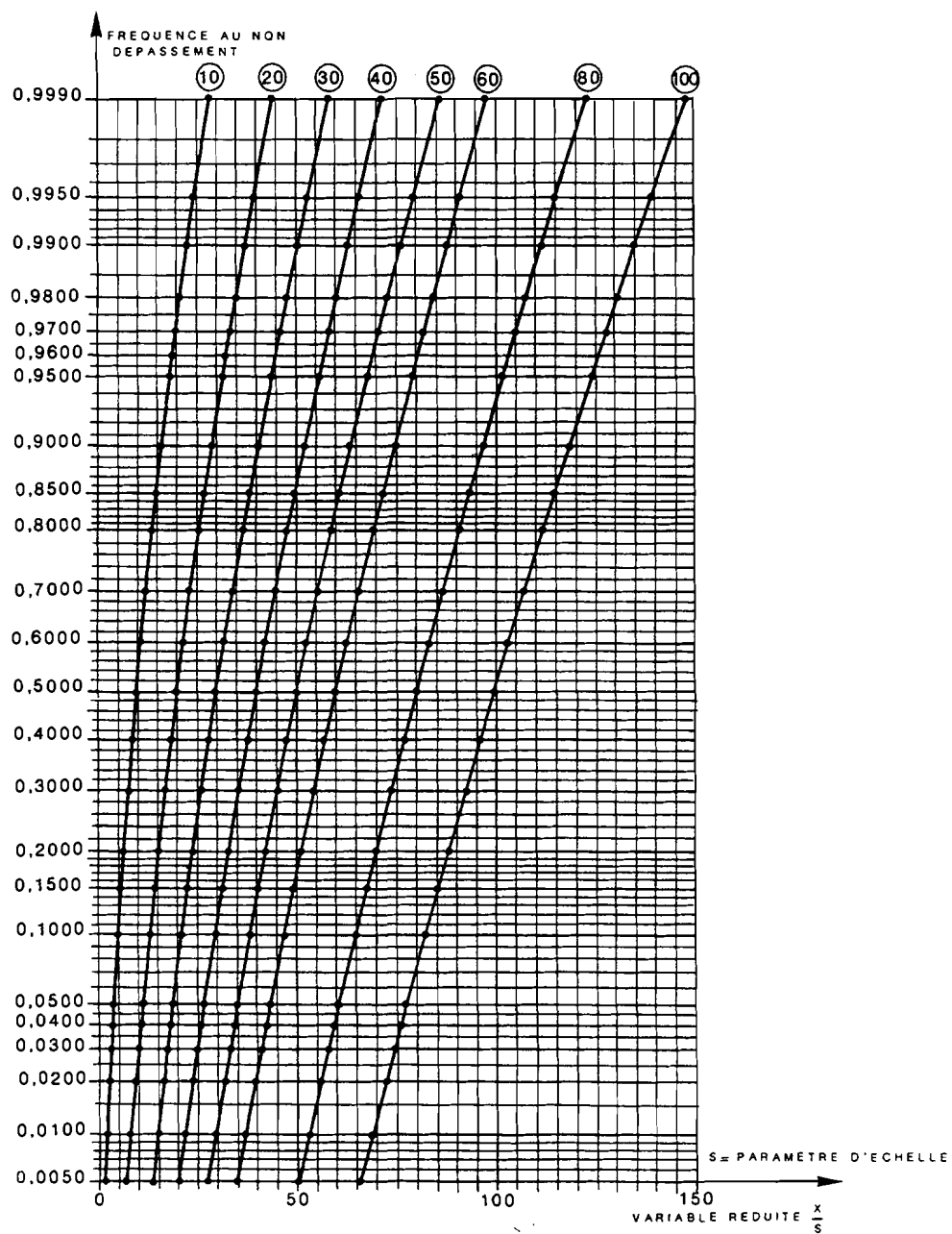


Fig- M3.3 - LOI DES FUITES PARAMETRES
DE FORME COMPRIS ENTRE 10 ET 100

Annexe M4

Application de la formule de Penman

Application pratique de la formule de Penman pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle

1. La formule

La formule de Penman pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle a été mise au point en 1948. Elle a été largement utilisée dans le monde avec des résultats satisfaisants.

La formule s'exprime de la façon suivante :

$$E_T = \frac{\frac{P_o}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} [0.75 R_A (a+b \frac{n}{N}) - \sigma T_K^4 (0.56-0.079 \sqrt{e_d})(0.010+0.90 \frac{n}{N})] + 0.26(e_a - e_d).(1.00+0.54U)}{\frac{P_o}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + 1.00}$$

où :

E_T = évapotranspiration potentielle exprimée en millimètres pour une période donnée ;

P_o = pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer en millibars ;

P = pression atmosphérique moyenne à la station considérée en millibars ;

Δ = variation de la tension de vapeur saturante en fonction de la température exprimée en millibars par degré Celsius ;

γ = constante psychrométrique pour le psychromètre à ventilation forcée. Elle est égale à 0.66.

0.75 = facteur exprimant la réduction du rayonnement global due à l'albedo pris égal à 0.25 ;

R_A = radiation de courte longueur d'onde reçue à la limite de l'atmosphère et exprimée en millimètres d'eau évaporable (1 mm = 59 calories). La constante solaire est prise égale à 2 cal/cm²/mn ;

a et b = coefficient pour l'estimation du rayonnement global à partir de la durée d'insolation ;

n = durée de l'insolation journalière moyenne en heures et dixièmes ;

N = durée de l'insolation journalière astronomiquement possible pour une latitude et un mois donné ;

- σT_K^4 = rayonnement du corps noir exprimé en millimètres d'eau évaporable pour la température de l'air exprimée en Kelvin ;
- e_a = tension de vapeur saturante en millibars ;
- e_d = tension de vapeur actuelle au cours de la période considérée en millibars ;
- T_C = température de l'air mesurée sous abri en degrés Celsius ;
- T_K = température de l'air en degrés Kelvin où $T_K = T_C + 273$;
- U = vitesse moyenne du vent à 2 mètres au-dessus du sol, en mètres par seconde.

2. Les coefficients utilisés

La formule initiale a été mise au point à Rothamsted et correspond aux conditions climatiques de l'Angleterre. Des ajustements de coefficients ont été adoptés par la Fao pour tenir compte de son expérience mondiale dans l'utilisation de la formule. Le Service Météorologique de la République du Bénin applique ces ajustements de la Fao pour le calcul de l'ETP.

Ainsi les coefficients a et b utilisés dans la formule sont estimés de la manière suivante :

a	b	
0.25	0.45	pour les zones semi-arides chaudes : Parakou, Natitingou et Kandi
0.29	0.42	pour les zones tropicales humides : Cotonou, Bohicon et Savé.

Quant à la constante solaire, elle est prise égale à $2 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$.

Annexe M5

Le modèle hydro-pluviométrique

Le modèle hydro-pluviométrique utilisé

L'objectif de ce modèle est de permettre la régionalisation des apports annuels. Si on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de perte sur un réseau hydrographique, on peut admettre que le volume annuel observé à son exutoire, résulte de la sommation des apports en provenance des bassins élémentaires. Le problème de la régionalisation est donc celui de répartir dans l'espace ce volume en tenant compte des principaux facteurs qui conditionnent la production des écoulements : la pluie et le "paysage". Nous englobons dans le terme "paysage" l'ensemble des caractéristiques physiques des bassins : géologie, relief, pédologie, végétation, etc.. Si on admet qu'il est possible de définir des régions homogènes du point de vue du paysage, on peut utiliser la notion de "bassin ponctuel". Ce concept n'acquiert une signification physique qu'à partir d'une certaine surface d'intégration. Cette démarche est un peu comparable à celle classiquement suivie en hydrogéologie où les caractéristiques hydrodynamiques du sol sont supposées être des variables continues alors que cela n'est vrai qu'à partir d'un certain volume d'intégration.

1. Paramétrisation des fonctions de production sur un bassin ponctuel

1.1.

La régionalisation impose de paramétrer les fonctions de production ponctuelles, au niveau de l'averse d'abord, au niveau de l'année ensuite.

L'écoulement ponctuel, E , causé par une averse de hauteur P , peut s'écrire :

$$E = P - D$$

Où D est le déficit d'écoulement qui résulte de multiples causes : infiltration, évaporation, stockage superficiel, etc.. Le manque de données et la complexité des mécanismes rendent inopérante une analyse physique des facteurs explicatifs de ce déficit. Pour paramétrer D , nous avons donc préféré utiliser une expression mathématique qui respecte les contraintes imposées par la nature du phénomène à décrire, à savoir :

- D est toujours inférieur à P (il ne peut disparaître plus d'eau qu'il n'en tombe) ;
- D tend vers une valeur finie quand P tend vers l'infini (tout ruisselle sur un sol saturé) ;
- D tend vers 1 quand P tend vers 0 (en début d'averse tout s'infilte) ;
- D est toujours décroissante (plus il pleut, plus ça ruisselle).

Parmi les diverses fonctions qui respectent ces contraintes, nous avons choisi l'expression suivante à un seul paramètre :

$$D = \frac{a \cdot P}{\sqrt{a^2 + P^2}} \quad (1)$$

Où α représente la capacité maximale d'absorption juste avant l'averse.

Si on suppose que α reste constant et si P_m est la somme de N averses tirées dans une distribution exponentielle, l'expression suivante donne une bonne approximation de la somme, E_m , des écoulements causés par chacune des averses :

$$E_m = P_m \cdot \exp(-0.75 \cdot (\alpha \cdot N/P_m)^{0.75}) \quad (2)$$

Pour paramétrer l'écoulement ponctuel annuel, nous avons admis :

- 1) que seules les averses de la saison des pluies donnaient lieu à des écoulements notables ;
- 2) que ces averses étaient issues d'une loi exponentielle ;
- 3) que leur nombre, N_h , pouvait être estimé par la somme des nombres les plus probables d'averses au cours de chacun des mois sachant la pluviométrie mensuelle :

$$N_h = \sum n_i$$

où

n_i = nombre le plus probable d'averses au cours du mois i sachant la hauteur p_i tombée au cours du mois ;

$$n_i = 1 - 0.5 + \sqrt{\frac{S_i \cdot p_i}{H_i}} + .25 \quad (3)$$

où S_i et H_i sont les paramètres de forme et d'échelle de la Loi des Fuites décrivant la pluviométrie du mois i et où p_i est la pluie tombée au cours du mois i .

1.2.

L'utilisation de la formule (2) pour estimer l'écoulement annuel ponctuel nécessite la connaissance de la valeur moyenne de α au cours de l'année. Or ce paramètre peut être assimilé à la contenance d'un réservoir qui se remplit lors des pluies et se vidange entre deux averses successives sous l'effet de divers processus (percolation et évaporation par exemple). La valeur moyenne de α va donc dépendre de la répartition temporelle des pluies.

On est alors tenté de définir la moyenne, I_a , des indices d'humidité, I , classiquement utilisés dans les analyses des événements averses-crues :

$$I(j) = (I(j-1) + P(j-1)) \cdot \exp(-0.5 \cdot T(j; j-1))$$

- où :
- $I(j)$ est la valeur de l'indice au début de la $j^{\text{ème}}$ averse ;
 - $P(j)$ est la hauteur de la $j^{\text{ème}}$ averse ;
 - $T(j ; j - 1)$ est la durée séparant la $j^{\text{ème}}$ averse de la précédente.

Les lois des fuites utilisées pour décrire les distributions des pluies mensuelles permettent une estimation de celles des $P(j)$ et des $T(j ; j - 1)$; On peut donc théoriquement estimer I_a . Nous avons fait plusieurs essais dans ce sens. Nous avons chaque fois constaté qu'il existait, pour chaque région climatique, une corrélation linéaire très forte entre cet indice et le cumul pluviométrique de la saison des pluies. Nous avons donc considéré qu'il était plus simple de relier directement α à la pluie d'hivernage. La détermination de I_a était en effet complexe et ne donnait pas des résultats bien meilleurs. En outre son caractère très empirique ne justifiait pas son emploi à tout prix.

1.3.

La paramétrisation que nous avons donc adoptée pour les fonctions de production de l'écoulement ponctuel, E_a , est donc :

$$E_a = Ph * \exp (- 0.75 * (\alpha * Nh/Ph)^{0.75}) \quad (4)$$

- où :
- Ph est la somme des pluies des mois d'hivernage,
 - Nh est la somme des nombres d'averses les plus probables (cf. formule (3)),
 - α est une fonction décroissante de Ph à déterminer pour chaque région homogène, à la fois du point de vue du paysage et de celui de la répartition temporelle de pluies.

2. Le modèle

2.1.

L'écoulement annuel à l'exutoire d'un bassin se calcule donc par une simple intégration spatiale de la formule (4). Cela nécessite de connaître :

- 1) le champ des pluies des mois d'hivernage ;
- 2) les champs des paramètres mensuels des lois des fuites décrivant la distribution des totaux pluviométriques mensuels ;
- 3) le champ des fonctions α .

Les deux premiers champs sont connus, le calage du modèle consiste donc à déterminer, à partir des observations faites sur le réseau hydrométrique, les zones homogènes (où la fonction α est invariante) et pour chacune d'entre elles l'expression de α .

2.2.

Pour ce calage nous avons procédé en trois temps :

1. Pour chaque bassin délimité par une ou deux stations hydrométriques, nous avons calculé la fonction moyenne de α ;
2. Ce qui nous a permis d'identifier les zones homogènes.
3. A l'intérieur de chacune d'entre elles, nous avons procédé à une optimisation de la fonction α de façon à reconstituer le mieux possible l'ensemble des modules observés aux diverses stations hydrométriques.

3. Conclusion

Pour établir ce modèle, nous avons adopté une démarche "désagréative" puisqu'elle conduit à répartir dans l'espace les volumes écoulés aux exutoires de bassins relativement grands. Cette façon de faire présente deux avantages et un inconvénient.

Le premier avantage est que l'espérance des erreurs commises sur l'estimation des écoulements de l'ensemble des sous-bassins d'un bassin utilisé dans le calage, est voisine de zéro. Une amélioration de l'estimation de la fonction de production sur une zone, entraîne donc une amélioration sur toutes les autres. Au Bénin, par exemple, ont été implantées, depuis 1984, plusieurs stations hydrométriques sur le haut bassin de l'Ouémé. La prise en compte dans le modèle de ces nouvelles données pourra se traduire par une meilleure connaissance des apports non seulement sur ces bassins mais aussi sur l'ensemble du pays.

Le deuxième avantage réside dans la possibilité de déterminer pour chaque zone une fonction annuelle de α . Nous avons vu en effet que l'allure de cette fonction était en grande partie imputable à la répartition temporelle des pluies. Or au Bénin, nous avons constaté un très grand synchronisme sur l'ensemble du pays des fluctuations de la répartition temporelle des pluies. Il paraît donc logique d'envisager de pouvoir calculer chaque année les fonctions de production correspondant aux différentes zones. Ce travail est en cours. Il permettra ainsi, pour la reconstitution des chroniques sur les bassins non jaugés, de mieux prendre en compte l'information contenue dans les chroniques observées.

L'inconvénient réside dans le sens statistique du concept de "bassin ponctuel". Les lames écoulées ainsi calculées n'ont de signification qu'au-delà d'une certaine surface d'intégration qu'il n'est pour l'instant pas possible de définir précisément. La bonne reconstitution des lames écoulées sur les trois petits bassins qui ont été observés au Bénin, inciterait à penser que cette "surface de pertinence" serait inférieure à 100 km².

Annexe M6

Brefs rappels sur les principales lois statistiques classiquement utilisées en Hydrologie

On trouvera dans le tableau suivant, pour chacune des lois, les expressions mathématiques de la fonction de densité, de la moyenne, de la variance et de la médiane.

Dans les différentes formules, x représente la variable aléatoire, les lettres minuscules romaines indiquent des paramètres ayant la même dimension que x , les lettres minuscules grecques symbolisent des paramètres sans dimension.

Principales caractéristiques des lois statistiques utilisées

Lois	Fonction de densité	Moyenne	Variance	Médiane	Commentaires
Normale (ou de Gauss)	$-\infty < x < +\infty$ $\frac{1}{s \cdot 2 \pi} \cdot \exp \left(-\frac{(x-m)^2}{2 \cdot s^2} \right)$	m	s^2	m	Loi vers laquelle tend toute distribution des sommes d'un grand nombre de variables de même moyenne et de même variance.
Log-Normale (ou de Galton)	$0 < x < +\infty$ $\frac{1}{x \cdot s \cdot 2 \pi} \cdot \exp \left(-s \frac{\ln^2 (x/s)}{2 \cdot \sigma^2} \right)$	$s \cdot \exp \left(\frac{\sigma^2}{2} \right)$	$s^2 \cdot \exp \sigma^2 \cdot (\exp \sigma^2 - 1)$	s	
Exponentielle	$0 < x < +\infty$ $\frac{1}{s} \cdot \exp \left(-\frac{x}{s} \right)$	s	s^2	$s \cdot \ln 2$	
de Goodrich (ou de Weibull)	$0 < x < +\infty$ $\frac{\sigma}{s} \cdot \left(\frac{x}{s} \right)^{\sigma-1} \cdot \exp \left(-\left(\frac{x}{s} \right)^{\sigma} \right)$	$s \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\sigma} \right)$	$s^2 \cdot \left(\Gamma \left(1 + \frac{2}{\sigma} \right) + \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\sigma} \right) \right)$	$\frac{1}{\sigma}$ $s \cdot (\ln 2)$	
Gamma incomplète (ou de Pearson III)	$0 < x < +\infty$ $\frac{1}{s \cdot \Gamma(\sigma)} \cdot \left(\frac{x}{s} \right)^{\sigma-1} \cdot \exp \left(-\frac{x}{s} \right)$	$s \cdot \sigma$	$s^2 \cdot \sigma$	-	Loi de distribution de la somme de σ variables tirées dans une loi exponentielle de moyenne s.
des Fuites	$0 < x < +\infty$ cf. Annexe M3.	$s \cdot \sigma$	$2 \cdot s^2 \cdot \sigma$	-	cf. Annexe M3.
de Gumbel	$-\infty < x < +\infty$ $\frac{\sigma}{s} \cdot \exp \left(-\frac{x}{s} \right) \cdot \exp \left(-\sigma \cdot \exp \left(-\frac{x}{s} \right) \right)$	$s \cdot (.5772 + \ln \sigma)$	$1.645 \cdot s^2$	$s \cdot (.3665 + \ln \sigma)$	Loi des "valeurs extrêmes" cf. Annexe M3.
Béta incomplète	$0 < x < s$ $\frac{1}{s \cdot B(\alpha, \beta)} \cdot \left(\frac{x}{s} \right)^{\alpha-1} \cdot \left(1 - \frac{x}{s} \right)^{\beta-1}$	$s \cdot \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$	$s^2 \cdot \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2} \cdot (\alpha + \beta + 1)$	-	

Annexe R1

Profils en long des principales rivières du Bénin

On trouvera dans les pages suivantes les profils en long des principales rivières du Bénin. Les caractéristiques de ces profils ont été déterminées à partir des cartes IGN au 1/200 000.

Bassin de la Pendjari

Rivière : Pendjari

(Origine des distances : frontière Bénin-Togo)

Lieu (<i>sur carte IGN</i>)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Altitude (m IGN)	Pente (m/km)	Commentaires
Cote 640 (Tikou)	419		640	20	Ecoulement dans le massif de l'Atakora
Cote 600 (Tikou)	417		600	10	
Cote 580 (Tikou)	415		580	15	
Cote 520 (Tikou)	411		520	20	
Cote 480 (Tikou)	409		480	6,7	
Cote 440 (Tikou)	403		440	13,3	
Cote 400 (Tikou)	400		400	6,7	
Cote 360 (Tikou)	394		360	3,7	
Cote 340 (Tikou)	383		340		
Confluence Kounne	382	317 (1)		1,5	
Confluence Sarga	360				
Cote 300	357		300	1,7	
Cote 260	334		260	5,0	
Cote 220	326		220	2,0	
Site de Batchanga	320	2680	208	0,38	
Cote 200	299		200	0,36	Ecoulement dans la dépression de l'Oti-Pendjari
Frontière Bénin-Burkina	236	3595			
Cote 180	244		180	0,38	
Cote 160	191		160		
Confluence Podiega	163			0,16	
Confluence Yabiti	98				
Confluence Magou	63		140		
Station de Porga	37	22280			
Frontière Togo-Bénin	0			0,19	
Station de Mandouri (Togo)	- 25	29100	128		

(1) = à l'amont de la confluence

(2) = à l'aval de la confluence

Bassin de la Pendjari

Rivière : Kounne

(Origine des distances : confluence avec la Pendjari (Tikou))

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 540	46	550 (1)	540	30	
Cote 520	45		520		
Cote 480	44		480	20	
Cote 440	42		440	5,7	
Cote 400	35		400	2,7	
Cote 360	20		360		
Confluence avec la Pendjari (Tikou)	0				

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Pendjari

Rivière : Sarga

(Origine des distances : confluence avec la Pendjari)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 600	48	567 (1)	600	(40)	
Cote 560	47		560		
Cote 520	43		520	10	
Cote 500	42		500		
Cote 480	39		480	5	
Cote 440	31		440	5,7	
Cote 400	24		400	5,7	
Cote 360	17		360	4,4	
Cote 320	6		320		
Confluence avec la Pendjari	0				

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Pendjari

Rivière : Podiega
(Origine des distances : confluence avec la Pendjari)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	1 (m/km)	Commentaires
Cote 440	51	777 (1)	440	160	Falaise de l'Atakora
Cote 280	50		280	20	
Cote 240	48		240	6,7	
Cote 200	42		200	1,2	
Cote 160	9		160		
Confluence avec la Pendjari	0				

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Pendjari

Rivière : Yabiti
(Origine des distances : confluence avec la Pendjari)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	1 (m/km)	Commentaires
Cote 480	66	911 (1)	480	26,7	Sortie de l'Atakora
Cote 440	64,5		440	26,7	
Cote 400	63		400	(40)	
Cote 360	62		360	(40)	
Cote 280	60		280	13,3	
Cote 240	57		240	3,64	
Cote 200	46		200	1,33	
Cote 160	16		160		
Confluence avec la Pendjari	0				

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Pendjari

Rivière : Magou

(Origine des distances : confluence avec la Pendjari)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 480	111		480	20	Plateau de l'Atakora
Cote 440	109		440	4,0	
Cote 400	99		400	10,0	
Cote 320	95		360	26,7	
Cote 280	93,5		320	57,2	
Cote 240	92,8		280	10,6	Sortie de l'Atakora
Cote 240	89		240	2,35	
Cote 200	72		200	0,85	
Station de Tiélé	47	83,6			
Cote 160	25		160		
Confluence avec la Pendjari	0	2005 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Niger (partie béninoise)

(Origine des distances : confluence avec la Mekrou)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Confluence Mekrou	0		167		
Confluence Kompa-Gourou	36				
Confluence Alibori	81			0,07	
Station de Malanville	98	1000000			
Confluence Sota	99		160		
Frontière avec le Nigéria	135				

Bassin du Niger

Rivière : Mekrou

(Origine des distances : confluence avec le Niger)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 460	481		460	12	
Cote 400	476		400	1,6	
Cote 360	451		360		
Confluence Tikoudarou	410	1270 (1)		0,6	
Cote 320	389		320		
Confluence Kourou	352			0,6	
Station de Kérou	340	3348			
Cote 280	326		280	0,40	
Cote 260	276		260	0,14	
Station de Kompongou	241	5700	255	0,33	Chute de Koudou au début du bief
Cote 240	195		240	0,32	
Gorges de Diondonga	38		189	0,69	
Station de Barou	15	10500	173	0,40	
Confluence avec le Niger	0		167		

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Tikoudarou (Mekrou)

(Origine des distances : confluence avec la Mekrou)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 460	32		460	5,0	
Cote 360	12		360	1,7	
Confluence Mekrou	0	505 (1)	340		

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Kourou (Mekrou)

(Origine des distances : confluence avec la Mekrou)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 560	48		560		
Cote 500	44		500	15,0	
Cote 460	37		460	5,7	
Cote 400	29		400	7,5	
Cote 360	24		360	8,0	
Cote 320	11		320	3,1	
Confluence avec la Mekrou	0	572 (1)	295	2,3	

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Alibori

(Origine des distances : confluence avec le Niger)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 360	427		360		
Cote 320	414		320	3,08	
Cote 300	392		300	1,66	
Cote 280	371		280	0,95	
Cote 270	357		270	0,71	
Confluence Souedarou	335	4109 (2)	253	0,77	
Cote 240	309		240	0,50	
Station route Kandi-Banikoara	232	8170	219	0,27	
Cote 200	124		200	0,18	
Confluence Konekoga	114			0,23	
Pont Cote 191	85		191		
Confluence Kpako	41			0,41	
Pont cote 165	22		165		
Confluence avec le Niger	0	13740 (1)	161	0,18	

(1) = à l'amont de la confluence

(2) = à l'aval de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Kpako (Alibori)
(Origine des distances : confluence avec l'Alibori)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 300	102		300		
Cote 280	95		280	2,9	
Cote 240	75		240	2,0	
Cote 200	32		200	0,93	
Confluence avec l'Alibori	0	1494 (1)	(177)	0,72	

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Sota
(Origine des distances : confluence avec le Niger)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 400	254		400		
Cote 360	249		360	8,0	
Cote 320	243		320	6,7	
Cote 280	234		280	4,4	
Confluence Souamou	206			0,58	
Piste Monrou-Pohila	191		255	3,75	
Cote 240	187		240		
Confluence Tassine	177	1663 (1)		1,0	
Confluence Bouli	150	5342 (1)			
Station de Gbasse	147	8298	200		
Confluence Irane	117	8539 (1)		0,27	
Station de Coubéri	24	13410			
Confluence avec le Niger	0	13360 (1)	160		

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Tassine (Sota)
(Origine des distances : confluence avec la Sota)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 360	102		360	5,7	
Cote 320	95		320	2,7	
Cote 280	80		280	0,58	
Cote 240	12		240	0,39	
Piste Monrou-Dougoulaye	3,6		237		
Confluence avec la Sota	0	3031 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Bouli (Sota)
(Origine des distances : confluence avec la Sota)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 400	145		400	20	
Cote 360	143		360	5,0	
Cote 320	135		320	1,05	
Cote 300	116		300	0,68	
Cote 280	87		280	0,72	
Cote 240	32		240	1,5	
Piste Bensakou	9		205		
Karika Bara					
Confluence avec la Sota	0	2380 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Niger

Rivière : Irane (Sota)
(Origine des distances : confluence avec la Sota)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 320	93		320		
Cote 300	87		300	3,3	
Cote 280	74		280	1,5	
Cote 240	39		240	1,14	
Station Koutakroukrou	25	1250	213	1,9	
Confluence de la Sota	0	1832 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Kéran

Rivière : Kéran
(Origine des distances : frontière Bénin-Togo)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 520 (Wémou)	57		520	20	
Cote 480 (Wémou)	55		480	20	
Cote 440 (Wémou)	53		440	40	
Cote 400 (Wémou)	52		400	13,3	
Cote 360 (Wémou)	49		360	1,9	
Cote 320 (Wémou)	28		320	3,3	
Cote 300 (Wémou)	22		300		
Confluence Ina Issere	19	653 (1)		2,0	
Cote 280 (Perma)	12		280		
Confluence Tiatiko	8	1748 (1)		4,0	
Cote 240 (Kéran)	2		240		
Frontière Togo-Bénin	0	2475 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Kéran

Rivière : Ina Issere (Kéran)
(Origine des distances : confluence avec la Kéran)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 560	57		560	80	
Cote 480	56		480	10	
Cote 440	52		440	10	
Cote 400	48		400	4,0	
Cote 360	38		360	1,7	
Cote 320	14		320	1,7	
Cote 300	2		300		
Confluence avec la Kéran	0	464 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Kéran

Rivière : Tiatiko
(Origine des distances : confluence avec la Kéran)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 630	54		630	7,5	
Cote 600	50		600	4,4	
Cote 560	41		560	4,0	
Cote 520	40		520	40	
Cote 440	38		440	8,0	
Cote 400	33		400	5,7	
Cote 360	26		360	4,0	
Cote 320	16		320	2,0	
Cote 300	6		300	4,0	
Cote 280	1		280		
Confluence avec la Kéran	0	468 (1)			Chute de la Kota

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de la Kéran

Rivière : Koumongou (Kéran)
(Origine des distances : frontière Togo-Bénin)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 540	62	648	540		
Cote 520	60		520	10	
Cote 500	58		500	10	
Cote 480	55		480	6,7	
Cote 440	50		440	8,0	
Cote 400	46		400	10,0	
Cote 360	40		360	6,7	
Cote 320	38		320	20,0	
Confluence Mpotabini	36		300	10,0	
Cote 280	34		280	10,0	
Cote 240	32		240	20,0	
Cote 200	20		200	5,0	
Confluence Koupokou	03		160		
Frontière Togo-Bénin	0				
Confluence avec la Kéran	- 22				

Bassin de la Kéran

Rivière : Binaho (Kéran)
(Origine des distances : frontière Togo-Bénin)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 480	34	62	480		
Cote 440	30		440	10	
Station de Dompago	20			2,5	
Cote 400	14		400		
Cote 360	8		360	6,6	
Cote 320	4	385	320	10,0	
Frontière Togo-Bénin	0				

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Ouémé (1/2)
(Origine des distances : confluence avec le Zou)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 560	523		560	13,3	
Cote 480	517		480	6,7	
Cote 440	513		440	5,7	
Cote 400	506		400	1,4	
Cote 360	478		360	1,5	
Cote 320	451		320	1,3	
Cote 300	436		300		
Station Affon	424	1165		0,44	
Confluence Donga	421	2450 (2)			
Cote 280	391		280		
Confluence Alpouro	371	4320 (2)		0,95	
Confluence Wéwé	349	6520 (2)			
Cote 240	334		240		
Confluence Yérou Maro	323				
Station de Bétérou	315	10326		0,40	
Confluence Térrou	282				
Confluence Odola	241	14820 (2)			

(2) = à l'aval de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Ouémé (2/2)

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)-

Lieu (<i>sur carte IGN</i>)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Confluence Odola	241	14820 (2)			
Cote 200	235		200	1,5	
Cote 160	208		160		
Confluence Adjiro	207	16540 (2)		1,14	
Confluence Beffa	189	18870 (2)			
Cote 120	173		120		
Confluence Nonome	153			0,87	
Station de Save	135	23600			
Cote 80	127		80	1,5	
Cote 40	100		40		
Confluence Okpara	96			1,7	
Cote 20	76		20		
Confluence Téwé	70			0,2	
Station Sagon	18,5	37980			
Confluence Zou	0		(5)		

(2) = à l'avant de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Donga

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 480	74		480	(40)	
Cote 440	73		440	10	
Cote 400	70		400	2,1	
Cote 360	51		360	2,0	
Cote 320	31		320	0,74	
Cote 300	4		300		
Confluence avec l'Ouémé	0	1285 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Alpouro

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 400	86		400	4,4	
Cote 320	64		320	2,9	
Cote 300	51		300	0,91	
Station de Gourou	29	1607	280		
Confluence avec l'Ouémé	0	2010 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Wéwé

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 380	49		380		
Cote 360	45		360	5,0	
Cote 320	35		320	4,0	
Station Wéwé	22	293	300	1,5	
Cote 280	14		280	2,5	
Confluence avec l'Ouémé	0	617 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Yérou Maro

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 360	120		360		
Cote 320	103		320	2,4	
Cote 300	87		300	1,3	
Cote 280	68		280	1,05	
Station de Barerou	25	2160			
Confluence avec l'Ouémé	0	2590 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Térou

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 450	139		450	2,7	Passage des Monts Ouari Marou
Cote 360	106		360	1,7	
Cote 350	100		350	1,4	
Cote 270	41		270	2,5	
Cote 240	29		240		
Station cote 238	18	3133			
Confluence avec l'Ouémé	0	3320 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Odola

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 400	74		400	8,0	
Cote 360	69		360	2,1	
Cote 320	48		320	2,0	
Cote 300	44		300	2,2	
Cote 280	35		280	2,0	
Cote 240	15		240		
Confluence avec l'Ouémé	0	1076 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Adjiro

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 400	134		400	10	
Cote 360	130		360	1,3	
Cote 320	100		320	2,0	
Cote 300	90		300	1,7	
Cote 280	78		280	1,5	
Cote 240	52		240		
Station de Banon	40	1408		1,5	
Cote 200	26		200	1,6	
Cote 160	1		160		
Confluence avec l'Ouémé	0	2151 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Beffa

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 280	78		280	2,35	
Cote 240	61		240	1,5	
Cote 220	48		220	1,2	
Cote 200	31		200	1,9	
Cote 160	10		160		
Station de Vossa	5,6	1870			
Confluence avec l'Ouémé	0	1990 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Nonome

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 250	38		4250	(10)	
Cote 240	37		240	13	
Cote 200	34		200	2,7	
Cote 160	19		160	2,9	
Cote 120	5		120		
Confluence avec l'Ouémé	0	561 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Okpara

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 320	302		320	0,5	
Cote 300	262		300	0,34	
Cote 280	206		280		
Confluence Niantoubou	159			0,65	
Cote 240	145		240	1,29	
Cote 200	114		200	1,29	
Cote 160	93		160	1,50	
Station de Kaboua	85	9600	(148)	1,8	
Cote 130	75		130	1,25	
Cote 120	68		120	0,54	
Cote 100	31		100	0,90	
Cote 80	9		80	6,15	
Cote 40	2,5		40		
Confluence avec l'Ouémé	0				Rapides d'Okpa

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Sui (Okpara)
(Origine des distances : confluence avec l'Okpara)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	1 (m/km)	Commentaires
Cote 420	67		420		
Cote 400	66		400	(20)	
Cote 360	60		360	6,7	
Cote 320	40		320	2,0	
Cote 300	18		300	1,7	
Confluence avec l'Okpara	0	1881 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Tévè
(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	1 (m/km)	Commentaires
Cote 200	46		200		
Cote 160	42		160	10,0	
Cote 120	35		120	57,3	
Cote 100	28		100	2,9	
Cote 80	22		80	13,37	
Cote 40	9		40	13,05	
Confluence avec l'Ouémé	0	500 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Zou

(Origine des distances : confluence avec l'Ouémé)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 280	250		280		
Cote 240	238		240	3,3	
Cote 320	227		200	3,6	
Confluence Omini	223			0,89	
Cote 160	182		160		
Cote 120	150		120	1,25	
Cote 80	129		80	1,9	
Confluence Kouffo	126	3074 (1)			
Confluence Agbado	107	4359 (1)		1,0	
Station Atcherigbe	106	6950			
Cote 40	90		40		
Station de Domé	22	8210		0,39	
Confluence avec l'Ouémé	0	8440 (1)	(5)		

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Agbado (Zou)

(Origine des distances : confluence avec le Zou)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	l (m/km)	Commentaires
Cote 200	109		200		
Cote 160	99		160	4,0	
Cote 120	70		120	1,37	
Station Savalou	56	1280		0,82	
Confluence Klou	21		80		
Confluence Zou	0	2703 (1)			

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Klou (Agbado)
(Origine des distances : confluence avec l'Agbado)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 200	49	123	200	6,7	
Cote 160	43		160		
Station Logozohe	23		120	1,8	
Cote 120	21		120	2,2	
Cote 100	12	560 (1)	100	1,7	
Confluence avec l'Agbado	0		80		

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin de l'Ouémé

Rivière : Kouffo (Zou)
(Origine des distances : confluence avec le Zou)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 240	61	306 (1)	240	8,0	
Cote 200	56		200	1,9	
Cote 160	35		160	2,1	
Cote 120	16		120	3,6	
Cote 80	5		80		
Confluence avec le Zou	0		120		

(1) = à l'amont de la confluence

Bassin du Kouffo

Rivière : Kouffo

(Origine des distances : embouchure des "Bouches du Roi")

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Cote 240	190		240	10	
Cote 200	186		200	2,7	
Cote 160	171		160	2,1	
Cote 120	152		120	1,53	
Cote 80	126		80		
Station de Lanta	108	1680		1,2	
Cote 40	93	3029	40	0,78	
Station Tchi-Ahomadegbe	74		25	0,67	
Station Long-Agomé	62		17		
Début Lac Ahémé	36				
Station du Pont de Guézin	12				
Embouchure	0				

Bassin du Mono

Rivière : Mono

(Origine des distances : embouchure du Mono)

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Station de Tétérou (Togo)	148	20500	59		Cours entrecoupé de rapides (Bélie, Katong, Adjarala)
Cote 40	133		40	1,27	
Cote 20	126		20	2,9	
				0,4	
Point coté 14 m	111		14	0,2	
Point coté 13 m	105		13	0,09	
Point coté 12 m	94		12	0,4	
Point coté 10 m	89		10	0,2	
Point coté 6 m	71		6		
Station Athiémé	69	21475		0,06	
Point coté 5 m	57		5		
Station de Kpondave (Togo)	19				
Station d'Akbanaken	6				
Embouchure "Bouches du Roi"	0				

Bassin du Mono

Rivière : Sazue

(Origine des distances : embouchure des "Bouches du Roi")

Lieu (sur carte IGN)	Distance (km)	Superficie (km ²)	Z (m IGN)	I (m/km)	Commentaires
Début Savédo	103		227		
Agoué (Savédo)	93		23,8	0,32	
Totinga (Savédo)	80		16,0	0,60	
Lokossa (Savédo)	69		13,3	0,25	
Confluence Savédo-Dévédo	63				
Toguémé	61		11,9		
Hougba	54		9,9	0,29	
Tchahou	44		8,6	0,13	
Honpon	35		5,4	0,36	
Ogakondji	21		2,9	0,18	
Adjaha	9		0,6	0,19	
Pont de Guézin	4				
Entrée lagune	1				
Bouches du Roi	0				

Annexe R2
Pluviométries mensuelles observées
sur les 5 zones définies au chapitre 2 (§ II.2.2.)
de la deuxième partie

Pluie moyenne observée sur la zone 1 (en mm)

Année	Total	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40	1082	7	15	87	81	246	332	50	29	84	110	40	0
41	990	21	14	87	103	164	150	107	33	151	115	42	11
42	1073	28	6	47	92	274	352	8	1	88	111	37	29
43	1133	79	10	33	112	141	379	96	10	27	154	89	1
44	870	17	33	109	50	129	333	128	21	14	101	26	7
45	912	0	43	60	72	79	163	124	12	106	184	65	1
46	890	0	58	60	147	223	220	1	0	45	79	45	11
47	1389	0	7	103	77	171	151	373	119	197	131	30	28
48	856	0	9	55	110	327	169	7	17	40	67	54	1
49	1073	4	31	52	42	127	296	153	55	89	141	69	12
50	1035	5	55	37	132	139	390	102	13	15	91	55	1
51	1135	19	2	72	62	216	218	188	30	71	213	42	0
52	1188	27	68	122	70	198	267	66	2	120	134	99	12
53	1038	0	47	71	78	169	251	70	6	93	201	42	9
54	1278	18	48	146	118	214	350	14	10	98	179	68	24
55	1325	56	9	74	95	242	327	61	17	146	267	28	2
56	1104	1	41	232	73	121	273	48	1	49	181	51	33
57	1541	46	9	66	113	211	219	341	89	132	175	86	52
58	1237	61	104	46	112	270	383	3	7	90	137	20	4
59	1422	14	67	86	169	299	325	141	9	80	149	73	8
60	1381	11	36	73	195	231	427	11	29	93	223	40	11
61	1295	11	1	98	143	172	542	60	1	44	147	73	4
62	1978	3	25	149	108	172	794	228	114	11	196	130	47
63	1768	7	36	30	191	245	289	399	186	145	135	81	22
64	1104	9	17	87	154	182	415	63	13	29	95	6	32
65	1439	12	32	63	172	116	425	335	54	118	89	16	5
66	1032	7	3	61	121	213	301	106	28	43	98	33	19
67	1219	0	8	122	148	180	325	200	4	29	96	65	41
68	2382	0	67	42	138	141	436	608	130	268	201	42	10
69	1298	15	17	96	121	178	376	211	45	30	163	47	0
70	1156	51	23	52	152	235	207	74	10	116	191	45	0
71	942	31	54	89	70	128	230	113	19	92	56	38	22
72	1131	14	53	91	181	153	360	52	16	79	92	15	24
73	975	1	11	70	30	116	226	113	82	154	97	32	43
74	1347	39	7	123	96	159	247	189	7	181	74	24	20
75	1245	1	67	28	147	180	266	311	11	14	131	60	29
76	888	0	46	93	183	121	333	17	3	16	38	32	5
77	688	26	25	20	114	134	173	44	18	53	49	28	3
78	1285	25	60	156	279	283	163	64	5	76	131	46	0
79	1425	0	3	50	114	229	321	140	138	166	177	83	4
80	1037	1	51	21	73	221	147	35	176	155	108	48	2
81	899	8	13	45	70	183	238	69	38	125	90	19	1
82	1225	4	78	79	152	183	399	156	3	16	100	30	24
83	941	0	0	21	75	237	374	63	13	73	23	21	39
84	886	0	3	46	91	120	153	31	70	186	158	22	5

Pluie moyenne observée sur la zone 2 (en mm)

Année	Total	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40	1029	23	13	91	96	169	220	64	44	145	116	46	0
41	1050	12	6	76	99	189	157	121	45	196	94	38	16
42	948	11	31	70	102	254	73	25	3	153	171	41	12
43	1001	28	21	72	156	145	192	47	36	83	128	68	25
44	1015	30	14	141	85	143	118	134	80	100	147	21	2
45	848	7	11	35	139	73	123	113	26	110	163	45	3
46	863	0	36	88	157	156	65	28	12	71	170	65	14
47	1159	6	38	76	74	139	132	136	199	189	127	30	13
48	863	4	13	77	102	246	101	13	45	43	129	90	0
49	1195	3	18	70	89	153	131	140	121	182	174	59	1
50	965	28	39	67	135	160	205	99	23	43	119	42	3
51	1234	10	31	94	115	176	147	163	74	82	302	40	0
52	1224	15	65	131	100	117	193	104	6	234	190	49	19
53	1109	0	78	70	71	200	228	121	10	95	185	45	5
54	1271	5	71	131	159	148	270	20	40	99	255	61	11
55	1276	44	18	154	153	176	191	118	52	130	210	26	2
56	1025	4	26	150	95	152	151	371	2	99	199	66	42
57	1412	6	10	155	145	231	152	142	146	127	171	91	36
58	899	58	45	56	97	158	185	0	7	79	142	51	19
59	1233	16	29	121	125	178	167	139	49	121	173	87	26
60	1375	7	25	81	184	141	233	86	43	259	228	61	27
61	1070	21	4	82	146	130	234	77	5	134	194	41	2
62	1415	1	2	104	112	245	357	172	160	36	139	75	11
63	1692	9	34	110	149	155	226	280	240	257	177	49	5
64	985	5	20	68	124	189	220	129	29	76	78	29	18
65	1140	15	35	84	169	145	244	119	101	130	83	11	3
66	1138	5	8	100	126	212	265	119	51	70	128	43	10
67	1031	2	18	130	160	121	228	52	49	99	97	54	20
68	1728	2	51	75	133	122	247	351	239	271	189	44	2
69	942	3	27	67	107	135	166	86	86	73	142	47	2
70	1162	12	41	106	135	238	128	82	49	144	197	29	0
71	843	23	46	88	75	114	103	108	49	139	57	24	16
72	1056	10	56	140	179	154	228	59	59	98	61	1	10
73	945	4	23	62	93	118	139	46	110	185	136	21	7
74	1095	12	13	106	104	127	194	205	50	161	93	29	0
75	1107	0	46	79	212	115	157	177	28	61	133	56	43
76	763	0	52	107	117	84	145	27	17	30	127	43	13
77	707	26	11	25	111	113	154	36	28	111	77	8	6
78	1201	25	46	119	203	207	246	79	10	128	97	37	3
79	1392	6	28	43	119	252	230	196	168	174	124	51	0
80	1248	0	60	30	123	187	147	114	175	160	188	58	4
81	1015	5	10	49	103	169	218	83	90	116	158	12	0
82	877	7	71	82	102	129	179	88	16	43	127	27	5
83	736	0	2	31	89	161	169	39	28	111	39	22	44
84	1131	1	7	108	111	149	148	118	148	205	118	13	5

Pluie moyenne observée sur la zone 3 (en mm)

Année	Total	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40	1026	11	11	53	103	117	127	67	132	238	128	38	0
41	1107	1	1	106	103	196	156	191	92	167	58	35	0
42	882	11	27	21	69	198	109	68	41	177	147	13	0
43	936	3	12	78	89	182	120	84	54	149	112	39	14
44	1192	34	30	86	127	114	141	113	214	225	103	4	2
45	960	4	5	16	72	63	147	165	111	200	175	1	0
46	744	1	9	48	55	98	140	51	48	105	169	20	0
47	1482	0	58	55	99	166	143	154	334	273	129	35	36
48	785	0	35	44	164	77	106	55	136	98	48	23	0
49	1492	0	8	70	95	151	170	269	253	268	169	38	0
50	1041	49	1	12	134	198	169	144	108	95	115	7	9
51	1246	3	14	85	98	122	145	192	184	166	203	32	0
52	1236	0	2	99	90	102	125	283	76	224	189	34	12
53	1304	0	92	66	65	183	210	270	71	157	156	32	0
54	1069	12	3	77	103	99	193	39	66	189	248	41	0
55	1347	12	14	68	103	139	232	295	159	162	158	0	4
56	933	1	26	98	59	82	120	82	82	195	84	63	41
57	1415	0	4	112	110	204	172	160	177	253	129	83	10
58	743	3	10	29	122	123	102	2	55	136	124	27	10
59	1316	41	40	117	112	156	107	182	135	292	122	13	0
60	1433	45	0	92	155	125	235	170	169	242	142	57	0
61	1090	38	0	129	114	95	140	249	81	145	97	2	0
62	1484	0	0	95	137	185	248	168	264	154	158	72	1
63	1866	0	39	101	68	123	221	440	326	310	209	29	0
64	955	9	1	59	100	97	121	204	127	167	48	6	16
65	1082	2	38	48	114	89	213	220	150	96	110	0	0
66	1169	19	3	50	141	141	218	119	245	99	155	4	2
67	1182	9	6	149	100	156	180	137	175	128	100	5	37
68	1525	2	42	35	137	116	209	276	277	252	173	3	2
69	1127	3	20	61	147	115	184	107	138	182	128	41	0
70	1104	6	1	99	70	209	105	152	169	238	55	0	0
71	1128	7	30	71	98	158	141	162	223	180	57	1	2
72	940	0	46	58	120	171	118	100	110	83	114	0	20
73	1159	0	3	59	100	140	137	131	194	208	172	0	14
74	1150	41	4	65	58	103	125	340	133	188	82	9	0
75	1163	0	29	57	126	120	133	268	126	148	110	10	35
76	942	0	64	44	108	142	131	91	53	105	158	38	7
77	868	22	1	12	84	136	108	121	122	174	86	0	3
78	1221	0	7	153	208	166	162	138	82	172	115	16	3
79	1278	13	3	53	107	175	163	257	176	170	130	30	0
80	1072	7	10	34	40	131	135	103	171	232	191	16	0
81	914	11	0	40	67	151	156	142	118	127	102	0	0
82	784	12	22	42	165	114	115	53	82	77	100	4	0
83	663	0	4	23	84	144	121	49	89	108	17	6	18
84	1043	0	0	115	84	185	136	139	148	169	62	2	2

Pluie moyenne observée sur la zone 4 (en mm)

Année	Total	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40	1304	4	1	38	60	167	171	188	294	226	146	9	0
41	1215	0	0	36	58	184	138	253	276	205	28	35	2
42	998	2	13	9	63	119	130	113	246	211	87	0	5
43	1101	1	3	43	56	158	120	107	240	270	85	16	2
44	1091	0	1	50	90	51	180	181	259	197	76	2	3
45	1095	0	0	0	44	87	157	209	204	292	102	0	0
46	943	2	0	16	18	73	138	146	128	242	178	2	0
47	1279	0	20	4	84	95	189	178	318	305	71	15	0
48	1191	0	1	23	126	89	214	217	232	251	31	7	0
49	1301	0	0	26	64	90	178	227	346	254	90	26	0
50	1040	26	3	0	43	136	121	203	214	200	68	0	13
51	1467	7	0	52	58	165	144	237	291	292	203	18	0
52	1252	3	0	19	81	126	158	230	185	315	121	0	14
53	1440	0	13	23	46	209	194	307	194	329	114	8	3
54	1161	1	4	31	105	122	174	124	208	224	144	24	0
55	1451	25	2	28	73	134	196	324	260	263	144	0	2
56	1122	0	41	37	47	107	160	172	186	264	61	16	31
57	1544	0	1	36	91	208	193	185	331	330	125	22	20
58	859	0	7	20	79	80	123	78	129	241	62	32	8
59	1249	5	16	35	100	93	151	211	282	309	39	8	0
60	1413	7	0	42	81	114	193	241	258	328	130	10	9
61	1054	18	0	13	93	101	183	239	142	229	36	0	0
62	1437	0	0	21	88	135	254	215	312	236	133	43	0
63	1494	0	42	16	76	149	132	281	338	259	193	8	0
64	1206	3	0	45	76	120	149	256	217	279	58	3	1
65	1151	4	25	2	78	142	160	212	282	182	64	0	0
66	1172	5	0	13	116	115	198	142	231	234	117	1	0
67	1318	0	13	57	86	125	157	201	284	263	93	4	35
68	1459	2	1	43	165	107	219	302	271	245	98	5	1
69	1290	0	1	23	93	112	150	180	279	256	153	43	0
70	1103	4	0	33	39	127	100	213	254	288	45	0	0
71	1114	0	15	43	61	165	109	215	281	182	37	0	6
72	1075	0	6	21	101	172	103	177	185	173	102	0	35
73	1188	0	0	48	43	102	203	184	288	242	78	0	0
74	1201	4	8	24	52	91	172	284	227	277	57	5	0
75	1199	0	5	41	89	106	117	321	177	275	57	11	0
76	1121	0	17	2	73	167	212	120	179	128	201	22	0
77	913	7	0	27	29	100	108	169	197	214	56	0	6
78	1277	0	1	75	201	109	142	238	210	176	120	1	4
79	1330	1	0	27	80	138	174	263	256	189	190	12	0
80	1063	1	0	8	49	122	124	160	278	205	108	5	0
81	1011	0	0	22	75	133	154	172	251	174	30	0	0
82	1045	0	20	38	102	99	122	172	210	176	98	8	0
83	779	0	3	8	22	114	132	196	130	153	16	0	5
84	1035	0	0	60	89	177	136	144	149	218	62	0	0

Pluie moyenne observée sur la zone 5 (en mm)

Année	Total	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40	1097	1	0	21	22	103	141	145	411	171	80	1	0
41	954	0	0	4	70	166	139	174	265	136	0	0	0
42	742	0	8	0	26	45	61	162	290	128	22	0	0
43	933	0	0	1	9	122	102	162	292	189	55	0	0
44	971	0	0	1	45	38	150	245	260	166	66	0	0
45	1003	0	0	0	2	50	89	176	465	166	55	0	0
46	1012	0	0	4	1	51	147	151	294	294	70	0	0
47	947	0	0	0	17	15	118	179	329	266	18	4	0
48	959	0	0	8	59	56	151	221	274	170	19	0	0
49	864	0	1	10	17	58	128	234	304	88	4	20	0
50	941	0	0	0	13	26	122	182	366	176	55	0	0
51	1166	0	0	47	0	80	201	204	265	228	140	2	0
52	992	0	0	0	24	55	120	199	215	257	122	0	0
53	1250	0	6	5	5	252	166	316	218	245	36	0	0
54	1088	0	8	0	18	110	120	166	392	217	35	22	0
55	1212	10	0	20	36	53	150	310	246	335	61	0	0
56	1111	0	2	16	22	74	155	237	340	212	49	0	10
57	1271	0	0	15	24	115	181	209	410	219	77	21	0
58	870	0	11	0	58	75	168	108	225	177	46	2	0
59	1050	0	2	3	42	83	98	174	397	246	3	0	0
60	1038	0	0	22	27	90	143	251	214	228	58	1	3
61	870	0	0	5	31	49	131	225	203	225	1	0	0
62	1174	0	0	8	50	67	170	208	408	185	70	7	0
63	1127	0	11	6	27	96	183	204	332	210	51	8	0
64	1130	0	0	5	23	122	172	210	374	220	3	2	0
65	953	8	10	0	20	112	133	185	268	191	25	0	0
66	1018	0	0	13	49	70	157	137	330	218	42	2	0
67	970	0	0	17	50	87	122	137	284	257	13	0	2
68	944	0	1	7	76	90	187	205	219	129	25	4	0
69	1165	0	0	2	66	63	191	215	310	199	106	13	0
70	967	0	0	5	7	101	99	179	342	266	8	0	0
71	989	0	2	11	15	126	99	236	329	158	13	0	0
72	993	0	0	7	35	102	165	157	259	208	38	0	23
73	759	0	0	14	26	60	126	148	238	137	10	0	0
74	1037	0	0	6	25	78	106	259	248	282	33	0	0
75	1070	0	0	1	17	111	143	320	258	194	25	0	0
76	962	0	8	0	21	110	186	133	223	110	169	1	0
77	917	0	0	1	7	116	165	147	265	189	26	0	0
78	982	0	0	30	86	122	98	179	239	166	63	0	0
79	1015	0	0	19	28	85	157	230	254	195	29	18	0
80	873	0	0	0	9	94	129	197	282	115	41	5	0
81	913	0	0	0	50	69	116	248	225	203	3	0	0
82	833	0	26	4	32	85	93	199	203	164	28	0	0
83	791	0	0	0	5	103	137	157	175	176	39	0	0
84	862	0	0	3	100	118	88	127	153	242	30	0	0

Annexe R2 - Pluviométries mensuelles observées sur 5 zones

Annexe R3

Paramètres des Lois des Fuites ajustées aux totaux mensuels observés aux stations pluviométriques du Bénin

On trouvera dans les tableaux suivants les valeurs des paramètres des Lois des Fuites ajustées. La codification des stations y est identique à celle utilisée dans l'annexe M1.

Ajustement de la Loi des Fuites aux totaux mensuels observés aux stations béninoises

Paramètre d'échelle - Hauteur moyenne d'un événement pluvieux (1/10 mm)

Code station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	118.7	190.6	167.7	130	99.4	302.2	520.3	231.0	205.1	215.7	139.2	105.2
4	98.30	146.3	14.35	137.0	126.5	150.35	284.7	275.2	178	132.46	123.4	110.5
7	141.2	148.6	156.6	159.8	207.2	223.6	315.0	277.2	183	203.7	158.7	154.8
9	187.5	115.0	168.4	114.0	173.5	153.0	300.7	251.3	116	247.1	198.2	83.59
10	170.5	163.5	120.2	86.1	158.4	230.0	328.4	269.5	220.3	154.3	152.45	141.4
11	25.1	135.6	65.5	128.0	45.2	61.67	138.3	127.4	74.7	161.2	437.8	41.5
13	156.4	151.8	104.0	120.9	144.2	130.8	308.28	244.1	229.4	166.9	132.2	128.2
16	195.5	135.6	114.6	115.5	110.9	160.7	279.8	215.9	202.9	182.0	111.8	130.1
19	0	101.2	63.0	127.9	89.9	58.6	85.24	135.6	64.7	237.3	83.4	217.5
22	167.9	210.5	130.3	148.1	111.1	89.6	283.1	220.5	180.5	186.3	175.6	98.4
25	212.6	163.5	138.6	107.8	131.4	100.4	206.9	143.2	147.5	191.8	192.7	214.4
28	219.3	106.6	118.0	153.4	125.0	90.7	153.7	155.0	179.6	187.2	135.6	141.4
31	153.7	210.3	165.8	117.0	95.5	162.0	242.3	240.6	131.1	191.4	203.9	227.2
34	38.1	175.0	85.9	230.96	78.36	112.3	131.0	142.2	142.6	165.5	198.6	203.3
37	67.4	133.9	144.2	108.0	115.3	155.16	260.0	263.0	172.2	169.4	89.7	134.36
40	89.4	116.6	130.1	119.9	137.4	113.0	208.4	273.1	223.3	100.8	81.3	122.2
43	153.9	153.0	144.4	148.6	135.8	165.1	312.07	188.7	191.5	140.7	110.0	108.1
46	77.1	113.5	96.7	84.6	109.8	108.5	179.7	129.9	77.1	105.3	117.5	148.5
49	162.8	158.5	134.4	127.6	171.0	321.1	477.8	202.6	176.9	187.1	130.5	96.5
52	189.7	160.7	120.3	108.9	100	141.4	335.0	210.4	202.2	144.7	195.2	222.6
55	112.4	149.7	163.7	114.7	108.7	106.3	147.4	131.5	175.8	201.3	143.4	185.5
58	115.4	176.3	213.8	155.9	219.6	194.8	344.99	257.5	222.6	181.6	180.4	171.4
61	130.1	229.6	158.4	135.8	153.2	408.5	417.6	250	198.2	180.3	113.7	187.3
64	324.9	140.6	111.9	106.8	115.1	93.25	147.7	201.7	130.0	211.3	170.2	158.4
67	309.9	225.5	141.3	214.8	133.2	99.38	121.7	138.3	135.2	195.0	282.1	112.79

Ajustement de la Loi des Fuites aux totaux mensuels observés aux stations béninoises

Paramètre d'échelle - Hauteur moyenne d'un événement pluvieux (1/10 mm)

Code station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
70	209	77.9	73.1	117.8	147.0	68.5	106.8	123.8	113.9	172.3	88.9	26.5
73	433.6	179.4	117.8	119.8	56.4	73.7	113.2	161.8	88.0	185.2	108.8	249.2
76	136.7	162.9	128.8	109.4	125.4	149.2	304.3	291.7	219.0	183.2	98.8	153.0
79	107.6	146.0	150.5	140.9	99.0	67.7	96.11	168.4	144.7	190.1	169.7	139.6
82	137.5	150.7	156.8	151.17	130.7	128.5	383.6	347.1	208.7	158.2	135.6	149.5
85	0	181.9	159.6	109.6	162.2	113.19	128.0	132.9	101.8	136.9	94.8	69.2
88	106.4	100.9	101.7	140.9	104.6	78.7	164.1	124.9	107.2	195.7	187.7	118.8
91	141.2	150.8	202.4	97.5	133.5	200.3	272.5	237.4	265.6	161.2	144.3	110.5
94	155.9	142.4	137.1	170.1	97.5	79.97	157.3	175.0	103.1	234.3	195.8	121.2
97	72.66	165.2	160.7	147.2	116.7	125.5	265.8	179.6	150.4	168.8	105.8	166.5
100	348.1	210.6	138.5	78.7	88.9	66.8	177.8	164.7	166.9	150.3	171.3	248.0
103	117.6	138.4	196.8	158.2	163.0	408.0	478.9	222.6	244.0	189.1	106.7	133.6
106	110.4	165.5	153.0	117.6	136.4	121.1	226.6	143.2	144.8	105.4	138.8	178.3
109	162.6	136.8	126.3	127.9	127.2	169.8	288.5	225.7	243.8	123.2	113.4	92.0
112	0	55.8	97.7	147.6	66.05	81.03	94.48	159.7	205	220.1	165.4	139.5
115	174.6	159.9	131.2	131.7	161.4	410.4	545.7	262.7	259.6	171.5	126.9	139.5
118	167.9	155.8	144.2	145.5	104.3	181.8	31.78	254.7	211.9	193.8	137.2	159.4
121	148.1	143.5	234.4	148.7	83.87	86.5	366.7	247.2	135.1	128.4	248.7	151.1
124	79.8	134.5	152.7	100.9	107.7	101.3	35.90	238.6	136.4	122.7	173.3	140.4
130	227.7	170.7	155.6	180.3	142.2	337.9	617.6	375	299	220.7	105.3	122.3
133	65.0	124.5	101.6	67.9	72.7	62.7	150.5	143.8	103.4	161.45	127.3	162.7
136	110.3	142.5	131.5	116.0	102.2	107.5	311.7	2.61	110.1	159.3	130.1	132.4
139	185.8	238.4	176.6	141.0	130.0	53.2	354.0	149.8	196.2	136.5	97.2	169.6
142	181.4	188.7	150.3	73.8	100.8	116.5	322.1	279	229.6	156.5	133.1	142.1
145	165.4	186.7	154.0	140.0	129.8	81.15	257.2	254	174.9	191.9	169.2	151.5
148	151.3	158.9	118.1	108.4	83.4	177.53	311.7	283.8	160.8	158.7	145.6	146.9

Ajustement de la Loi des Fuites aux totaux mensuels observés aux stations béninoises

Paramètre de forme - Nombre moyen d'événements au cours du mois

Code station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.24	1.94	4.99	10.19	20.1	11.9	2.7	1.96	4.21	6.12	3.62	1.60
4	1.10	1.85	5.80	8.69	11.6	10.97	4.23	2.89	7.84	9.282	3.03	1.079
7	.73	1.78	5.08	7.40	8.35	10.09	3.54	1.97	5.18	6.38	3.35	0.793
9	.63	1.47	3.10	9.25	7.47	10.9	5.3	5.35	11.20	4.33	0.825	0.689
10	0.75	2.07	7.16	11.5	9.54	7.62	2.70	1.58	4.35	9.07	4.12	1.15
11	0.069	0.224	0.640	1.79	19.7	21.4	14.75	18.9	21.0	2.37	0.143	0.069
13	0.83	2.32	6.69	10.4	10.11	12.99	3.64	2.93	5.81	7.59	2.67	1.00
16	0.76	2.03	7.74	9.43	13.5	11.01	2.89	1.87	4.20	7.59	5.93	1.25
19	0	0.176	0.784	2.97	11.25	23.20	21.96	20.86	30.5	1.90	0.389	0.102
22	0.405	0.751	4.90	6.73	12.27	16.6	6.34	7.96	9.92	5.87	0.868	0.584
25	0.351	0.696	3.30	9.225	10.35	15.3	10.45	14.99	14.2	5.41	0.423	0.379
28	0.124	0.245	1.67	4.17	11.02	18.2	14.85	16.47	14.1	4.61	0.506	0.143
31	0.439	0.665	2.32	6.68	13.99	10.2	7.24	8.25	15.2	5.29	0.642	0.33
34	0.149	0.369	3.35	3.46	14.06	13.07	17.568	19.83	17.6	4.73	0.631	0.311
37	1.09	2.09	5.94	13.26	13.2	10.65	4.63	3.34	8.12	7.82	3.486	1.016
40	0.836	2.427	5.04	11.73	12.43	18.36	5.24	3.05	5.22	13.49	4.42	0.984
43	0.601	1.69	4.61	6.75	9.48	11.42	2.719	1.89	4.22	7.60	4.04	0.99
46	0.124	0.334	2.33	6.929	8.31	11.95	10.37	17.22	31.1	9.52	1.29	0.27
49	1.326	2.02	6.40	9.39	12.25	10.76	2.587	1.85	4.25	7.11	3.79	1.51
52	0.636	1.18	6.38	11.15	14.4	11.48	4.52	5.46	8.26	8.20	1.35	0.350
55	0.21	0.510	2.33	7.79	12.3	14.89	16.89	20.12	15.0	4.73	0.559	0.276
58	0.576	1.621	4.75	7.06	6.62	3.95	2.87	2.48	5.31	7.25	2.33	0.748
61	0.815	1.339	3.977	7.85	10.8	6.45	2.03	1.012	2.45	5.20	2.84	0.869
64	0.172	0.417	2.15	7.26	11.8	17.8	14.7	11.65	18.96	4.61	0.5810	0.172
67	0.074	0.288	1.61	3.13	10.47	15.67	16.19	19.19	18.2	3.59	0.289	0.113

Ajustement de la Loi des Fuites aux totaux mensuels observés aux stations béninoises

Paramètre de forme - Nombre moyen d'événements au cours du mois

Code station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
70	0.065	0.314	1.25	3.0	6.95	22.28	18.65	23.62	19.1	2.73	0.208	0.087
73	0.043	0.288	1.43	3.27	19.1	19.65	22.13	16.48	23.5	7.21	0.345	0.134
76	0.896	1.688	5.19	11.35	12.26	11.4	4.098	2.86	63	7.44	1.99	0.772
79	0.125	0.389	1.9	5.33	12.3	23.9	22.7	15.3	19.2	4.07	0.533	0.17
82	1.093	2.221	5.79	9.13	10.86	12.34	3.06	3.13	7.16	7.21	2.83	1.087
85	0	0.1	0.272	1.37	3.6	10.79	14.38	18.96	16.35	1.89	0.098	0.024
88	0.163	0.560	2.84	5.71	11.8	19.97	13.94	21.1	26.4	6.12	1.20	0.265
91	0.874	2.363	5.02	12.41	12.42	10.78	3.41	2.27	4.42	10.59	1.077	1.092
94	0.163	0.311	1.69	4.53	14.6	21.08	12.5	13.65	23.9	3.52	0.459	0.163
97	0.389	0.558	2.62	6.34	11.98	13.8	6.70	11.21	14.8	5.99	0.742	0.475
100	0.359	0.917	3.73	11.39	13.9	19.66	6.51	8.13	10.4	7.8	0.405	0.407
103	0.983	1.932	4.114	7.61	11.45	7.30	2.31	1.61	3.17	6.4	4.10	1.01
106	0.243	0.688	2.72	7.20	9.79	13.69	7.84	14.12	15.6	5.70	0.70	0.286
109	0.897	2.475	8.16	11.1	14.76	11.41	4.10	2.90	5.21	12.4	3.41	1.095
112	0	0.154	1.48	2.61	13.27	15.68	18.05	14.56	9.89	1.45	0.272	1.43
115	1.17	2.092	6.39	9.01	12.68	8.11	2.83	1.94	4.54	9.43	6.047	1.43
118	0.872	1.98	6.13	7.71	16.93	12.43	3.16	2.11	5.35	9.24	5.223	0.967
121	0.621	1.13	3.78	7.29	16.1	19.08	4.80	5.49	13.56	9.63	1.10	0.643
124	0.861	1.42	4.84	11.14	13.03	15.196	4.44	5.09	11.8	9.74	1.359	0.462
130	0.945	1.93	4.79	7.56	14.65	12.28	2.74	1.47	3.77	7.46	5.06	1.328
133	0.110	0.40	1.91	8.25	14.02	22.26	11.82	16.1	24.1	5.64	0.733	0.234
136	0.608	0.956	4.13	8.26	14.1	14.99	5.51	6.74	18.5	8.53	1.071	0.523
139	0.785	0.970	4.47	9.26	10.28	29.16	4.77	10.1	7.06	6.79	0.645	0.743
142	0.52	1.741	6.15	16.44	14.25	15.6	2.92	1.99	4.80	9.68	2.59	0.553
145	0.469	0.854	3.82	7.19	10.3	19.26	6.102	5.7	10.03	7.32	1.08	0.49
148	0.625	1.93	6.83	11.34	17.92	9.53	3.66	2.63	7.75	7.60	2.226	0.763

ORSTOM Éditions
213, rue La Fayette
F-75480 Paris Cedex 10

Diffusion
72, route d'Aulnay
F-93143 Bondy Cedex

ISSN : 0335-6906
ISBN : 2-7099-1168-X

Photo de couverture :
Lac Nokoué (Bénin)

Cliché : Robert Dessouassi