

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP

FACULTÉ DES LETTRES ET DES SCIENCES HUMAINES

Département de Géographie



Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle en Géographie

Option Hydrologie Urbaine

EAUX ET ENVIRONNEMENT À DAKAR

«PLUIES, RUISSELLEMENT, POLLUTION ET ÉVACUATION DES EAUX»

Contribution à l'étude des problèmes d'environnement liés aux eaux dans la région de Dakar

présentée par

Mohamadane BASSEL

sous la direction scientifique du

Professeur Mamadou Moustapha SALL

soutenue le 14 décembre 1996

devant le Jury composé de

Président	El Hadji Salif	DIOP	Professeur d'Université
Rapporteur	Mamadou M.	SALL	Professeur, Doyen de la faculté
Rapporteur	Jean	ALBERGEL	Directeur de recherches ORSTOM
Examineur	Christophe	BOUVIER	Chef du Programme RUES, ORSTOM
Examineur	Honoré	DACOSTA	Maître-assistant de Géographie
Examineur	Baba	COULIBALY	Directeur général adjoint de l'ONAS

Cette thèse a été financée par l'UR 24 de l'ORSTOM dans le cadre du Programme RUES

R

EMERCIEMENTS

La présentation des résultats de nos recherches nous donne l'occasion de remercier tous ceux qui de près ou de loin ont apporté une contribution à ce travail : les organismes, les scientifiques, les camarades et la famille.

L'UR 24 (de l'ORSTOM) a financé des campagnes de mesures hydro-pluviométriques et d'observations complémentaires sur le ruissellement et l'occupation des sols. Je voudrais remercier cette unité de recherche, en particulier son responsable Christian VALENTIN ainsi que toute l'institution ORSTOM. Je remercie Philippe MATHIEU, Représentant de L'ORSTOM au Sénégal où j'ai été accueilli pendant 3 ans en qualité de stagiaire de recherches. Jean ALBERGEL, codirecteur de cette thèse est le principal artisan de cette convention qui a permis l'aboutissement de ce travail. L'ex-SONEES et la Commune de Dakar, principaux services interpellés par le ruissellement urbain ont dès le début adhéré aux travaux. Leur contribution financière, si modeste soit elle, a été d'un grand apport dans la première phase du projet.

A la suite des bailleurs, je remercie Jean Claude LEPRUN, directeur de recherches, pour les encouragements et l'appui matériel qu'il m'a procuré. Je réaffirme ma reconnaissance à mon institution d'origine, la Faculté de Lettres et Sciences Humaines notamment les Départements d'Histoire et de Géographie.

Tous les membres du jury chargé de sanctionner ce travail, m'ont aidé et méritent que je les remercie très chaleureusement. Le Professeur et Doyen de la faculté, Mamadou Moustapha SALL m'a toujours manifesté une grande confiance en acceptant de diriger tous mes travaux universitaires et de m'envoyer en stage aux centres ORSTOM. J'espère que ce travail qu'il a toujours suivi de très près, répond à toutes ses attentes. J'ai toujours admiré l'engouement du Professeur El Hadji Salif DIOP pour la recherche; c'est un grand honneur pour moi qu'il ait accepté de présider mon jury.

Jean ALBERGEL a mis en place et guidé les premiers pas du programme RUES à Dakar. Bien qu'affecté à Tunis, il s'est toujours soucié du bon déroulement de mes recherches aussi bien à Dakar qu'à Montpellier où de passage, il est venu s'enquérir de ma situation. C'est à n'en pas douter, l'homme à qui je dois le plus pour ma thèse. Sa présence à Dakar malgré son emploi du temps très chargé, montre s'il en est encore besoin, toute l'affection qu'il n'a jamais cessé de me manifester.

Au laboratoire d'hydrologie de Montpellier, j'ai été reçu par Christophe BOUVIER, un chercheur qui s'est donné corps et âme à son métier, un chercheur d'avenir pour l'hydrologie urbaine, formé à l'école de l'éminent professeur Michel DESBORDES. J'ai tenu à ce que Christophe soit rapporteur de ce travail dont il a initié d'importantes parties. Nous espérons que la communauté scientifique profitera de sa présence pour réfléchir sur un programme «*L'eau dans la ville au Sénégal*».

C'est lors de ma seconde année universitaire que j'ai rencontré Honoré DACOSTA qui m'a par la suite apporté beaucoup de connaissances en hydrologie à l'occasion de discussions. Il m'a apporté son soutien dans la définition de ce travail sur les eaux pluviales en milieu urbain et il est l'initiateur de plusieurs études sur les pluies dans des villes du Sénégal.

Baba COULIBALY que nous avons le plaisir de compter parmi notre jury, est actuellement un des principaux responsables de la nouvelle société chargée de l'assainissement au Sénégal. C'est un technicien, un homme de terrain mais aussi quelqu'un de très ouvert à la discussion avec les universitaires dont il est convaincu qu'ils doivent participer pleinement à la recherche de solutions pour les difficiles problèmes d'assainissement que connaissent les villes du Sénégal.

A la suite des membres du jury, je me permet de remercier nommément messieurs le Professeur Cheikh BÂ, Lat Soucabé MBOW maître de conférences, les maîtres-assistants Paul NDIAYE, Amadou F. KANE, Ndiacé DIOP, Alioune BÂ, Amadou A. SOW, Alioune KANE, Pascal SAGNA, Diène DIONE, GORGUE CISS et Amadou DIOP, tous du Département de Géographie ainsi que Saliou NDIAYE, maître de conférences en Histoire. Auprès d'eux, j'ai toujours reçu des conseils et des encouragements à aller jusqu'au bout.

A L'ORSTOM de Dakar, je ne peux manquer de remercier des chercheurs mais aussi des travailleurs de certains laboratoires et de l'administration.

Au laboratoire d'hydrologie, je réitère toute ma reconnaissance envers Luc SÉGUIE, Jean Pierre THIÉBAUX et surtout Yannick PÉPIN qui m'a initié au jaugeage et a été mon compagnon de terrain durant deux campagnes de

mesure. La collaboration s'est poursuivie avec la nouvelle équipe du laboratoire, constituée de Michel ESTÈVES, Olivier PLANCHON, Jean Marc LAPETITE sans oublier le cartographe Amadou Ndiaye CISSÉ toujours disponible.

Je remercie Jean Yves GAC qui m'avait accueilli au laboratoire de géochimie pour les besoins du D.E.A ainsi que toute son équipe. Au laboratoire de chimie, Jean Louis DUPRÉ puis Gilles CIORNEI et Maimouna CISSOKHO n'ont ménagé aucun effort pour me fournir des données assez fiables sur la qualité des eaux de Dakar. Je remercie également le laboratoire de Pédologie qui enregistre la pluviométrie du Centre de Hann

Je dois également remercier Anne TRAORÉ qui s'occupe du partenariat ainsi que Valérie ROTIVAL, Fulgence SECK, Maurice NDONG et Ibrahima DIAWARA du Centre de Recherches et de Documentation (C.R.D.O.).

A l'ex-SONEES (aujourd'hui réorganisée), j'exprime toute ma gratitude à Aladji DIENG, Bara DIAKHATÉ, Ousmane CAMARA et Alassane DIENG ainsi que mes anciens promotionnaires Papa Gaydel GAYE et Ibrahima NDIAYE. A la Mairie de Dakar, Mbaye Mbengue FAYE et Saliou GNING m'ont beaucoup apporté. Je les remercie ainsi que Abdoulaye SÈNE chef de la mission des Vallées Fossiles, Seyni COLY et Gora NDIAYE de l'Hydraulique.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à tous ceux qui ont eu à m'aider sur le terrain: Julien GOMIS, les frères Abdoulaye et Cheikh Madické DIAKHATÉ. Mon ami Moussa DIOUF vendeur de pièces détachées s'est sacrifié pour que ma « ferraille de voiture » tienne durant deux campagnes.

A l'École Normale Supérieure (E.N.S.) comme à l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD), j'ai côtoyé plusieurs étudiants de différentes promotions parmi lesquels certains sont restés de véritables compagnons; parmi eux, je citerai Abdoulaye SÈNE, Abdallah FAYE, El Hadji SARR, Alioune BADIANE, Ibou DIALLO, Alassane DIOP, Adrien COLY, Awa NIANG, Lamine SARR, Lamine KONATÉ, Alioune SARR, Mamadou SOW, Aly Bocar KANE, Mame Dagou, Khady DIAGNE, Tida MANÉ, Halima LAAROUBI et Isaac DIALLO. Que toute la promotion 1993-95 de l'ENS ainsi que les formateurs du Département d'Histoire et de Géographie trouvent ici ma reconnaissance. Je remercie mes collègues et mes supérieurs hiérarchiques au Lycée Cheikh Ahmadou BAMBA de Diourbel ainsi que les autorités scolaires de mon pays, qui m'ont autorisé à partir en stage et également ceux qui m'ont accueilli dans le prestigieux Centre ORSTOM de Montpellier, notamment Marc MORELL le responsable du laboratoire d'hydrologie. Je dis aussi merci à Patrick RAOUS, Alain LARAQUE, Hélène LUBÈS, Nadine MUTHIER, Brigitte JEANNY, Valérie DURAND et Nathalie ROUCHÉ. De ce séjour en France, je garde le souvenir de gens que j'ai connus dans ces moments de solitude: mon compatriote Papa Samba DIOUF du CRODT, les Burkinabé Issa SIDIBÉ et Mahamane OUEDRAOGO, le Nigérien Sanda SANI, les Français Franck GAUTHIER, Benoit HINGRAY, Nicolas PECH, Christine et Eric ainsi que toute la famille FARNALLIER.

A la suite des connaissances nouées par les études, je réaffirme mon attachement à mes amis de toujours: Abdoulaye SARR, Moussa NDIAYE, Cheikh DIOP, Lamine NDIONE, Seydou Nourou SOW, Cheikh GUËYE et tous mes amis de l'AJP Unité 9. Je remercie encore une fois Moustapha FALL de Taïba et sa femme Ndèye Coumba.

Enfin je profite de l'occasion pour réaffirmer ma solidarité envers toute la famille BASSEL: Que tous, parents, frères et soeurs trouvent ici mes remerciements les plus chaleureux. Pour mon père et ma mère, je dis merci au Bon Dieu qui a accordé qu'ils soient témoin de ce jour. Je remercie aussi toute ma belle-famille pour l'appui constant qu'elle m'a toujours procuré.

Je termine enfin mes pensées envers la petite famille, qui a souvent souffert de l'éloignement du « Chef »: ma femme Marème Soda qui a géré l'intendance et s'est occupé des petits, ma fille Arame et mon petit Cheikh Amadou Bamba, à qui je souhaite une carrière scolaire plus facile et plus fructueuse que celle de leur papa. Que le Bon Dieu leur accorde une longue et heureuse vie.

*A tous ceux qui s'investissent
pour la protection de notre environnement commun,
je dédie ce modeste travail.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

CHAPITRE DEUXIÈME

CHAPITRE TROISIÈME

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

CHAPITRE DEUXIÈME

TROISIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

CHAPITRE DEUXIÈME

CHAPITRE TROISIÈME

CHAPITRE QUATRIÈME

CONCLUSION GÉNÉRALE

PRÉSENTATION DE LA RÉGION DE DAKAR

LE MILIEU PHYSIQUE

L'OCCUPATION DE L'ESPACE APPROVISIONNEMENT EN EAU

RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT ET PROBLÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX

PLUIES ET COMPOSITION CHIMIQUE D'EAUX

LES PLUIES SUR LA RÉGION DE DAKAR

COMPOSITION CHIMIQUE D'EAUX DANS LA RÉGION

ÉTUDE DES ÉCOULEMENTS

REVUE CRITIQUE DES MODÈLES

PHYSIOGRAPHIE D'UN BASSIN VERSANT EXPÉRIMENTAL

LES MESURES HYDROPLUVIOMÉTRIQUES

MODÉLISATION DU RUISSELLEMENT

INTRODUCTION GÉNÉRALE

« Assainir une ville est plus qu'une volonté politique ou un enjeu social, c'est une contrainte qui répond à une logique économique. Assainir la ville c'est l'aménager, c'est lutter contre certaines maladies, c'est aussi en termes techniques, gérer les déchets liquides et solides, les eaux usées, les eaux pluviales et les ordures ménagères ». BOUTAYEB (1994)

« L'eau est une source limitée, limitante pour le développement économique, de qualité souvent médiocre par une concentration en sel élevée, vulnérable à la pollution par un développement industriel incohérent, parfois non renouvelable par une surexploitation intensive des nappes, dévastatrice pendant les grandes crues... La maîtrise des ressources en eaux naturelles et leur gestion du point de vue quantité et qualité en vue de garantir la sécurité des approvisionnements, la sauvegarde de l'environnement et la protection contre les inondations devient une priorité pour que le développement reste durable » MADIHA (1994).

Ces deux citations résument le constat qui nous a incité à cette présente réflexion dont la problématique tient en ces lignes suivantes.

De près d'un million d'habitants en 1976, la population de Dakar est passée en 1988 à 1.428.084 habitants. Avec un rythme d'accroissement de 3,1% par an, la population pourrait atteindre 2,8 millions d'âmes en l'an 2010. Cet accroissement du nombre d'habitants se traduit par une extension de l'espace bâti (7% d'accroissement par an selon la Mairie de Dakar) dans une région si réduite ne couvrant que 550 km². La région de Dakar dispose du plus fort taux d'urbanisation du Sénégal (2596 habitants/km²), alors que sa superficie est la plus petite du pays. Les villes de Dakar, Pikine et Rufisque connaissent une croissance régulière. L'espace bâti est en constante extension avec en corollaire des problèmes d'assainissement de plus en plus pressants. La pression démographique accroît le rejet des eaux usées alors que le développement de l'espace bâti augmente les surfaces imperméabilisées; la conjonction de ces deux phénomènes augmente le coefficient de ruissellement des eaux de pluie. Dakar, Pikine et surtout Rufisque bâties sur une zone de faible altitude, connaissent de plus en plus de difficultés dans l'évacuation des eaux pluviales. En plus de ces deux phénomènes, la configuration géomorphologique (modèles en dunes, dépressions humides) présente plusieurs zones déprimées favorables à la stagnation des eaux pluviales. La mauvaise évacuation des eaux est à la base des fréquentes inondations. Mal évacuées, ces eaux en stagnation au niveau des points bas, s'infiltrent vers les nappes souterraines dont elles détériorent la qualité chimique. Bas-fonds et nappes souterraines, principaux milieux récepteurs après le milieu marin, connaissent ainsi une dégradation accélérée de leurs potentialités.

L'état de sous-développement est un facteur de difficultés qui entravent les processus de développement: insalubrité ne rime pas avec progrès social. L'assainissement est de nos jours une des questions les plus délicates dans les pays pauvres comme le Sénégal parmi d'autres, car c'est une donnée difficilement maîtrisable dans le temps. L'eau est la vie car elle est source de la vie. Elle est aussi source de maladies et de catastrophes, donc de *phénomènes de destruction de la vie*. Cette place centrale qu'elle occupe dans le quotidien et le devenir des populations, nécessite de plus en plus une attitude scientifique vis à vis des activités que les hommes exercent sur elle. Les problèmes d'assainissement nécessitent des actions à deux niveaux: une mobilisation scientifique avec des moyens de plus en plus importants et surtout une prise de conscience des populations pour une meilleure gestion des rejets.

Grâce au concours scientifique et l'assistance du Laboratoire d'Hydrologie du Centre ORSTOM de Dakar-Hann, notre projet d'étude sur le ruissellement urbain et la qualité des eaux dans la région de Dakar a été mis sur pied et intégré dans le programme RUES (Risques Urbains liés aux Eaux et aux Sols) de l'UR 24 de l'ORSTOM¹. Dans la plupart des autres villes concernées par le Programme (Mexico, Quito, Tijuana, Niamey et Onagadougou) des études ont déjà été menées sur le ruissellement urbain. Elles sont pionnières à Dakar où elles ont débuté sans gros moyens, sur un seul bassin versant urbain.

¹ ORSTOM: Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération

UR24: Unité de recherche 4 de la Commission Scientifique 2

DEC: Département Eaux Continentales

Deux années durant, un suivi de la pluviométrie sur des stations expérimentales, une campagne de mesures de débits et de prélèvements de crues, un échantillonnage mensuel au niveau de plans d'eau, de puits et d'exutoires de conduites ont été menés. A la troisième année, des observations ont été faites au niveau du bassin versant et dans différents quartiers de la ville. Les objectifs visés à travers ces recherches sont une caractérisation adéquate du ruissellement en zone urbaine en vue d'améliorer la connaissance des paramètres qui entrent en ligne de compte dans le dimensionnement des ouvrages évacuateurs, une information sur le processus et le degré de pollution par les eaux de ruissellement ainsi que l'impact de cette pollution sur les milieux récepteurs. La reconnaissance du terrain et la cartographie du bassin versant choisi ont été les premières opérations.

Avant de rentrer dans le vif du sujet, il est peut-être intéressant de faire le point sur l'état actuel des questions qui sont à la base de nos recherches. L'étude des problèmes d'environnement liés à l'eau est assez récente mais se développe très vite. Les thèmes que nous discuterons ont été abordés dans plusieurs publications. Il s'agit de mémoires d'étudiants et d'élèves de grandes écoles, d'articles de chercheurs et de journalistes, de rapports de services compétents et de projets et enfin de quelques thèses récentes. Nous revenons assez largement sur un mémoire de maîtrise soutenu au Département de Géographie à la fin des années 1970 et qui abordait beaucoup de nos thèmes de recherche.

APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE

Nous en avons extrait de la liste bibliographique le mémoire de maîtrise de GUEYE (1979) pour le présenter sommairement. La raison est qu'il embrasse la question qui est l'objet de notre thèse: présentation de la région, approche de problèmes d'environnement liés aux eaux, étude des pluies. Il est encore très utile dans la mesure où il donne une présentation de la situation du réseau et du bâti.

Nous citerons aussi quelques données climatiques tirées du mémoire de DIOP (1983) et nous évoquerons aussi la thèse de NIANG (1995) en rapportant des résultats d'enquêtes sociologiques dans des quartiers représentatifs de la ville de Dakar et des résultats sur l'incidence des rejets sur la faune marine. Ces enquêtes ont été menées par une équipe de plusieurs organismes sur des financements intéressants. Malgré des sollicitations auprès de plusieurs organismes, nous n'avons pu décrocher les moyens pour compléter les résultats. Enfin il convient de citer le mémoire de KANE (1995), une analyse statistique des pluies sur la région de Dakar, sous la direction de Honoré DACOSTA, travail auquel nous avons été associé.

Le travail d'études et de recherches de GUEYE (1979), sous la direction du Professeur Paul MORAL, porte sur des questions de Géographie urbaine. L'auteur part de l'affirmation selon laquelle « les hommes s'urbanisent pour solutionner l'épineuse question de l'occupation de l'espace eu égard au nombre sans cesse croissant des hommes... Les villes sont devenues les pièces maîtresses sur l'échiquier mondial... Cette "montée des villes" et les multiples fonctions qu'elle engendre, pose un grand nombre de problèmes suscitant beaucoup de questions auxquelles le Sociologue, l'Économiste, l'Urbaniste, le Géographe,... ont tenté de donner chacun en ce qui le concerne, des réponses adéquates. L'Afrique noire qui amorce son entrée dans la civilisation industrielle connaît à son tour une urbanisation trop rapide, voire même anarchique. Cette situation est due au fait que dans les pays sous-développés, la ville n'organise pas l'arrière-pays car elle se présente comme "un corps étranger greffé sur l'organisation de l'occupation de l'espace" ».

Le travail de GUEYE (1979) se veut une contribution à une « géographie de la pollution urbaine », car la question de la pollution a été très souvent négligée par la Géographie urbaine dans la mesure où les menaces de danger de pollution ne sont clairement perçues qu'en cette seconde moitié du XX^{ème} siècle. Les écologistes ont tiré sur la sonnette d'alarme et essayé de sensibiliser l'opinion internationale sur les conséquences incommensurables occasionnées par le gigantisme des villes.

Trois axes essentiels de recherche ont été dégagés: l'évolution de la croissance urbaine de Dakar à travers les différents plans directeurs d'urbanisme, l'historique de l'installation des différents évacuateurs et l'analyse des conditions du site de la ville; le second axe est un recensement des services chargés de l'assainissement, l'explication de leur fonctionnement et de leur organisation, l'analyse des eaux pluviales, des problèmes qu'elles engendrent et enfin celle des eaux usées ou eaux vannes. Le dernier volet est consacré au recensement des problèmes, suivi des perspectives.

La première partie de la réflexion présente le plan Pinet-Laprade, le premier pour la ville, conçu en damier et centré au départ autour de l'Arsenal et du port, avec en majorité un grand nombre de bâtiments administratifs et militaires. L'extension de la ville se fera sur le plateau tandis que la dépression centrale accueillera les populations africaines. La ville n'ayant cessé de se développer, des architectes furent chargés d'étudier et d'établir un plan directeur d'urbanisme en 1946. Ce plan qui guida l'évolution de la ville jusqu'à l'indépendance, avait prévu une zone commerciale, une zone industrielle, l'autoroute d'accès, la définition de plusieurs zones résidentielles différentes par leur morphologie urbaine et le niveau de vie des populations auxquelles elles sont destinées (le Plateau, la Corniche ouest, le Grand Dakar, la rénovation de la Médina, la réservation d'espace dans les zones nouvelles pour de futurs centres commerciaux, administratifs, scolaires, universitaires, hospitaliers et culturels).

Le plan Pinet-Laprade, suivi dans ses grandes lignes, est à l'origine de la morphologie actuelle de la ville. L'évolution démographique plus rapide que prévue incitera à la création de la cité de dégagement de Dagoudane-Pikine en 1953. Cette évolution persistant, il a fallu envisager un nouveau plan directeur dont l'architecte Ecochard fut chargé de la réalisation en 1966 en accord avec la Direction Nationale de l'Urbanisme. Le nouveau plan de 1967, élaboré sur la base des principes de la Charte d'Athènes (4 fonctions essentielles: habiter, travailler, circuler et se cultiver le corps et l'esprit) eut pour mission fondamentale de juguler, d'organiser et d'orienter les « déguerpis de Dakar » et l'urbanisation anarchique et sauvage de la proche banlieue. Ce Plan prend également en charge les projets de circulation et de transport, le tourisme, l'alimentation en eau potable et l'aménagement des égouts. En ce qui concerne les deux derniers aspects, le

PNUD puis l'O.M.S. ont été chargés d'une étude globale pour l'assainissement de la ville de Dakar. L'ancien réseau d'égouts et de collecteurs d'eaux pluviales était devenu désuet et devrait être repris avec une intégration de l'ensemble de l'espace bâti et à bâtir. Le plan ECOCHARD a connu quelques réussites au niveau de l'habitat mais l'échec a été total au niveau de la circulation et des transports. Le volet assainissement ne connut pas plus de réussite. Ainsi la non intégration des collecteurs d'eaux usées et pluviales se confirmait encore avec ce plan; ces ouvrages ont toujours été mis en place lors d'opérations ponctuelles pour résoudre des problèmes inattendus. Cette remarque de GUEYE (1979) est aujourd'hui confirmée avec la réaction tardive de la Commune de Dakar après le naufrage de deux jeunes personnes le 13 août 1994 : le canal IV vient en effet d'être doté d'une grille de protection des populations face aux dangers longtemps signalés des canaux à ciel ouvert.

Après avoir présenté les différents quartiers de la ville avec les volumes moyens d'eau consommés (voir tableau) par ses résidents, l'auteur présente de manière succincte l'historique de l'implantation des réseaux d'évacuation des eaux usées et pluviales. GUEYE (1979) résume les conditions de la mise sur pied d'un nouveau plan directeur pour la ville, essentiellement basé sur les questions d'assainissement et d'alimentation en eau.

Ce plan préparé par le Bureau d'Études hollandais NEDECO², s'est donné comme priorité l'assainissement de la baie de Soubédioune et de la plage de l'Université. Entre autres objectifs, le plan a prévu la préparation du projet des Parcelles Assainies de Cambéréne, les HLM de Pikine, la SICAP-Mbao, la rénovation d'une partie de la Médina, le lotissement Builders, l'augmentation de la production d'eau pour combler le déficit, l'amélioration de la distribution et de l'évacuation des eaux usées ainsi que la création de la SONEES.

Tableau 1- Informations sur le niveau de vie par quartier à Dakar (Source Nedeco)

Quartier	Type	Densité	infrastr sanitaire	Réseau appro	Réseau assain	État réseau	Consom/tête jour:l
Plateau	A	90 hbts/km2	satisfaisante		E. P.+ E. U.	vétuste	200
Sicap	B		moderne	moderne	moderne	bon	59
HLM	C			complet	complet	bon	46
Médina	D		passable	born-f.+20%	édicules publi	mis en 1950	20.5 à 52
Grand-Dakar	E		presqu'absente		rudimentaires	nouv. vidoirs	18.5 à 37
Quartiers irrég.	F	très élevés	inexistante	non	non		10

Le premier axe de réflexion se termine sur l'analyse du site de Dakar. A partir d'observations sur la topographie, la nature du sol, l'hydrogéologie et le site maritime, les observations suivantes se dégagent :

* Dakar-ville et ses environs immédiats constituent une zone de sécurité en raison de la densité du réseau d'évacuation et des fortes pentes de bassins versants. Par gravitation, les effluents sont rejetés en mer. ce qui occasionne cependant une pollution des plages;

* les zones de Hann, Pikine, Thiaroye, Rufisque et Bargny sont des sites aléatoires menacés par la remontée possible des nappes souterraines, la faiblesse ou l'inexistence de réseaux d'égouts et de pentes fortes des bassins versants aréiques;

* le littoral est soumis à l'action de masses d'eau saisonnières et de houles: Mai à Août, eaux tropicales chaudes et salées (27 à 28°C, 35.7 g/l de salinité), Août à Décembre eaux guinéennes chaudes et dessalées (28°C et 35 g/l), Décembre à Mai, eaux froides et salées qui remontent par upwelling (18-19°C et 35,5 g/l). La houle du NW subit une rotation autour de la presqu'île du Cap Vert pour atteindre l'anse de Hann. Ce phénomène a pour effet de concentrer sur la côte tous les effluents déversés par le collecteur Hann-Fann, limitant leur dispersion au large. La houle du SW tendrait plutôt à amoindrir l'effet néfaste de la houle du NW sur toute la côte au sud de Rufisque. L'action combinée de la houle NW et des courants marins crée une zone tourbillonnante entre les Almadies et la Pointe de Fann, ce qui maintient les eaux usées déversées.

Le second volet du mémoire intitulé "l'évacuation des eaux usées et pluviales" comporte un aperçu historique des services chargés de l'assainissement, une présentation de la Municipalité et de la SONEES, organismes qui s'occupaient de la question. une étude sur la pollution par les eaux pluviales à travers l'intensité des pluies et le réseau d'évacuation des eaux pluviales et enfin une étude de la pollution par les eaux usées qui comprend comme sous-chapitres la consommation d'eau à Dakar, la quantité et la qualité des eaux usées, la description du système d'égouts d'eaux usées.

²NE DE CO: Nederland Developpement Compagny

Cette partie rassemble beaucoup d'informations très utiles qu'il y a cependant lieu de réactualiser en y ajoutant les réalisations de ces quinze dernières années. Cependant nous remarquons que la caractérisation du risque pluviométrique, malgré quelques données encore utilisables pour des besoins de comparaison avec la période actuelle, est de très loin insuffisante, à cause de son caractère sommaire et peu clair. Quand il est dit à la page 76 " les précipitations de jour ne sont jamais très violentes. La nuit, les pluies sont plus intenses. Leur intensité atteint 5,5 mm/h en Octobre... Cette intensité explique la violence de l'érosion sur le [modelé] dunaire au nord de la presqu'île du Cap Vert et sur les sols souvent dénudés surtout par effet de ruissellement". Avec 5,5 mm/h d'intensité, pour obtenir une pluie de 100 mm, il faut environ 20 heures. Or la station pluviographique installée à l'Ecole Normale Supérieure a enregistré 120 mm de pluie en 2 heures et en plein milieu de la journée. Les moyens d'enregistrement et de dépouillement des pluviogrammes qui existent à l'heure actuelle, offrent la possibilité de faire une étude fine très fiable de la pluviographie (voir deuxième partie). La formule de calcul du débit de ruissellement utilisé pour le plan NE.DF.CO.³, n'est pas expliquée. Nous renvoyons aux différents rapports de nos campagnes hydrologiques et à la dernière partie de ce travail pour de plus amples informations sur ces questions.

Le dernier volet du travail de GUEYE (1979) consiste en une synthèse des problèmes, suivie d'une série d'éléments de réponse soit en cours de réalisation, soit à l'état de propositions, soit de projets à effectuer ou en exécution. Parmi les problèmes, on retrouve le caractère unitaire des canalisations, comme les collecteurs du Plateau et celui du Hann-Fann, "avec la crainte d'une surcharge des collecteurs dans un avenir proche". Le Plateau ne devrait comporter que des villas à 2 étages au plus alors que les gros buildings y ont proliféré. GUEYE (1979) s'inquiétait principalement des extensions du bâti sans un souci d'adéquation des ouvrages d'évacuation, dont l'essentiel est constitué par des égouts souvent vétustes, de diamètre étroit, difficiles à curer. Il note ensuite l'inexistence, *encore réelle*, de systèmes d'évacuation d'eaux pluviales dans des quartiers périphériques comme Grand-Yoff, Pikine etc., constamment inondés. Enfin il y a l'insouciance des populations qui déversent des eaux usées dans les collecteurs d'eaux pluviales et des ordures dans les vidoirs d'eaux usées. Selon lui toujours, la faiblesse des moyens d'intervention de la SONEES n'est pas pour un règlement rapide et efficace des problèmes.

Les perspectives concernent la réutilisation des eaux usées, proposée par le plan NEDECO, pour l'irrigation (après études sérieuses de leur qualité), pour l'infiltration et la recharge des nappes après épuration. Ces eaux infiltrées participent au blocage de l'avancée du front salé. En dehors de ces propositions, il y a des réalisations parmi lesquelles la station d'épuration de la Patte d'Oie, achevée en 1971. Elle permet une redistribution d'eaux épurées vers les jardins en contrebas. Cependant il a été signalé au bidonville de Grand-Médine, la consommation de ces eaux surtout en période de rupture de la distribution de l'eau potable. Les risques sanitaires sont sans commune mesure. La réutilisation des eaux usées doit donc se fonder sur la satisfaction de plusieurs préalables, qui nécessitent des investissements coûteux. Ainsi des projets jugés plus rentables pour le tourisme en particulier, ont été étudiés: l'assainissement de la baie de Soubédioune, de la plage de l'Université ainsi que la reconstruction du canal de la Guenle-Tapée. Ces projets dont l'exécution a démarré en 1977, ont été étudiés par NEDECO et publiés dans des dossiers techniques.

Le mémoire de GUEYE (1979) renferme beaucoup d'informations sur plusieurs aspects des questions de l'assainissement dans la région de Dakar. Cependant ces données et informations doivent être actualisées voire complétées dans la mesure où les réseaux se sont développés, les organismes de gestion et d'intervention se sont accrus, l'espace bâti s'est étendu avec les nombreux programmes de construction de logements, les volumes d'eau distribués et la consommation en eau potable ainsi que les rejets, ont largement augmenté. L'analyse de certains aspects de la thèse de NIANG (1995) permet de percevoir l'évolution de certaines réalités étudiées par GUEYE (1979).

³Q = 0,01 x C x A x i avec Q débit en m³/s, i intensité des pluies en l/s/ha et A surface durcie en ha

PREMIÈRE PARTIE PRÉSENTATION DE LA RÉGION

Dans son introduction, DUBRESON A. (1978) écrit : « Préparé par la tectonique (horts paléocènes de Ndiass et de Dakar, exondation du substratum marno-calcaire lutétien au Miocène) ainsi que par les éruptions volcaniques accompagnant des cassures récentes (système de Dakar puis système des Mamelles), le rattachement de la presqu'île au corps principal du bassin sénégalais résulte des pulsations du niveau marin et des oscillations climatiques du Quaternaire. Accumulations progressives de sable et constructions de cordons dunaires surtout puissants sur le littoral septentrional donnent à l'ensemble un caractère de pseudo-tombolo ».

Le milieu physique présente une diversité avec des paysages multiples, des types de sols et de végétation variés. Cet espace à la pointe de l'Afrique occidentale a été progressivement découvert et occupé avant et pendant la colonisation française. Son développement démographique s'est faite au détriment d'autres villes du Sénégal comme Saint Louis, Gorée et Rufisque. Ses avantages au niveau du site et de la situation ont conforté son choix comme capitale de l'AOF (Afrique Occidentale Française) puis du Sénégal.

« La tête de la presqu'île sur laquelle s'est installée Dakar, est un ensemble de plateaux constitués par deux systèmes volcaniques d'âge différents séparés par une petite plaine basse, le tout s'inclinant vers l'ENE. Cette tête de la presqu'île est furieusement attaquée par les flots océaniques qui créent sur ses côtes de nombreux caps et anses, tandis que quelques îlots s'isolent à peu de distance. C'est dans une de ces anses, l'anse dite de Dakar, la plus étendue et la mieux protégée, que s'est logé le grand port moderne entre la Pointe de la Défense et celle de Bel-Air » (SECK A. 1970). Ce site est incontestablement favorable pour une ville - port. Les navires doivent cependant contourner la presqu'île par le sud pour accéder au port situé à l'est dans une zone de baie s'étendant jusqu'à la Petite Côte. L'accès n'était pas facile par la façade nord, bordée de hauts-fonds qui causaient beaucoup de naufrages de navires. En effet cette façade nord - atlantique, hormis Kayar avec sa fosse sous-marine, est caractérisée par un accès difficile à cause de phénomènes comme la barre à Saint-Louis.

Les façades sud et ouest sont des côtes à falaises, rocheuses et élevées qui offrent à la ville des pentes par rapport au niveau de la mer: ainsi l'ouest a été choisi comme le lieu privilégié de rejet des eaux usées et pluviales de la ville: c'est l'exutoire des grands canaux à ciel ouvert. Les forts courants marins, s'ils atteignaient les baies, pouvaient permettre un brassage de ces rejets et minimiseraient ainsi la pollution du milieu marin.

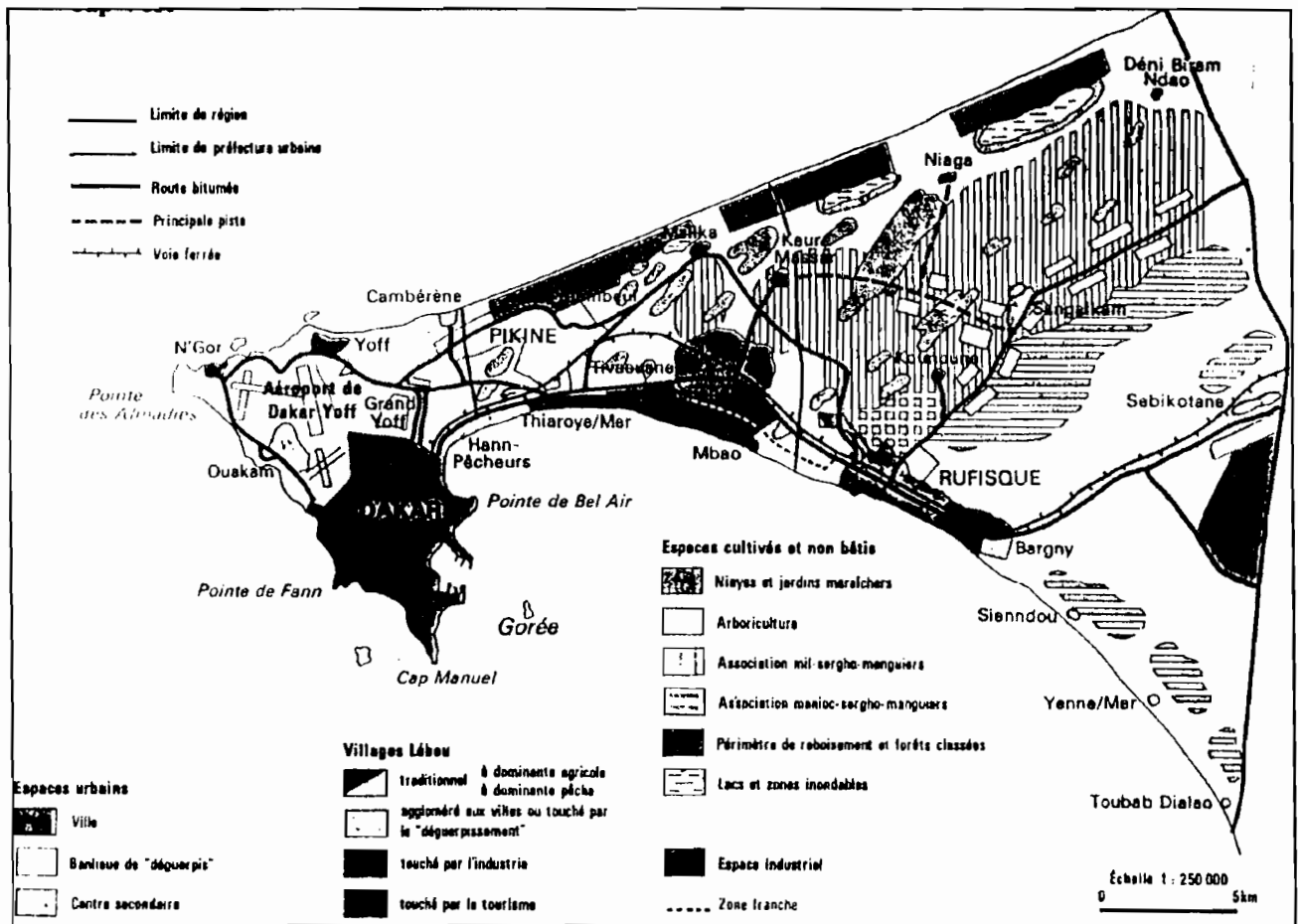
Du point de vue topographique, le site de Dakar présente un certain nombre de bassins versants dont les talwegs de certains ont été aménagés en canaux d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées par gravitation. Du nord à la pointe sud de la tête de la presqu'île, les exutoires des bassins versants sont dirigés en

mer. Entre la tête de la presqu'île et la zone de Rufisque-Bargny, les terrains à épaisse couche de sable favorisent une infiltration vers les nappes ou un écoulement souterrain vers la mer. Les agglomérations urbaines de Rufisque-Bargny ont été érigées sur des reliefs accidentés dont le drainage s'effectue vers la mer.

En plus du site, Dakar bénéficie d'une situation privilégiée: la presqu'île dépasse 17°W alors que le point européen le plus occidental ne dépasse pas 11°W de Greenwich. Ce cap avancé se trouve à plus de 500 km à l'ouest de Casablanca; il est un des lieux africains les plus rapprochés de l'Amérique du Sud. L'histoire retient aussi que ce fut le trajet le plus court dans les relations commerciales Europe - Afrique - Amérique.

Quant à la région de Dakar, elle s'étend de la pointe des Almadies à l'ouest jusqu'à une ligne d'orientation méridienne reliant Kayar, le lac Tanma et la vallée de la Somone. Elle est bordée à l'est par le revers de la falaise de Thiès. C'est une presqu'île où la mer a laissé son empreinte sous forme de dépôts sédimentaires et de lacs salés. La presqu'île présente une variété de côtes: sableuse, rectiligne et basse, rocheuse, découpée et à falaise haute.

Carte 1 : Présentation de la région



CHAPITRE PREMIER : LE MILIEU PHYSIQUE

La région de Dakar présente plusieurs particularités du point de vue du milieu physique, par rapport au reste du pays. En effet, on y localise des types de relief variés, une configuration géomorphologique très diversifiée, un climat spécifique, une végétation multiforme. Les côtes sénégalaises sont dans l'ensemble plates et sableuses; mais on rencontre dans la presqu'île du Cap Vert des côtes découpées et des roches dures. Les systèmes volcaniques qui ont intéressé la région sont les principaux facteurs d'explication des altitudes par rapport au reste de la côte sénégalaise. A l'est, ce sont les mouvements tectoniques qui sont à l'origine de l'érection du horst de Diass. La carte topographique présente de manière globale les différentes aspérités du relief.

1 LES MODELÉS, LA GÉOLOGIE ET L'HYDROGÉOLOGIE

Les agents d'érosion responsables des divers modelés agissent en fonction de la géologie du terrain. La géologie participe aussi de manière décisive dans la disponibilité des réserves en eaux profondes. Nous examinons d'abord le couple modelé et géologie avant d'en arriver à l'hydrogéologie.

1.1 Modelés et Géologie

L'espace de la Presqu'île du Cap Vert bien que restreint présente une morphologie loin d'être uniforme. Définie comme un "tombolo" par RICHARD-MOLARD (1949), la Presqu'île appartient au bassin sédimentaire sénégalomauritanien. Ainsi quatre unités géomorphologiques s'y individualisent: la tête de la Presqu'île à l'ouest, le pays de Bargny au centre-sud, le massif de Diass qui s'étend jusqu'à la falaise de Thiès et enfin, la région des Niayes au nord.

La tête de la presqu'île est recouverte par des roches d'épanchement et de projections volcaniques provenant des deux systèmes que sont celui d'âge miocène du Cap Manuel et celui d'âge pléistocène des Mamelles. Les petits plateaux du Cap Manuel et de l'île de Gorée sont constitués de laves de la fin du tertiaire. La côte rocheuse présente un aspect très échancré de la Pointe des Almadies au port de Dakar.

Situé au sud-est, le pays de Bargny est constitué de bas plateaux dont la surface recoupe des marnes et calcaires qui affleurent à certains endroits. Ce sont des sédiments marins datant de l'Eocène moyen. Le pays de Bargny est en fait un graben entre deux horst que sont la tête de la presqu'île et le massif de Diass.

Limité à l'est par la dépression Somone-Tanma, le massif de Diass est séparé de la région de Bargny par la faille de Yenn-Sébitotane. Le massif culminant à 104 m, est un horst de grès maestrichtiens qui présente un modelé de collines et de plateaux souvent cuirassés (MICHEL et SALL, 1980). On y retrouve des sables et argiles (d'âge Crétacé supérieur) recouverts de latérite. Le long de la côte, les buttes de grès rouges se terminent par des falaises abruptes, pittoresques parce que interrompues par la mer. C'est un vieux plateau disséqué par un réseau hydrographique qui ne comporte pas à l'heure actuelle de cours d'eau permanent. Les versants sont occupés par des villages qui exploitent la fertilité des vallées.

La région des Niayes est une zone recouverte par une quinzaine de mètres d'épaisseur de sables, de la tête de la presqu'île à la région de Bargny et tout le long de la côte nord, jusqu'à Saint Louis. C'est principalement un modelé de dunes continentales fixées (Ogolien) issues d'anciens cordons dunaires orientés NE-SO. Le littoral est recouvert de dunes vives ou semi-fixées, récentes et actuelles qui ont isolé des lacs salés, témoin de la dernière transgression. Au creux des dunes, apparaissent les niayes, « dépressions alimentées en eau douce, qui s'égrènent entre les dunes littorales et les dunes rouges. Des boqueteaux de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*) entourent les étangs non salés ». Les niayes sont des zones de cultures maraîchères et fruitières très importantes. L'humidité de cette zone est due à la nappe phréatique qui affleure presque partout. En plusieurs endroits des reboisements d'eucalyptus ont été réalisés pour freiner la migration des dunes vives. Celles-ci se déplacent surtout en saison sèche sous l'action du vent combinée à l'abaissement de la nappe accéléré par les pompes pour l'approvisionnement en eau des populations et des cultures.

Une dernière unité géomorphologique sépare la presqu'île de la falaise de Thiès, c'est la dépression Somone-Tanma, double vallée fluviale, constituée de marnes, d'argiles et de calcaires (d'âge paléocène et éocène inférieur). Ce lieu peu habité est recouvert par une brousse épaisse d'accès assez difficile.

Carte 2- Les régions géologiques de la Presqu'île

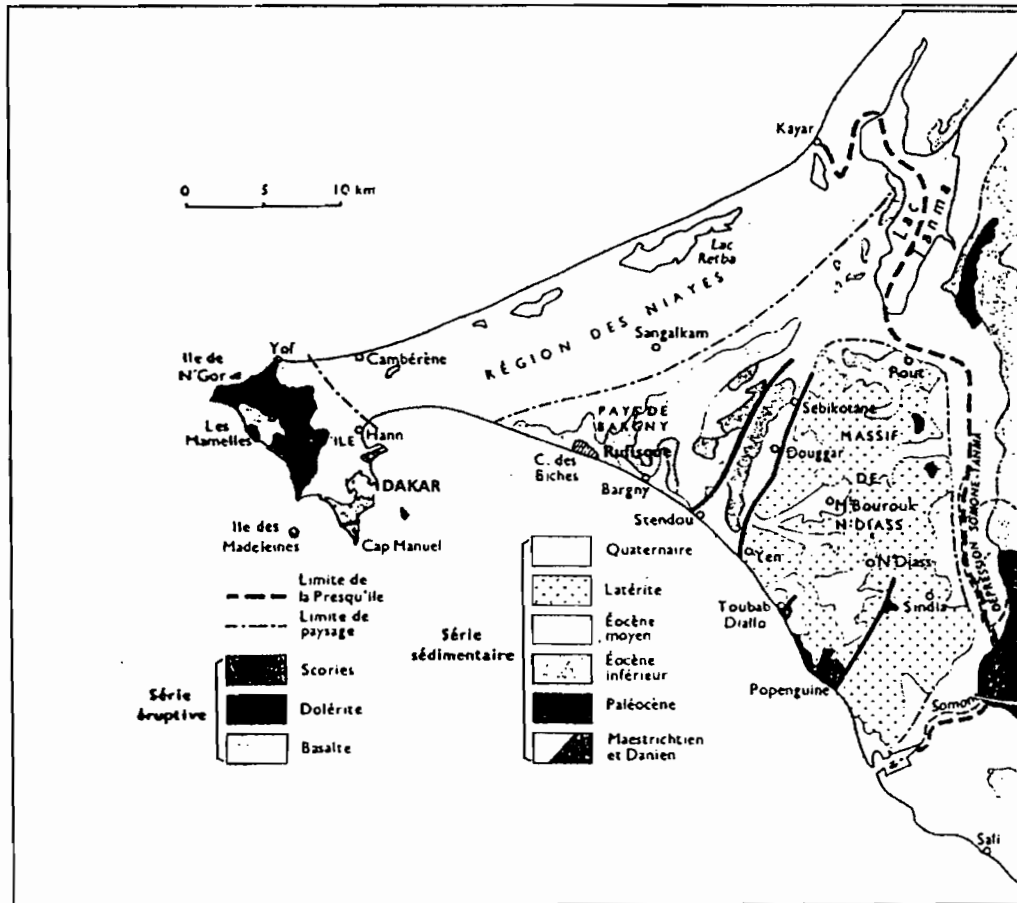
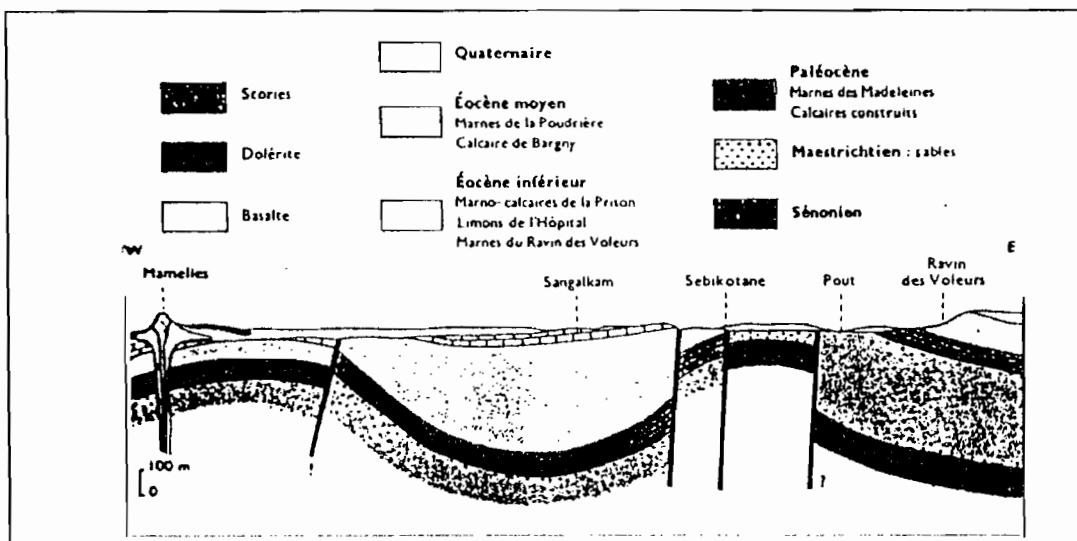


Figure 1- Coupe géologique de la presqu'île



(D'après TEISSIER et GORODISKY cité par ELOUARD)

1.2 L'évolution géologique de la presqu'île

La présentation des unités géomorphologiques montre la diversité de l'origine des roches qui constituent le sous-sol de la presqu'île du Cap Vert. L'histoire géologique indique les conditions et les périodes de leur mise en place. Les sondages et forages pétroliers ont surtout permis la connaissance de la géologie. Ils ont montré que le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien repose sur le socle paléozoïque ou antécambrien qui affleure

au sud-est du pays. Les sédiments du bassin, presque horizontaux reposent en discordance sur le socle qui est à une profondeur de 6000 mètres sous Dakar. Les plus anciens sédiments datent du jurassique supérieur c'est à dire de l'ère secondaire.

1.2.1 Au Secondaire

A l'emplacement actuel de la presqu'île, correspondait la bordure Est d'une vaste cuvette au fond de laquelle se déposèrent d'épais sédiments. Le fond correspond au socle antécambrien sur lequel se sont d'abord déposées les séries les plus anciennes, datant du Jurassique. Elles restent mal connues et n'affleurent nulle part dans la région.

Au *Crétacé inférieur*, se sont déposés des sédiments dont les faciès dominants sont des sables, des grès et des calcaires dolomitiques. L'épaisseur varie de 400 à 200 m d'est en ouest (SALL, 1982).

Au *Crétacé moyen*, ce sont des sables et argiles d'environ 2000 m qui se déposent.

Au *Crétacé supérieur*, c'est à dire au Maestrichtien, une importante épaisseur de sédiments argileux (150 m) se dépose dans la région de Dakar et Sangalkam et de sédiments sableux (150 m) dans la région de Bargny, Diass et Thiès. Les sables sont aquifères et renferment une réserve d'eau exploitée pour l'approvisionnement en eau de Dakar.

A la suite de déformations survenues à la fin du Crétacé, les sédiments ont subi une émergence dans la région de Diass; les mouvements ont également provoqué dans toute la région des cassures d'orientation générale NNE-SSW. Le *Maestrichtien* affleure; ses limites sont caractérisées par des accidents tectoniques, sur la Petite Côte de Yène-Todd à Toubab-Dialao (DEMOULIN, 1970 cité par SALL, 1982). Il comprend trois faciès principaux (sablo-azoïque, grésocalcaire et argileux) correspondant à trois séries bien définies à l'échelle du Massif de Diass :

- la série sableuse azoïque, avec des intercalations d'argiles et de grès calcaires; à l'ouest ce sont des niveaux de sables à intercalations de grès grossiers;
- la série grésocalcaire a une épaisseur maximale de 70 m; elle présente soit des sables fins roux, soit des calcaires durs recristallisés surmontant des grès argileux;
- la série argileuse ou série Cap Rouge-Cap de Naze, affleure le long des falaises côtières du littoral sud (Yènn-Todd, Cap Rouge, Cap de Naze) et présente une alternance de sables fins argileux, de grès argileux tendres, d'argiles et de grès calcaires. Selon SAMB (1978), elle ne se retrouve qu'au massif de Diass et sous le Lac Tanma.

1.2.2 Au Tertiaire

Les dépôts marins sont moins épais que les précédents, puis la mer se retire laissant la place au processus de latéritisation.

Au *Paléocène*, se déposent des marnes grises dans la région de Dakar-Sangalkam (300 m à Sangalkam), constituant les marnes des Madeleines, qui ont 100 m d'épaisseur en moyenne. Elles affleurent sur 30 mètres dans l'anse des Madeleines. Vers Popenguine, les dépôts sont marno-calcaires, la mer y est moins profonde qu'à Dakar. Vers Thiès, ils sont franchement calcaires. Le *Paléocène* affleure dans la bordure orientale du massif de Diass sous trois faciès: une couche marno-calcaire dite de Ndéyane, constituée d'une alternance de lits de calcaires argileux et de marnes de 20 à 25 m d'épaisseur, un niveau marneux à rosettes surmonté par un faciès de calcaires zoogènes de 50 m d'épaisseur. L'intérêt hydrogéologique est conféré par la karstification des calcaires zoogènes lors de l'émergence anté-éocène du massif.

A l'*Éocène inférieur*, se déposent des sédiments, "les limons de l'Hôpital", qui affleurent sur 35 mètres d'épaisseur largement autour de Dakar. Très clairs (blanc à jaune rouge), ils constituent de grandes falaises jaune clair. Ils sont surmontés par les argiles de la Prison de Reubeuss, claires également. A l'est, les argiles et marnes blanches du Ravin des Voleurs appartiennent à cet âge. Dans la région de Thiès, l'éocène inférieur atteint une épaisseur de l'ordre de 100 mètres et passe à 300 m sous Sangalkam.

A l'*Éocène moyen*, se déposent les calcaires de Bargny, jaunes et très fins, en alternance avec des couches marneuses. Cet ensemble ou formation de Bargny affleure sur 25 mètres d'épaisseur environ. A Dakar, des « marnes et argiles de la Poudrière », sédiments jaunes à gris, altérés se déposent: ils affleurent entre la Pointe des Contagieux et la Pointe Bernard. Elles semblent être recouvertes par les marno-calcaires de la plage

Bernard (argiles et calcaires blanchâtres). Le massif de Diass se recouvre d'une latérite alumineuse et phosphatée.

L'*Éocène supérieur* n'existe pas partout. On le trouve uniquement dans le nord de la tête de la presqu'île, où il a été reconnu par sondage. Il ne comprend que des marnes brunes (110 mètres d'épaisseur), situées sous les coulées de lave des Mamelles. A partir de l'éocène supérieur, la mer se retire donc en partie de l'emplacement actuel de la presqu'île.

L'*Oligocène* n'existe qu'au nord de la pointe Bernard. il se présente sous forme de blocs de calcaire à l'intérieur d'un tuf volcanique d'âge miocène. Pour FLICOTEAUX (1970 cité par SALL 1982) l'Oligocène passe sur le plateau de Thiès à des phosphates de chaux. Cette période voit d'autre part le début de l'activité d'un premier système volcanique, celui dit « de Dakar ».

Au *Miocène*, la mer se retire complètement et définitivement: c'est la fin de l'histoire marine de la presqu'île. Toute la région est soumise désormais à l'action des agents continentaux. Cet âge est caractérisé par « le volcanisme basique du système éruptif de Dakar et par les pointements basaltiques du massif de Diass ». Les coulées de lave de type basalte (basanite, ankaratrite) s'étendent à partir d'un cratère que l'on situe au large, au SW de la presqu'île, mais dont on ne connaît pas l'emplacement exact. Ces laves sont érodées par la mer et actuellement il n'en reste que des lambeaux :

- au Cap Manuel, où l'ankaratrite constitue un plateau de 35 mètres d'altitude, bordé de falaises à pic très découpées et où l'on peut admirer des « orgues » ;
- à l'île de Gorée, où l'ankaratrite se présente en un plateau de 40 mètres d'altitude ;
- et à l'île des Madeleines, formée surtout de basanite.

Les limites nord des laves sont la Pointe de Fann sur la côte ouest et la pointe de Bel Air sur la côte est. Les laves reposent sur les tufs: tuf de Bel-Air, tuf de Fann et des Madeleines.

Au *Pliocène*, la formation de latérite ferrugineuse dans presque toute la région émergée est le fait principal. Par endroits, elle constitue une sorte de croûte.

Le *Pliocène inférieur*, sous une phase sèche, correspond à un épisode régressif, avec un abaissement de près de 200 m du niveau de la mer. Un réseau hiérarchisé entaille le massif de Diass et ses bordures, en déblayant les calcaires et marnes éocènes et paléocènes: la falaise de Thiès s'individualise. Le massif de Diass est découpé en buttes et collines tandis que la falaise de Thiès est disséquée par de puissants ravins, amorces d'un véritable réseau hydrographique anaclinal dirigé vers la dépression Somone-Lac Tanma (MORIN 1973 cité par SALL 1983). « Les recherches hydrogéologiques de MARTIN (1967) ont conduit à mettre en évidence des vallées fossiles dans les compartiments affaissés bordant le massif de Diass. Ces vallées suivent les lignes de failles du champ de fractures de Sébikotane et convergent à l'emplacement du Lac [Tanma] ».

Au *Pliocène supérieur*, un climat humide favorise une intense altération provoquant la formation d'une cuirasse ferrugineuse, dont on retrouve les témoins sur le massif de Diass, la falaise de Thiès et sur le Plateau de Dakar.

1.2.3 Au Quaternaire

Le *Quaternaire ancien* correspond à une période de soulèvement qui affecte aussi les bassins de la Gambie et du Sénégal. Il s'ensuit une variation du réseau hydrographique qui s'enfonce et s'encaisse. Ces réaménagements débouchent sur la formation de glacis raccordés à des terrasses en contrebas.

Au *Quaternaire récent*, des changements de climats et des variations du niveau de la mer vont déterminer l'évolution géologique. Phases sèches et phases humides vont alterner, les premières occasionnant des périodes d'entaille du réseau hydrographique, les secondes favorisant l'alluvionnement, le remblai des lits et l'accumulation de dunes (exemple de l'Ogolien: de 22000 à 15000 ans B.P.) par les alizés continentaux.

Suite à l'aride Ogolien, un pluvial post-ogolien s'est déclenché vers 12000 ans B.P. : c'est une importante phase de pédogenèse car tous les sols du nord du Sénégal sont mis en place, le matériel dunaire est fixé par l'apparition de végétation et coloré en rouge par les oxydes de fer. Ce pluvial favorise la transgression marine du Nouakchottien qui atteint son maximum vers 5500 ans B.P.

Baucoup de zones littorales sont concernées et c'est ainsi que vers Pikine, un golfe largement ouvert appelé l'isthme, se met en place. Sur le littoral nord, un certain nombre de lacs comme celui de Mbeubeuss, de Retba et de Mboro se forment. Avec l'amorce de la régression, une houle NW, engendrant une dérive littorale NS va

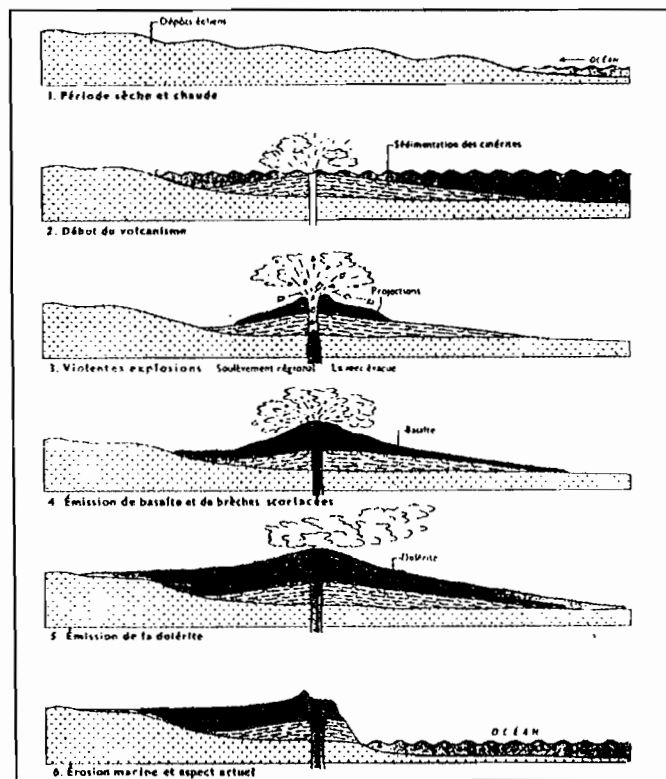
édifier des cordons littoraux sableux qui régularisent le tracé de la côte et piègent les dépôts aquatiques marins. La transgression marine est suivie d'un épisode sec, le Taffolien vers 2500 ans B.P., qui n'a pas abouti à la formation de nouvelles dunes. Vers 800 ans B.P., le Dakarien, une transgression marine de moindre importance, laisse des témoins sur la tête de la presqu'île du Cap Vert sous formes de plages fossiles ou plages soulevées.

Au *Pléistocène ancien et moyen*, des épisodes d'altération ont poursuivi la formation sur le massif de Diass, de cuirasse ferrugineuse (DEMOULIN 1970, NAHON, 1971, cité par SALL 1982). Selon MORIN 1973 cité par SALL 1982, le modelé des versants en pente douce du massif de Diass remonte à ces épisodes de même que le colmatage des talwegs par des colluvions sableuses et graveleuses.

Au *Pléistocène récent et à l'Holocène*, les épisodes morphoclimatiques n'ont effectué que des modifications superficielles « à la configuration géomorphologique dont les traits majeurs étaient largement acquis à la fin du pléistocène moyen » (SALL 1982).

Selon ROY et ELOUARD (1965), le début du quaternaire est marqué par un balancement climatique d'un extrême à l'autre, provoquant la latérisation en période humide. Ensuite un nouvel épisode très humide favorise le creusement de vallées jusqu'en dessous de la croûte de latérite ferrugineuse. Le climat redevenant très sec, s'accompagne d'un apport considérable de sable roux d'origine éolienne, colmatant les vallées, édifiant des dunes, appelées anciennes (elles sont dites fossiles sur la carte hydrogéologique de la Direction de l'Aménagement du Territoire).

Figure II- Formation des Mamelles (ROY et ELOUARD 1965).



C'est peu après que le système volcanique des Mamelles s'est déclenché. Au niveau de la falaise sous le phare, une cheminée est bien visible. Les roches d'épanchement s'étendent en demi-cercle sur toute la partie nord de la tête de la presqu'île. Ces roches, leur épaisseur et leur superposition sont bien connues grâce à l'érosion marine, aux nombreuses carrières et aux forages d'exploitation de la nappe des sables infrabasaltiques. Il y a eu deux sortes de coulées: les coulées gris foncé de basanite surmontée de celles, gris clair, de dolérite. Elles s'étendent jusqu'à Fann, où elles recouvrent celles du système de Dakar.

Ces laves reposent sur des tufs bien visibles à la plage de Ouakam. Ces tufs eux-mêmes reposent sur des sables roux d'origine éolienne (voir ci-dessus), appelés sables infrabasaltiques. « Les éruptions devaient être du type strombolien, si l'on compare la composition chimique de la roche, l'aspect des bombes et des coulées à ceux des éruptions actuelles de ce type. Les dernières éruptions furent contemporaines des premiers hommes » (ROY et ELOUARD 1965).

L'évolution se poursuit et après une période humide, le climat redevient sec; de nouvelles dunes se modèlent sur les anciennes. Puis un nouveau climat humide a permis l'installation d'une végétation humide. Actuellement, il y a peu à peu un retour vers un climat sec⁴. A l'ouest de la presqu'île, l'érosion marine prédomine (côte rocheuse déchiquetée); à l'est au contraire, il y a une sédimentation importante (côte sableuse).

Tableau 2- Les formations de la tête rocheuse du Cap-Vert (Source : NDIAYE 1975)

FORMATIONS	AGE	LITHOLOGIE
Formations sédimentaires récentes	Quaternaire récent	Limons, dunes
Volcanisme des Mamelles	Pléistocène	Dolérites Basanites Tufs et Brèches Sables infrabasaltiques
	Pliocène	Cuirasse ferrugineuse
Volcanisme de Dakar	Miocène	Dolérite Basanite Ankartrite Pyroxénolites
Série sédimentaires de Dakar	Eocène	Argiles-Marnes
	Eocène	Marnes de la prison
	Eocène	Limons de l'hôpital
	Paléocène	Marnes des Madeleines

1.3 L'Hydrogéologie

Il est très indiqué de rappeler le système de failles et les différents compartiments individualisés car les réserves en eau souterraine dépendent de la présence et de l'épaisseur de roches perméables sur des roches imperméables. Notons aussi que les failles permettent la recharge des nappes surtout profondes.

1.3.1 Les grandes lignes structurales

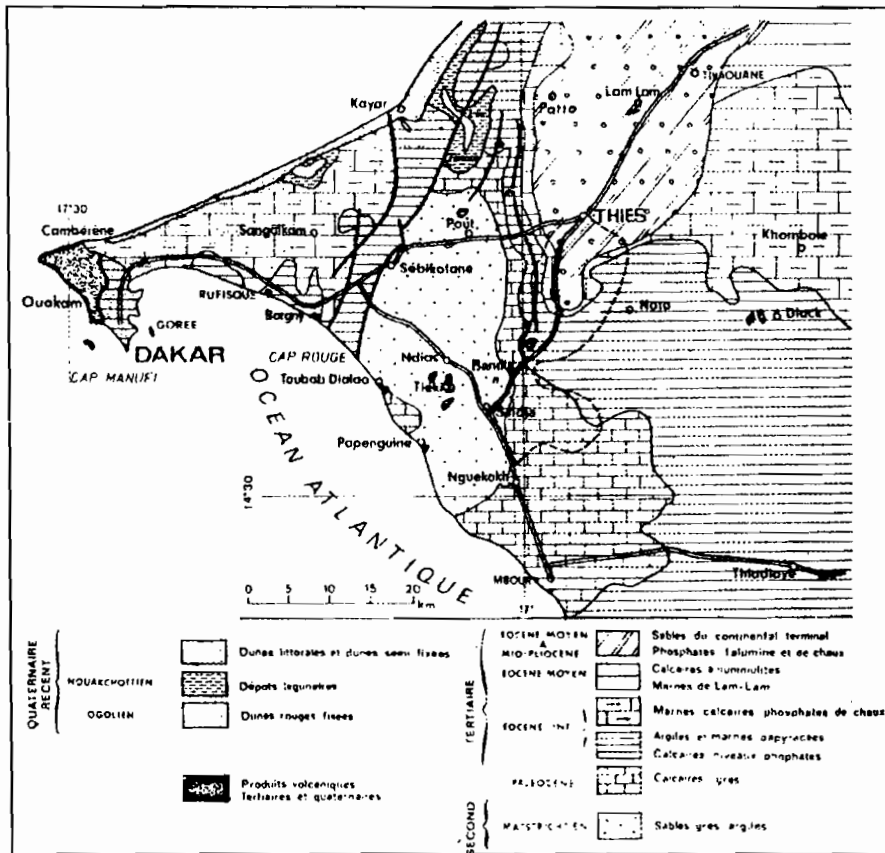
La région de Dakar a connu divers mouvements tectoniques qui ont joué un rôle important dans la structure actuelle. Celle-ci est très complexe mais nous essayerons de faire une synthèse car il est aujourd'hui admis l'existence d'un certain nombre de compartiments tectoniques délimités par des failles, dont les principales ont été cartographiées par SALL (1982) qui distingue :

- la faille de la falaise de Thiès, orienté N-S, de la Somone à Fouloume, puis NE-SW, avant de disparaître dans la région de Notto. Elle affecte la série éocène de la falaise. Son regard est tourné vers l'est tandis que son rejet varie entre 20 et 50 m ;
- les failles de Ngomène-Bandia et de Fouloume. Cette dernière, de direction SSW-NNE, avec un rejet de 10 à 20 m, met en contact les calcaires paléocènes et les marnes de l'éocène inférieur. La faille de Ngomène-Bandia, avec un rejet de 50 à 100 m et un regard tourné vers l'est, met en contact latéral les calcaires paléocènes et les sables et grès argileux de la série Cap Rouge-Cap de Naze (DEMOULIN 1970 cité par SALL, 1982). Ces deux failles délimitent le compartiment de Pont et convergent à la latitude de Mont Roland ;
- la faille de Sébikotane, avec son regard tourné vers l'ouest, met en contact latéral la base de l'éocène inférieur et la série supérieure du Maestrichtien; elle délimite avec la faille de Ngomène-Bandia, le compartiment du massif de Diass ;
- les failles de l'Ecole William Ponty et de Kayar sont orientées SSW-NNE et mettent en contact l'épaisse série des marnes éocènes et les calcaires paléocènes. Avec un regard dirigé vers l'ouest et un rejet d'environ 200 m, elles délimitent le compartiment de Bargny.

SALL 1982 précise que l'étude des linéaments à partir de l'imagerie Landsat (05/05/1973) a permis d'observer les accidents majeurs déjà connus et de déceler au niveau du massif de Diass notamment une intense microfracturation. Quant à l'origine tectonique des divers linéaments, il faudra procéder à des vérifications sur le terrain.

⁴Ce document date de 1965, et effectivement de 1969 aux années 1990, une période de déficit pluviométrique s'est installée au Sahel.

Figure III : Géologie de la presqu'île



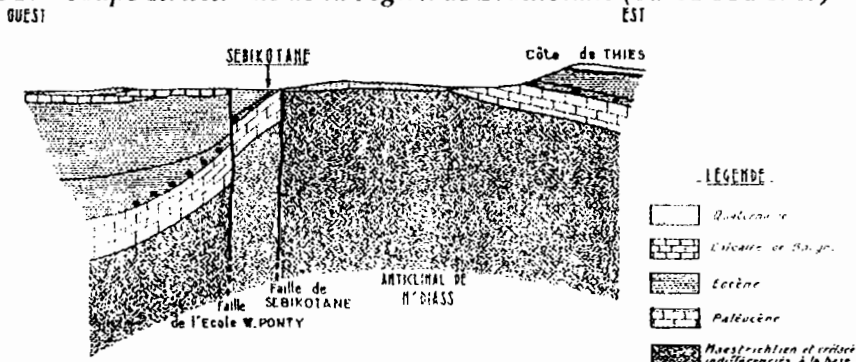
1.3.2 Les principaux compartiments

Le réseau de failles a isolé plusieurs compartiments dont voici les principaux :

- * le compartiment de Sébikotane individualisé par deux failles nord-sud, celle de William Ponty à l'ouest et celle de Sébikotane à l'est. Ce compartiment correspond à la zone déprimée Yène - Sébikotane ;
- * le compartiment qui correspond au horst de Diass et son prolongement nord effondré, le lac Tanma, situé entre les failles de Sébikotane à l'ouest et celle de Pout - Fouloume à l'est;
- * le compartiment de Pout entre la faille de Pout-Fouloume à l'ouest et celle de la falaise de Thiès à l'est. Il s'élargit au sud du fait de la disparition de la faille de la falaise de Thiès relayée par une faille ouest-est. A ce compartiment correspond le couloir déprimé du pied de la falaise de Thiès et la rive est du lac Tanma.
- * le compartiment de Thiès qui coïncide au plateau de Thiès, délimité par une faille nord-sud à l'ouest et une faille ouest-est au sud.

La grande érosion par les vallées fossiles de Mont Roland, Ndoyènè, Pout, Santia et de la Somone au Quaternaire, suit les lignes tectoniques et va jouer un rôle important pour les conditions hydrogéologiques, mais aussi pour la sédimentation des dépôts sableux quaternaires à bonne perméabilité ainsi que la karstification des calcaires dans les différents compartiments.

Figure IV- Coupe structurale de la région de Sébikotane (ORSTOM 1962)



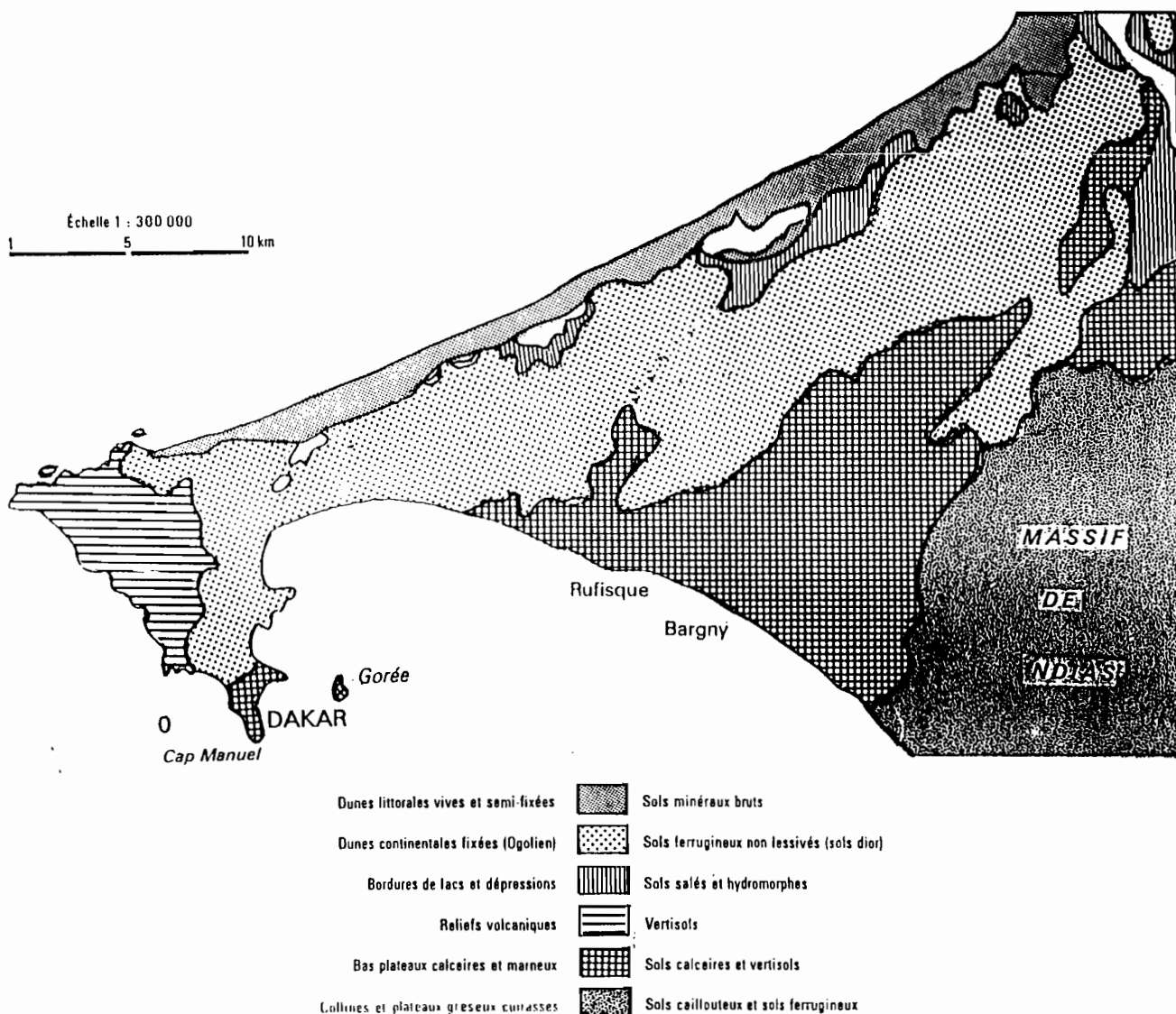
1.4 Les sols

La formation des sols ou pédogenèse dépend de l'importance des pluies; cependant d'autres facteurs interviennent au niveau local, notamment la roche-mère et le modelé (MICHEL et SALL 1980).

1.4.1 Les types de sols de la région

La carte suivante présente les sols et les modelés, deux éléments étroitement liés à la géologie sous-jacente. La tête de la presqu'île est recouverte de *vertisols* issus des laves basiques. "Ce matériel épanché a été érodé par ruissellement et érosion éolienne, et aussi altéré chimiquement". On note cependant la présence de sols dior au centre-ouest car les dunes continentales sont encore présentes le long de l'autoroute et jusqu'à la Médina. Ces sols *dior* ou *sols ferrugineux non lessivés*, recouvrent le sommet des dunes continentales, tandis que les cordons dunaires littoraux présentent des *sols minéraux bruts*. Dans les dépressions interdunaires, on retrouve les *sols hydromorphes* des niayes inondées par la nappe phréatique. *Sols caillouteux* et *sols ferrugineux* recouvrent le massif de Diass tandis que *sols calcaires bruns* et *vertisols gris-noir* alternent sur les bas plateaux de Bargny.

Carte 3 - Les sols de la presqu'île de Dakar



Le tableau suivant fait à partir de NDIAYE (1975) apporte des détails sur les sols de la tête de la presqu'île.

Tableau 3- Répartition des sols sur la tête de la Presqu'île

ZONES	SOLS
Cap Manuel	sols indurés lithosols sur falaise abrupte et dalles rocheuses sol colluvial en blocs d'ankaratrite sol déposé par le vent ou le ruissellement
Les Mamelles	tufs, brèches et lambeaux de lave colorés en rouge par l'oxyde de fer peu de lithosols sur les falaises de la grande mamelle sol maritime d'apport sur la plage
Plateau de Ouakam et Corniche ouest	sols sablo-argileux associés à d'énormes blocs de dolérite
Almadies, îles de Yoff et de Ngor	sol maritime d'apport sur les plages lithosols sur la côte ouest des Almadies, les toundis et sur les falaises des îles
vers Yoff, Grand-Yoff et Patte d'oie	sols argileux et argilo-sableux autour des Almadies
entre la pointe des Almadies, Ngor et la route de l'aéroport	sols argilo-sableux vertisols devenant hydromorphes en saison des pluies
Îles des Madeleines	lithosols sur les falaises à faciès rocheux débris gravillonnaires sur le sommet de l'île, à faciès sablo-argileux puis cuirasse latéritique

Dans la zone des niayes, DIA (1992) distingue successivement de la plage vers l'intérieur:

- une plage de sable coquillier marin,
- des dunes blanches vives dont le matériel est mobilisable par les vents qui alimentent les dunes intérieures.
- des dunes jaunes ou roses semi-fixées qui menacent les niayes situées à l'arrière,
- un chapelet de dépressions où la nappe phréatique affleure presque partout,
- des dunes rouges fixées, recouvertes par une maigre végétation à base d'acacia.

1.4.2 La classification des sols

Une classification des sols selon leur fertilité et leur perméabilité permet de distinguer :

- les sols bruns et les sols ferrugineux à richesse minérale réduite, mais faciles à travailler grâce à leur texture sableuse. Ils conviennent aux cultures peu exigeantes comme le mil et l'arachide mais ils se dégradent très vite.
- les sols hydromorphes et les vertisols présentent de bonnes qualités chimiques, mais ils sont difficiles à travailler à cause de leur texture argileuse et compacte et aussi des bosses multiples qu'ils présentent.

En ce qui concerne la perméabilité des sols, il est important de rappeler que c'est sur les vertisols que s'est installé le noyau dur de l'habitat urbain dakarais; ceci montre la nécessité d'un système d'évacuation performant car ces types de sols sont imperméables. L'essentiel de l'évolution de l'espace bâti se fait sur les dunes anciennes, formées de sols ferrugineux (Pikine, Thiaroye, Yeumbeul, Malika, Mbaou...). La perméabilité de ces sols est un avantage pour l'évacuation des eaux mais posent des problèmes: les dépressions s'inondent vite car la nappe est peu profonde, et celle-ci risque d'être polluée.

2 CLIMAT ET VÉGÉTATION

Les pluies sur la région ne seront pas abordées à ce niveau mais feront l'objet d'un chapitre.

2.1 Le climat

L'évolution du temps sur la région est déterminée par la conjonction de facteurs géographiques et aérologiques. « Les facteurs géographiques s'expriment par la latitude qui confère au territoire des caractères tropicaux et par la position de finistère ouest-africain qui déterminent les conditions climatiques différentes dans la région littorale et dans l'intérieur. Les facteurs aérologiques s'expriment par l'alternance sur le pays de trois masses d'air principales dont les déplacements sont facilités par la platitude du relief » (LEROUX 1983). Le relief et les facteurs géographiques ayant été abordés dans l'étude du milieu physique, nous passons aux facteurs aérologiques.

2.1.1 Les conditions aérologiques : flux et discontinuités

Pendant l'année, le littoral sénégalais est soumis à l'influence de 3 principales masses d'air émises par 3 centres d'action, dont deux sont situés au nord et l'autre au sud. Ces vents sont séparés par une discontinuité appelée front intertropical (FIT). Le FIT situé dans la zone des basses pressions intertropicales est matérialisé au sol par une ligne dont on peut suivre les déplacements, lesquels régissent en partie le climat. Quelque soit

leur migration, les centres d'action émettent des flux vers le Sénégal et la région de Dakar avec cependant des durées de séjour variables.

Situé au large des côtes marocaines et ibériques, l'anticyclone des Açores émet l'alizé maritime du fait de son parcours océanique. Il adoucit la température dans les régions traversées. Son séjour sur la presqu'île n'est interrompu que par le vent de mousson à partir de mai et jusqu'en octobre. En période d'hiver, l'alizé maritime est surmonté par des invasions d'air polaire provenant des Moyennes Latitudes. Cet air est à l'origine de précipitations (pluie de heug) dans le domaine tropical en décembre et janvier surtout. Ces invasions d'air polaire accentuent en hiver la fraîcheur déjà créée par l'alizé maritime.

Plus à l'intérieur de la région, la fraîcheur diminue du fait de l'influence d'un autre flux issu de l'anticyclone saharo-libyen : l'alizé continental ou harmattan. Son parcours continental dans les couloirs entre les massifs d'Afrique occidentale (le Hoggar, le Tibesti et l'Ennedi) lui confère une certaine vigueur qui le propulsera jusqu'aux abords de la côte. C'est de l'air chaud et sec, qui envahit tout le pays jusqu'à la longitude de Thiès où il est relevé par le plateau et ensuite par l'alizé maritime très dynamique. L'alizé continental ne souffle que périodiquement sur la presqu'île en saison sèche et à la faveur d'un retrait partiel de l'alizé maritime.

Issu de l'Hémisphère sud, la mousson est un alizé qui provient de l'anticyclone de Sainte Hélène et qui est dévié à l'Équateur par la force de Coriolis. C'est le principal vecteur de potentiel précipitable, du fait de son parcours océanique combiné aux zones équatoriales chaudes qu'elle traverse. Son épaisseur moyenne est de 2000 m, mais elle peut atteindre 5000 m dans certaines situations (SAGNA, 1991). Sa partie la plus septentrionale a une épaisseur qui diminue jusqu'à 1000 m. Ce flux pénètre dans la région par la façade ouest et surtout par la côte sud; Mbao, Thiaroye et Rufisque sont ainsi les postes pluviométriques qui enregistrent les plus forts totaux; la façade ouest, du fait de ses altitudes (Mamelles) connaît une situation particulière car les baies et les arrières des sommets enregistrent plus d'eau que les élévations côtières.

Les champs de pression autour du pays déterminent l'évolution saisonnière de la direction des vents au sol. La période de novembre à mai est dominée par les vents d'alizé de secteur Nord avec une rotation progressive vers l'Ouest du fait surtout de l'alizé continental ou harmattan, de secteur nord et nord-est. Ces vents atteignent leur maximum d'intensité (environ 5 m/s) dans toute la partie nord de la côte. De juillet à septembre c'est une période de vents faibles de sud-ouest. Octobre et juin sont des mois de transition rapide (REBERT, 1979).

En ce qui concerne les discontinuités, retenons que les alizés boréaux, d'origine distincte, circulent vers les Basses Pressions Intertropicales mais l'alizé continental de direction NE-SW à E-W va rencontrer l'alizé maritime qui est essentiellement de direction méridienne. Leurs caractères thermiques étant différents, l'alizé continental va passer au dessus. La ligne de rencontre en surface, parallèle à l'alizé maritime, est appelée discontinuité d'alizés. Sa position varie en fonction de la vigueur des flux en confrontation. La migration de cette discontinuité est souvent à l'origine de modifications de températures dans la région. En altitude par contre cette discontinuité est appelée inversion d'alizés. Ces vents ne sont pas favorables à la pluviogénèse.

Les alizés sont séparés de la mousson par l'Equateur Météorologique ou FIT, qui évolue selon une direction méridienne avec la particularité de progresser vers le nord, plus vite à l'intérieur que sur la côte: l'alizé maritime proche de son centre d'émission maintient encore une résistance sur les franges littorales du pays.

On perçoit ainsi que l'avancée de la presqu'île permet une relation directe avec l'Anticyclone des Açores, ce qui va créer des conditions climatiques assez particulières par rapport à l'intérieur du pays, comme l'adoucissement des températures et surtout la diminution de la pluviométrie. Cette relation directe a aussi des répercussions sur les eaux côtières qui à leur tour, vont participer aux conditions microclimatiques de la région.

2.1.2 Les courants marins

L'examen des conditions marines est importante dans l'étude du climat de la presqu'île du Cap Vert, dans la mesure où les vents de nord et de sud qui soufflent sur la zone, parcourent l'océan qui leur confère ainsi l'essentiel de leurs caractéristiques thermiques. Deux types de circulation caractérisent la région maritime sénégalaise selon DIAW (1982) :

- le courant nord équatorial vers l'ouest (avec des eaux froides);
- le contre-courant équatorial vers l'est (avec des eaux chaudes et salées).

Cette circulation zonale devient méridienne sur le plateau continental où l'on distingue un courant sud (eaux froides) de novembre à mai, improprement appelé courant des "Canaries" (ROSSIGNOL, 1973) et un courant nord (eaux chaudes) de juin à août.

Les eaux côtières du pays sont renouvelées pendant une période de l'année par le processus d'upwelling. Sur les franges occidentales du Cap Vert il existe en surface une grande divergence de courants suivie par un "jet", au niveau du talus continental, qui peut atteindre des vitesses de 75 cm s^{-1} . Cette influence du Cap Vert s'estompe vers 14°N , au sud duquel on se retrouve dans une zone de courants assez réguliers de l'ordre de 30 cm s^{-1} . Quant aux courants de marée, ils sont faibles. La vitesse moyenne maximale est de l'ordre de 10 cm s^{-1} . Ils sont presque négligeables sur la composante inéridienne des courants.

Les courants marins jouent un rôle important dans la dispersion des eaux polluées déversées sur le littoral.

2.1.3 Les unités climatiques

On ne peut pas à priori parler de régions climatiques compte tenu de l'étroitesse de la région et de l'uniformité de son alimentation aérologique, mais force est de reconnaître la présence de microclimats liés en très grande partie à la configuration géomorphologique et à l'avancée de la presqu'île qui « s'offre » ainsi de manière quasi-permanente aux alizés.

La zone des Niayes en latitude septentrionale, avec une nappe affleurante et un substrat sableux propice au développement végétal, s'oppose aux « régions méridiennes » de Bargny et Diass où les roches dures ne favorisent pas les formations végétales denses. La végétation joue un rôle certain dans le climat. Les bas-fonds interdunaires se caractérisent par leur humidité constante qui différencie ainsi l'évolution de la température dans ces milieux par rapport aux autres zones de la région.

Dans cette zone des niayes les températures sont en moyennes douces avec des écarts relativement faibles (DIA, 1992). Les alizés maritimes qui soufflent dans la zone pendant une bonne partie de l'année influent sur les températures enregistrées. Ainsi, il observe que les moyennes maximales sont toujours inférieures à 30°C , les moyennes journalières sont comprises entre 22 et 25°C , enfin les amplitudes thermiques sont assez importantes et se situent entre 10 et 15°C .

Une étude comparative des paramètres climatiques sur l'ensemble de la région permettrait d'identifier les différentes zones ou tendances climatiques. Sa réalisation est difficile du fait qu'en dehors de Dakar-Yoff, les autres postes pluviométriques n'enregistrent que la pluie. Nous nous proposons donc de traiter les conditions pluviogéniques de la région avant d'analyser les autres paramètres climatiques.

2.1.3.1 les conditions pluviogéniques

Les précipitations enregistrées sur la région sont essentiellement des pluies issues du vent de mousson. Cependant durant certains « hivers » des quantités importantes de pluie de heug ont été enregistrées : en 1979, Dakar a reçu $50,5 \text{ mm}$. Ces pluies sont certes importantes mais elles ne sont pas régulières. Aux mois de décembre 1994 et janvier 1995 les stations de Dakar n'ont enregistré aucune quantité d'eau.

C'est l'entrée et le séjour de la mousson qu'il faut étudier pour mieux connaître la distribution des pluies dans la région. Le front de mousson atteint la région au mois de juin et exceptionnellement en mai. Le retrait s'amorce dès la mi-octobre. L'épaisseur de mousson augmentant du nord au sud, les régions méridiennes du pays ont plus de chance de recevoir des parties élevées de la mousson. La répartition inégale en altitude de la mousson selon un axe presque méridien, explique les différences dans les quantités de pluie déversées et surtout l'origine et le mode de réalisation de ces pluies. La mousson est découpée en zones par les climatologues et chaque zone est caractérisée par un type de précipitation. Les plus importantes que sont les pluies continues, n'apportent pas de pluie à la région. Celle-ci est arrosée par les lignes de grain, phénomène pluvio-orageux en zone soudano-sahélienne qui a été étudiée par beaucoup de chercheurs, climatologues et météorologues comme LEROUX 1983, SAGNA 1988, ou JANICOT 1990 entre autres.

D'après l'OMM (Organisation Mondiale de la Météorologie) la ligne de grains est définie « comme une ligne fictive étendue, mobile d'extension parfois considérable, le long de laquelle se produit le phénomène de grains. Le grain est considéré comme un phénomène orageux caractérisé par une variation très importante de la vitesse du vent débutant brusquement d'une durée de l'ordre des minutes et s'amortissant parfois plutôt rapidement et souvent accompagné d'averses ou d'orages ». Les précipitations engendrées par les lignes de grains sont essentiellement orageuses. Ces pluies s'installent progressivement sur le territoire selon un axe SE-NW : « les isohyètes sont alors orientés SW-NE ». Les lignes de grain intéressent en général la région de Dakar de juin à mi-octobre. L'axe de pénétration fait que les zones orientales reçoivent les pluies en premier lieu et sont souvent plus arrosées par les averses qui s'essouffent en progressant vers l'ouest.

Tableau 4- Pluies enregistrées en début et fin de saison pluvieuse d'est en ouest

Date	Rufisque	Mbao-Thiaroye
09/10/1927	18,8	7,5
10/10/1927	22,5	3,2
26/06/1943	5,5	1,9
27/06/1943	93,5	17,7
30/06/1943	22,9	14,5
11/10/1943	46,2	45,7

Le potentiel précipitable s'affaiblit aux abords du littoral à cause de l'alizé maritime. Ainsi le littoral nord est moins arrosé que celui du sud et la tête de la presqu'île. Les maxima de précipitations interviennent en août comme généralement dans toutes les stations du pays. En octobre, le retrait des vecteurs de pluie est brutal mais on observe que les franges orientales reçoivent souvent quelques dernières pulsations de la mousson (voir tableau ci-dessus). La coalition des centres d'actions boréaux ne tarde pas à réinstaller leur influence sur la région et ceci définitivement sur tout le pays en novembre.

Du point de vue de la pluviométrie, nous indiquons que le littoral sud est plus arrosé que celui du nord, même si cette dernière partie n'est pas bien pourvue en postes pluviométriques. Rufisque de par sa faible altitude et Mbao-Thiaroye qui profite de l'élévation du Cap Manuel, sont en avance au niveau des moyennes journalières, mensuelles et annuelles. Gorée et Bel Air sont défavorisées par cette position, juste à l'arrière des altitudes. SALL (1971) citant MORAL (1966), distinguait déjà :

- un versant nord qui couvre la tête de la presqu'île et le littoral nord sur une bande de 3 à 5 km de large. La moyenne annuelle des précipitations y est inférieure à 500 mm.
- un versant sud qui intéresse directement la Petite Côte. La moyenne annuelle des précipitations y est plus importante et les affinités continentales y sont plus affirmées notamment en saison sèche.

Ce découpage géographique est encore valable même si les valeurs moyennes de pluie ont aujourd'hui baissé du fait de deux décennies de sécheresse. Cependant nous avons perçu avec les stations expérimentales dans la tête de la presqu'île comme une inversion de la distribution par rapport au domaine intérieur du pays. La répartition spatiale de la pluie est abordée dans la deuxième partie du document.

2.1.3.2 les paramètres climatiques

La station synoptique de Dakar détermine des paramètres climatiques tels que l'évaporation piche ou bac (ET), l'insolation (Ins), l'humidité relative (Hr) et la température. A partir de ce dernier, la température moyenne (Tm), l'amplitude moyenne (Am), la moyenne des températures maximales (Tx), la moyennes des températures minimales (Tn) sont calculées.

Des données de paramètres climatiques sont souvent dispersées dans plusieurs travaux. Nous essayerons de reconstituer des séries de durée assez consistante permettant d'analyser l'évolution des paramètres.

2.1.3.2.1 la température

Une série de moyennes intermensuelles a été calculée par DIOP (1983) sur la durée 1968-77 à Yoff. On trouve dans ce document des données sur 1980 et 1981 aussi bien à Yoff qu'à Cambérène, station expérimentale temporaire à l'Ecole d'Horticulture de Dakar.

Tableau 5- Moyennes intermensuelles et mensuelles des températures à Yoff et à Cambérène

Stations	Période	janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septem	Octo	Novem	Decem	Moy/ann
Dakar-Yoff	1968/77	20,2	19,6	20,1	20,9	21,9	25	26,7	27,3	27,5	27,5	25,1	22,2	23,7
	1980	21,3	21,5	20,9	22,7	22,5	24,9	26,7	27,3	27,2	26,3	25,1	23	24,6
	1981	21,9	19,8	22,6	21,8	23,2	25,9	27,2	27,5	27,8	28	27,4	24,6	24,9
Cambérène	1980	19,2	19,3	18,9	20,7	20,8	23,3	25,2	26,2	26,7	25,9	23,6	21,7	22,6
	1981	20,6	19,1	21,9	20,9	22,5	25,4	26,9	27,4	27,8	28,6	26,6	23,7	24,2

Nous avons constitué la série 1980-95 à Dakar-Yoff, soit 16 ans d'observation à partir d'un tableau des moyennes mensuelles de l'ensemble des paramètres sur la durée de 1980 à 1989 (DIAGNE, 1993) et des valeurs de 1990 à 1995 collectées à la Météorologie.

On remarque que le minimum de température en saison froide est généralement enregistré en février (moyenne 1968-1977: 19,6°C), le maximum de T° l'est le plus souvent en octobre (moyenne 1968-1977 : 27,5°C). L'amplitude thermique, en raison de l'influence océanique, ne dépasse pas 8°.

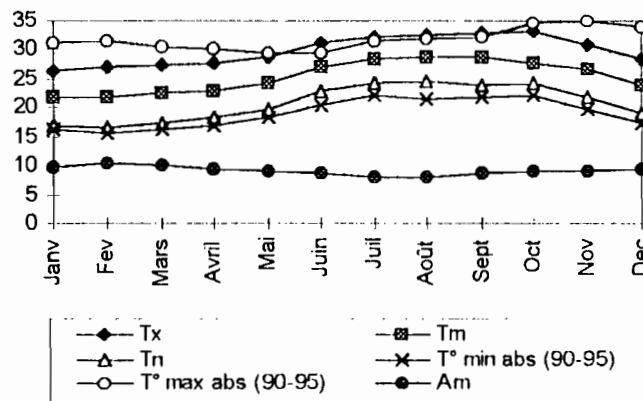
Tableau 6- Paramètres thermiques à Dakar-Yoff (1980-1995)

Mois/Param	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	An
Tx	26,5	27,1	27,5	27,7	28,8	31,2	32,3	32,7	32,8	33,1	30,9	28,3	29,9
Tm	21,7	21,9	22,5	23	24,2	27	28,5	28,6	28,6	27,7	26,7	23,9	25,4
Tn	16,9	16,7	17,4	18,3	19,8	22,7	24,3	24,7	24	24,2	21,8	19	20,8
T° min abs (90-95)	16,2	15,6	16,4	16,9	18,2	20,3	22,2	21,5	21,8	22,2	19,6	17,5	19
T° max abs (90-95)	31,1	31,7	30,4	30,1	29,5	29,4	31,7	31,8	32,4	34,5	34,9	34,0	31,8
Am	9,6	10,4	10,1	9,4	9	8,5	8	8	8,8	8,9	9,1	9,3	9,1

La conclusion de DIAGNE (1993) est la suivante: « Durant toute l'année, de faibles écarts sont notés, ils sont partout inférieurs à 11°C pour les températures. Cette faiblesse s'explique par la présence de l'alizé maritime, vent qui souffle pendant une bonne partie de l'année, la mer jouant à cet effet un rôle de régulateur thermique en atténuant les fortes températures. Les pluies de heug contribuent à adoucir les températures qui descendent jusqu'à 21,7°C durant les mois de janvier... Durant la période pluvieuse, les températures sont partout supérieures à 28° ».

Le graphique suivant représente les données du tableau ci-dessus.

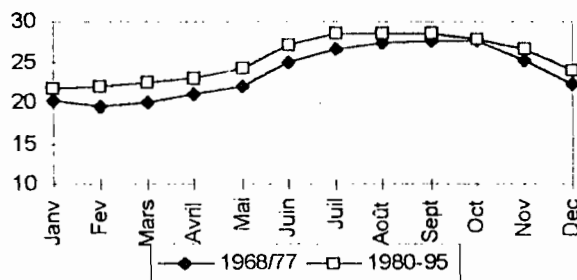
Graphique 1- Différentes moyennes mensuelles des températures de 1980 à 1995



Les températures maximales absolues (qui ne concernent que la période 1990-95) sont plus faibles pendant la saison des pluies que les températures moyennes maximales (Tx) : ceci prouve un abaissement certain de la température avec le retour des pluies dans les années 1990.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la température moyenne mensuelle (Tm) sur les périodes 1968-77 et 1980-95, qui, réunies correspondent à la longue période de déficit pluviométrique. La seconde série montre un rehaussement des valeurs par rapport à la première série. La dégradation pluviométrique s'installant de plus en plus, se traduirait par un relèvement progressif des températures.

Graphique 2- Comparaison de l'évolution de la Tm mensuelle sur 2 périodes



2.1.3.2.2 l'évaporation

Des données sur l'évaporation journalière existent aussi sur le document de DIOP (1983), pour la période 1974-81 et de MBAYE (1991) pour la période de 1980 à 1989. Les valeurs moyennes mensuelles de 1980 à 1989 de DIAGNE (1993) sont des mesures d'évaporation piche. Nous les avons complétées jusqu'en 1995.

Tableau 7- Évaporation moyenne journalière à la station agroclimatique de Cambérène

Année	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
E moy/j	5,5	5,3		5	4,7	4,1	4	4,7

Les valeurs moyennes de l'évaporation journalière ne présentent pas de fortes variations. Les bulletins météorologiques donnent les moyennes suivantes à la station de Dakar-Yoff, sur la normale 1951-1980.

Tableau 8. Bilan climatique à la station de Dakar-Yoff (1951-80)

Evaporation moyenne journalière	5 mm
Evaporation moyenne totale annuelle	1825 mm
Moyenne pluviométrique (1974-1981)	431 mm
déficit	1394 mm (c'est à dire 76%)

Le constat est le même si on observe les valeurs en distinguant la période humide de la période sèche.

Les données suivantes d'ETP ont été établies pour Yoff par MBAYE (1991) sur la période de 1980 à 1989.

Tableau 9- Évaporation moyenne décadaire et journalière en période sèche

	nov			déc			janv			fév			mar			avril			mai		
1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	
4,47	5,28	5,28	4,88	4,8	4,18	4,66	4,26	4,52	4,56	4,82	5,06	4,86	4,7	5,34	5,32	4,8	5,36	5,02	4,82	4,64	

Tableau 10- Évaporation moyenne décadaire et journalière en période humide

	juin			juillet			août			sept			octo		
1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	1 ^è	2 ^è	3 ^è	
4,78	5	5,1	5,12	5,6	5,04	5,02	5,12	4,82	4,82	4,74	5	5,12	4,96	4,9	

Aussi bien en période sèche qu'en période humide, les valeurs journalières sont soit légèrement supérieures ou légèrement inférieures à 5. Une évaporation moyenne journalière de 5 mm/j peut être retenue pour la région. A la station de Dakar-Yoff, les valeurs journalières de l'évaporation sont mesurées par bac et par piche. Nous avons complété la série établie par DIAGNE (1993) jusqu'en 1995.

Tableau 11- Moyennes mensuelles d'évaporation piche à Dakar Yoff.

E-Piche	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1980-89	105	83,7	89,4	79,7	73	80,8	88,8	76	64,4	78,9	106	117
1990-95	103,2	79,7	79,4	70,8	69,1	67,1	82,9	69,3	59,4	82,1	103,0	105,2
1980-95	104,1	81,7	84,4	75,2	71,0	73,9	85,9	72,7	61,9	80,5	104,5	111,1

En dehors du mois d'octobre, les moyennes intermensuelles des années 1990 sont inférieures à celles des années de la décennie 1980 : l'évaporation baisse inversement par rapport à la température.

Quant au tableau suivant, il présente les mesures de bac et de piche, sur la période des années 1990. Les premières sont toujours plus élevées et dépassent même souvent le double des secondes.

Tableau 12- Moyennes intermensuelles de l'évaporation mesurée à Yoff

1990-95	janvier	Février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	dec
Moy bac	198,4	178,8	201,7	170,4	205,1	198,2	161,6	161,8	151,9	173,5	198,6	194,8
Moy Piche	103,2	79,7	79,4	70,8	69,1	67,1	82,9	69,3	59,4	82,1	103,0	105,2

MBAYE (1991) donne les résultats suivants sur une étude de la variabilité spatiale de l'évapotranspiration Penman au Sénégal.

Tableau 13- Moyennes journalières décadaires d'ETPenman (1980-1989)

	janvier		février			mars			avril			
Max	5,1	5	4,9	5,9	5,3	7	8,8	5,3	7,1	6,1	6,1	6,5
Min	2,7	3,5	3,5	3,4	3,6	3,3	3,8	3,8	4,6	4,6	2,9	4,9
Moy	4,3	4,2	4	4,3	4,4	4,5	5	4,6	5,5	5,1	4,8	5,1
E. T.		0,3	0,4	0,6	0,5	1,1	1,3	0,5	0,7	0,4	0,8	0,6
	mai		juin			juillet			août			
Max	6,8	5,4	5,4	5,5	5,4	5,4	5,5	7,1	5,6	5,6	5,9	5,9
Min	4,3	4,2	4	4,3	4,1	4	4,8	4,4	4,4	4,5	3,9	4,4
Moy	5	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9	5,1	5,2	5	5	4,9	4,8
E. T.	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,1	0,7	0,3	0,3	0,6	0,4
	septembre		octobre			novembre			décembre			
Max	5,2	4,9	5,4	5,4	5,5	5,6	5,3	6,6	6,2	5,2	5,3	5,4
Min	4,5	4,1	4,2	4,1	4,4	4,1	4,1	3,7	3,6	3,9	4,7	3,7
Moy	4,7	4,6	4,8	4,8	4,9	4,7	4,6	5	4,8	4,6	4,8	4,4
E. T.	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,7	0,7	0,4	0,3	0,4

Un bilan hydrique pluie-évaporation serait ainsi très déficitaire dans cette zone.

2.1.3.2.3 l'insolation

Comme pour les paramètres précédents, nous avons complété la série de 1980-89 avec les données de la Météorologie jusqu'en 1995.

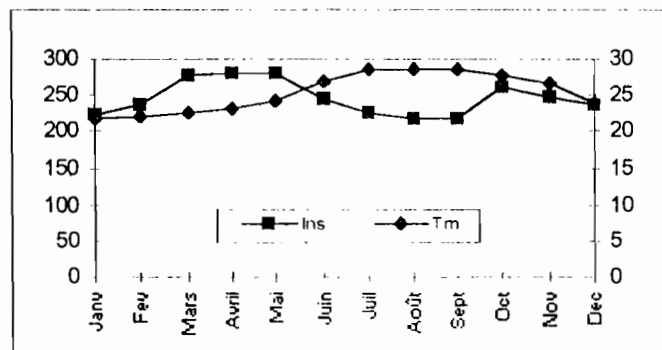
Tableau 14- Insolation moyenne mensuelle à Dakar-Yoff

	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1980-89	242	243	286	288	288	251	232	223	219	269	269	248
1990-95	203,5	229,0	267,3	274,7	272,7	237,0	221,3	213,9	216,0	255,7	228,7	227,2
1980-1995	222,8	236,0	276,7	281,3	280,4	244,0	226,7	218,5	217,5	262,3	248,9	237,6

Le graphique ci-dessous compare l'évolution de l'insolation à celle de la température. Ces deux paramètres thermiques, dépendant du rayonnement solaire, présentent des « anomalies » dans leur évolution annuelle.

D'octobre à janvier, l'insolation et la température baissent ensemble : ceci est lié à la réinstallation progressive des flux boréaux, qui apportent les basses températures et la faible insolation. Au mois de mars, les deux phénomènes connaissent une remontée. C'est au mois de mai que s'opère une inversion au moment de la rentrée de la mousson: son humidité diminue l'insolation tandis que son caractère chaud accroît la température. En octobre, le retrait de la mousson fait remonter l'insolation tandis que la température a commencé sa baisse avec les vents du nord.

Graphique 3- Évolution comparée de la température et de l'insolation



2.1.3.2.4 l'humidité relative

La presqu'île du Cap Vert jouit d'une situation privilégiée par rapport au reste du pays situé à la même latitude, car la moyenne de l'humidité relative atteint à Yoff et à Camberène 75 %. Mais cette humidité, qui s'explique par le long séjour de l'alizé maritime et la proximité de l'océan, n'est favorable qu'aux brouillards, rosées et pluies de heug, qui se déroulent en saison sèche.

Tableau 15- Moyennes annuelles de l'HR % à Cambérène

Année	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
HR moy en %	76,45	77,01	81,35	75,1	76,05	73,25	76,6	74,78

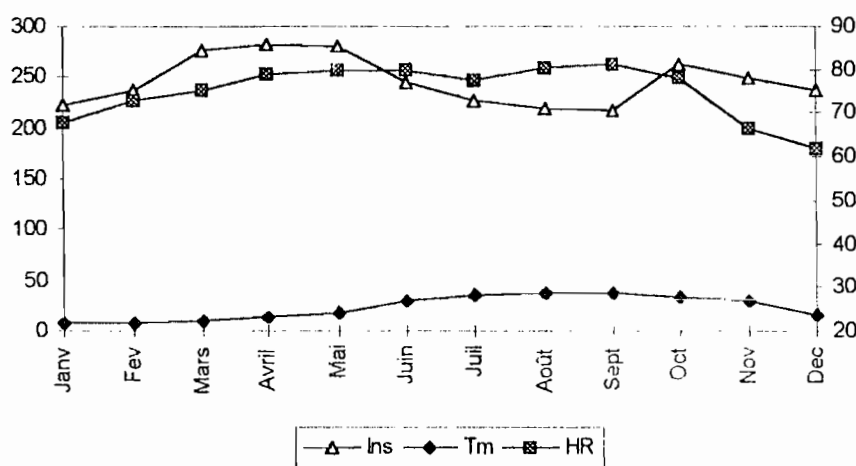
Tableau 16- Moyennes mensuelles et annuelles de l'HR % à Dakar-Yoff

Périodes	janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septem	Octo	Novem	Decem	An
1931/60	69	72	78	78	80	76	78	78	80	79	75	62	76
1971/1980	71	74,5	77	81	80	78	78	81	82	78	71	69,5	76,5
1980	76	70,5	77	77	80,5	79	74,5	78	83	80,5	73	63	75,5
1981	59	75	74	79	78	78	77	81	79,5	75	67,5	62,5	73,5

Les minima sont toujours placés en Décembre car avec le retrait de la mousson dès octobre, l'harmattan ou alizé continental, vent chaud et sec s'installe en novembre avant que l'alizé maritime ne domine en fin d'année. En avril - mai, les valeurs sont élevées du fait de la conjonction de l'alizé maritime qui émet ses derniers souffles et la mousson qui accède peu à peu. Les différentes séries des années 1980 à 1995, montrent les mêmes tendances que les précédentes.

Tableau 17- Humidité relative (période 1980 à 1995)

Hum rel	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	An
1980-89	69	74	76	79	80	80	78	81	82	79	72	67	76
1990-95	65,6	71,2	74,5	78,8	79,2	79,6	76,9	78,8	80,1	76,0	57,2	53,0	72,6
1980-95	67,7	73,0	75,4	78,9	79,7	79,8	77,6	80,2	81,3	77,9	66,4	61,7	74,7

Graphique 4- Évolution annuelle de l'insolation, de l'HR et de la température

2.1.3.2.5 la tension de vapeur

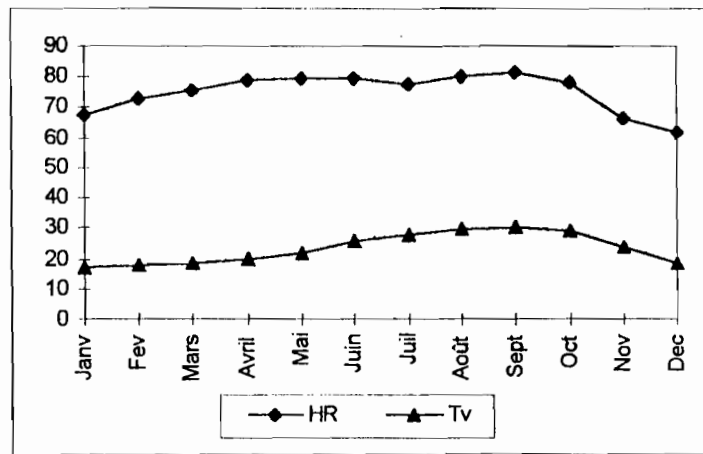
La tension de vapeur varie dans le même sens que l'humidité relative.

Tableau 18- Tension de vapeur (TV) à la station de Dakar-Yoff

TV	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	An
1980-89	17,1	17,9	18,8	20,1	22	25,7	27,7	29,4	30,3	29,1	23,9	18,2	23,4
1990-95	16,3	17,7	18,6	19,9	21,8	25,6	27,6	29,0	30,1	28,5	22,8	18,9	23,1
1980-95	16,8	17,8	18,7	20,0	21,9	25,7	27,7	29,3	30,2	28,9	23,5	18,5	23,3

Les valeurs de tension de vapeur sur la période 1990-95 sont très légèrement inférieures à celle de la décennie antérieure. L'évolution de ce paramètre s'apparente à celle de l'humidité relative.

Graphique 5- Humidité relative et tension de vapeur



A la suite de cette présentation séparée des paramètres climatiques observés à la station synoptique de Dakar-Yoff, nous résumons dans un tableau les valeurs moyennes mensuelles sur la période de 1980 à 1995.

Tableau 19- Paramètres climatiques à Yoff de 1980 à 1995.

Mois/Param	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	An
Pmm	2,4	1	0,2	0,1	0,2	9,2	53,9	164	135	36	1	0,4	402
Evap Piche	104,1	81,7	84,4	75,2	71	73,9	85,9	72,7	61,9	80,5	104,5	111,1	
HR	67,7	73,0	75,4	78,9	79,7	79,8	77,6	80,2	81,3	77,9	66,4	61,7	74,7
Ins	222,8	236,0	276,7	281,3	280,4	244,0	226,7	218,5	217,5	262,3	248,9	237,6	
Tv	16,8	17,8	18,7	20,0	21,9	25,7	27,7	29,3	30,2	28,9	23,5	18,5	23,3

La remarque d'ordre général que nous inspire l'étude des paramètres est que les éléments climatiques n'évoluent pas beaucoup comme c'est le cas de la pluviométrie par exemple. Les données annuelles sur la série de 1980 à 1995 montrent qu'ils évoluent faiblement d'une année à l'autre. Ils restent assez proches, du moins pour ce qui concerne la période de sécheresse, installée depuis 1968. Il serait intéressant dans le cadre d'un travail de climatologie de faire une étude comparative des données en période humide et en période sèche.

En conclusion, nous retiendrons que la région de Dakar, encadrée par les isohyètes 350 et 550 mm se situe en zone de climat tropical nord soudanien. Sa position géographique par rapport aux flux boréaux lui confère cependant une certaine originalité par rapport aux régions intérieures de même latitude. Ainsi on a qualifié le climat de la région de climat dakarien, canarien, littoral ou de climat des Niayes.

2.2 La végétation

La couverture végétale naturelle ou artificielle est un des facteurs déterminants du ruissellement. La région de Dakar du fait de son urbanisation accélérée, est l'une des régions du Sénégal où la végétation a beaucoup subi l'action de l'homme. L'implantation de maisons a provoqué la destruction ou la modification du couvert végétal pour disposer d'ombre, d'espèces végétales ornementales et d'espaces verts esthétiques. Ainsi, la végétation originelle ne se retrouve exceptionnellement que dans des zones qui échappent provisoirement à l'action anthropique.

2.2.1 Le couvert végétal originel

La végétation originelle de la région a subi une dégradation liée aux phénomènes de mise en valeur des terres et d'urbanisation. Deux décennies de déficit pluviométrique ont provoqué l'abaissement du niveau des nappes: des espèces végétales à système racinaire superficiel sont devenues sporadiques, des zones entières ont perdu leur végétation comme l'ancienne forêt classée entre Grand Yoff et l'Autoroute. Quelques zones périurbaines gardent encore une végétation naturelle, si elles ne sont pas favorables à l'exploitation agricole ou pas encore atteintes par le front d'urbanisation.

2.2.1.1 dans les zones périurbaines

Les Niayes sont un des milieux les plus transformés à cause des cultures maraîchères et fruitières. Les dépressions inondées sont le domaine d'une végétation hygrophile, avec surtout des palmiers à huile (*Elaeis guineensis*) et des fougères. Sur les versants des dunes, se sont développées diverses cultures maraîchères arrosées avec les eaux de la nappe superficielle qui affleure en plusieurs endroits.

Photo n° 1: Paysages d'une niaye à Guinaw Rail (Photo Y. PÉPIN)



Selon SALL (1982), la répartition des peuplements végétaux est très liée aux substrats pédologiques qui varient eux-mêmes suivant les unités géomorphologiques. Sur le Massif de Diass, il identifie sur les buttes et collines à cuirasses plus ou moins démantelées, une steppe à épineux où l'espèce dominante, *Acacia ataxacantha*, est associée à *Combretum micranthum*, *Boscia senegalensis*, plus rarement *Grewia bicolor* et *Grewia tenax*. *Dichrostachys* (mimosa clochette) est aussi signalé dans la zone. La strate ligneuse, composée surtout de mimosacées (*Acacia seyal*, *Acacia adansonii*, *Acacia sieberiana* et *Acacia albida*), contribue par ses systèmes racinaires au démantèlement de la cuirasse. Dans les vallées sableuses qui entaillent le massif, la flore primitive est en régression au profit des espèces cultivées ou anthropophiles (*Pennisetum typhoides* et *Arachis hypogea* en saison des pluies, *Mangifera indica*, *Borassus flabellifer*). Les dernières espèces primitives sont: *Borassus aethiopicum*, *Acacia senegal*, *Acacia tortilis*.

La dépression Somone-Tamma, au substrat pédologique constitué de vertisols topomorphes et hydromorphes, est le domaine d'une savane arborée plus ou moins dégradée par la mise en culture. La strate arborée, assez importante dans la partie méridionale, est dominée par *Tamarindus indica*, *Celtis integrifolia*, *Antiaris africana* et *Adansonia digitata*. La strate arbustive et buissonnante comprend des espèces comme *Acacia ataxacantha*, *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Acacia seyal*, *Boscia senegalensis*, *Zizyphus mauritiana* et *Combretum micranthum*. Des graminées annuelles telles que *Schoenfeldia gracilis* et *Chloris prieurii* forment la strate herbacée.

Le Pays de Bargny-Sébkotane, de substrat calcaire et marneux, est recouvert par une végétation clairsemée d'*Adansonia digitata*, avec quelques fromagers, acacias et épineux dominant une strate herbacée qui cède la place aux cultures de sorgho en saison des pluies.

2.2.1.2 sur la tête de la presqu'île

Le travail de NDIAYE (1975) est une bonne référence offrant une rétrospective sur la distribution végétale d'il y a vingt ans. Il divise la zone en plusieurs unités: le plateau du Cap Manuel, le plateau de Ouakam, les Mamelles, les Almadies, les îles de Yoff, de Ngor et des Madeleines.

Sur le plateau du Cap Manuel occupé depuis plusieurs décennies par les hommes, la végétation naturelle a disparu ou est très dégradée et se composait d'une steppe buissonnante dont l'existence est liée à l'intervention humaine et surtout à la présence d'une cuirasse ferrugineuse qui bloque l'enracinement. Le tiers supérieur des falaises où de meilleures conditions de ruissellement existaient, était souvent occupé par des fourrés d'*Euphorbia balsamifera* (euphorbiaceae), *Grewia villosa* (tiliaceae) et quelques *Jatropha chevalieri*. Les espèces arborescentes naturelles étaient quelques rares *Ficus ovata* accrochés aux parois de la falaise et *Adansonia digitata* tandis qu'étaient plantées *Prosopis africana* et *Albizzia lebbek* (Mimosaceae).

Le Plateau de Ouakam et la corniche ouest sont la zone la plus étendue et la plus accidentée, avec la présence des Mamelles à partir desquelles le plateau s'incline vers le nord, l'est et le sud. Le couvert végétal a presque entièrement disparu du fait de l'occupation et des mises en culture, hormis quelques individus âgés, d'*Adansonia digitata* (Bombacaceae) dominant une flore rudérale. La végétation du plateau de Ouakam, dégradée par la mise en culture, souffre aujourd'hui des tas d'ordures immenses qui y sont déversés; notons aussi que l'urbanisation est entrain « d'avalier » tous les espaces avec la construction des quartiers de Mermoz, Sacré-Cœur et l'implantation d'un cimetière catholique. Celui-ci est en général de faible urbanisation.

Par contre les Mamelles ont "conservé" une végétation et une flore qui peuvent rappeler le couvert ancien. La physionomie de la végétation de la petite Mamelle évolue saisonnièrement en raison de la mise en culture de presque toutes les pentes de la colline. Au sommet une flore arbustive à base de *Cadaba farinosa* (Capparidaceae) et *Balanites aegyptiaca* (Simarubaceae) est mélangée avec des espèces herbacées dont *Andropogon gayanus*, *Brachiaria ramosa* (Graminae) et *Blainvillea gayana* (Compositae). Près de la route au pied de la colline, la flore herbacée naturelle a été détruite avec l'aménagement de champs clos par des haies d'*Euphorbia balsamifera*, et où l'on cultive du maïs, du manioc et du gombo.

Les espèces rudérales comme *Datura metel* (Solanaceae), qui survivent n'ont le temps que pour recouvrir une partie des terres en fin de saison des pluies. Elles sont enlevées avant la saison des pluies suivantes; ceci favorise le ravinement qui fait apparaître de nombreuses dalles rocheuses stériles. Sur les flancs de la grande Mamelle, le sol fait de débris hétérogènes supporte une végétation essentiellement herbacée dont la hauteur et la composition sont légèrement variables en fonction de l'exposition des versants.

Au pied de la Mamelle, c'est une végétation très hétérogène qui se concentre sur de rares espaces car les terrains plats à sols argileux ou limono-argileux à l'est et au sud de la grande Mamelle, sont occupés par des terrains de culture, d'anciennes carrières et des aménagements comme le champ de tir. La configuration biogéographique évolue très vite au bas de la falaise et sur la plage à sols sableux d'apport maritime. La végétation présentait l'aspect d'une steppe avec des tapis discontinus de graminées.

A l'approche des Almadies, la végétation donnait un aspect steppique, très clairsemé. Le substratum et le vent ne sont pas favorables à la densité. Les vertisols et lithosols, difficilement pénétrables expliquent la présence d'une végétation arbustive, buissonnante ou herbacée.

Seules quelques espèces plantées devant les concessions comme *Casuarina equisetifolia* et *Prosopis africana* constituent une strate arborée. Sur la mince bande littorale de part et d'autre du village de Ngor poussent sur les plages sableuses une petite flore herbacée constituée d'halophytes comme *Cyperus maritimus*, *Sporobolus spicatus*, *Philoxerus vermicularis*.

En ce qui concerne les îles de Ngor, de Gorée, de Yoff et des Madeleines, ce que craignait NDIAYE (1975), est pratiquement arrivé aujourd'hui: « ces zones trop peu étendues, grandement fréquentées pour les plaisances, ont vu leur couvert végétal se restreindre comme une peau de chagrin du fait de la construction de cabanons et de coupes systématiques pour les festins.

La difficulté de plus en plus effective de trouver des formations végétales importantes est un signe de l'évolution de l'espace bâti sur le plan régional et particulièrement sur les zones potentiels de formations à hauts ligneux. Aujourd'hui avec l'urbanisation, des espèces allogènes sont introduites dans des espaces où la nature ne les aurait peut-être jamais fait apparaître.

2.2.2 Une végétation profondément modifiée

L'exploitation agricole des terres s'est développée grâce à la présence des Niayes avec leurs sols faciles à travailler et leurs dépressions humides. Sur tout le littoral nord, de la Patte d'Oie à la région de Thiès, ainsi que sur une bande méridionale parallèle à l'Autoroute, des vergers et des jardins ont été implantés en retrait de la zone industrielle. Pour la protection de cet écosystème fragile des niayes et aussi des habitations contre l'avancée des dunes vives, un reboisement de filaos avait été effectué sur tout le littoral nord pour fixer les dunes vives et cela a servi par ailleurs à protéger les populations des vents froids. Dans les centres à noyau urbain dense, l'essentiel des végétaux est constitué d'arbres d'alignement comme le *khay* (*Khaya senegalensis*), le badamier (*Terminalia cattapa*), le *nim*. Les coquettes villas des zones résidentielles sont ombragées par des flamboyants, des badamiers et diverses espèces parmi lesquelles on note des dattiers et des plantes grimpantes pour améliorer le décor. On retrouve cependant quelques individus de baobabs et de fromagers qui doivent leur présence à leur longévité.

La modification essentielle est pourtant la prolifération des espaces verts, unités qui apportent une note de gaieté à la monotonie des immeubles et qui participent aussi à leur manière à l'évacuation des eaux pluviales. En effet, ces parcs ou jardins publics, densément arborés et herbacés (pelouse), ne laissent en général ressortir aucun écoulement pendant la pluie. Ce sont des domaines par excellence d'infiltration. La végétation avec tous les avantages qu'elle offre en décoration et en ombrage, est aussi un facteur favorable à l'atténuation des coefficients d'écoulement. En outre, l'alternative à l'épuration coûteuse des eaux par des stations d'épuration de grande envergure, est l'utilisation d'une multitude d'espèces végétales qui ont montré des capacités d'épuration biochimique des eaux usées. La thèse de NIANG (1995) apporte des informations dans ce domaine.

Pour conclure, rappelons NDIAYE (1978), qui disait que « l'extension des zones d'installation humaine à Dakar, a comme corollaire l'emprise de plus en plus généralisée de l'homme sur la flore et la végétation naturelles qu'il va modifier au gré de ses activités agricoles, pastorales ou autres. C'est tout un équilibre écologique qui se trouve rompu le plus souvent de façon inconsciente ».

Nous ajoutons une recommandation pour une meilleure protection par les communes des aires biogéographiques quelle que soit leur étendue et l'obligation pour chaque nouvel occupant de planter un certain nombre d'arbres et enfin le maintien d'espaces naturels pour « aérer les zones bâties ».

La viabilisation en parcelles à bâtir, du bas-fonds situé entre Hann Maristes et la Station d'épuration de Cambéréne par la SCAT-Uroam est comme une « extraction d'un des poumons de la ville », l'autre étant le Parc forestier de Hann. Cette zone avec une plantation d'arbres aurait pu être un véritable « bois de Vincennes » où les populations de la ville et de la banlieue profiteraient en fin de semaine. Devant une urbanisation aussi folle et anarchique, la première mesure à prendre est de classer des zones non aedificandi et les protéger fermement contre toute spéculation.

3 LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Les cours d'eau sont presque tous intermittents. Dans la région ce sont plutôt les axes de drainage artificiels des rejets qui sont plus pérennes que le réseau naturel. Cette réalité explique du reste l'absence de données consistantes d'études hydrologiques. Il existe cependant des travaux sur les lacs de la région des Niayes et sur les cours d'eau intermittents du domaine du massif de Diass.

L'observation de la carte topographique de Dakar au 1/10000 de 1945 n'indique que des cours d'eau intermittents d'importance variable. Avec l'installation de la période de déficit pluviométrique, beaucoup de ces voies d'eaux ne présentent plus de ruissellement important si elles n'ont pas été comblées par l'avancée des dunes ou du front d'urbanisation. L'analyse des conditions d'écoulement peut donner des informations sur cette absence d'écoulement pérenne.

3.1 Les conditions de l'écoulement

Le réseau hydrographique est conditionné par le substratum; celui-ci est gréseux, donc perméable sur le massif de Diass, marneux ou argileux donc imperméable dans la région de Bargny-Sébikotane, sableux et perméable au nord. Les conditions d'existence d'un réseau hydrographique ne sont pas entièrement réunies dans la presqu'île du Cap-Vert même si le substratum de la région de Bargny-Sébikotane est favorable.

En effet le caractère géologique doit être complété par une topographie élevée à l'amont et surtout une pluviométrie abondante. « Les torrents » qui descendent de la falaise de Thiès n'atteignent en aucun cas la zone car ils sont « captés » par la dépression Somone-Tanma. La situation en profondeur de la nappe maestrichtienne, n'est pas favorable à l'alimentation d'un cours d'eau superficiel. Celui-ci ne retrouve pas en outre les conditions d'une vallée alluviale importante à cause de l'étroitesse de la zone. Au nord de la zone, les dunes n'apportent aucune quantité d'eau; par contre elles empêchent la pérennisation de la rivière de Sangalkam. Ce petit cours d'eau se découpe en de multiples tronçons qui se perdent le plus souvent dans des marais bien que le tracé rejoigne le Lac Retba.

3.2 Un réseau hydrographique fossile

L'évolution climatique au Quaternaire a été à la base d'un réseau hydrographique devenu fossile. Cependant le caractère brusque des averses peut engendrer des concentrations qui occasionnent alors des écoulements sporadiques malgré les conditions difficiles de la région de Dakar. C'est le cas des marigots à écoulement temporaire souvent important en cas de pluviométrie correcte. Le massif de Diass est le principal centre d'émission des axes de drainage.

3.2.1 Le "château d'eau" du massif de Diass

Affecté par un vaste système de failles, ce massif a été largement entaillé par un réseau hydrographique à écoulement temporaire, sur le massif et sur les bordures. Il se confond avec les multiples failles. Parmi les artères principales qui descendent du massif, on peut citer:

- le marigot de Sour, avec une large vallée à fond plat colmatée par des sables et gravillons, de direction ENE - WSW. Il draine la partie centrale du massif et se jette dans la dépression de Eopé près de Yenn.
- les marigots de Kcl et Nditakh, proches de la côte, se jettent également dans cette dépression.
- plusieurs vallées fossiles qui descendent des rebords ouest et s'orientent vers les bordures déprimées: Sébissou. Poton et Kandala rejoignent le Panthior.
- les vallées de Gai, Dobour et Keniambour qui descendent du rebord est, s'orientent nord-sud et se perdent dans la dépression de la Somone.
- plus au sud, les oueds de Nougouna et Ngaba qui atteignent la mer à Ndéyane, drainent la nappe phréatique des grès argileux maestrichtiens.

3.2.2 Les bordures du massif de Diass

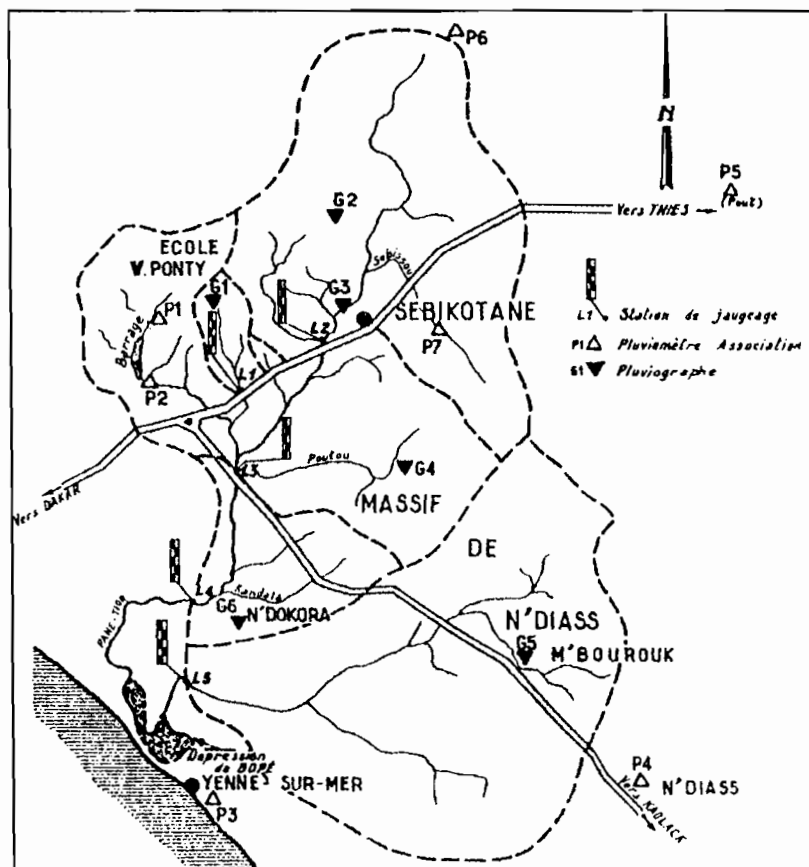
Plusieurs ruisseaux y ont organisé un réseau assez dense car le substrat présente une certaine imperméabilité. Le centre est drainé par les marigots de Panthior et de Bargny-Mbott tandis que la Somone coule à l'est.

3.2.2.1 le marigot de Panthior

C'est le plus important des cours d'eau de la région. Il prend sa source au nord de Sébikotane et longe le versant ouest du Massif de Diass pour se jeter dans la dépression de Bopé. Il reçoit des tributaires descendant du massif de Diass mais aussi le Gatakèye, les *oueds* de William Ponty, de Déni Biram Ndao. "Les calcaires remontées par une faille sur plusieurs centaines de mètres" provoquent l'infiltration de volumes non négligeables qui participent à la recharge des nappes du paléocène de Sébikotane. Une végétation naturelle de type soudanien à sahélo-soudanien apparaît encore au sud-est du bassin, sur le massif. *Acacia seyal* est l'espèce dominante dans les forêts classées tandis que de beaux peuplements de baobabs existent encore à l'ouest et au nord-est. Les sols sont essentiellement à vocation agricole: arachide, mil ou sorgho, vergers et cultures maraîchères.

Le bassin versant présente un excellent coefficient de compacité (1,29), favorable à l'écoulement. Cependant la géologie est un facteur limitant pour l'écoulement des eaux car le lit du principal axe de drainage du cours d'eau (le Kham Bouda), suit sensiblement la faille NNE-SSW, passant à 1,5 km du village de Sébikotane. A l'ouest de cette faille, ce sont les calcaires de l'éocène moyen, tandis qu'à l'est du bassin, c'est le maestrichtien avec ses formations sableuses et gréseuses présentant des passées argileuses et quelques intrusions de roches éruptives (basalte, tuf).

Figure V- Le bassin versant du Panethior



"Ce bassin situé à environ 40 km à l'est de Dakar, est encadré par les méridiens 17° 06' et 17° 12' W et les parallèles 14° 42' et 14° 48' N. Le relief assez mou au sud-ouest, s'élève rapidement vers l'intérieur, pour former le massif de Diass où se situe le point culminant à 95,6 m IGN. Au nord de la route de Thiès, le relief "s'amortit". L'altitude moyenne est de 38 m, le lit de la station est à 2,50 m IGN.

Les conclusions des études menées par les Hydrologues de l'ORSTOM (voir annexe) en 1962 ont servi pour la construction d'un barrage pour la recharge de nappe sous-jacente. Un second suivi a eu lieu en 1975.

3.2.2.2 le marigot de Bargny-Mbott

Il occasionne des crues aussi brutales que celles du Panthior, à l'est de Bargny. Selon MORIN (1973 cité par SALL 1982), le temps de réponse varie entre 2 et 3 heures. Sables, graviers et galets calcaires sont transportés dans le lit mineur.

3.2.2.3 la Somone

La bordure est du massif de Diass est séparée par une dépression orthoclinale à substrat de calcaire paléocène, drainée par la Somone qui atteint la côte par un estuaire. Son débit d'étiage qui était de $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1970, s'est annulé depuis 1973. Cette dépression Somone-Tanma est aussi le collecteur naturel des eaux provenant de la falaise de Thiès (SALL 1982). De multiples ravins anaclinaux enregistrent des crues brutales en période de pluies. Au nord quelques marigots atteignent le Lac Tanma tandis qu'au sud les eaux de ruissellement s'infiltrent dans les calcaires paléocènes karstifiés au détriment de la Somone. Celle-ci, avec sa position de synclinal entre le massif de Diass et la falaise de Thiès devrait collecter les eaux de pluies de ces hauteurs.

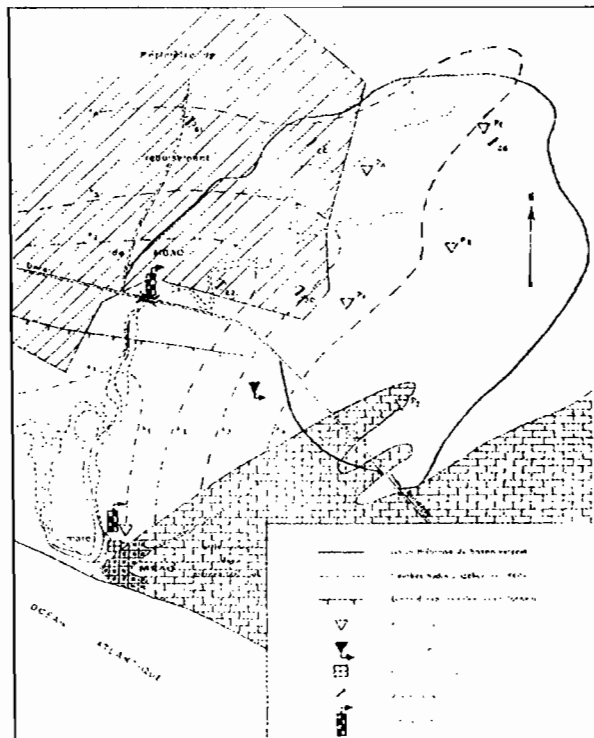
3.3 Le réseau à l'ouest de la presqu'île

3.3.1 Le marigot de Mbao

Selon le témoignage d'habitants, il charriait beaucoup d'eau. C'est un réseau ancien colmaté puis envahi aujourd'hui par les dunes vives qui ont érigé un cordon littoral l'isolant de la mer. Une batterie d'échelles encore fonctionnelle au pont de la route de Rufisque témoigne d'une étude hydrologique dans la zone de Mbao en 1973 (CHAPERON 1975). Des quantités de pluie variant entre 285,4 mm et 353,7 mm avaient été mesurées. Une pluie maximale de 100 mm a été enregistré le 19 août au poste 3, qui a eu le plus faible total annuel. La pluviométrie moyenne annuelle a été de 330 mm, moins qu'à Rufisque qui a totalisé 389 mm (légèrement supérieure à 362 mm, hauteur de récurrence quinquennale sèche).

Aucun écoulement n'avait été observé au pont où l'échelle (cote du zéro à 0,38 m IGN) n'a été en eau que du 31 août au 05 octobre à la suite de l'extension de la mare de Mbao. Celle-ci, isolée de la mer par un mince cordon littoral, avait atteint une hauteur maximale de 0,62 m IGN, alors qu'en juin elle était de 0,30 m. Aucun apport par écoulement de surface n'avait été observé, l'on avait conclu que la recharge de la mare s'est faite soit par le drainage des eaux stockées dans les formations sableuses environnantes, soit par des apports du biseau salé qui pénètre de 1 à 2 km à l'intérieur des formations perméables littorales.

Figure VI- Bassin versant au pont routier et mare du marigot de Mbao



CHAPITRE DEUXIÈME

OCCUPATION DE L'ESPACE ET APPROVISIONNEMENT EN EAU

Le littoral du Sénégal a pris de l'importance avec l'établissement de relations commerciales par les Européens à partir du XV^{ème} siècle. Après Saint-Louis fondée en 1659, l'occupation de la côte va se méridionaliser, Rufisque créée en 1677 va connaître une situation de choix avec l'introduction de la culture arachidière. Ville à la fois portuaire et escale routière, elle joua les grands rôles dans le trafic économique avant que Dakar fondée en 1857 par le Capitaine de vaisseau PROTET, ne la relègue au second plan. L'île de Gorée partage avec Rufisque cette situation de désuétude à cause de Dakar. En effet, avec la fin de la traite négrière et la diminution des relations guerrières, Gorée commença à être victime de son éloignement du continent où le commerce se développait de plus en plus. Ses habitants tout en conservant leurs propriétés, s'installèrent de plus en plus à Dakar.

1 L'OCCUPATION DE L'ESPACE

Le phénomène urbain est assez récent au Sénégal. Au XIX^{ème} siècle, il n'existait que quelques structures urbaines à l'état embryonnaire. Dakar, malgré son site et sa situation favorables, ne fut propulsée que grâce à son port qui connut une modernisation entre 1904 et 1910. Les autres villes qui avaient connu un certain dynamisme, périllicitaient au fur et à mesure qu'elle croissait.

1.1 La ville de Dakar

Beaucoup de travaux ont été consacrés à la ville, sur sa fondation, son extension, son poids politique et économique, sa domination sur les autres centres urbains. Nous renvoyons à une bibliographie sélective sur la ville, publiée par le C.R.D.O. de l'ORSTOM de Dakar-Hann. La thèse du Professeur Assane SECK (SECK A. 1970) reste un ouvrage de référence, celle de MBOW (1992) fournirait des informations plus actuelles.

Nous présenterons quelques données sur le dénombrement de la population, parce que l'effectif de la population est souvent en liaison avec la surface et participe ainsi à l'évolution des rejets d'eaux usées. Nous essayerons ensuite de faire quelques évaluations de l'espace bâti dans son évolution, à partir des travaux antérieurs et de nos propres estimations à partir de cartes, et de photos aériennes. Nous n'avons pu dresser des statistiques provenant de services du Domaine ou de sociétés immobilières.

1.1.1 L'effectif de la population dakaroise

En 1878, l'espace dakarois n'était occupé que par 1555 habitants (GUEYE, 1978). La croissance s'accéléra et "Dakar qui n'avait pas 20000 habitants au début du siècle, en eut plus de 350 000 habitants en 1970 pour la ville proprement dite qui s'étend sur une surface 15 à 20 fois supérieure à celle du début du siècle" (SECK 1970). Nous avons compilé dans le tableau suivant, diverses données obtenues de plusieurs sources.

Tableau 20- Estimations de la population de Dakar

Année	Nombre d'habts en milliers	Source
1891	8,737	(SECK A, 1970)
1904	18,447	(SECK A, 1970)
1904	23,500	(DIENG A, 1994 et PDUD 2001)
1921	32,500	(DIENG A, 1994 et PDUD 2001)
1926	32,527	(SECK A, 1970)
1926	33,700	(GUEYE C, 1978)
1926	40,000	Annuaire AOF 1949
1930	54,000	Annuaire AOF 1949
1936	93,000	Annuaire AOF 1949
1945	132,000	Annuaire AOF 1949
1945-46	132,500	(GUEYE C, 1978)
1955	236,000	(DUBRESSON A 1978, in atlas)
1955	214,000	(DIENG A, 1994)
1955	214,478	(DIENG A, 1994 et PDUD 2001)
1960	360,000	(NIANG F, et al 1992)
1961	374,000	DIENG A, 1994 et PDUD 2001)
1961	336,000	(BNR cité par DIOP M. A, 1983)
1961	374,700	(SECK A, 1970)
1965	495,000	(GUEYE C, 1978)
1969	668,000	(VERNIERE M, 1973)
1970	514,000	(VERNIERE M, 1973)

1976	557,000	(DUBRESSON A, in atlas) à Dkr-Pikine
1976	789,792	(BNR cité par DIOP M, A, 1983)
1976	940,920	(Rapport RGPpop du Sénégal)
1977	854,707	(BNR cité par DIOP M, A, 1983)
1978	914,536	(BNR cité par DIOP M, A, 1983)
1979	978,553	(BNR cité par DIOP M, A, 1983)
1988	1,499,690	(NIANG F, et al 1992)
1988	1,448,000	(DIENG A, 1994)
1988	1,488,941	(Rapport RGPpop du Sénégal)

Malgré les nombreuses incohérences dues à la multiplicité des sources d'estimation, les chiffres montrent nettement le caractère "explosif" de la population dakaroise. Depuis 1961, selon le Plan de Développement Urbain de Dakar (PDUD-2001), le taux de croissance moyen est supérieur à 5%.

Aladji DIENG, de la Division Études et Planification (D.P.E.) à la SONES avançait les projections suivantes lors de la "Semaine de l'eau" en mars 1994:

Tableau 21. Populations de 1993 à 2015

Année	Estimation
1993	1 803 000 habitants
1996	2 012 300 habitants
2000	2 327 000 habitants
2005	2 775 000 habitants
2015	3 823 000 habitants

Dakar n'a certes pas atteint 2 millions d'habitants en cette année 1996, mais il faut noter que DIENG A. (1994) a voulu montrer l'accroissement démesuré de la population de Dakar. D'après le chiffre obtenu au recensement de 1988 et un taux d'accroissement de 3,1 %, les projections seraient les suivantes :

Tableau 22- Projections de l'effectif de la population dakaroise

Années	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Effectifs	1428084	1472355	1517998	1565056	1613572	1663593	1715164	1768334	1823153	1879671	1937940	1998017	2059955

La population dakaroise se situerait donc aujourd'hui autour de 1 800 000 habitants.

1.1.2 L'évolution de l'espace bâti

Au-delà de l'évolution de la population, une étude de la progression des surfaces imperméabilisées est utile. VERNIERE (1973) esquissait à travers des schémas, repris dans l'Atlas National du Sénégal, l'accroissement urbain de la banlieue pikinoise. Le PDUD-2001 renferme aussi des cartes de l'occupation spatiale. Nous abordons ce thème en présentant des cartes montrant l'évolution de l'espace bâti sur un intervalle de 30 ans. Il est important de rappeler encore une fois que surface bâtie ne signifie pas surface imperméable. Cette classification du type de bâti sera largement abordée dans la dernière partie de cette thèse à l'échelle d'un bassin versant. Après une délimitation des zones occupées et des zones encore inoccupées, sur toutes les cartes à notre disposition, deux approches ont été menées: la première méthode consiste en une planimétrie tandis que la seconde est la digitalisation sous le logiciel MYGALE, suivie du calcul automatique des surfaces des différentes zones avec le S.I.G. SAVANE. Celui-ci permet en outre, de faire des superpositions pour la comparaison.

Au début du « Gouvernement Général », l'espace bâti était d'environ 2 km² concentré à l'est de la Rue Raffanel alors que l'espace urbain limité par l'actuelle Avenue Malick SY s'étendait sur 6 à 7 km². Nous avons retrouvé tardivement d'anciennes cartes au 1/10000 datant de 1945, qui pourraient ainsi montrer l'évolution avec plus de recul.

1.1.2.1 estimation du bâti par planimétrie

Le tableau suivant représente les résultats du planimétrie. Nous avons repéré les zones encore vides dans la mesure où elles sont moins importantes que les espaces déjà occupés.

Par la méthode du planimétrie, notre estimation sur 7760 ha de la commune, donne 6500 ha bâtis soit un taux d'occupation de 83,76 % contre 16,23 % d'espaces libres c'est à dire 1260 ha parmi lesquels 390 ha de bandes littorales. Il ne resterait à la ville que 870 ha à bâtir. Ce chiffre est assez proche de celui que rapporte SECK (1992) tiré d'un rapport du bureau d'études BCEOM (1990) selon lequel l'habitat occupe déjà 3061 ha sur 8 302 ha, soit 36,87 %. Pour ce bureau d'études, la superficie potentiellement urbanisable ne représenterait plus

que 880 ha soit 10,6 %, le reste étant considéré comme inhabitable. Selon toujours la même source, l'extension de l'habitat à Dakar étant limitée par l'étalement de la presqu'île, les densités s'accroissent plus que les surfaces bâties: ainsi Dakar aurait atteint 6800 hab/km², si l'on considère la superficie totale de 8302 ha. Cependant il faut comprendre qu'il existe des terrains déclarés inhabitables mais constructibles. Les bandes de terre ne sont pas à vocation d'habitation mais elles peuvent être bâties pour d'autres fonctions, hôtelières ou portuaires par exemple. La réserve urbanisable de Dakar est aujourd'hui très entamée par les multiples projets en cours ou déjà réalisés, parmi lesquels on peut citer:

- 95 ha pour 3000 logements dans l'opération Grand-Yoff, menée par la SCAT-URBAM (Société de construction et d'aménagement de terrains urbains). Ce projet a réalisé des maisons au Camp Pénal (au nord de la Foire) a morcelé le bas-fond de Hann-Maristes qu'il s'apprête à distribuer. Outre l'espace naturel qui est conquis, ce sont des exploitants de ces zones à vocation agricole qui cèdent à la pression des bulldozers qui effacent les derniers témoins des niayes de Dakar.

- le lotissement des Almadies sur un site de 180 ha pour 750 parcelles seulement: ici, la zone est classée résidentielle et les maisons sont spacieuses et par conséquent dévoreuses de terrain.

- de multiples petits projets de logement réalisés ou en voie de l'être: les SICAP Liberté 6 et Sacré-Coeur 3, la Cité Fayçal de feu Djily Mbaye, les lotissements de la zone de l'hôtel Hacienda, le terrain entre les Parcelles Assainies et la station d'épuration, celui entre les Parcelles Assainies et la grande niaye de Pikine (lotissement Fadia), les extensions de la Patte d'Oie sur les dunes qui dominent les niayes, les lotissements de part et d'autre du cimetière musulman de Yoff.

Tableau 23- Espaces vides en 1993 dans la commune de Dakar

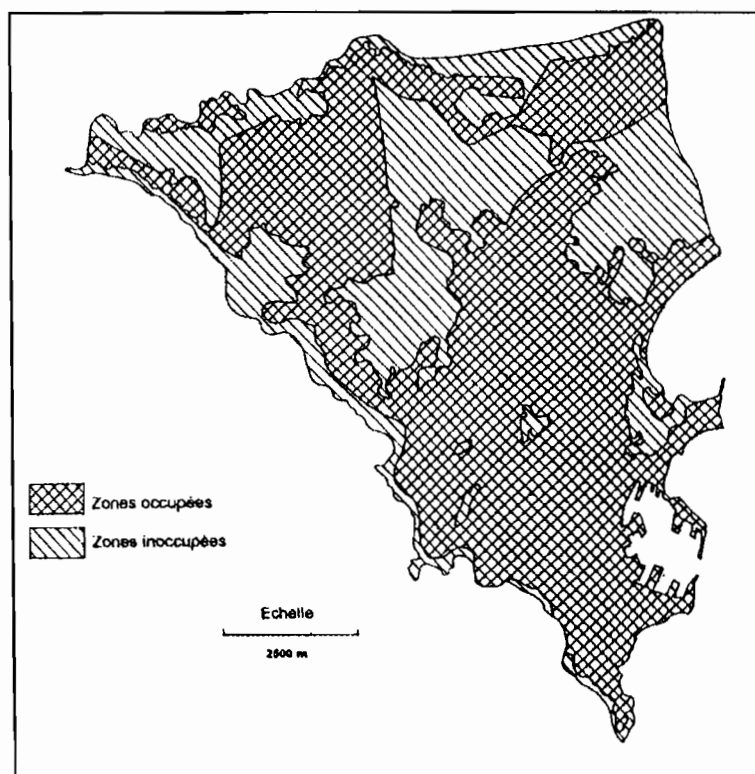
Code du vide	Dénomination	Superficie en ha
V1	Tour de l'ocuf	3,75
V2	Bordure Autoroute	15
V3	Espace Bel Air	30
V4	Nord Mermoz	200
V5	Parc Hann	65
V6	Niaye Station Epuration	230
V7	Corniche ouest	190
V8	Zone Mamelles	40
V9	Face Sacré-Coeur 3	25
V10	SE Foire	30
V11	Stade Amitié	30
V12	Bordure Cimetière Yoff	19
V13	Entre Foire et Piste	117,5
V14	Ouest aéroport	58
V15	Sud Ngor	22,5
V16	Nord Almadies	5
V17	Littoral Nord aéroport	30
V18	Littoral Parcelles Assainies	147,5

En résumé on obtient la situation suivante:

Superficie totale de la commune	7760
Superficie non bâtie	1260
Superficie non bâtie littorale	390
Superficie à bâtir	871

La carte suivante présentent les espaces vides et les espaces bâties.

Figure VII- Espace bâti et zones vides en 1993 à Dakar



Le BCEOM 1990 avance les chiffres suivants concernant les parcelles et les logements aussi bien à Dakar qu'à Pikine, pour les années 1980 et 1989 et une projection pour 2001, Nous avons traduit ces tableaux en graphiques pour montrer l'importance de chaque type d'habitat ainsi que son évolution,

Tableau 24- Répartition de l'occupation du sol (superficie en ha)

	Dakar	Pikine	Total
Habitat	3061	2718	5779
Grands équipements	612	204	816
Zone indus/Port	485	515	997
Zone agricole et reboisement	1681	3489	5170
Zones militaires	359	85	444
Zone aéroport et équipement	1175	199	1374
radio et télécommunication			
Superficie urb: nisable	880	2040	2920
Totaux	8250	9250	17500

BCEOM (1990)

Tableau 25- Nombre moyen de logements par type d'habitat en 1980 (Source PDU 1980)

Type d'habitat	Dakar	Pikine	Total
Immeubles mixtes	9020		9020
Grand et moyens standing	2570		2570
Habitat planifié	19300	750	20050
Spontané régulier	40900	25700	66600
Spontané irrégulier	3450	21450	24900
Type villageois	6500	6500	13000
Total	81740	54400	136140

Tableau 26- Nombre moyen de logements par type d'habitat (1989)

Type d'habitat	Dakar	Pikine	Total
Immeubles mixtes	9425		9425
Grand et moyens standing	6789	1348	8137
Habitat planifié	37501	6809	44310
Spontané régulier	47777	38621	86398
Spontané irrégulier	3454	41039	44493
Type villageois	10386	23793	34179
Total	115332	111610	226942

BCEOM (1990)

Tableau 27- Nombre moyen de logements par type d'habitat (en 2001)

Type d'habitat	Dakar	Pikine	Total
Immeubles mixtes	12496	12496	9425
Grand et moyens standing	9002	1788	10790
Habitat planifié	49726	9029	58755
Spontané régulier	67931	51211	119142
Spontané irrégulier		54417	54417
Type villageois	13772	31548	45320
Total	152927	147993	300920

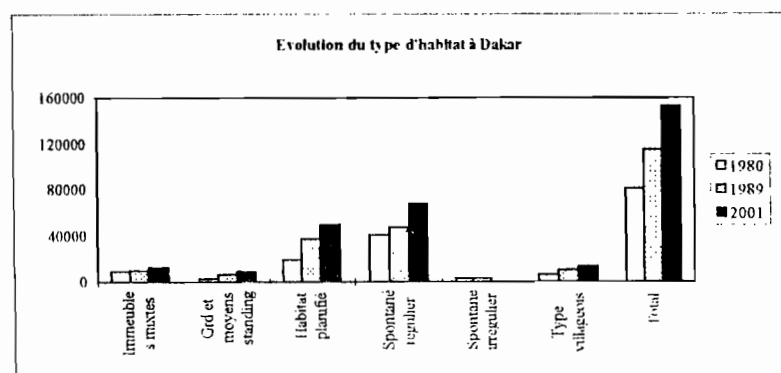
BCEOM (1990)

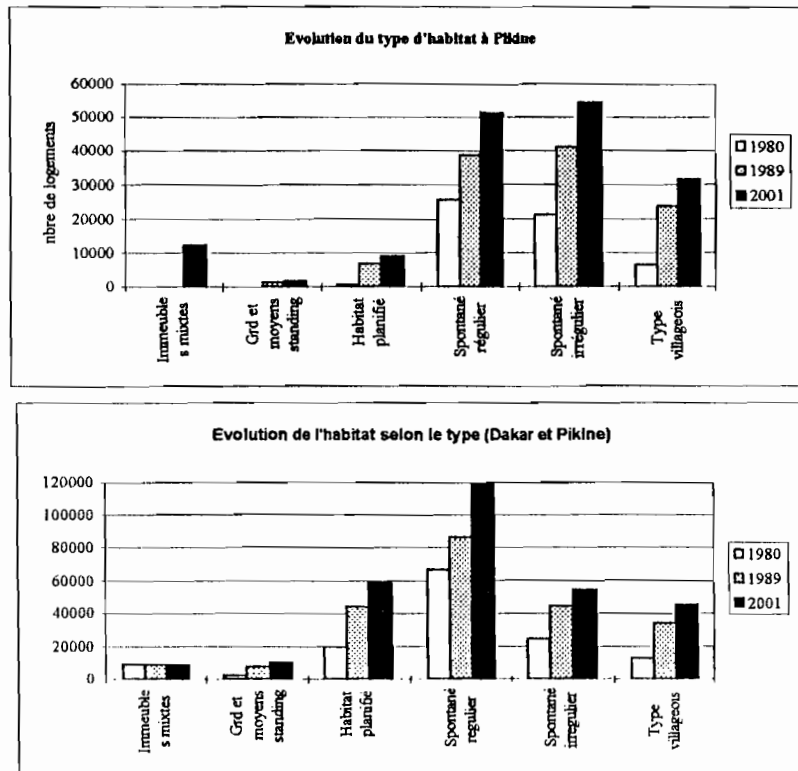
Tableau 28- Évolution probable de l'habitat selon le type

types	Dakar			Pikine		
	1980	1989	2001	1980	1989	2001
Immeubles mixtes	9020	9425	12496			12496
Grd et moyens standing	2570	6789	9002		1348	1788
Habitat planifié	19300	37501	49726	750	6809	9029
Spontané régulier	40900	47777	67931	25700	38621	51211
Spontané irrégulier	3450	3454		21450	41039	54417
Type villageois	6500	10386	13772	6500	23793	31548
Total	81740	115332	152927	54400	111610	147993

Les graphiques montrent partout une évolution plus rapide de l'habitat spontané régulier, qui se caractérise par la viabilisation des terrains que les particuliers mettent en valeur à leur guise.

Graphique 6- Évolutions du type d'habitat à Dakar et à Pikine





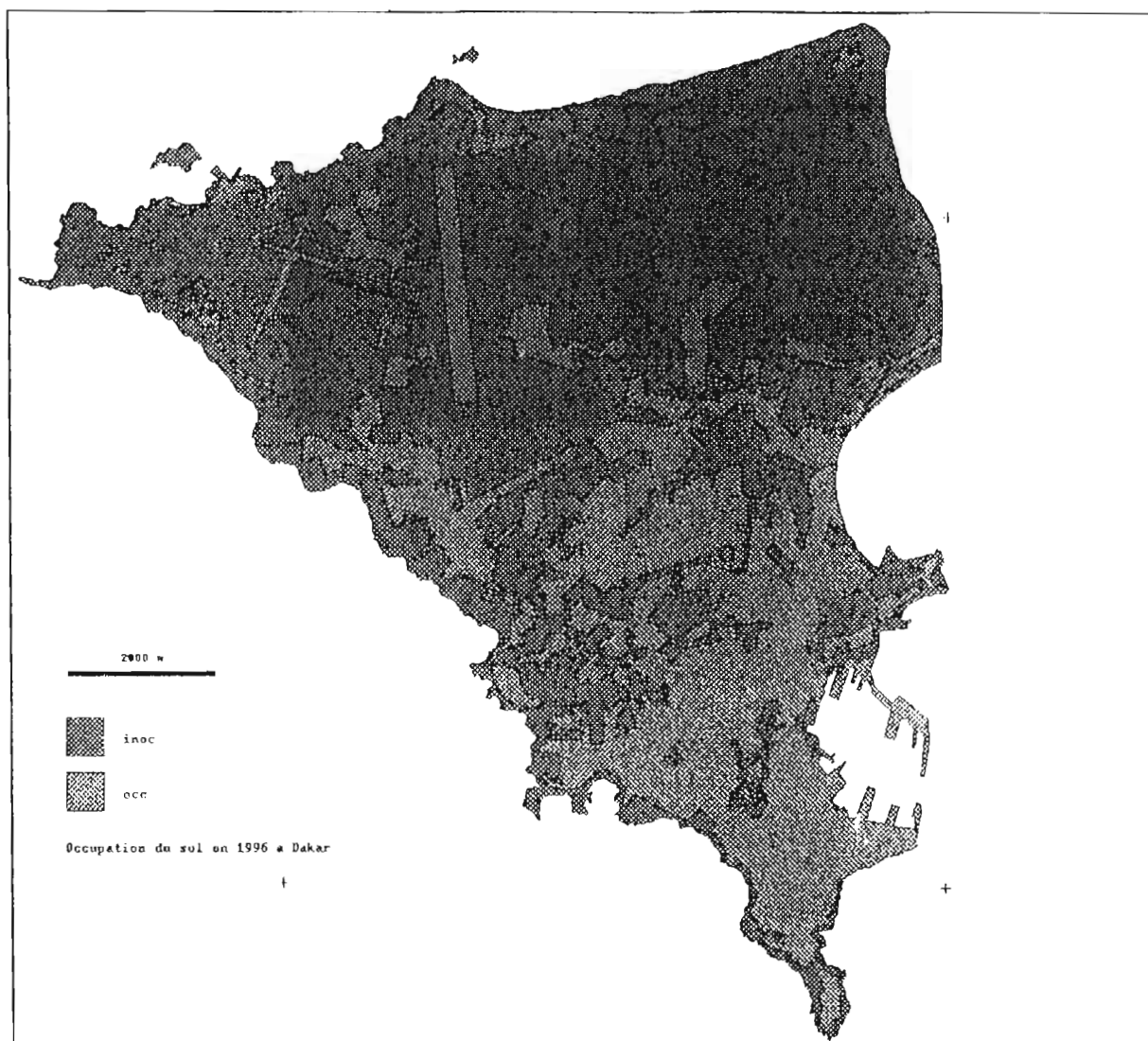
La banlieue dakaroise comporte d'anciens villages lébou que sont Ngor, Ouakani, Yoff et Cambéréne aujourd'hui rattachés à la commune de Dakar. Entre Cambéréne (créé en 1888 et peuplé de 5479 habitants en 1976) et la Patte d'Oie, se sont installées les Parcelles Assainies, à cheval entre les communes de Dakar et Pikine.

1.1.2.2 estimation du bâti par la cartographie automatique

Nous présentons une première situation qu'est celle de 1966. L'espace bâti occupé sur la commune de Dakar une surface de 27,8 km² sur un total de 83,4 km². Cette année est intéressante car elle marque le début des derniers déguerpissements qui vont s'échelonner sur 10 ans. C'est une opération d'envergure dans la gestion de l'espace. De part et d'autre de l'Autoroute, des quartiers de bidonvilles vont être déplacés vers Guédiawaye, un site d'extension de Pikine. Les espaces libérés ont cependant été affectés au casernement des services de police et surtout à la PME-PMI. La localité de Guédiawaye quant à elle, est devenue de plus en plus importante, gagnant le statut de commune au même niveau que Pikine vers la fin des années 1980. Sa bordure littorale est encore aujourd'hui, un des espaces d'extension les plus dynamiques de la région.

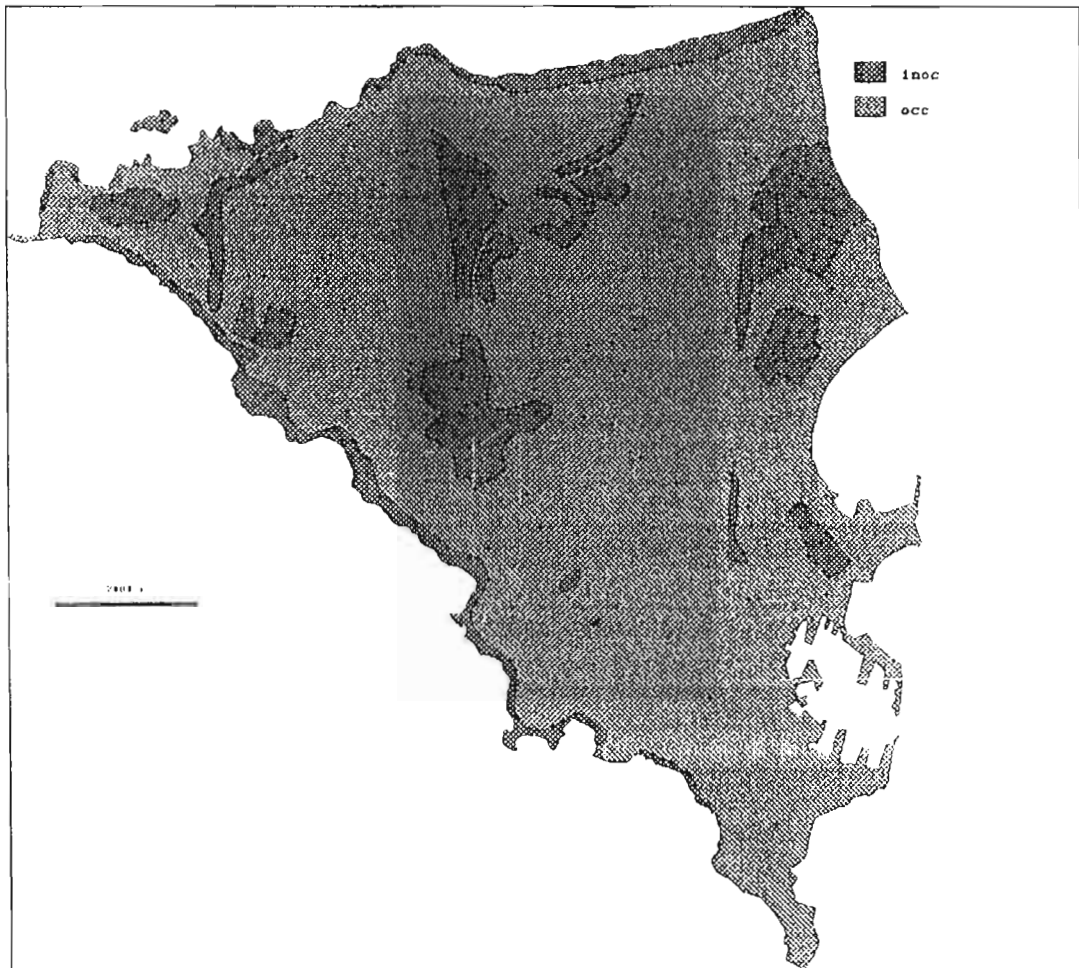
La carte de 1993 publiée par la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques, ex-IGN Dakar, est en fait une correction de celle publiée 10 ans plus tôt avec seulement, les modifications les plus importantes. D'ailleurs elle ne comporte pas les constructions achevées en 1993. Les principaux changements dans l'occupation de l'espace communal restent la création des Parcelles Assainies, le long du littoral nord, en étrier autour du village traditionnel de Cambéréne. Ce projet occupe un site de 407 ha, morcelé en 26 unités de voisinage, comprenant 12 800 parcelles viabilisées. Celles-ci n'étaient en fait destinées qu'aux personnes de faible revenu.

Carte 4- L'espace bâti en 1966



La situation de 1995 a été faite à partir de la carte de l'IGN de 1993 complétée par des observations sur le terrain pour prendre en compte les dernières réalisations mais également les projets dont la réalisation est imminente.

Carte 5- L'espace bâti en 1995



Entre 1966 et 1995, l'espace bâti est passé de 27.8 km² (soit 33.29 %) à 56.83 km² (soit 68.05 %). En 30 ans, les surfaces bâties se sont accrues de 34.76 %. Ce dédoublement des zones bâties ne prend pas en compte les espaces non urbanisables comme les bandes littorales.

Les cartes schématiques que nous avons faites montrent la diminution des espaces inoccupés. En 1995, les "vides" dans la Commune de Dakar sont presque inexistantes dans le noyau urbain dur et sont essentiellement constitués du « Tour de l'œuf » au Point E, du Parc de Hann et de la zone des Hydrocarbures à Bel Air. Le front d'urbanisation est entrain « d'avalier » la zone qui s'étend de part et d'autre de la V.D.N., les quelques zones vides contiguës à l'Aéroport et enfin le domaine dit de Hann Maristes, en voie d'urbanisation avec le projet SCAT-Urbam. Il subsiste enfin les étroites bandes littorales à l'ouest et au nord, relevant essentiellement du domaine maritime et donc à vocation particulière.

Nos estimations seraient probablement différentes de celles des Services officiels car ceux-ci procèdent à une sommation des surfaces aménagées par les projets de construction et de viabilisation; ainsi les bandes de terre entre zones occupées, et aussi entre ces zones et les routes sont hors du décompte. Certaines infrastructures comme les routes et les rucs non durcies sont aussi souvent écartées du bâti officiel. Nous confondons dans le lot des surfaces bâties, ces routes ainsi que les espaces qui les séparent des maisons, les terrains de jeux et certaines parcelles provisoirement inoccupées. En effet avec notre échelle de travail, ces endroits ne sont pas facilement repérables comme le Parc de Hann c'est à dire des espaces verts de grande dimension.

La réserve urbanisable de Dakar s'épuise ainsi comme une peau de chagrin alors qu'aucun espace n'est aujourd'hui déclaré préservé en dehors du Parc de Hann⁵. La ville étouffe et la situation sera catastrophique si

⁵ Des rumeurs ont cependant circulé sur une revendication du domaine par des notables lébous qui en seraient propriétaires.

une politique judicieuse de préservation d'espaces libres entre les zones bâties n'est pas appliquée. Les multiples difficultés de la circulation automobile et l'encombrement des marchés sont des cas concrets de problèmes liés à la mauvaise gestion de l'espace.

Aujourd'hui, des problèmes ont opposé dans presque tous les quartiers de la ville, les jeunes à des resquilleurs qui commercialisent le moindre espace jusqu'au terrain de jeux. La densification se fait au détriment des infrastructures parmi lesquelles les systèmes d'évacuation des eaux usées ou pluviales. Aux Parcelles Assainies, les aménageurs avaient prévu une largeur d'au moins 60 mètres pour la grande Route des Niayes: les propriétaires des maisons contiguës à cet axe ont étendu leur domaine comme si la route ne devrait pas être agrandie ultérieurement.

Les sites littoraux anciennement affectés au lycée et à l'hôpital sont aussi impunément occupés par des constructions qui ne respectent aucune géométrie, sans aucune infrastructure parce que morcelés illégalement. Les Parcelles Assainies vont être érigées en commune et il y a lieu de s'occuper aujourd'hui de ces problèmes, en dehors de toute considération politicienne.

Le système des villas, qui occupe beaucoup d'espace n'est viable qu'en banlieue ou hors du centre ville. Celui-ci doit rester une zone d'édification d'appartements, comme aux HLM de Fass, c'est à dire une gestion optimale de l'espace trop convoité.

1.2 Pikine et ses extensions

En 1952, la création de Dagoudane-Pikine s'est justifiée face à la nécessité de recaser ailleurs le trop-plein de la capitale. En 1966 des déguerpissements furent décidés pour moderniser la ville de Dakar où des bidonvilles pittoresques côtoyaient l'Autoroute et donnaient une impression inadéquate de capitale moderne. Le but officiel de ces opérations a été d'assainir les quartiers surpeuplés où se concentraient des habitants démunis vivant dans des conditions précaires. La localité de Guédiawaye fut ainsi créée comme zone d'extension de Pikine. La population de l'ensemble Pikine-Guédiawaye en 1976 était de 115,822 habitants selon le Bureau National de Recensement.

La ville-dortoir de Pikine avec une densité de 4500 habitants / km², occupe 2715 ha sur 9273 ha du département, soit 29,31 %. L'habitat, selon le BCEOM (1990), cité par SECK (1992), pourrait encore s'étendre sur 2040 ha soit 22 % du total.

La Grande Niaye de Pikine qui avait fait l'objet d'un Plan d'aménagement multi-fonctionnel, est aujourd'hui affectée au Technopole de Dakar. La seule fonction de distraction qu'elle pourrait jouer dans l'avenir réside dans la probable construction d'un hippodrome. Cet espace doit pourtant rester le poumon de la banlieue pikinoise comme le Parc de Hann l'est pour la ville de Dakar.

1.3 Rufisque et sa périphérie

C'est un des plus anciens établissements lébous de la presqu'île du Cap vert. La ville doit son développement en seconde moitié du XIX^{ème} siècle au commerce de l'arachide. En effet elle présente sur la Petite côte, le seul décrochement rocheux qui rompt la monotonie du cordon dunaire bordant le rivage. Cette rade relativement abritée en saison sèche et pas du tout pendant l'hivernage ne permet que la construction d'un wharf de transbordement car les eaux ne sont pas profondes.

1.3.1 Le dénombrement de la population

Avant le sondage (au 1/20^è) de 1960-61, Rufisque n'a pas connu de recensement urbain. Il n'y a eu que quelques dénombrements retrouvés dans les Annuaire Statistiques de l'AOF où les populations de Rufisque et Bargny, confondues, étaient estimées à 43 000 personnes en 1946 puis à 29 000 en 1949. La période de 1961 à 1970 comprend plusieurs estimations de source différente, tandis que la période allant au delà du recensement de 1976, manque d'informations. A la suite d'une évaluation fondée sur les photos aériennes et une enquête thématique, DUBRESON A. (1978) avance des chiffres compris entre 80 000 et 85 000 habitants. Le tableau suivant présente les principales estimations de la population.

Tableau 29- Évolution de la population de la ville de Rufisque de 1943 à 1973

Année	Évaluation	Sources
1942	30000	Études Sénégalaises n°1
1943	29000	RICHARD MOLARD J,
1945	10000	PINSON J. C.
	43000	Annuaire Statistiques A O F.
1947	30052	Bulletin I F A N Tome XII n°1
1948	29400	Annuaire Statistiques A O F
1949	29953	Études Sénégal n°1
1950	33000	Annuaire Statistiques A O F
1955	37442	Annuaire Statistiques A O F
1960/61	41000	Sondage au 1/20
	plus de 50000	PROUST L. cité par PINSON
1965	58000	DIOPS. L.
1968	64000	NE DE CO
1968	72000	Plan directeur de Rufisque
1969	75000	III ^e plan de développement
1970	70000	LAURENT O
1970	75000	Estimation DUBRESSON
1972/73	80 à 85000	Estimation DUBRESSON
1976	77000	Plan d'Urbanisme de Dakar
1980	82000	Plan d'Urbanisme de Dakar

1.3.2 Le site de Rufisque

Le premier plan directeur de la ville est mis en place le 9/09/1862. Le quartier escale, centre commercial et administratif, doit être séparé des quartiers lébons (à paillotes) : Diokoul, Thiawlène et Mérina sont déplacés. L'escale comprenait essentiellement des entrepôts massifs, des maisons à étage servant à la fois au négoce et à l'habitat et des villas spacieuses dans la partie méridionale. Cependant malgré le lotissement et les constructions modernes en dur, la cité reste insalubre et sous la menace des inondations car elle a été installée au fond d'une cuvette vers laquelle convergent deux voies d'eau capable de drainer un écoulement important. Cette cuvette est aussi fixée sur des marnes imperméables, épaisses de 100 mètres environ. La perméabilité des dunes rouges fixées au nord favorisent un écoulement vers la ville et les nombreux marigots qui l'enserrent. Elle ne doit sa protection qu'à des seuils.

Des travaux d'assainissement ont démarré en 1903 : canaux à l'est et à l'ouest, réseaux d'égouts, comblement du marigot du nord remplacé par une large avenue. Les méfaits de l'association cuvette topographique - imperméabilité des marnes sont atténués par la mise en service du canal de ceinture. Le plus gros problème que rencontrent les populations riveraines de Mérina et Thiawlène reste le démaigrissement rapide de la plage et l'entaille du cordon littoral aux moments des marées de vives-eaux.

Cette situation est à la base du démantèlement de la bordure méridionale de l'Escale. Le démaigrissement s'expliquerait par l'existence de grès de plage (« beach rock ») qui affleurent. Du fait de leur genèse, ils sont toujours recouverts d'un sédiment meuble non cimenté. Leur affleurement résulterait donc d'un démaigrissement de l'estran provoquant la mise à nu. Rufisque connaît ainsi des problèmes de site dont la solution la moins onéreuse reste le déguerpissement des populations touchées par le recul de la côte.

Cependant la structure pédologique est aussi une contrainte non négligeable pour recaser les populations. Le substratum constitué de marnes de l'Yprésien (25 m de marnes papyracées à attapulгите) recouvertes au nord par des digitations sableuses, avec une topographie plane, favorise la formation de sols du type vertisols lithomorphes. La teneur élevée en montmorillonite (argile gonflante) accroît la stagnation des eaux de ruissellement en saison des pluies et provoque l'écartèlement lié à la dessiccation en saison sèche.

Cette dernière caractéristique explique les fissures des maisons, les plafonds instables et les portes décrochées. Ces phénomènes sont éventuellement accrus par les unités industrielles de la place.

Nous avons rapporté en annexe quelques cartes de Rufisque, tirées de DUBRESSON (1978). Un Modèle Numérique de Terrain a été produit à partir des courbes de niveau au 1/20 000 et sera publié ultérieurement (LAAROUBI, 1997).

1.3.3 L'espace bâti

Peu de données antérieures à 1960 sont disponibles pour cerner la croissance de l'espace bâti. En 1950, il y avait 115 ha, ceci évolua à 245 en 1960, et 295 en 1970. Le rythme de conquête de la ville sur l'espace évolue de manière différente à celle de la population. Entre 1950 et 1960, elle a évolué fortement (113 %), mais entre 1960 et 1970, la superficie ne s'est accrue que de 20,4 %. Cette cassure brutale du rythme s'explique essentiellement par une transformation dans les types d'évolution de l'espace urbain, la densification du tissu l'emportant actuellement sur les éclatements ou les créations nouvelles. Les causes étant surtout liées aux questions foncières. La ville devrait atteindre 1050 ha en 1980, selon les projections du plan d'Aménagement.

Aujourd'hui la zone nord-ouest est l'objet d'un projet de 4000 parcelles à bâtir.

1.4 La réforme de 1996

L'explosion urbaine et spatiale de Dakar a provoqué l'érection de plusieurs banlieues dont la vocation a été de recevoir son trop-plein. Aujourd'hui ces banlieues sont de véritables fourmilières humaines où des problèmes urgents se posent d'autant plus que ce sont les couches les plus défavorisées de la population qui s'y concentrent. Leurs conditions sont aggravées par leur dépendance vis à vis de Dakar qui fournit le travail et le ravitaillement. Avec les années 1990, des communes nouvelles (Guédiawaye, Bargny) ont été créées pour que les populations apprennent à se prendre en charge face aux difficultés de plus en plus croissantes de l'autorité centrale. Des réformes importantes dans le cadre de la décentralisation et de la régionalisation vont entrer en vigueur avec les élections municipales de novembre 1996. Les grosses communes de Dakar, Pikine et Rufisque vont comprendre de petites mairies dites d'arrondissement ou de quartier, afin que les populations soient plus associées au devenir de leur cité.

La région de Dakar sera, à l'issue de ces élections municipales rurales et régionales, scindée en 43 communes d'arrondissement. Les quatre communes de ville que sont Dakar, Pikine, Guédiawaye et Rufisque existeront toujours cependant. A la place de la Communauté Urbaine de Dakar il y aura le Conseil régional. A ces entités municipales s'ajouteront la commune de Bargny et la toute nouvelle commune de Sébikotane.

La régionalisation qui cherche à impliquer davantage les populations dans la gestion de leur terroir permettra si les moyens existent ou s'ils peuvent être créés, de prendre en charge les problèmes d'assainissement à l'échelle locale. Les recettes municipales venant principalement des marchés, certaines communes d'arrondissement auront du mal à constituer un budget consistant. Il est dès lors urgent pour elles de développer des partenariats locaux ou extérieurs pour une prise en charge rapide des besoins qui ont incité la mise sur pied de ces entités.

Nous n'aborderons certes pas les milieux ruraux dans cette étude sur la population et l'espace bâti dans la mesure où ce sont des domaines où plus que le ruissellement et l'évacuation des eaux pluviales, ce sont des questions liées à l'érosion hydrique, au ravinement qui sont les plus aigues. Il faut cependant rappeler que l'espace urbain ne cesse aujourd'hui de « mordre » sur ces domaines de culture par excellence. Les communautés rurales de Bambilor, de Sébikotane produisent l'essentiel des produits maraîchers consommés dans les villes de la région. L'avancée du front d'urbanisation est effective à deux niveaux : aux abords des villes, ce sont les constructions qui remplacent les anciens champs sur le plateau de Ouakam par exemple, tandis qu'en zone rurale, les citadins érigent de plus en plus des inaisons de repos hebdomadaire. Les citadins en agriculteurs du dimanche ont assez tôt investi ces milieux ruraux en s'octroyant des vergers et de plus en plus ces terres changent de vocation.

Tableau 30- Communes d'arrondissement et conseillers (réforme de novembre 1996)

Département	Villes	Commune d'arrondissement	Nombre de conseillers
DAKAR	DAKAR	Gorée	20
		Plateau	50
		Médina	56
		Gueule Tapée-Fass-Colobane	56
		Fann-Point E-Amitié	36
		Grand-Dakar	40
		Biscuiterie	50
		HLM	46
		Hann-Bel Air	46
		Sicap Liberté	40
		Dieuppeul-Derklé	40
		Grand-Yoff	56
		Mermoz-Sacré Coeur	36
		Ouakam	40
		Ngor	30
		Yoff	46
		Patte d'Oie	36
Parcelles Assainies	56		
Cambérène	36		
PIKINE	PIKINE	Keur Massar	36
		Malika	30
		Yeumbeul-nord	50
		Yeumbeul-sud	56
		Djidah Thiaroye Kaw	66
		Tivaouane Diaksao	40
		Diamagueune Sicap Mbao	56
		Thiaroye-Gare	36
		Mbao	36
		Thiaroye Sur Mer	36
		Guinaw Rail Nord	40
		Guinaw Rail Sud	36
		Pikine Ouest	50
		Pikine Est	40
Pikine Sud	46		
Dalifort	36		
	GUEDLAWAYE	Golf Sud	56
		Ndiarème-Limamoulaye	40
		Wakhinane-Nimzatt	56
		Sam Notaire	56
		Médina Gounass	56
RUFISQUE	RUFISQUE	Rufisque Ouest	40
		Rufisque Nord	50
		Rufisque Est	56
		Bargny	
		Sébikotane	36

«Journal Le Soleil du 18 septembre 1996 »

2 L'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET SES PROBLÈMES

L'évolution rapide de la population augmente les besoins en eau ainsi que les rejets d'eaux usées. Elle participe aussi par le biais de l'extension du bâti, à l'accroissement de l'imperméabilisation des sols et ainsi des volumes ruisselés. La progression rapide de la consommation en eau de Dakar a semblé quelques fois surprendre les décideurs qui se sont retrouvés très souvent face à des situations délicates. D'après SECK A. (1970), la consommation domestique par habitant était de 50 litres en 1945, elle était de 70 litres en 1963 et elle montait à 90 litres en 1965 suite à la mise en service du forage de Pout. Les réponses des gestionnaires sont le plus souvent la privation d'eau à certaines couches de la population, généralement les plus défavorisées. Les zones de populations à haut niveau de vie connaissent moins de perturbations alors qu'elles ont plus de moyens de faire face grâce à leurs équipements en réservoirs. Il se pose un problème de gestion rationnelle de l'eau potable.

Aujourd'hui il existe de nombreux points de prélèvement d'eau pour l'alimentation des populations en eau potable ou de maraîchage. Certains points fonctionnent encore tandis que d'autres sont abandonnés ou ont vu leur rendement limité. Ceci s'explique soit par le souci de mieux gérer les réserves, ou par le rapprochement du biseau salé. Les ressources hydrogéologiques de la presqu'île comprennent des nappes distribuées à travers les différents compartiments, mais elles sont globalement liées aux formations maestrichtiennes et quaternaires.

Les formations quaternaires dans la presqu'île renferment deux aquifères que sont la nappe des Sables quaternaires et la nappe infrabasaltique. Les formations du horst de Diass renferment un système aquifère inférieur et un système aquifère supérieur. Le système inférieur comprend la nappe du compartiment de Sébikotane et la nappe profonde "maestrichtienne" qui est en relation avec l'immense nappe maestrichtienne du bassin sédimentaire sénégalais. Le système aquifère supérieur est composé de la nappe phréatique "maestrichtienne" du massif de Diass et du lac Tanma, la nappe des calcaires karstiques paléocènes du compartiment de Pout et enfin la nappe des calcaires compacts du compartiment de Thiès.

2.1 Surveillance, traitement et problèmes de qualité de l'eau

Les systèmes aquifères qui participent à l'approvisionnement de la région de Dakar font l'objet d'une surveillance de la qualité de leurs eaux et de leur niveau piézométrique. La surexploitation conduit à une baisse du niveau et une avancée de fronts salés à cause de la proximité de la mer mais aussi des sels fossiles issus des différentes transgressions marines qui ont jalonné l'évolution géologique du bassin sédimentaire sénégalomauritanien. Les eaux souterraines, à travers les roches qui les ont emmagasinées, connaissent des différences du point de vue de leur qualité. Elles diffèrent par leur agressivité et leur corrosivité vis à vis de l'acier, matériel dont est fait l'essentiel des conduites de distributions. Ces deux phénomènes chimiques sont "déterminés par l'équilibre carbonique, c'est à dire la relation entre la teneur en acide carbonique libre dissous et la teneur en bicarbonate".

Les eaux de Sébikotane sont légèrement agressives, celles de Pout contiennent un taux élevé d'acide carbonique. Les eaux de la nappe infrabasaltique sont moyennement agressives et corrosives tandis que celles de Thiaroye le sont fortement. Compte tenu de ces caractéristiques chimiques, les eaux sont soumises à des traitements multiples depuis les centres de captage aux usines de distribution vers les foyers domestiques. Parmi ces traitements, la fluoruration artificielle des eaux est l'une des plus importantes pour éviter la carie dentaire, une fois que l'eau est devenue potable.

Le BRGM a suivi l'évolution du biseau salé dans la nappe infrabasaltique de 1987 à 1992, et a mis en évidence la présence d'eau à fortes concentrations en chlorures notamment dans les bordures occidentale et méridionale. Des études de la SONEES en 1986 ont montré une baisse continue de l'ordre du mètre par an des niveaux de la nappe depuis 1975. Cependant selon GAYE et al (1992), « l'eau de la nappe est globalement de bonne qualité et les contaminations anthropogéniques restent très faibles, malgré le taux élevé d'urbanisation des dernières années. La salinité moyenne de l'eau pompée de la nappe infrabasaltique est restée relativement constante pendant ces dix dernières années, ce qui est tout à fait surprenant si l'on considère par ailleurs la baisse des niveaux piézométriques. Celle-ci ne doit pas être interprétée comme une stabilisation du biseau salé, mais plutôt comme le résultat d'une localisation judicieuse des captages au centre de l'aquifère, à plus de 4 km du rivage en moyenne. En réalité, la salinité a augmenté dans certains ouvrages installés sur le littoral; ainsi le puits km5 reste encore salé suite à l'avancée du biseau dans le secteur ouest vers les années 1960". La principale recommandation est une concentration progressive des captages au centre de l'aquifère en attendant le Canal du Cayor. Il est évident que cette nappe, même si elle ne fournit que 10% de l'approvisionnement en eau de Dakar, doit être préservée à cause de sa proximité.

Les pompages excessifs ont très souvent permis l'apparition de « cloches salées » remontant vers le captage. SONIA C. (1996) rapporte des données collectées par la SONEES en 1995, à l'issue de campagnes de mesures de paramètres physiques (température, conductivité, pH), de chlorures et de nitrates. Les données de nitrates sont comparées ici avec des données plus anciennes sur la nappe. On observe une nette progression traduisant une certaine pollution anthropique.

Tableau 31- Comparaison de données sur les nitrates de la nappe infrabasaltique

Site	mars 1988	juil 88	nov89	mai 1995	déc1995
Front de terre	63,8	88,6		107,7	90,7
Point N bis	63,8	87		129,7	144
Autoroute					100
Bad3			2	71,5	57,3
Bad5			16	8,7	18
Bad6			22	16,7	13,7

La nappe des sables connaît une avancée du biseau salé dans le Nord du secteur de Thiaroye (Cambéréne-Thiaroye) où le forage SONEES F1 TER a été abandonné, et à Mbao où les sondages géoélectriques ont mis en évidence l'invasion saline. Dans les zones urbaines de Pikine-Thiaroye, la pollution chimique par les nitrates est un phénomène de plus en plus alarmant. Le développement de l'espace bâti dans les zones d'alimentation de la nappe diminue les capacités de recharge de celle-ci.

La nappe des sables quaternaires connaît des problèmes de qualité de l'eau à cause surtout de l'urbanisation sur le bassin. Le tableau suivant compare quelques-unes de ces données anciennes à celles obtenues lors de campagnes récentes (citées ci-dessus). Les nitrates sont ainsi de plus en plus importantes et l'explication est essentiellement liée au « mode très rudimentaire d'élimination des déchets: 5% de la population utilise les sites d'enfouissement des ordures ménagères, 95% de la population déverse les eaux usées au sol, 20% creusent des trous comme fosses sceptiques et 40% utilisent les puits perdus. Les latrines ne sont pas étanches. Toutes ces conditions précaires d'élimination des déchets, la forte concentration de la population dans la zone de Pikine, ainsi que la décharge de Mbeubeuss font augmenter d'une manière irréversible les risques de pollution de la nappe par les nitrates » (SONIA C. 1996).

Tableau 32- Comparaison de données de nitrates mesurées sur la nappe des sables

Sites	jan88	fev88	mars88	juil88	aout88	mai95	dec95
F15	77,9	77,9	146,2	164	164	259,9	168,5
F17	44,3	194	194	221	221	271,4	269,05
F18	88,6	80,7	140	168	168	202,3	183,3
F22	44,3	150,6	150,6	177	88	293,2	288,59

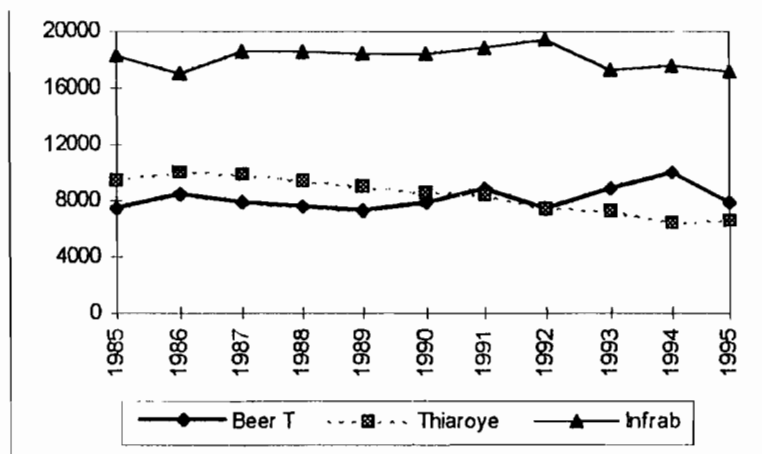
Aujourd'hui en dehors de la salinisation, les nappes des calcaires et du Maestrichtien sont menacées par l'utilisation de plus en généralisée des intrants agricoles dont la conséquence principale est la nitrification des eaux souterraines.

Voici enfin un tableau qui présente les productions des deux principales nappes de la région (source: SONIA C. 1996). La traduction en graphique montre l'évolution des prélèvements.

Tableau 33- Productions des nappes de la Presqu'île de 1985 à 1995

Bassin	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Infrabasaltique	18297	17012	18562	18525	18488	18419	18890	19465	17258	17515	17127
Thiaroye	9442	931	9794	9422	9050	8587	8366	7498	7255	6471	6564
Besr Thialane	7375	8413	7883	7568	7253	7802	8865	7418	8876	9942	7872

Graphique 7- Evolution des productions des nappes de la presqu'île de Dakar



2.2 Amélioration de l'alimentation en eau

Les fréquentes perturbations avec ses conséquences sur les besoins des populations surtout les moins nanties et dans le « rinçage » des canaux d'évacuation, vont amener les pouvoirs publics à mettre en place un système d'approvisionnement beaucoup plus durable que les pompages des forages qui atteignent assez tôt les fronts salés. La crise de la fin des années 1960 est aggravée par les premières années déficitaires d'un cycle de sécheresse qui va durer deux décennies. L'approvisionnement en eau à partir du Lac de Guiers, situé au sud du fleuve Sénégal est retenu et il débute en 1971. Prévue pour une production maximale de 64000 m³/j, l'Usine de traitement de Ngnith débite 54000 m³/j avant de se stabiliser à 40000 m³/j. En corollaire à l'exploitation des eaux de surface du lac, la nappe maestrichtienne profonde qui n'alimentait jusque là que les autres centres urbains et villages, fut mise en contribution à partir de 1971. La distribution se vit améliorée pour une décennie au moins.

A partir de 1984, s'installe une période de déficit permanent entre les ressources mises à la disposition des populations et leurs besoins effectifs. De 4 % en 1984, il est passé à 27 % en 1993. En 1991, le déficit culmine à 32 %. Il fallait nécessairement passer aux solutions de grande envergure qui ont été proposées et qui faisant l'objet d'études assez longues. Le premier volet de la phase d'urgence de l'alimentation en eau de Dakar démarra en novembre. Les pompages à partir du Maestrichtien de Pout furent portés à 74000 m³/j (DIENG A. 1994) par la création de 10 nouveaux forages et le rééquipement de 12 anciens. L'installation d'une station de surpression à Carmel (Sébkotane) permit de porter la capacité gravitaire de la conduite Thiès-Point B de 82000 m³/j à 122000 m³/j.

La conduite Point B-Mamelles a été doublé tandis que celle de Thiaroye-Point Y a été renouvelée. La production globale passa alors de 175.074 m³/j en 1991 à 206.253 m³/j en 1993. Pendant ce temps les besoins qui n'ont jamais cessé de croître sont passés de 256.838 m³/j à 283.250 m³/j, occasionnant un déficit de 27 %. Ainsi malgré la Phase d'Urgence, la distribution en eau reste au-dessous des besoins des populations et de leurs activités. Nombreux sont les quartiers de Dakar privés d'eau pendant toute la journée avec les populations obligées de veiller la nuit « à l'écoute du robinet ».

Notons au passage que la Municipalité de Dakar, gérante du patrimoine des bornes-fontaines a introduit une politique de privatisation de cette distribution: un seau de 10 litres à 10 francs et une bassine de 25 litres à 25 francs. Non seulement les recettes peuvent servir à payer les factures d'eau mais cette initiative va contre les gaspillages occasionnés par la distribution gratuite. A ce prix, l'eau revient tout de même beaucoup plus cher qu'au prix de vente du m³ sur réseau de distribution. Des facilités ont été alors introduits dans l'acquisition du branchement individuel avec un coût moindre.

La SONEES a, quant à elle, démarré une campagne publicitaire d'économie de l'eau conjuguée à une incitation à l'utilisation du strict minimum (environ 20 m³/bimestre/par foyer) facturé par un tarif social. Au dessous de ce seuil, le m³ est payé 152,19 francs, alors que la consommation supplémentaire revient à 519,93 francs le m³.

Le second volet de la phase d'urgence, ou phase intermédiaire initialement programmée pour 1991 ne serait réalisée qu'en 1997 car les financements ne sont pas encore bouclés. Les pompages sur le Lac de Guiers par la station de Ngnith atteindront leur maximum, c'est à dire 64000 m³/j par le doublement de la conduite jusqu'à

Dakar. Cette seconde phase devrait conduire à la satisfaction totale des besoins en eau de Dakar, objectif qui ne sera pas atteint car les besoins n'ont pas stagné.

A l'issue de ces phases prévues pour atténuer les déficits chroniques, il faudra se tourner vers des solutions plus durables. Celle qui est actuellement retenue est le creusement du canal du Cayor. Son financement est activement recherché pour que son volet approvisionnement soit débuté dès l'an 2000. Ce projet du Canal du Cayor reste un des grands espoirs des populations dakaroises de disposer de quantités d'eau suffisantes pour une période de 30 ans ainsi que l'aménagement de 8500 ha de périmètres agricoles dans les 4 régions qui seront traversées par le canal. Le canal du Cayor alimentera la ville de Dakar à partir du lac de Guiers, vaste dépression naturelle de 600 millions de m³ de capacité, située à 250 km au nord-est de Dakar.

CHAPITRE TROISIÈME : RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT ET PROBLÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX

L'assainissement du point de vue de la santé publique, englobe toute action visant l'amélioration des conditions d'environnement susceptibles de nuire à la vie humaine. Il a pour objet, en ce qui concerne l'élément eau, d'assurer l'évacuation collective de l'ensemble des eaux pluviales et eaux usées, ainsi que leur rejet dans les exutoires naturels, sous des conditions compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement. Ces exigences introduisent la notion de norme qui détermine la pollution⁶, phénomène dont les eaux usées sont un des principaux vecteurs. Globalement, l'expression "eaux usées" renferme trois types d'eau:

* les eaux de ruissellement proviennent des eaux de pluie, de lavage des voies publiques et de drainage. Indépendamment de toute considération de pollution, l'évacuation rapide des eaux de ruissellement s'impose en raison des inconvénients et des dangers de submersion dont elles peuvent être la cause dans les zones urbanisées.

* les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (toilette, lessive, cuisine) caractérisées par leurs apports en détergents, hydrocarbures, huiles, graisses... et les eaux vannes provenant des W-C (matières fécales, urines) qui renferment des matières minérales et organiques, des germes pathogènes, des matières fermentescibles en proportion telle qu'elles doivent être évacuées sans délai.

* les eaux usées industrielles proviennent de diverses usines de fabrication et de transformation; elles sont ainsi très variées, toxiques pour la faune, la flore aquatique et pour l'homme aussi, Leur caractère dominant peut être minéral ou organique.

Toutes ces eaux usées doivent être évacuées vers des stations pour une réutilisation probable ou vers la mer après un traitement si possible. Ceci introduit la notion de schéma d'assainissement. Les équipements d'assainissement public comprennent d'amont en aval: les organes de regroupements des eaux résiduaires, les conduites souterraines, les canaux à ciel ouvert ou les réseaux d'égout, les appareillages de relèvement des eaux d'égout imposé par la topographie, la station d'épuration et le milieu naturel qui accueillent le rejet des effluents épurés ou non (thalweg, sous-sol, cours d'eau, lac et mer).

Un rappel historique (GUËYE 1978) de la mise en place des principaux axes artificiels de drainage peut introduire l'examen des ouvrages d'assainissement.

1 HISTORIQUE DE L'ASSAINISSEMENT

La comparaison du rythme de réalisation des aménagements et de l'évolution de l'espace bâti fait mieux percevoir une réalité: les pouvoirs publics ont toujours réagi à la suite de catastrophes, pour répondre aux besoins d'évacuation des eaux.

De la création de Dakar à 1900, la ville ne disposait d'aucune infrastructure d'amélioration de la salubrité: eaux usées et ordures ménagères s'entassaient dans les rues tandis que le rivage était jalonné de tas d'immondices. Aucune pratique d'hygiène n'existait dans les quartiers indigènes aux abords des quartiers commercial et administratif.

Vers Ouakam, de nombreux marigots et marécages à eaux puantes s'étendaient sur 20 à 30 km². Une note sur l'état sanitaire de Dakar en 1900 signalait l'insalubrité de la ville et la nécessité urgente de procéder à l'assainissement rapide et efficace. Cette situation a été certainement à la base des épidémies de fièvre jaune en 1879, 1881 et 1900. Un plan d'assainissement en 4 points fut alors proposé au Gouvernement général d'A.O.F. par le Service d'Hygiène:

- * construction d'un égout collecteur de 2 km en flanc de coteau du sud au nord.
- * construction d'un autre égout de 1300 m le long de la plage débouchant dans l'Anse Bernard
 - branchements d'égouts particuliers des maisons vers les collecteurs,
 - installation de deux réservoirs d'eau de mer pour nettoyer les rues, et rincer les égouts; distribution d'eau filtrée.

⁶ Le dictionnaire Hachette définit la pollution comme suit: « Souillure, infection contribuant à la dégradation d'un milieu vivant...Par extension, nuisance de nature diverse (bruit notamment) »

Ces propositions furent étudiées en 1904 mais les décisions tardèrent car les avis ne concordaient pas sur les zones de passage et les techniques étudiées pour le rejet en mer. Ce n'est qu'en 1907 que les travaux commencèrent. Le premier lot comprenait 949 mètres avec des regards de visite comme ouvrages annexes.

De 1907 à 1915, on assista à une "léthargie", car aucun travail n'eut lieu, alors que la proche banlieue se développait sans condition d'hygiène. La violente peste de 1914 surpris les autorités qui ne firent qu'établir un quartier de dégagement en 1915 : la Médina naissait spontanément. L'ampleur de l'épidémie poussa cependant les Autorités à procéder à la réalisation d'ouvrages d'assainissement. Quelques caniveaux furent construits entre 1915 et 1920.

A partir de 1915, l'on procéda au comblement des ravins et mares à l'ouest et au nord de la ville: les marais du Champs de courses ainsi que ceux du côté des routes de Ouakam et Hann furent drainés par des caniveaux. En 1928, les marigots de Hann et Cambérène furent asséchés par creusement de canaux d'évacuation et de drainage vers la mer, le grand canal de la Gueule-Tapée est achevé et il sera consolidé par pierres maçonnées en 1929 tandis que les caniveaux de la Médina sont repris.

Le réseau d'eaux vannes et pluviales de l'époque brillait par ses défauts et ses irrégularités: il ne suivait aucun plan précis, les tracés incorrects rendaient certains hors d'usage tandis que les branchements individuels se déversaient indifféremment dans les égouts d'eaux pluviales ou d'eaux vannes.

En 1927, le système a dû être revu et étendu aux quartiers périphériques. Le réseau d'eaux usées aboutissait à 2 grands collecteurs essentiels: à l'est, sur 800 m et à l'ouest sur 2650 m. Quatre collecteurs secondaires de 0,3 m de diamètre en béton, longs de 4300 m et des affluents en poterie de grès de 0,2 m de diamètre, longs de 14000 m, complétaient le réseau.

En dehors de ces ouvrages d'assainissement, d'autres ont été réalisés pour l'adduction d'eau de mer. En 1925, une station de pompage électrique est installée dans l'Anse Bernard avec une capacité de réserve de 3000 m³. Cette infrastructure desservait 15 réservoirs de chasse d'égouts, 70 bouches d'arrosage, 120 bouches d'incendie et 8 vidanges sur réseau d'eaux pluviales.

L'essentiel des réseaux d'assainissement du Dakar - Plateau a été ainsi installé entre 1925 et 1929. La période 1929-1950 fut léthargique, car aucune réalisation n'eut lieu à Dakar ou dans la proche banlieue. La situation de la guerre et ses conséquences y avaient une certaine part de responsabilité dans la mesure où l'exode rural s'était accentué, les ruraux fuyant les recrutements militaires forcés pour le front. Des bidonvilles virent le jour et se développèrent de manière vertigineuse: Baye - Gaïndé, Colobane, Nimzatt etc. De retour du front, les anciens combattants s'établirent en masse dans les bidonvilles. Face aux difficultés croissantes, les autorités coloniales entreprirent une nouvelle politique d'assainissement et du logement, qui se poursuivra après l'indépendance par la SICAP et l'OHLM. L'essentiel du réseau actuel fut mis en place:

- * années 1950: réseau eau potable, réseaux eaux usées et eaux pluviales à la Médina,
- * première tranche du collecteur Hann-Fann en 1946-50
- * seconde tranche du collecteur Hann-Fann (HLM, cité des eaux et Hann,) entre 1951 et 1955,
- * première tranche du canal IV au niveau du lycée Delafosse en 1945 et 1950
- * deuxième tranche Zone A en 1956-1960
- * le canal IV bis fut construit en 1951-55 et fut recouvert en 1965
- * le canal V bis fut réalisé en 1956-60
- * la tranche du canal IV située vers la Baie de Hann fut réalisée en 1951-1955. le tronçon qui le relie à Onagou-Niayes - HLM fut construit en 1961-65
- * le canal VII est installé en 1956-60.

Au fur et à mesure que les grands canaux étaient érigés, les réseaux secondaires d'égouts d'eaux usées ou d'eaux pluviales étaient mis en place. Ce réseau fonctionna correctement jusqu'aux années 1970. La dernière période 1970-1990 est caractérisée par l'évolution contradictoire des faits qui déterminent la nécessité d'extension du réseau d'assainissement: un accroissement démographique de plus en plus démesuré et une phase de raréfaction des pluies. Des bas-fonds asséchés furent habités (exemple de Thiarye) et le retour d'une année à pluviométrie excédentaire ou normale en 1988 créa des inondations par rehaussement du niveau de la nappe.

2 LE RÉSEAU ACTUEL D'ÉVACUATION DES EAUX

Le réseau décrit ci-dessus n'a pas connu de modifications majeures. La carte suivante montre les éléments principaux.

Carte 6 : Gros collecteurs dans la commune de Dakar



La reprise des années à pluviométrie importante a incité cependant la réaction des pouvoirs publics.

2.1 Les réalisations récentes

Elles comprennent essentiellement la première tranche du canal du front de Terre et l'adoption de radiers submersibles pour la conservation de l'état des routes.

2.1.1 Le canal du Front de Terre

C'est un canal recouvert dans sa partie amont qui récupère les eaux usées et pluviales des quartiers de la Sicap Liberté VI, de Derklé, Castors et Grand Yoff. Pour ce dernier quartier, DIAGNE (1993) a montré que les pentes ne sont pas favorables pour le ruissellement des eaux vers le canal. La conséquence est bien entendu la stagnation des eaux dans le quartier. La partie aval du canal est une bifurcation au niveau de la Gendarmerie vers les espaces naturels entre le CTO (Centre de Traumatologie et d'Orthopédie) et l'Autoroute. Seule une partie de ce tronçon a été réalisée, et en ciel ouvert, jusqu'à l'entrée des jardins.

Ce canal du Front de Terre pose beaucoup de problèmes. La partie centrale est assez basse et en cas de pluie importante, l'eau ressort par les avaloirs et inonde la route. La dernière partie du tronçon n'évacue pas totalement les eaux à cause de la trop faible pente et des ordures qui sont déposées au bout. Un autre problème non moins important est lié au choix de son exutoire qui est une zone de pompage de la nappe infrabasaltique. La détérioration de la qualité de celle-ci est à craindre si aucun traitement n'est effectué avant la réinjection pour recharger la nappe.

2.1.2 Les radiers submersibles

C'est un type d'ouvrage routier utilisé pour des points bas. Le système sert ici à protéger les chaussées inondables contre le sapement de leur base, ce qui entraîne la destruction rapide du revêtement de la route. Le radier est une construction en béton armé de dalles jointes les unes aux autres, sur le long de la portion submersible de la route. Il n'évacue pas les eaux mais permet une résistance de la chaussée au passage des véhicules.

Nous pouvons citer quelques cas. L'ouvrage de Grand Yoff est situé à l'intersection de la route goudronnée avec une route sableuse très vite inondée: les eaux stagnent assez longtemps car il n'y a aucun système d'évacuation. D'ailleurs le radier se dégrade assez vite. Celui de Castors a été réalisé en 1995 suite aux nombreuses et difficiles déviations vers le marché à la suite de pluie importantes. C'est un point bas où l'eau stagnante a atteint près de 2 mètres de hauteur en août 1994.

A cette occasion, nous avons constaté que les eaux de ruissellement provenaient de près de deux kilomètres au moins, des environs du terminus de Sicap-Liberté. Ce point bas est cependant doté d'une station de relèvement des eaux pluviales et d'un bassin circulaire pour stocker les eaux de ruissellement. Les fréquentes coupures d'électricité et la faible capacité du bassin de réception ne permettent pas un fonctionnement adéquat du système. La réalisation du radier permet de préserver le bon état de la route mais n'écarte pas les déviations en cas de fortes pluies.

La solution réside dans la mise en place d'un évacuateur capable de drainer la zone vers le canal du Front de Terre situé à 400 mètres, mais d'altitude plus élevée. La rue Félix Eboué, à 100 mètres à la sortie sud de l'Autoroute, toujours inondée en cas de pluie, a été recouverte de béton. Depuis lors, la circulation reprend normalement après évaporation des eaux. Le canal qui pouvait drainer ses eaux est malheureusement situé plus au sud et à un niveau plus élevé.

L'axe de la Route des Niayes à la descente de l'échangeur de la Patte d'oie, situé entre deux points de cotes élevés est un bel exemple de l'accroissement des difficultés d'évacuation des eaux avec l'urbanisation.

En effet le problème n'était pas si important il y a cinq ans. La construction du Stade de l'Amitié, le développement rapide des Parcelles Assainies et des nombreux logements autour de la Patte d'oie ont augmenté les eaux de ruissellement vers ce bassin. Les contrebas de la dune sont de plus en plus bâtis et les eaux stagnent sur la chaussée. Les pluies exceptionnelles de 1994 avaient décidé les services des travaux publics à opter pour le rehaussement de la chaussée sur une centaine de mètres avec un creusement des bas côtés de la route. Les eaux stagnantes après les pluies consécutives d'août 1995 ont décapé le revêtement de goudron avec surtout le passage de véhicules lourds comme les bus.

Les riverains de la route se sont protégés aussi des inondations en rechargeant les tranchées. Le pire est à redouter avec l'autorisation qui a été donnée à une corporation d'une Compagnie d'aviation pour ériger une cité sur l'étroite bande de terre entre la route et la Patte d'oie. L'année 1995 a non seulement vu les eaux occuper pendant longtemps le secteur mais elles ont entraîné d'importantes quantités de sable par ravinement des versants dunaires.

Le système des tranchées s'étant avéré peu efficace, les techniciens se sont tournés vers le raccordement à un bassin de rétention triangulaire, créé au bas de l'échangeur. Cette solution reste cependant intermédiaire et sa survie est liée à la pérennité et à la capacité de stockage du bassin. La construction d'un canal pour évacuer les eaux du stade et des quartiers environnants vers la station d'épuration de Cambérène pourrait être une meilleure solution. *Le creusement de tranchées ou de fossés de stockage ne peut garantir la fin des inondations lors de pluies exceptionnelles.* En outre ces fossés sont devenus des écuries pour les multiples charrettes et des dépotoirs d'ordures. Il y va de soi que ce sont des eaux polluées et puantes qui stagnent ou qui s'infiltreront vers les nappes (infrabasaltique et sables quaternaires).

Les radiers submersibles sont de plus en plus utilisés aujourd'hui car ils prolongent la durée de vie des routes inondables. Il ne faut cependant pas perdre de vue que les eaux doivent être évacuées hors de portée des populations car leur stagnation reste aussi source de problèmes.

2.2 Le réseau non bâti

En dehors des réseaux d'évacuation conventionnels, il existe tout un réseau accidentel qui participe effectivement à l'évacuation des eaux usées et pluviales; c'est le cas de vallées mortes, d'anciennes voies des eaux pluviales ou de tracé creusé pour d'autres fins que l'évacuation des eaux. L'hôtel Méridien Président sur la Pointe des Almadies, évacue ses rejets vers la vallée morte du Ndiongorane, cours d'eau intermittent qui prend

naissance dans les terrains élevés de l'aéroport. Nous signalions déjà dans nos rapports de campagne hydrologique que cette vallée, malgré de bons sites de mesure, n'était plus adéquat pour l'étude du ruissellement urbain du fait de sa configuration actuelle caractérisée par l'écoulement en sens opposé des eaux pluviales et des rejets hôteliers. La stagnation de ces eaux usées constitue une menace pour la nappe infrabasaltique et une détérioration du site merveilleux des Almadies.

Le bassin versant que nous avons suivi pendant deux campagnes hydrologiques et qui englobe les quartiers de Mermoz, Bourguiba et Fann, bien que désigné comme cours d'eau intermittent sur les cartes de Dakar, n'est ni une rivière ni un canal construit pour évacuer les rejets ou eaux pluviales. Il s'agit d'une ancienne voie de chemin de fer qui reliait l'est à l'ouest de la région. D'ailleurs des responsables de services d'assainissement nous ont signifié qu'il n'était pas pris en compte dans le réseau officiel.

Comme ces deux cas que nous donnons, il existe d'autres tracés que les eaux empruntent naturellement ainsi que des zones basses où elles s'acheminent. L'absence de fond stabilisé peut être un avantage pour la recharge des nappes par le ruissellement pluvial à condition que des eaux usées n'y soient pas déversées.

2.3 Les problèmes du réseau

Le patrimoine national en réseau d'évacuation compte selon le responsable de l'assainissement à la SONEES⁷, 640 km de collecteurs d'eaux usées, 200 km de canaux et canalisations d'eaux pluviales, 40 stations de pompage (dont 4 pour les eaux pluviales), 6 stations d'épuration et 42000 branchements à l'égout. 480000 habitants, soit 22% de la population urbaine bénéficient de ces branchements à l'égout. L'assainissement autonome, appuyé par des ONG comme ENDA Tiers-Monde, le CREPA (Centre de Recherche pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût), progresse avec cependant des systèmes qui participent à la détérioration des eaux souterraines par infiltration d'eaux usées.

Les réseaux d'évacuation des eaux souffrent le plus souvent de la présence des déchets solides qui augmentent la stagnation des eaux, dans une zone où les pentes fortes sont assez rares. L'autre problème important est la non prise en compte des bassins versants naturels pour le tracé des évacuateurs. La réalisation de MNT (comme celui que nous avons fait) puis de modèle de drainage de la presqu'île, peut guider le tracé des collecteurs en adéquation avec l'orientation des pentes. La superposition des deux cartes du drainage naturel et des collecteurs permet de vérifier cette adéquation. Le constat est que ces deux types de réseau sont souvent distincts parce que les canalisations sont toujours construits après les habitations. Cette pratique crée fréquemment des situations de bouchons nécessitant des curages difficiles et l'emploi de stations de relèvement pour atteindre l'exutoire. Le collecteur principal doit être soutenu en amont par l'action des caniveaux secondaires dont la vocation est de recueillir jusque dans les rues et ruelles les écoulements. Ces ouvrages secondaires sont très souvent obstrués par le sable des rues non revêtues et les ordures. Ils sont aussi parfois sous-dimensionnés: c'est le cas de celui qui longe la route de l'aéroport en ceinturant la tête de la grande piste d'envol; à l'occasion d'une pluie d'une soixantaine de millimètres, il avait été complètement enseveli par les dépôts de sables et de latérite sur ses sections basses.

Pour des informations complémentaires sur le réseau d'assainissement, nous renvoyons le lecteur à la thèse de FAYE A. (1990).

L'optimisation des réseaux d'évacuation des eaux usées passe cependant par la lutte contre les rejets clandestins par les populations qui ne disposent pas d'infrastructures d'assainissement. En effet, « l'exécution de branchements sociaux dans le bassin de la Médina en vue d'éviter les rejets d'eaux usées dans le réseau d'eaux pluviales » (NIANG 1995) est une priorité.

3 PROBLÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX USÉES

L'extension de l'espace bâti dans une région aussi étroite, accroît les problèmes d'assainissement liés aux ordures, aux eaux usées et pluviales. Le fait est qu'à volume égal le débit augmente, du fait de l'imperméabilisation des sols. Les zones déprimées sont constamment sous la menace des inondations. Une mauvaise évacuation des ordures combinée à la stagnation ou au ruissellement des eaux pluviales représente de graves dangers de pollution. Les risques sanitaires sont alors sans commune mesure, à cause de l'infiltration

⁷ Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal, réorganisée récemment et subdivisée en 3 sociétés : la SDE (Sénégalaise Des Eaux) qui s'occupe de la qualité de l'eau qu'elle commercialise par la suite, la SONES (Société Nationale des Eaux du Sénégal) qui s'occupe de la production et du contrôle de la SDE et enfin l'ONAS (Office National de l'Assainissement du Sénégal).

vers les eaux souterraines. Domaine marin, bas-fonds et nappes souterraines, principaux milieux récepteurs, connaissent ainsi une dégradation accélérée de leurs potentialités. L'eau source de vie peut devenir ainsi un vecteur de catastrophes et de maladies.

Dans le cadre d'un projet appuyé par le CRDI et en collaboration avec la SONEES, NLANG (1995) a procédé à des enquêtes sociologiques dans des quartiers représentatifs de Dakar: Point E-Fann, SICAP Dieuppeul, Médina, Grand-Dakar, Pikine et Guédiawaye. Les questionnaires visaient essentiellement, à partir du niveau de développement, à déterminer les différents modes d'évacuation des eaux usées selon les quartiers, ensuite leur liaison avec le mode d'occupation (propriétaire ou locataire). A défaut de moyens pour étendre l'échantillon sur les Parcelles Assainies, Rufisque et quelques zones semi-rurales, nous résumons les résultats avec souvent quelques commentaires et points de vue propres.

Le Point-E et Fann sont des quartiers résidentiels habités par des personnes à haut niveau de vie. La SICAP est un ensemble de maisons à constructions uniformes avec un certain respect des normes. Quant à la Médina, c'est un vieux quartier, très populaire mais qui bénéficie cependant de quelques infrastructures à cause de sa proximité avec le centre ville, Pikine et Guédiawaye sont enfin des quartiers créés pour éviter la surpopulation de Dakar ou pour « évacuer son surplus » en recevant les bidonvilles qui donnaient une mauvaise image à la capitale.

3.1 Eaux ménagères

3.1.1 Les comportements dans les quartiers ciblés

A Pikine, l'essentiel des eaux résiduaires est rejeté dans la rue. Ce comportement est celui de 95% de la population quel que soit le statut, locataire ou propriétaire. Il y a une carence réelle dans l'utilisation des infrastructures d'assainissement à Pikine. En effet le taux de branchement individuel au réseau y est seulement de 5% (BCEOM. 1986).

Quel que soit aussi le mode d'alimentation en eau, le réseau d'eau pluviale n'étant pas assez dense dans cette zone, la plus grande partie des eaux usées ménagères est rejetée dans la rue.

A Guédiawaye, le pourcentage des personnes qui rejettent leurs eaux usées dans la rue (environ 85% de la population) est un peu moins important que celui qui est observé à Pikine. Ce pourcentage est confirmé par le taux de branchements individuels du quartier qui est de 5% (BCEOM. 1986). Mais depuis 1992, la SONEES a initié un vaste programme de branchements sociaux qui a intéressé plusieurs quartiers dont Guédiawaye. Comme à Pikine, le taux très faible de branchement au réseau d'égout fait que la quasi-totalité des eaux se retrouve dans la rue.

Dans ce quartier, le statut d'occupation intervient sur le comportement car le rejet dans la rue est plus le fait des propriétaires que des locataires. Ces derniers déversent souvent leurs eaux ménagères dans les douches et/ou la cuisine, ce qui contribue au remplissage plus rapide des fosses mais étant donné que les vidanges de celles-ci sont souvent à la charge des propriétaires, les locataires ne s'en préoccupent pas toujours.

Du point de vue de l'alimentation en eau, la situation est identique à celle de Pikine. Par manque d'infrastructures d'évacuation des eaux résiduaires, la rue constitue l'endroit privilégié des rejets.

Aux quartiers de Point E- Fann, la presque totalité des eaux usées ménagères est évacuée par l'intermédiaire du réseau d'égout à partir de la maison. Selon la SONEES, le taux de branchement individuel dans ce quartier est de 100 %, c'est à dire qu'il y a une utilisation efficace du réseau. La situation dans ce quartier occupé par une population aisée, montre que le niveau de vie joue un rôle important sur le mode de rejet des eaux usées.

C'est un quartier bien desservi en réseau d'égouts et d'évacuation d'eau pluviale. Ici la presque totalité des eaux usées ménagères est acheminée dans le réseau d'égout. En outre toutes les maisons sont alimentées en eau par le réseau de la SONEES.

Dans la Médina, les eaux usées ménagères ne sont pas évacuées par les égouts malgré un branchement à ce réseau pour certains. Le taux de branchements individuels au réseau d'égout est ici de 75 % (SONEES, 1989) mais 13 % de la population évacuent leurs eaux usées directement dans la rue et 55 % utilisent le réseau d'évacuation des eaux pluviales sur la voie publique. Ce sont 62 % des propriétaires contre 52 % des locataires qui rejettent leurs eaux dans le réseau pluvial. Par contre, le comportement est tout à fait différent pour le rejet dans la rue: 6 % des propriétaires contre 21 % des locataires.

Pour le mode d'alimentation, c'est la zone qui représente le plus faible taux de branchement individuel au réseau d'eau potable, Les bornes-fontaines y sont encore nombreuses.

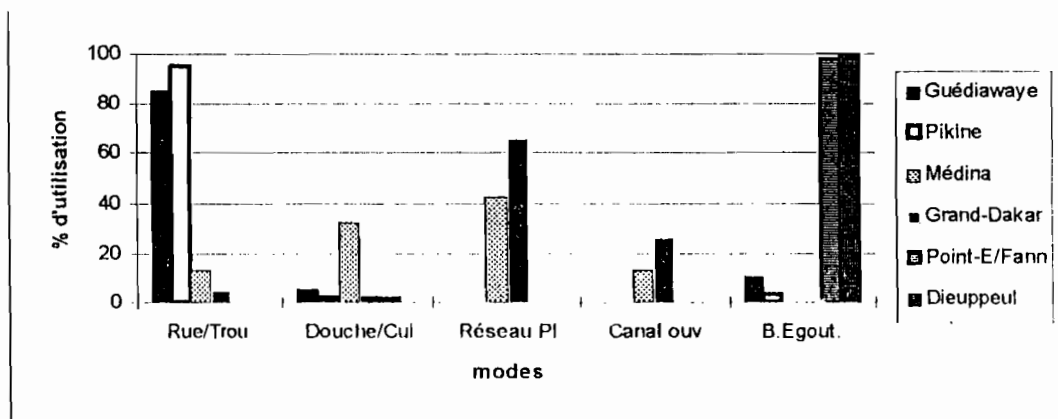
A la Sicap-Dieuppeul, les déversements d'eaux usées dans la rue ou dans le réseau d'eaux pluviales n'existent pas. En effet, le taux de branchements individuels au réseau d'égout de la SONEES (SONEES, 1989) est de 100 %. La totalité de la population évacue les eaux usées dans un tout-à-l'égout au niveau de la maison, et ceci quel que soit le statut d'occupation. La totalité de la population est desservie par le réseau d'approvisionnement en eau de la SONEES. Ceci est lié au fait que ces maisons construites par un même Promoteur immobilier suivant un certain standing, sont livrées avec les équipements sanitaires, en grande partie au complet.

Dans le quartier de Grand-Dakar, peu de gens déversent leurs eaux usées directement dans la rue (6 %). Parmi eux, les locataires sont plus nombreux que les propriétaires (8 % contre 3 %). Par contre, 91 % de la population utilisent le réseau d'eaux pluviales et ceci pour 93 % des propriétaires et 86 % des locataires. La présence d'un réseau d'évacuation d'eaux pluviales assez dense, est le seul facteur qui préserve la rue. Il n'y a aucun rejet d'eaux usées ménagères dans le réseau d'égout, pourtant le taux de branchements individuels pour ce quartier est de 40% (SONEES, 1989). Les populations interrogées profitent du réseau d'eau pluviale pour évacuer leurs eaux usées ménagères. On note également que la majorité de la population est abonnée au réseau d'eau potable.

Tableau 34- Évacuation des eaux usées ménagères selon les quartiers

Mode d'évacuation	Rue/Trou	Douche/Cuisine	Réseau pl	Canal ouvert	Branchement, Égout
Guédiawaye	85	5	0	0	10
Pikine	95	2	0	0	3
Médina	13	32	42	13	0
Grand Dakar	5	3	66	26	0
Point-E/ Fann	0	2	0	0	98
Dieuppeul	0	0	0	0	100

Graphique 8 - Mode d'évacuation des eaux usées selon les quartiers



Le principal enseignement qui découle des enquêtes est que plus de 50 % de l'échantillon étudié déversent leurs eaux usées hors du réseau d'égout soit directement dans la rue, soit dans le réseau d'évacuation d'eaux pluviales hors de la maison.

La comparaison des quartiers de Médina et de Grand-Dakar (où le réseau d'évacuation d'eau pluviale est assez bien représenté) aux quartiers de Pikine et Guédiawaye (où le réseau est presque inexistant) montre que dans les premiers, on trouve de moins en moins de personnes qui déversent les eaux usées directement dans la rue (6 à 13% contre 85 à 95 %). Donc on serait autorisé à croire que si des endroits adéquats étaient aménagés pour l'évacuation des eaux usées ménagères, les eaux ne seraient plus déversées dans la rue.

A propos de cette conclusion de NLANG S., nous voudrions rappeler que la Médina surtout et le Grand-Dakar un peu moins, sont des zones bien imperméabilisées par les routes, les trottoirs, les constructions tandis que Pikine et Guédiawaye sont des domaines encore nouveaux où seuls les grands axes de communication sont recouverts, mis à part les cités bâties par les Promoteurs. C'est donc dans ces zones que l'on peut trouver des rues où l'on peut verser des eaux et s'attendre à ce qu'elles s'infiltreront assez vite.

3.1.2 Les dispositions législatives

Si l'on se réfère aux dispositions législatives, la Loi 8371 portant Code de l'Hygiène du 23 juin 1983, en son article L.22 (M.S.A.S., 1983), interdit de verser des eaux usées ou de déposer des urines et des excréments sur

la voie publique et l'article L.25 stipule qu'il est interdit de verser des eaux usées ou de déposer des ordures, des déchets de cuisine dans les canaux d'assainissement ou dans les avaloirs d'eaux pluviales.

Selon l'article 8 (M.H.) du projet de loi portant Code de l'assainissement, il est dit que tout lieu où le rejet d'eaux usées d'origine domestique est possible, doit être équipé d'un système d'évacuation de ces eaux, établi en conformité aux dispositions du Code de l'Urbanisme, de la présente loi et de ses arrêtés d'application.

D'autres part, la comparaison des quartiers de Dieuppeul et Point E-Fann (construits suivant les normes en vigueur) aux quartiers de Médina et Grand-Dakar (où les normes de construction ne sont pas toujours respectées) montre que chez les premiers, toutes les eaux sont évacuées par les réseaux d'égout alors que dans le second cas, il n'est pas toujours prévu un réseau intérieur qui achemine les eaux ménagères vers le réseau d'égout.

Pourtant, selon la loi n°88-05 du 20 juin 1988 portant Code de l'urbanisme, en son article 69 (Journal Officiel 1988), *nul ne peut entreprendre, sans autorisation administrative, une construction de quelque nature que ce soit, ou apporter des modifications à des constructions existantes sur le territoire des communes...* En outre l'article 72 du même code stipule que l'instruction de l'autorisation de construire est faite entre autres bases, sur celle des dispositions législatives et réglementaires en vigueur en matière de sécurité, de santé, d'hygiène et d'environnement. Par contre dans la partie réglementaire de ce même code, à l'article 221, il est stipulé que les bâtiments *peuvent comprendre*:

- des pièces principales destinées au repos, à l'agrément et au repas des occupants;
- des pièces de service telles que cuisines, cabinets de toilette, salles d'eau...

Ainsi comme il est libellé dans cet article, l'autorisation n'est pas obligatoirement liée à la prévision de locaux devant servir de cuisine, cabinet d'aisance ou salles d'eau, ni a fortiori que ces locaux soient munis de systèmes d'évacuation des eaux résiduaires. La nécessité du volet hygiène n'étant pas toujours perçue comme fondamentale, les populations consentent des efforts pour l'approvisionnement en eau potable et *négligent l'évacuation des eaux résiduaires*.

« Une lacune existe donc à ce niveau, qu'il faudrait absolument combler. Pour remédier à cette situation, nous pensons que toute installation d'un réseau d'approvisionnement en eau potable devrait être obligatoirement associée à l'installation d'un réseau d'évacuation de toutes les eaux usées de la maison. En général sur le plan de la réglementation, les outils sont prêts mais il ne reste qu'à étudier les moyens efficaces pour les faire respecter. Pour les populations, le respect n'est pas toujours facile car ces dispositions législatives ont été élaborées sans tenir compte de leurs possibilités financières pour s'équiper. Il faudra aussi définir des moyens pour aider l'administration à faire respecter ces lois » (NIANG 1995).

3.2 Eaux vannes

3.2.1 La situation globale

Celle révélée par les enquêtes est la suivante:

- 55 % ont accès au tout-à-l'égout,
- 12 % ont une fosse septique avec séparation des compartiments de solides et de liquides.
- 24 % disposent de fosses étanches (le plus souvent seules les parois latérales sont recouvertes de ciment tandis que le fond sableux permet de retarder les périodes de vidange).
- 1,5 % utilisent des fosses sèches: une dalle recouvre un trou d'un diamètre variant entre 0,5 et 1,5 m, creusé au sol. C'est le mode d'évacuation des eaux vannes le plus rudimentaire, le plus dangereux quant à la contamination des nappes phréatiques et des aliments par les mouches et cafards qui retrouvent un milieu favorable à leur développement. Le système des latrines que vulgarisent plusieurs ONG est identique.
- 7,5 % utilisent les édicules publics ou les terrains vagues,

La situation globale montre le souci des populations pour une évacuation des eaux vannes: 91 % de la population utilisent le tout-à-l'égout ou les fosses septiques ou étanches qui, elles, sont dangereuses pour les nappes surtout. La situation est alarmante pour le reste qui ne dispose pas d'équipements sanitaires ou qui pratique les latrines; leur santé ainsi que l'état des nappes reste précaire.

Les modalités les plus répandues sont le tout-à-l'égout et les fosses étanches. Il faut signaler aussi qu'il existe un pourcentage assez important pour une capitale, de 7,5 % de la population qui ne possède pas d'équipements sanitaires. Les modes d'évacuation des eaux vannes ne sont pas liés au statut d'occupation des maisons. En effet que l'on soit propriétaire ou locataire, les pourcentages observés sont comparables:

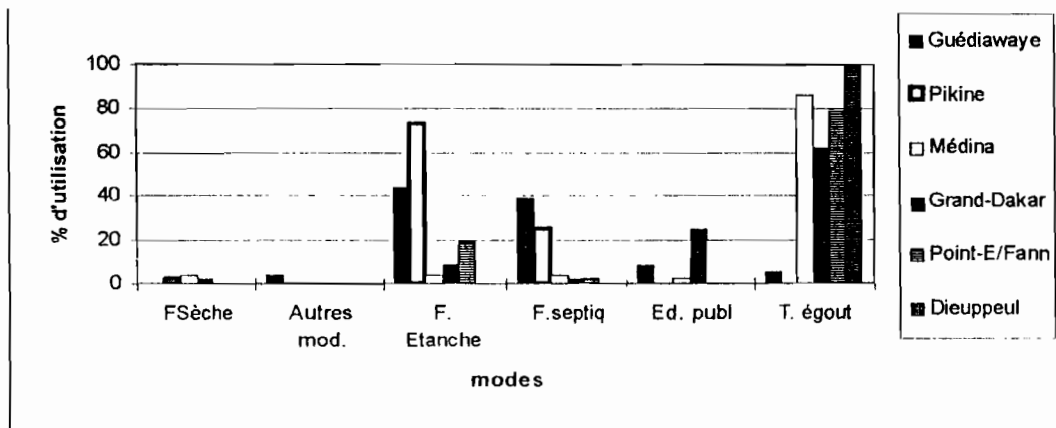
- * tout-à-l'égout: 58 % des propriétaires et 51 % des locataires,
- * fosses étanches: 23 % des propriétaires et 27 % des locataires,
- * absence d'équipement : 6 % de propriétaires et 7 % de locataires.

L'analyse par quartier a donné, quant à elle, les observations suivantes répertoriées dans le tableau suivant, à partir duquel nous avons fait tiré le graphique à suivre.

Tableau 35- Évacuation des eaux vannes selon les quartiers

Quartiers	FSèche	Autres mod	F. Etanch	F.septiq	Ed. publ	T. égout
Guédiawaye	0	4	44	39	8	5
Pikine	2	0	73	25	0	0
Médina	4	0	4	4	2	86
Grand-Dakar	2	0	9	2	25	62
Point-E/Fann	0	0	19	2	0	79
Dieuppeul	0	0	0	0	0	100

Graphique 9 - Mode d'évacuation des eaux selon les quartiers



3.2.2 La situation par quartier

A Pikine, contrairement à la situation globale, les usages les plus fréquents ici sont les fosses étanches et les fosses septiques. Cependant toute la population échantillonnée possède un équipement sanitaire. Le statut d'occupation ne montre pas une influence nette sur le comportement de la population.

Au Point E - Fann, le comportement de la population reflète la situation globale quant à la répartition des méthodes les plus fréquentes d'évacuation des eaux vannes, à savoir une prépondérance du tout-à-l'égout. Par contre, le comportement en fonction du mode d'occupation, montre que le pourcentage des locataires connectés au tout-à-l'égout est plus important que celui des propriétaires. La raison est que les locataires des zones résidentielles sont plus exigeants tandis que les propriétaires résidents dans leurs maisons ne subissent aucune contrainte pour se connecter au réseau moderne.

A Guédiawaye, la situation sur la distribution des systèmes d'évacuation des eaux vannes est la même que celle de Pikine, sauf qu'ici, il y a 12 % de la population qui ne possèdent pas d'équipement sanitaire. Le statut d'occupation ne semble pas jouer un rôle important sur le comportement de la population.

Dans ce quartier, une technique consistant à ne pas recouvrir de ciment le fond de la fosse, pour retarder au maximum les périodes de vidange est souvent utilisée. Cette pratique est dangereuse et nécessite une réaction pour la protection des nappes qui sont exploitées par les forages de Thiaroye.

Il est bon de savoir que Guédiawaye, est un site qui a reçu entre 1967 et 1975, des milliers de populations déguerpies des zones longeant l'Autoroute. Du jour au lendemain, sans aucun soutien, elles se sont retrouvées déposées à 20 km de Dakar avec leurs vieilles baraques. Grâce à leur dynamisme, la situation a beaucoup évolué, les constructions en ciment ont remplacé les baraques, les Sociétés de construction d'habitat (SNHLM, HAMO) et des Promoteurs privés ont transformé la zone littorale. En 1993, la SONEDES y a bâti une cité pour ses travailleurs après celles de ceux de Moulins Sentenac et des Enseignants tandis que l'électrification des rues progresse. Le récent statut de commune indépendante de Pikine, pourra améliorer la situation encore

difficile de Guédiawaye, surtout dans le domaine de l'évacuation des eaux caractérisé par une absence totale d'ouvrage.

A la Médina, la majorité de la population-cible est raccordée au tout-à-l'égout, Seulement 2 % ne possèdent pas d'équipement sanitaire et fréquentent généralement les édifices publics ou chez le voisin. Le comportement ne paraît pas être influencé par le statut d'occupation.

A Dieuppeul, tous les propriétaires et locataires sont raccordés au réseau d'égout. Les Sociétés immobilières considèrent l'évacuation des eaux vannes comme une des premières normes d'habitat à respecter.

A Grand-Dakar, la situation est particulière. En effet 62 % de l'échantillon sont connectés au réseau d'égout et 25 % n'ont pas d'équipement sanitaire.

Cette situation est équitable aussi bien chez les propriétaires de maison que chez les locataires. Cependant un fort pourcentage (7,5 %) ne dispose pas d'équipement sanitaire. Cette tranche importante de la population, vu la densité de ce quartier, se tournent vers les édifices publics, les terrains vagues ou la voie publique qui servent de lieux de soulagement. Il ressort de ce constat un risque énorme de contamination des nappes phréatiques et surtout une détérioration manifeste de la qualité de l'environnement.

3.3 L'entretien de l'équipement sanitaire

L'utilisation de fosses pour évacuer les eaux vannes est liée à l'obligation de procéder à la vidange en cas de remplissage. La vidange, plus fréquente selon l'état sableux ou cimenté du fond (du charbon est souvent déposé au fond pour faciliter l'infiltration) et la densité de la maison, est faite soit par camions-citernes, soit par charrettes, soit par les propriétaires eux-mêmes. Dans ce dernier cas, un trou assez large est creusé la nuit à la devanture de la maison pour recevoir par seaux, le contenu de la fosse. Dans certains quartiers équipés de réseaux, le contenu de la fosse est reversé illégalement dans l'égout.

Il convient de signaler ici une pratique tout aussi illégale, que nous avons constaté aux Parcelles Assainies, consistant à se raccorder au réseau d'égout sans payer les frais de raccordement qui sont cependant trop chers. Cette pratique étant tout de même meilleure que celle des fosses, les services compétents de la SONEES peuvent recenser les contrevenants en visitant les bouches d'égout et leur appliquer un taux de paiement étalé sur deux ans et incorporé à la facture d'eau: tout le monde y gagnera.

Sur l'ensemble de la population utilisant une fosse étanche ou septique (33 % de la population globale) 47 % ont fait au moins une vidange et 53 % n'en ont jamais fait. Parmi ceux qui en ont fait, les pourcentages s'établissent comme suit: 19,1 % une fois, 3,9 % deux fois, 3,1 % trois fois, 1,1 % quatre fois, 0,6 % six fois, 0,3 % au moins 20 fois,

Dans ces quartiers de la banlieue dakaroise, des vidanges ont été effectuées à des fréquences différentes liées aux modalités de construction de la fosse. A Pikine, 50 % l'ont vidé entre 1 et 5 ans. 80 % entre 5 et 10 ans, 91 % ont attendu plus de 10 ans. A Guédiawaye, 50 % entre 1 et 5 ans. 40 % entre 5 et 10 ans et 42 % ont attendu plus de 10 ans.

Si l'on sait que ces fosses ont une capacité variant entre 4 et 10 m³, que le rejet moyen en eau vane dans les zones secondaires peut être évalué à 10 l/hab / jour et que la famille compte en moyenne 6 personnes, ce sont au moins 20 m³ de rejet liquide que reçoit au moins la fosse en une année. Pour ceux qui attendent 5 ans donc pour faire la vidange, c'est seulement le 1/10e qui ne rejoint pas la nappe.

3.4 Impact des rejets d'eaux usées sur la population

3.4.1 L'impact sur la santé des populations

Selon la Direction de la Statistique du Ministère de la Santé et de l'Action Sociale (MSAS) les principales causes de morbidité en 1992 pour la région, sont réparties comme suit:

- * maladies de la peau (gale et autres): 16,27 %
- * infections intestinales: 11,24 %
- * affections respiratoires 11,05 %
- * accès palustres et gripes: 10,78 %

Les enquêtes ont révélé la distribution suivante chez les enfants, composante la plus vulnérable de la population:

- 35,1 % de cas d'infections intestinales,
- 28,4 % de celles de la peau (gale).

DEUXIEME PARTIE PLUIES ET COMPOSITION CHIMIQUE D'EAUX DANS LA RÉGION

Cette seconde partie traite des pluies sur la région de Dakar dans son chapitre premier. Le second rend compte d'études sur la caractérisation chimique des eaux à l'échelle régionale puis d'une étude expérimentale de la pollution par le ruissellement, sur un bassin versant urbain.

CHAPITRE PREMIER: LES PLUIES DANS LA RÉGION

1 LA PLUVIOMÉTRIE

1.1 Le réseau pluviométrique

La région de Dakar dispose d'un réseau pluviométrique relativement important vu le nombre de postes par rapport à la superficie de la région. Cependant la répartition spatiale n'est pas homogène et certaines zones sont encore mal couvertes.

1.1.1 Les stations pluviométriques

La région de Dakar compte une seule station synoptique, Dakar - Yoff, régulièrement suivie alors que tous les autres postes pluviométriques présentent assez souvent des lacunes. Le choix de Dakar-Yoff se justifie par la présence de l'aéroport. Sa position excentrée et maritime, ne traduit cependant pas tous les aspects micro-climatiques perceptibles dans la région. En effet, on y distingue une frange occidentale à falaises, une zone littorale nord à côte basse sableuse avec présence de plus en plus marquée des dunes vers le nord, le littoral sud à est qui est une zone de baies protégées par le Cap Manuel et enfin l'hinterland qui s'étend de la localité de Pikine à celle de Sébikotane.

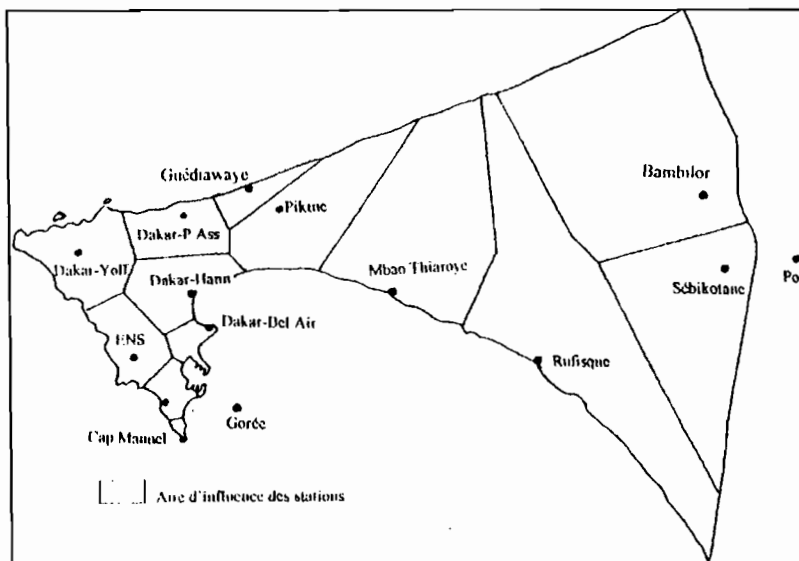
La période des observations pluviométriques aux stations de la région est très inégale. Elles ont commencé déjà au XIX^e siècle à la station de Dakar-Gorée en 1855 puis à Dakar - Hôpital en 1897. Au fil des ans, le réseau pluviométrique s'est étoffé. Des stations comme Dakar - Médina sont observées depuis peu après la Première Guerre Mondiale. Beaucoup d'autres disposent aujourd'hui d'observations de plus de 50 ans (Dakar-Hann, Dakar-Yoff). Il existe ensuite quelques postes créés après l'indépendance, comme Sébikotane, ou en 1975 comme Pikine, dans le cadre du programme d'amélioration du réseau national.

Le traitement que nous avons fait se fonde sur l'information ainsi accumulée et publiée sous forme de recueil de précipitations journalières en deux volumes couvrant la période allant de l'origine des stations à 1965 puis celle de 1966 à 1980. Les données de 1981 à 1987 sont disponibles dans les banques de données de l'ORSTOM et de l'Hydraulique alors que la suite est en saisie au service informatique de la Météorologie Nationale.

Plusieurs postes ont cessé de fonctionner (faute de moyens dit-on, alors que ce problème devrait être moins aigu en milieu urbain). La station de Dakar - Hôpital, fermée depuis 1945, dispose d'une série d'observations sur la première moitié du siècle, plus pluvieuse que les 30 dernières années. La station de Bel Air-ORSTOM, connaît plusieurs lacunes à partir de 1990, comme si son observation allait être abandonnée alors que l'ORSTOM -Hann démarrait un suivi pluviométrique.

1.1.2 Les aires d'influence

Carte 7- Réseau pluviométrique et zones d'influence des stations



Elles ont été déterminées par la méthode des polygones de THIESSEN. Le découpage tient compte des stations expérimentales que nous avons installées sur la région pour améliorer la répartition des postes. En effet, seule la station de Dakar-Yoff est implantée sur la façade nord. La carte des aires d'influence montre que le nord est entièrement contrôlé par les stations du sud ou du centre. Les polygones de Thiessen permettent une estimation de la lame d'eau moyenne reçue qui serait cependant inexacte car la distribution des postes n'est pas régulière.

1.2 La répartition spatiale de la pluviométrie

Une telle étude nécessite la disponibilité d'un réseau assez important. La répartition spatiale peut alors s'observer aussi bien au niveau des pluies journalières, mensuelles qu'annuelles. Nous avons choisi l'année 1995 pour faire des remarques sur la distribution des pluies.

1.2.1 La distribution des pluies annuelles

La carte des isohyètes de pluies annuelles de 1995 donne une bonne perception de la variabilité spatiale. On notait généralement une évolution à la hausse du nord vers le sud et d'est en ouest. Pendant la campagne hydrologique 1994, des écarts souvent importants existaient entre les pluies à Dakar - Yoff et celles enregistrées à Dakar - ENS. Le total de 253 mm enregistré à Yoff, était largement inférieur aux 405 mm de l'ENS. Pourtant l'année 1995 a présenté une pluviosité supérieure au nord de la région. Le pluviographe implanté aux Parcelles Assainies et le pluviomètre à la Cité Hamo IV de Guédiawaye ont enregistré des quantités supérieures aux postes plus au sud. Pendant que la pluviométrie baissait à la station de Dakar - ENS, placé au centre - ouest de la tête de la presqu'île, nos deux nouvelles stations enregistraient des totaux dépassant la moyenne pour la station de Dakar - Yoff (491,1 mm) et de Pikine (496,5): 500,5 mm aux Parcelles Assainies, hauteur de pluie de récurrence humide par rapport aux statistiques de Dakar - Yoff. La station de Guédiawaye avec 543 mm, un total important (soit 87 mm de plus que Yoff) a approché la hauteur de période de retour 2 ans excédentaire. Elle a même dépassé celle de Sébikotane et surtout Rufisque (519,3), station qui domine en général la région de Dakar en quantité de pluie enregistrée.

L'année 1995 a montré une répartition spatiale des totaux annuels inverse à la disposition classique des isohyètes. En effet, le littoral nord (où les postes pluviométriques sont rares) aurait dû recevoir des quantités moindres par rapport aux stations centrales et méridionales de la presqu'île, le flux de mousson provenant essentiellement du sud-ouest. Au mois d'août qui reçoit toujours le plus d'eau, les Parcelles Assainies ont dépassé aussi bien la station de Dakar - ENS près de Fann que celle de Dakar - ORSTOM à Hann.

La moyenne des totaux annuels sur la tête de la presqu'île, 465 mm, est très proche du total de la station de ORSTOM - Hann (moins de 500 mètres de distance séparent ORSTOM - Hann et Dakar-Hann suivie par la Météorologie Nationale). Cette moyenne est également proche de la valeur médiane de la station de Bel Air (467,6 mm). La station de Dakar-Hann est ainsi bien partie pour être retenue comme référence pour la tête de la Presqu'île d'autant plus qu'elle ne présente aucune lacune.

L'année 1995 n'a pas été trop déficitaire si on considère la moyenne annuelle des postes que nous avons suivis et celui de Yoff. Le nombre de jours de pluie a été inférieure à 50 et l'essentiel s'est situé en août.

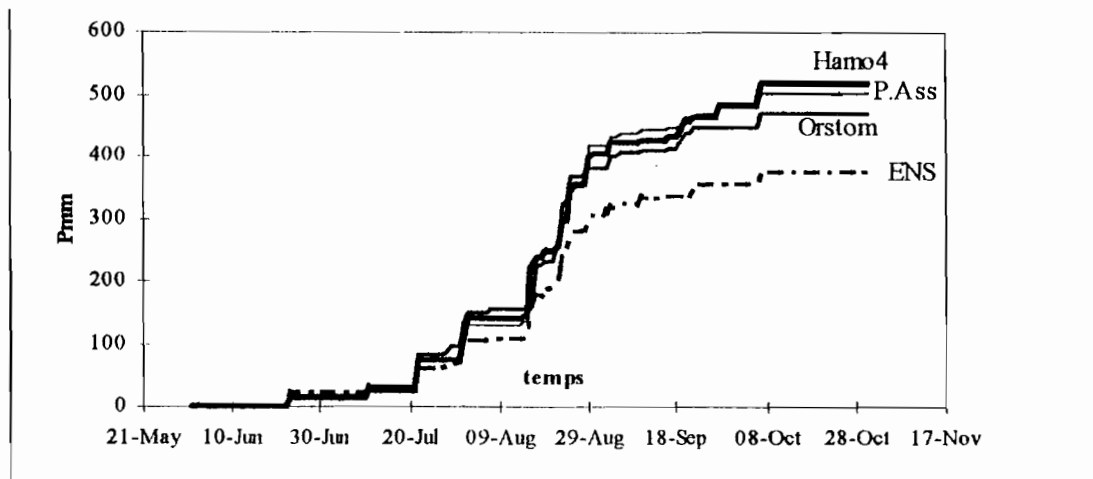
Tableau 36 - Totaux pluviométriques annuels et nombre de jours de pluie à Dakar en 1995

Stations	Dakar -Yoff	Dakar -ENS	P. Assainies	Guédiawaye	Dkr-Bel Air	ORSTOM-Hann
Total an	456,2	385,2	500,5	543	non suivie	470
Nb j pluie	44	48	34	35		32

1.2.2 La distribution des pluies mensuelles

Elle peut s'observer sur le tableau des pluies mensuelles et aussi sur le graphique représentant les cumuls pluviométriques durant la saison, aux stations que nous avons suivies en 1995. Pour les stations disposant d'un pluviographe, le cumul est donné par PLUVIOM tandis que celui des pluviomètres a été calculé à partir des relevés de hauteurs journalières au seau. Sur le graphique, on note une certaine inversion au fur et à mesure que la saison des pluies progresse. Au début, Dakar - ENS est très légèrement en avance ; en juillet, les totaux se confondent et dès le début du mois d'août, la station du bassin est dépassée par les 3 autres. Tour à tour, c'est Hann puis les Parcelles Assainies qui dominent jusqu'en mi - septembre. A partir du 20 de ce mois, la station de Guédiawaye enregistre le total le plus élevé. La station de Hann a occupé le plus souvent une position intermédiaire entre les stations.

Graphique 10- Evolution des pluies cumulées, aux stations RUES



Notons que le suivi la station de l'ENS a été plus régulier car même les faibles pluies sont relevées. Cependant un seuil à 3 mm pour accélérer le traitement sous ARES, a privé cette station des pluies inférieures au seuil.

1.2.3 La distribution des pluies journalières

Étant donné qu'il est nécessaire de disposer d'une bonne répartition des postes de mesure pour bien observer la répartition des pluies dans l'espace, en dehors de la station du bassin versant, deux postes ont été installés sur le littoral nord. Nous nous sommes aussi intéressé à la collecte des pluies à la station de l'ORSTOM au Centre de Hann. Les observations sont rapportées dans les tableaux suivants tandis que celles de Yoff sont citées en annexe pour comparaison. Les tableaux donnent des aperçus sur les variations journalières et spatiales des pluies sur ces stations du nord.

La hauteur maximale enregistrée à la station des Parcelles Assainies a été de 99,6 mm, soit le 1/5 du total annuel. Cette pluie est tombée au mois d'août (total 347,9 mm). A Guédiawaye, une hauteur journalière maximale de 77,3 mm est tombée le même jour que celle des Parcelles Assainies. Le mois d'août y a aussi totalisé moins d'eau mais c'est durant les deux mois suivants qu'elle a dépassé les Parcelles Assainies en cumul annuel.

Tableau 37- Station Pluviographique Parcelles Assainies 1389900501 Année 1995

	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCTOBRE	NOV	DEC	
1	-	-	-	-	-	-	-	40,5	-	-	-	-	1
2	-	-	-	-	-	-	-	12,8	-	-	-	-	2
3	-	-	-	-	-	-	-	-	15,8	-	-	-	3
4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	4
5	-	-	-	-	-	-	-	-	4,1	-	-	-	5
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	21,5	-	-	7
8	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	8
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
10	-	-	-	-	-	-	-	-	7,6	-	-	-	10
11	-	-	-	-	-	-	09,5	-	-	4,1	-	-	11
12	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	12
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
14	-	-	-	-	-	-	-	7,9	-	-	-	-	14
15	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	-	-	-	15
16	-	-	-	-	-	-	-	99,6	2,6	-	-	-	16
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
19	-	-	-	-	-	-	0,3	9,1	4,4	-	-	-	19
20	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	-	-	-	20
21	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	21
22	-	-	-	-	-	-	51,2	16,2	2,6	-	-	-	22
23	-	-	-	-	-	11,5	0,1	47,7	6,5	-	-	-	23
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
25	-	-	-	-	-	-	-	16,9	-	-	-	-	25
26	-	-	-	-	-	-	-	2,2	-	-	-	-	26
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
28	-	-	-	-	-	-	1,8	4,3	-	-	-	-	28
29	-	-	-	-	-	-	-	58,8	-	-	-	-	29
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
31	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	31
TOTAL						11,5	61,8	147,9	51,7	25,6			30,5
						ANNÉE INCOMPLETE 1995			TOTAL PARTIEL				

Tableau 38- Station pluviométrique de Guédiawaye Année 1995

	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUL	AOÛT	SEP	OCTOBRE	NOV	DEC		
1	-	-	-	-	-	-	-	31,6	-	-	-	-	1	
2	-	-	-	-	-	-	-	32,3	-	-	-	-	2	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	20,0	-	-	-	3	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	TR	-	-	-	5	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	TR	36,3	-	-	7	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	4,8	-	-	-	10	
11	-	-	-	-	-	-	11,7	-	-	24,5	-	-	11	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	
13	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-	13	
14	-	-	-	-	-	-	-	2,2	-	-	-	-	14	
15	-	-	-	-	-	-	-	1,7	-	-	-	-	15	
16	-	-	-	-	-	-	-	77,3	4,7	-	-	-	16	
17	-	-	-	-	-	-	-	16,2	-	-	-	-	17	
18	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	18	
19	-	-	-	-	-	-	0,6	10,1	17,1	-	-	-	19	
20	-	-	-	-	-	-	-	TR	11,3	-	-	-	20	
21	-	-	-	-	-	0,1	-	TR	-	-	-	-	21	
22	-	-	-	-	-	-	46,7	10,4	3,6	-	-	-	22	
23	-	-	-	-	-	13,6	-	35,6	-	-	-	-	23	
24	-	-	-	-	-	-	-	1,7	-	-	-	-	24	
25	-	-	-	-	-	-	-	49,4	-	-	-	-	25	
26	-	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-	-	-	26	
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	
28	-	-	-	-	-	-	-	1,5	19,2	-	-	-	28	
29	-	-	-	-	-	-	-	46,9	-	-	-	-	29	
30	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	30	
31	-	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	31	
TOT													
							13,7	61	327,1	80,7	60,8		
							ANNÉE INCOMPLÈTE 1995		TOTAL PARTIEL				543,3	

Un suivi a démarré depuis 1988 à l'ORSTOM de Hann. Les observations sont sous format EXCEL.

Tableau 39- Station pluviométrique de Dakar - ORSTOM - Hann Année 1995

	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUL	AOÛT	SEP	OCTOBRE	NOV	DEC		
1	-	-	-	-	-	-	-	40,7	0,4	1,5	-	-	1	
2	-	-	-	-	-	-	-	15,3	-	-	-	-	2	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	19,5	-	-	-	3	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2	-	-	-	5	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
7	-	-	-	-	-	-	-	4,2	-	21,0	-	-	7	
8	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	8	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	3,7	-	-	-	10	
11	-	-	-	-	-	-	15,3	-	0,4	7,4	-	-	11	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	
14	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	14	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	
17	-	-	-	-	-	-	-	65,8	2,9	-	-	-	17	
18	-	-	-	-	-	-	-	3,8	-	-	-	-	18	
19	-	-	-	-	-	-	1,4	6,8	17,3	-	-	-	19	
20	-	-	-	-	-	-	-	-	8,8	-	-	-	20	
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	
22	-	-	-	-	-	-	49,6	30,5	9,0	-	-	-	22	
23	-	-	-	-	-	16,	-	62,2	-	-	-	-	23	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	
25	-	-	-	-	-	-	-	39,5	-	-	-	-	25	
26	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	26	
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	
28	-	-	-	-	-	-	4,5	1,5	-	-	-	-	28	
29	-	-	-	-	-	-	7,1	10,5	-	-	-	-	29	
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	
TOT													
							22,5	47,5	235,4	52,8	25,9		
							ANNÉE INCOMPLÈTE 1995		TOTAL PARTIEL				555,1	

Les pluies journalières, en général nombreuses dans la saison, permettent de disposer de plusieurs cas de variabilité spatiale de la pluie. Les enregistrements pluviométriques de cette année ont montré dans l'ensemble quelques tendances qu'il faudrait suivre sur des observations plus longues. En effet on a remarqué que les averses intéressaient généralement toute la tête de la presqu'île au même moment: s'il pleut à Hann, il pleut à Fann, à Yoff, aux Parcelles assainies, au Cap Manuel. Cependant il y a eu des différences souvent importantes au niveau des quantités enregistrées. Il y a eu aussi et surtout des exceptions c'est à dire des jours où la pluie n'a concerné qu'une localité ou en tout cas pas toutes les localités en même temps. Le 13 août 1994, il est tombé 121,7 mm à Fann-Mermoz et 115,5 mm à Bel Air alors que Yoff n'avait reçu que 13,2 mm. Ce même jour, alors qu'il pleuvait "des cordes" dans le secteur de Bel Air - Colobane, les quartiers de la Médina située plus au

sud, étaient sous un beau soleil. Le 20 septembre, une forte pluie a arrosé le littoral nord jusqu'à Grand-Yoff (la station de Pikine a enregistré 82,7 mm) alors qu'aucune goutte n'est tombée à l'ENS ou à Yoff. Le lendemain, Dakar - ENS recevait 102,3 mm pour 63,9 à Yoff et 30,7 mm seulement à Pikine. Le samedi 02 août 1995 dans l'après-midi, une forte pluie est tombée sur la moitié est de Guédiawaye, sur les quartiers de Thiaroye et Yeumbeul sans atteindre Pikine et Dakar - ville alors que l'ENS avait connu une pluie de 27,6 mm dans la nuit précédente.

Nous avons ensuite comparé les observations journalières et mensuelles des stations que nous avons suivies, à celles des stations de la Météorologie Nationale qui leur sont proches. Cette comparaison montre de manière assez nette, la variabilité des pluies d'une façade de la région à une autre. Les différences sont de grandeur diverse, elles sont souvent faibles ou quelquefois très importantes. Le 23 juin 1995, les quantités suivantes ont été enregistrées: 22 mm à l'ENS, 11 mm aux Parcelles, 11,2 mm à Dakar - Yoff et 13,5 mm à Guédiawaye. Si ces écarts ne sont pas très grands, ils l'ont été le 29 août 1995 avec les quantités suivantes: ORSTOM - Hann 10,5 mm, ENS 24,1 mm, Guédiawaye 46,9 et Parcelles Assainies 58,8 mm. Cette dernière averse a plus desservi le littoral nord.

Les pluies enregistrées à la station expérimentale du Département de Géographie⁸ pourront être comparées avec celles de Dakar-ENS où le pluviographe ne serait pas à bonne distance d'un des immeubles de l'école. Il a été impossible de trouver un espace adéquat, facile à surveiller et autre que le terrain de football. Quant à celui des Parcelles Assainies, il est à 5 mètres (au lieu de 6) du mur de clôture haut de 3 mètres.

A la suite de ces quelques observations sur la variabilité de la répartition de la pluie, il est peut-être important d'insister sur la nécessité d'améliorer le réseau existant.

1.2.4 La densification du réseau

Globalement donc, la presqu'île de Dakar présente une tête correspondant au noyau urbain, qui disposait d'un semis dense de postes de mesure avant la fermeture de plusieurs stations de l'ère coloniale: Dakar Hôpital, Dakar Cap Manuel, Dakar Direction, Dakar Médina, Dakar Ouakam et Dakar Travaux Publics. Par contre le col de la presqu'île gagnerait à être renforcé par la pérennisation des stations expérimentales que nous avons installées aux Parcelles Assainies et à Guédiawaye ou par la réouverture du poste du Centre pour le Développement de l'Horticulture à Cambéréne. L'espace Pikine - Rufisque, certes moins urbanisé que la tête de la presqu'île est entrain de connaître des mutations très importantes qui nécessitent le renforcement des points de mesure. La nécessité d'implanter de nouveaux enregistreurs de la pluie sur le littoral nord est aujourd'hui manifeste. Nous ne perdons pas de vue qu'il est impossible de couvrir parfaitement une zone géographique au point d'obtenir assurément le maximum d'une averse; cela coûterait économiquement cher en plus. Mais on ne peut pas nier la variation dans la distribution spatiale de la pluie. La connaissance du champ de pluie est aujourd'hui indispensable pour la modélisation spatialisée c'est à dire l'étude de la distribution spatiale du ruissellement dans un bassin versant.

A ce propos, l'installation d'une station synoptique à la ville côtière de Rufisque, est envisageable: elle est située sur la façade sud par laquelle arrive la mousson et non au nord, face aux alizés; elle est enfin plus à l'est que Yoff. L'implantation de postes pluviométriques au moins à Malika (ou Keur Massar), à Niaga et à Déni Biram Ndao pour le littoral nord, devrait être envisagés par la Météorologie. Les zones que surveilleraient ces postes, sont des espaces à vocation agricole (autour de Sangalkam), touristique (les lacs) ou des sites potentiels d'étude des relations entre la décharge de Mbeubeuss et les zones environnantes où l'urbanisation progresse rapidement.

En outre, le choix d'une station représentative ne peut se fonder que sur plusieurs longues séries d'observation qui conduisent au choix du site qui présente la meilleure corrélation avec les autres postes. Les besoins en informations sur les conditions météorologiques avant le décollage des avions explique que Yoff soit une station synoptique. Sa position excentrée par rapport à la ville et à la région, fait qu'elle ne peut être une référence à l'échelle régionale. La sécurité des ouvrages hydrauliques exige la prise en compte de hauteurs d'eau dont la période de retour est déterminée à partir d'une station présentant une meilleure liaison avec les autres postes.

La nette variabilité spatiale de la pluie indique qu'il est impossible de déterminer un site représentatif de toute la région même si elle n'est pas très étendue. Ce constat doit inciter à la création de postes pluviométriques dans les quartiers de Dakar car les SICAP, Fann, la Médina, le Grand Dakar et Grand-Yoff jusqu'à la Foire sont des zones habitées où aucun appareil ne mesure la pluie. L'installation de postes dans les quartiers de Dakar pour

⁸ Cette station est suivie depuis 20 ans et les données collectées feront bientôt l'objet d'une publication.

une période d'environ 5 ans permettrait de se faire une idée sur *le poste le plus informatif* pour la région ou la ville. A défaut d'un pluviomètre par quartier de la ville ou par mairie d'arrondissement, il serait intéressant de procéder à un zonage de la région afin de choisir des emplacements valables pour les appareils de mesure. Ainsi le poste retenu continuerait à enregistrer, parallèlement à la station synoptique de Dakar - Yoff. Il est aujourd'hui nécessaire d'en placer au niveau des quartiers qui connaissent de manière permanente des problèmes d'inondation.

En ce qui concerne la topographie, un pluviomètre à côté du phare des Mamelles donnerait des informations sur le rôle de l'altitude dans la distribution des averses. Cet ensemble de démarches va dans le sens de l'optimisation du réseau de mesure.

1.3 La répartition temporelle des pluies

Après une étude sur la distribution spatiale des pluies, nous abordons l'aspect temporel et sous une approche classique consistant en une étude statistique des pluies journalières, puis mensuelles et enfin annuelles. C'est de manière assez sommaire que nous examinerons cet aspect qui a fait l'objet d'une étude récente par KANE (1995).

1.3.1 Les pluies journalières

L'ajustement sur ces données de pluies journalières se fait avec la loi Gamma incomplète de PEARSON III. On peut aussi ajuster des lois statistiques aux séries constituées de pluies maximales annuelles, durant toute la période observée.

Une étude statistique a été faite à l'ORSTOM sur les données journalières observées de différentes stations de Dakar. L'ajustement a permis de déterminer des hauteurs d'eau journalières pour des périodes de retour couramment considérées dans le dimensionnement des ouvrages. Le tableau suivant présente le résultat de cet ajustement sur 13 stations de la région de Dakar. La pluie maximale observée permet une comparaison avec les hauteurs calculées. Ces pluies maximales observées à certaines stations de Dakar de leur origine à nos jours, sont présentées dans les pages qui suivent mais seront abordées de manière beaucoup plus détaillée dans l'étude des pluies exceptionnelles.

Tableau 40 - Hauteurs de période de retour des pluies journalières de l'origine à 1991

Station	Nbre d'ans	Nbre j	Pmax observée	1/2 ans	5 ans	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans
Dakar Yoff	47	37	157,7	74	94	110	130	146	162
M'Bao Thiaroye	73	35	137,4	77	97	113	134	149	165
Dakar Hann	51	42	181,5	75	96	113	135	151	168
Dakar Bel Air	35	41	158,8	74	95	111	134	151	168
Dakar Gorée	50	37	202	72	96	115	141	161	181
Dakar Hôpital	50	76	214,8	82	107	127	152	172	192
Dakar Cap M,	25	54	179,8	82	106	125	150	170	190
Dakar Ouakam	22	51	150,5	76	96	112	132	148	164
Pikine	20		141,2	66,3	86,5	102,2		139,7	156,2
Rufisque	67	32	263	91	122	146	171	205	230
Bambilor	20	28	134	69,4	88	102,3	121	136	151
Sébikotane	30		154,5	84	108	127	145	171	190
moy arithmétique				78,7	100,5	119,9	140,5	160,0	178,3

La moyenne arithmétique que nous avons cherchée est plutôt une lame d'eau moyenne, indicatrice de la hauteur qui pourrait intéresser la région annuellement. Elle n'est certes pas loin des valeurs de Dakar - Yoff, mais celles-ci ne la dépassent dans aucun cas et sont presque partout les plus faibles dans la région, sauf pour Pikine, station qui n'a cependant fonctionné que durant une période de déficit pluviométrique. En attendant que l'explication soit trouvée par les spécialistes, nous avançons quelques hypothèses qui demandent cependant beaucoup de mesures expérimentales pour être confirmées. Trop proche du littoral, Yoff subirait le dynamisme des flux boréaux et ne profiterait pas aussi des vents humides soulevés par les Mamelles: ceux-ci favoriseraient des stations comme Hann, Bel Air, M'bao-Thiaroye ou Pikine. La station de Dakar-Gorée serait logée à la même enseigne face à l'effet des « hauteurs » du Cap Manuel.

La station de Gorée est celle qui s'écarte le moins de cette moyenne régionale, mais son suivi présente des lacunes importantes. Cela est valable aussi pour Hôpital, fermé depuis plus de 50 ans. Les valeurs de sécurité sont ainsi à chercher du côté de Rufisque. En effet elle a enregistré la plus forte pluie maximale observée et les hauteurs calculées y sont toujours les plus élevées.

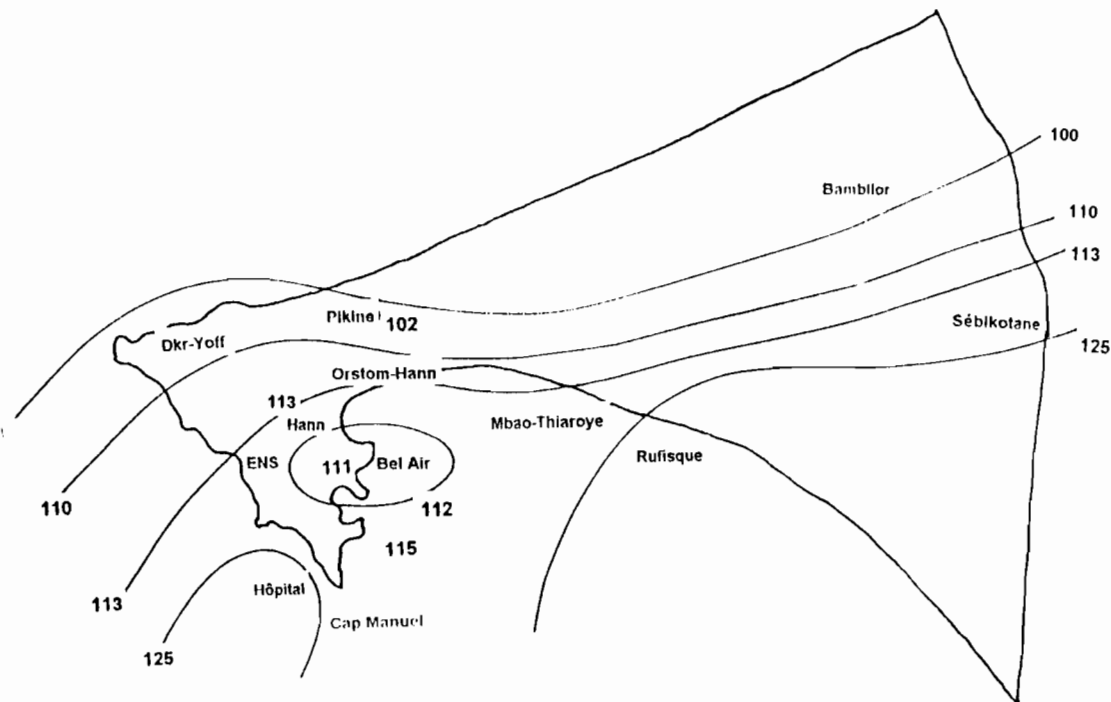
Nous avons aussi cherché à travers la chronique des pluies journalières le nombre de fois que les fréquences rares ont été enregistrées.

Tableau 41- Observation réelle des pluies de fréquence rare calculée

Station	P max obs	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans
Dakar Yoff	157,7	4 (110)	3 (130)	2 (146)	0 (162)
M'Bao Thiaroye	137,4	10 (113)	1 (134)	0 (149)	0 (165)
Dakar Hann	181,5	5 (113)	2 (135)	1 (151)	1 (168)
Dakar Bel Air	158,8	3 (111)	1 (134)	1 (151)	0 (168)
Dakar Gorée	202	5 (115)	1 (141)	1 (161)	1 (181)
Dakar Hôpital	214,8	4 (127)	2 (152)	1 (172)	1 (192)
Dakar Cap M,	179,8	3 (125)	1 (150)	1 (170)	0 (190)
Dakar Ouakam	150,5	(112)	(132)	(148)	(164)
Pikine	141,2	3	2	1	0
Rufisque	263	5 (146)	4 (171)	3 (205)	2 (230)
Bambllor	134	(102,3)	(121)	(136)	(151)
Sébikotane	154,5	4 (127)	1 (145)	0 (171)	0 (190)

A partir du tableau des récurrences calculées, nous avons dessiné la carte des isohyètes des hauteurs journalières de période de retour décennale.

Carte 8 - Isohyètes de pluies journalières de période de retour décennale



1.3.2 Les séries de pluies maximales journalières

Nous avons relevé les pluies maximales journalières de chaque année sur 8 stations. Les lacunes sont très nombreuses sur ce tableau qui montre aussi le retard dans l'implantation de plusieurs stations. L'irrégularité des

observations est aujourd'hui aggravée par les lacunes inadmissibles durant les dernières années au niveau de certaines stations. Il serait dommage que les bases de données ne soient plus exploitables au mieux par les générations présentes ou à venir. Ces pluies maximales sont cependant étudiées dans le chapitre sur les pluies exceptionnelles consécutives.

Tableau 42- Pluies maximales journalières observées à Dakar

Année	Gorée	Mb Th	Yoff	Pikine	Pout	Hann	B. Atr	Sébikouane
1916	47							
1917	73							
1918	123							
1919		54						
1920		44,6						
1921		90,8						
1922		105,4						
1923		67,3						
1924		94						
1925		51,3						
1926		90						
1927		111,6						
1928		107,2						
1929		85,7						
1930		62,5						
1931	42,7	49,9						
1932		100,6						
1933	57,7	92,1						
1934	100,1	119,9						
1935		117,3						
1936		78,7						
1937		73						
1938		85,8				80,3		
1939		81,2				86,5		
1940		76,5				91,4		
1941		48,8				41,2		
1942		91,1				81,4		
1943		116				75,5		
1944		83,9				110		
1945		67,3				80,9		
1946		105,3						
1947		61,5	60,3				71	
1948		50,4	94					
1949		34	35,4			43,6	42,9	
1950		76	81,6			70	105,6	
1951	82,5	88	144			61,9	95	
1952	86,2	53,1	76,6			54,6	58	
1953	49,4	50,8	62,8			71,5	48,4	
1954	101,3	133,6	79,4			122,8	115	
1955	79,2	76,6	79,3			72,4	49,1	
1956	58,5	68,3	68,5			55,4	32,7	
1957	90,7	54,8	94,2			65,4	71	
1958			88,3			93,5	90,4	
1959			28,8			34,3	33,7	
1960			100,2			55,2	60,8	
1961		114,5	49,3			93,5	106,6	
1962	128,2	114	153,1			126,3	110,4	
1963	71,6	67,5	104,2			71,4	61,1	77,5
1964	202	126,2	157,7			181,5	158,8	154,5
1965	72	111,2	70,7			75,6		130,3
1966	117,5	137,4	99,9			76,2		72,1
1967	88,5	118,8	95,5			118,2		143
1968	17,5	40,6	46,7			46,9		35,8
1969	120	71	58,5			73,1		105,5
1970	37,5	33,5	32,2			28,8		94
1971	33	44,8	32,8			33,6		38,9
1972	16	62,4	41,4			37,1		33
1973	68	47,1	47,9	36,2		33,2		35,6
1974	42	59,9	63,4	60,7		52,1	34	52,4
1975	104	99,8	83,8	136,7	114	112,3	88	87,7
1976	81,5	57,6	69,6	50,3	55	47,8	49,5	74,8

Années	Gorée	Mb Th	Yoff	Pikine	Poul	Hann	Bel Air	Sébikotane
1977	45	57,5	92,4	44,3	102,5	48,1		95,5
1978	34	45,9	40,2	54,9	96	47,6		141,2
1979	65	46,2	51,8	50,7	69	42,3	43	54,6
1980	111	117,6	76,9	141,2	71,5	107,1	116,5	92
1981		44,2	43,6	45,4		34,8	34,2	55
1982		48,5	38,1	36,7	132	69,7	41,2	
1983		56,1	31,8	58,3	30,5	44,3	35,7	
1984		48,8	54,7		75	51,2		75
1985		61,3	87,3	57	74,5	58,9	83	79
1986		88,3	78,5	73,1	67	54,6	70	82
1987		104,8	92,8	86,4	35	72,9	67	96,8
1988		53,4	47,1	48,3	59,5	58,3	97	52,7
1989	94	106,1	113,7	118,1	69	147,5	110	69
1990	45	37,5	32,2	41,9	53	51		49
1991	38,5	33,6	27,1	33,2	80	42		56,8
1992		76	59,3			28,8		94,5
1993			56					
Moy max j	74,94	76,49	70,71	65,19	73,97	69,51	72,65	79,58

1.3.3 Les pluies mensuelles

Nous distinguerons les séries régionales par rapport aux observations recueillies sur les stations expérimentales.

1.3.3.1 les séries régionales

Du fait des débuts d'observation différents et des lacunes nombreuses liées entre autres à la discontinuité de l'observation à certains postes, nous avons fait des moyennes mensuelles à partir des totaux mensuels de chaque station. On aurait pu aller jusqu'à établir des tableaux de moyennes mensuelles pour chaque année et pour toute la région, si l'observation était uniforme. L'évolution de la pluviométrie moyenne de la région pourrait être comprise à travers ces moyennes et différentes normales (période de 30 ans) pluviométriques. A partir des données homogénéisées, KANE A. B. (1995) a établi plusieurs normales (1921-50, 1931-60, 1941-70, 1951-80, 1961-93 et enfin 1968-93) pour étudier l'évolution de la pluviométrie. Il a montré que celle de 1951-80, qui présente le plus faible écart aux données de 1920 à 1993, est à considérer comme la normale de référence. En effet, elle comprend à parts à peu près égales, une période humide et une période de la sécheresse installée depuis 1968.

Tableau 43- Moyennes mensuelles par station

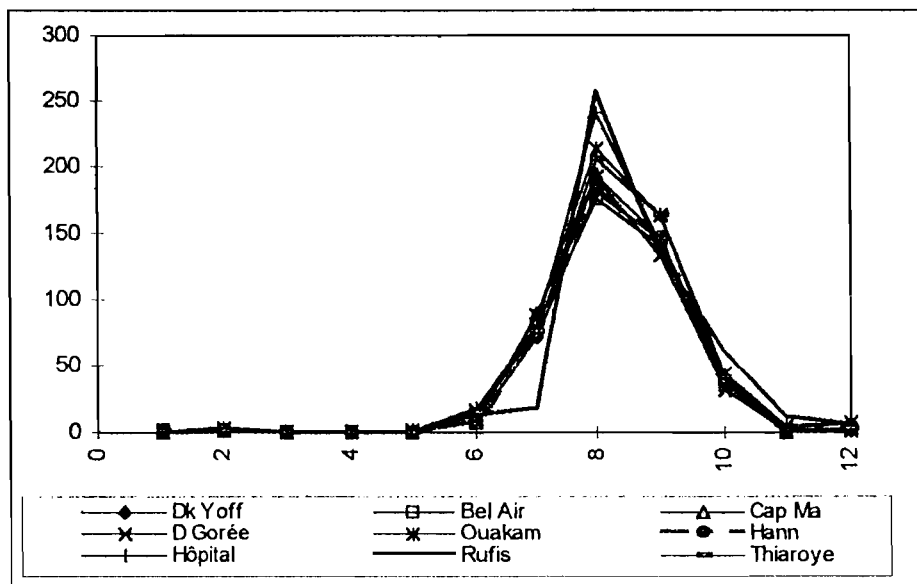
Station	Dk Yoff	Bel Air	Cap Man	D Gorée	Ouakam	Hann	Hôpital	Rufisque	Thiaroye
Période	1947-93	1947-92	1952-80	1855-1991	1941-62	1938-91	1896-45	1930-80	1919-93
janv	1.6	1.7	0.5	0.6	0.2	0.6	0.5	0.4	1
fevr	1.1	1.2	1.2	0.8	2.5	1.5	1.2	3.2	1.4
mars	0	0.2	0	0	0	0	0.2	0	0.3
avril	0	0.1	0	0	0.1	0	0.2	0.3	0
mai	0.6	0.7	0.5	0.4	1.6	0.7	0.9	0	0.5
juin	9.3	13.4	7.5	16.3	9.4	9.1	18	13.1	15.4
juil	71.2	79.7	89.2	76.6	87.6	71	79.7	18.2	75.2
août	181.9	176.5	193.3	192.3	213.4	184.7	240.9	135.1	206.8
sept	145.8	141.4	147.3	133.4	163.7	147.6	141.9	256.9	162.9
octo	39.9	35.4	38.9	32.4	44	40.1	43	59.9	37.6
nove	1.7	1.9	0.7	1.2	4	2.1	2.9	12.8	1.8
dece	1.7	2.3	2.8	1	8	3.8	6	5.6	3.1
total moyen	454.8	454.5	481.9	455	534.5	461.2	535.4	505.5	506

La comparaison entre deux postes doit cependant tenir compte de leur durée d'observation.

Le graphique ci-dessous, qui découle du tableau précédent, montre les deux saisons, sèche et humide, à Dakar comme partout dans le Sénégal. La station de Dakar - Hôpital présente des hauteurs importantes car elle a cessé d'enregistrer avant la période de sécheresse. On remarque que la station de Rufisque reste en retrait jusqu'au mois de juillet et dépasse les autres en août. Celle de Dakar-Hann présente quant à elle, une position intermédiaire. A ces constats, nous avançons les explications suivantes: Rufisque plus à l'est, connaît plus de précipitations orageuses dues aux lignes de grains mais reçoit la mousson après les stations du sud de la tête de

la presqu'île car la mousson a une progression SW - NE. Rufisque va alors dépasser les stations ci-dessus citées car elle profite de la poussée septentrionale de la mousson alors que sur la côte celle-ci est repoussée par les vents du nord.

Graphique 11- Pluies moyennes mensuelles dans la région de Dakar.



Des lois statistiques ont été ajustées par DIXLOIS aux valeurs mensuelles enregistrées en juillet, août et septembre aux stations encore fonctionnelles. Pour cause d'insuffisance de la taille de l'échantillon, l'ajustement n'a pas concerné Pout (d'ailleurs située en dehors de la région), ainsi que les mois de juin et octobre pendant lesquels, peu de pluies ont été observées.

En considérant la loi qui convient mieux à l'ajustement des données, loi déterminée selon la valeur de test BRUNET-MORET et la fréquence au Dépassement, nous avons relevé les valeurs calculées de pluies mensuelles de période de retour 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50 et 100 ans.

Tableau 44- Récurrences humides au mois de juillet à Dakar

	Période retour	2 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Stations	Lois adéq/freq	0,5	0,8	0,9	0,925	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Bel Air	Pearson 5	68,0	127,1	173,2	193,4	223,2	240,4	263,5	297,7	361,9
Yoff	Galton	52,1	108,7	155,5	176,3	207,3	225,1	249,1	284,6	350,7
Hann	Pearson 3	54,3	113,8	156,0	173,1	197,0	210,0	226,7	250,1	289,7
Pikine	Goodrich	39,7	92,7	132,8	149,5	172,9	185,9	202,5	226,0	266,1
MBaTh	Fuite	64,7	116,3	149,0	161,7	179,0	188,2	199,8	215,8	242,3
Rufisque	Goodrich	64,2	124,8	166,0	182,4	204,8	217,0	232,4	253,7	289,1
Sébikotane	Pearson 5	56,8	119,9	176,8	203,7	245,8	271,2	306,5	361,7	473,5

On note les plus fortes valeurs de récurrence 2 à 5 ans à la station de Bel Air, placée au centre ouest de la région. C'est ensuite à l'autre bout, à Sébikotane que l'on retrouve les plus fortes valeurs dans les périodes de retour les plus rares. Le tableau 10 donne les valeurs calculées pour le mois d'août, pendant lequel tombe l'essentiel des précipitations. La situation s'inverse: les hauteurs les plus élevées sont notées à Rufisque, tandis que celles des deux fréquences les plus rares sont attendus à Bel Air.

Tableau 45- Récurrences humides au mois d'août à Dakar

Stations	Période T	2 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	30 ans	50 ans	100 ans
	Lois ad/Freq	0,3	0,8	0,9	0,925	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Bel Air	Galton	155,1	257,6	332,7	364,4	409,7	435,1	468,3	516,3	601,5
Yoff	Pearson 3	161,0	261,6	327,5	353,5	389,3	408,5	433,1	467,0	523,8
Hann	Galton	167,2	257,8	317,8	341,9	375,4	393,7	417,3	450,4	507,2
Pikine	Gumbel V	139,4	199,3	238,9	254,8	277,0	289,0	304,5	326,2	363,1
MBaTh	Fuite	192,4	291,1	350,6	373,2	403,7	419,9	440,3	468,1	513,6
Rufisque	Fuite	185,0	296,6	365,0	391,3	426,8	445,7	469,5	502,0	555,5
Sébikotane	Pearson 3	177,7	259,5	308,0	326,4	351,2	364,3	380,8	403,3	440,1

Les figures suivantes donnent l'allure des isohyètes de période de retour décennale des mois d'août et de Septembre (KANE 1995).

Figure VIII - Isohyètes de récurrence décennale du mois d'août

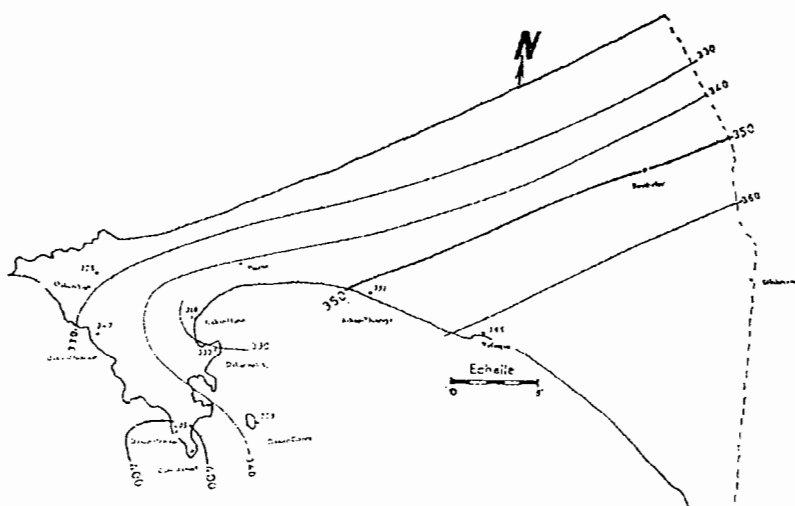


Figure IX - Isohyètes décennales des pluies de septembre

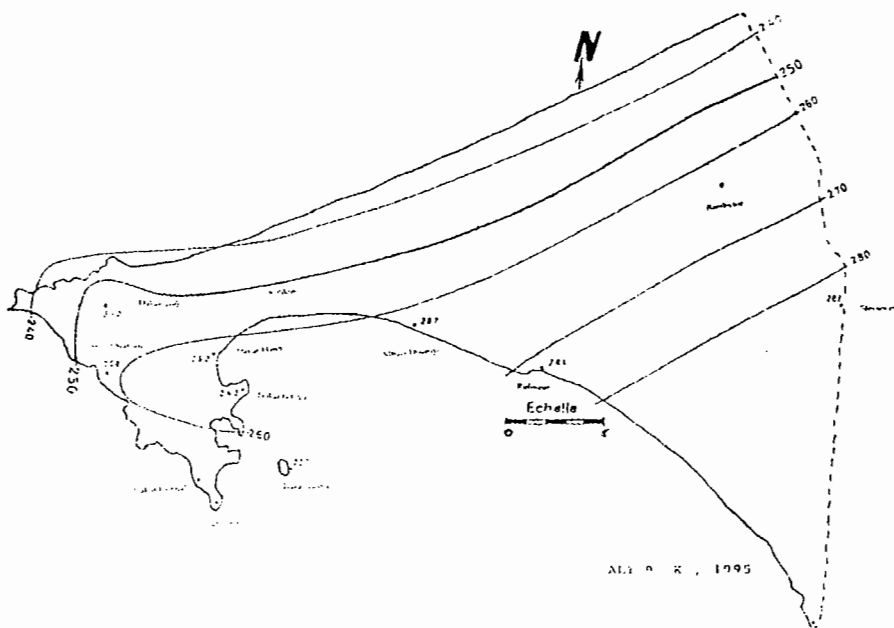


Tableau 46- Récurrences humides au mois de septembre à Dakar

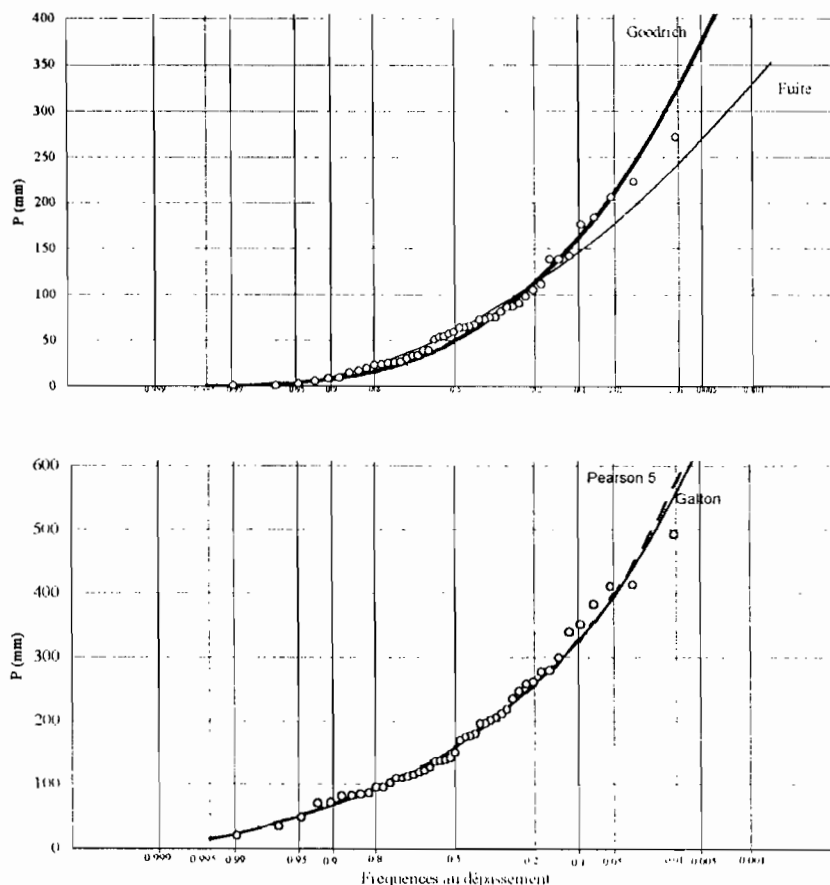
	Période retour	2 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Stations	Lois adéq/Freq	0,5	0,8	0,9	0,925	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Bel Air	Pearson 3	130,5	200,8	243,2	259,3	281,1	292,6	307,1	327,0	359,7
Yoff	Gumbel V	132,7	203,4	250,2	269,0	295,1	309,4	327,6	353,2	396,8
Hann	Pearson 3	128,4	206,0	261,8	285,1	318,2	336,7	360,8	395,4	456,4
Pikine	Galton	100,0	164,7	221,9	248,1	287,9	311,2	342,9	390,8	481,9
MBaTh	Polya	149,0	221,0	267,0	285,0	309,0	322,0	339,0	362,0	399,0
Rufisque	Goodrich	36,0	158,4	284,1	304,2	331,2	345,5	363,4	387,9	427,7
Sébikotane	Pearson 5	140,0	220,6	280,8	306,6	344,2	365,5	393,9	435,4	511,6

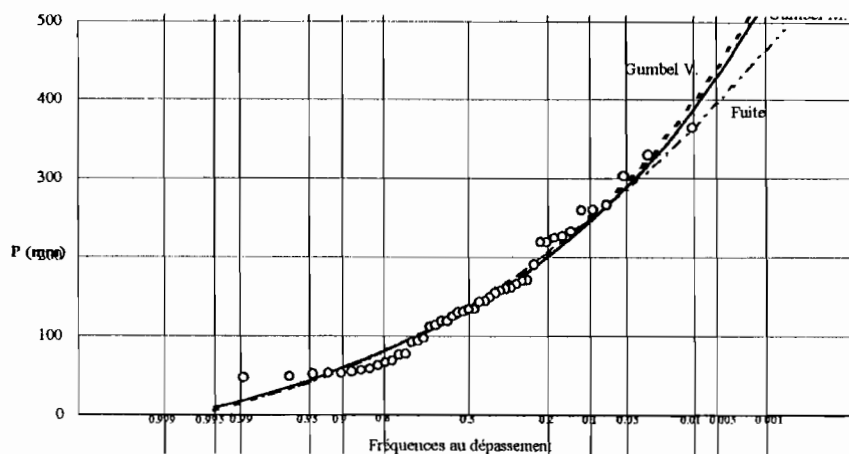
En septembre, les maxima se retrouvent de plus en plus vers l'est au fur et à mesure que la fréquence devient plus rare. Ces hauteurs de période de retour donnée permettent les observations suivantes:

- * plus la saison des pluies avance, les hauteurs maximales sont de plus en plus importantes de la tête de la Presqu'île vers l'est: certaines s'observent à Bel Air pour juillet, certaines à Rufisque pour août, c'est à Sébikotane qu'on en observe plus pour septembre.
- * la station de Rufisque donne la valeur décennale la plus élevée pour les deux mois les plus pluvieux.

L'observation de valeurs importantes en juillet et en août à Bel Air semble pouvoir s'expliquer quand on sait que située à l'arrière des "hauteurs" des Mamelles et du Cap Manuel, elle est censée récupérer les précipitations générées par l'effet d'altitudes. Les tableaux ci-dessus ont permis de tracer les cartes des isohyètes pour les récurrences décennale et centennale des mois de août et septembre. Enfin voici représentés, les ajustements aux observations mensuelles à la station de Dakar-Yoff. Les autres graphiques sont renvoyés en annexe.

Graphique 12- Distribution statistique des pluies mensuelles de juillet à septembre





1.3.3.2 les pluies mensuelles aux stations expérimentales

Ces données mensuelles ont été collectées en 1994 et en 1995 pour l'ORSTOM - Hann. Le tableau présente aussi les valeurs des observations aux autres stations, installées par le Programme RUES, avec celles de Yoff pour comparaison.

Tableau 47- Pluies mensuelles aux stations expérimentales

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Parc Ass	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	63,8	347,9	53,8	25,9	0,0	0,0
Guédiawaye	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7	61	327,1	80,7	60,8	0,0	0,0
Hann 1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10	3,8	178	0	115,9	0,0	0,0
Hann 1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16	78,2	286,7	66,2	22,4	0,0	0,0
Dakar-Yoff	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	58,9	305,7	57,3	21,9	0,0	14

Aucune des moyennes de pluies mensuelles observées sur ces 8 stations de la région pour le mois d'août, mois le plus pluvieux, n'atteignait 250 mm. Par contre, ce mois a été particulièrement excédentaire pour les stations expérimentales.

1.3.4 Les pluies annuelles

Deux séries de pluies annuelles pour la région de Dakar sont aujourd'hui disponibles: une première correspondant aux valeurs observées et une série homogénéisée (1920-1993) par la méthode du vecteur régional de BRUNET-MORET par KANE A. B. (1995).

La première série est très difficilement exploitable à cause des lacunes. Seules 2 années, 1975 et 1976 présentent des observations complètes à toutes les stations. Nous avons en outre fusionné les données de l'Hôpital à celles du Cap Manuel, qui a démarré peu après la fermeture de la station de l'hôpital (elles sont à moins de 200 mètres). Le caractère incomplet de cette série justifie l'homogénéisation du fichier pluviométrique de la région de Dakar (voir page suivante).

Tableau 48- Pluies annuelles observées à Dakar à partir de 1916

Année	Yoff	Bel Air	Hann	Sébi	Pout	Gorée	Hop-CapM	MbaoTh	Rufisque	Pikine
1916						514,2	341			
1917						745	699,8			
1918						958,5	901,8			
1919							419,3	449	543	
1920							407,4	377,8	422,8	
1921							335,6	542,8	395,4	
1922							437,4	536,7		
1923							646,7	595,9	523	
1924							526,1	680,1		
1925							402,8	435,9	451,4	
1926							499,3	450,7	444,3	
1927							847,3	744,1	911,6	
1928							427	761,5	772,5	
1929							628,5	646,1	656,9	
1930							708,8	768,1	804,6	
1931						266,3	399,6	373,3	495,5	

Année	Yoff	Bel Air	Hann	Sébi	Pout	Gorée	Hop-CapM	MbaoTh	Rufisque	Pikine
1932							618,1	413,4	497,4	
1933						642,6	626,8	731,7	700,8	
1934						431	445,3	612,4	482,7	
1935							817,4	889,3	975	
1936							476,3	651	759,9	
1937							387,9	467,6	498,1	
1938			513				679	548,8	760,5	
1939			547,6				634,2	584,7	665,1	
1940			702,2				677,7	662,9	657,6	
1941			235,1				347,2	256,1	325,6	
1942			387				477,1	556,5	546,5	
1943			833				840,1	921,4		
Année	Yoff	Bel Air	Hann	Sébi	Pout	Gorée	Hop-CapM	MbaoTh	Rufisque	Pikine
1944			247,6				423,8	468,4		
1945			366,7					519,9		
1946								412,1		
1947	382,8	271,9						417,5	413,1	
1948	474,8							444,4	461,9	
1949	456	386,1	545					368	345,8	
1950	802,2	872,8	881,7					949,6	886,9	
1951	901	748,6	683,4			648,7		899,1	976,9	
1952	613,6	502,7	531,5			502,1	385,4	460,5	599,2	
1953	409,1	370,9	446,4			401,2	420,7	481,8	485,9	
1954	760,6	689,1	638,8			665,2	704,2	795,1	835,3	
1955	673,7	596,6	703,6			574,1	719,4	757,3	793,1	
1956	477,2	342,8	430,8			418	466	445,2	364,5	
1957	624,3	549,8	555,3			491,5	579,2	596,2	564	
1958	818,4	653,6	682,3				548,9			
1959	273,1	244,1	267,3				309,9			
1960	582,6	441,4	461,1							
1961	614,3	683,1	719,6				629,3	532,9	557,8	
1962	709,7	589,2	366,8			500,2	396,1	662,2	445,1	
1963	451,5	476,3	441,6	514,9		456,2	525,4	555,4	642,4	
1964	570,1	536	59,6,7	746,8		454,3	660,9	527,3	492,3	
1965	411,7		410,6	664,3		339,9	407,5	384,8	393,3	
1966	595		562,5	551,9		668,5	607,5	577,1	576,6	
1967	895,4		928,7	1135,4		758,8	936,8	954,2	1000,7	
1968	259,7		228	249,8		827,1	160,4	171,2	174,9	
1969	751,3		725,5	896,9		110,6	667,4	703,5	819,8	
1970	177		166,9	375,3		372	248,3	206,5	220,8	
1971	366,7		386,4	496,4		78,5	402,6	385,2	452,5	
1972	113,2		124,8	154,4		243,5	115,8	180,7	124,7	
1973	287		277	324,6		269,2	295,4	292,9	389,4	158,1
1974	366,3	310,1	387,7	400,4		543,2	136	373,5	351,5	363,4
1975	564	762,2	666,7	746,1	647,3	380	623,7	696,6	783,3	691,3
1976	387,8	369	333,5	380,5	408	100,5	499,8	371,6	383	339
1977	171,2		142,5	237,7	285,2	258,5		131,3	151,5	132
1978	323,4		355,3	550,8	558,5	291,7		358,1	294	413,2
1979	341,1	359,6	307,5	492,1	575	289		347,3	353,6	364,1
1980	377,8	336,7	355,9	430,7	200,5			372,6	362,7	476,4
1981	338,2	297,1	306,7	421,9				367,3	337,9	389,3
1982	309,5	906,4	399,2		428,6			390,5	584,9	355,9
1983	154,9	160,6	215,7		221			209,9	179,1	212,4
1984	234,4		220,9	364,2	344,3			219,2	189,1	
1985	507,1	514,4	500,3	539,5	445,2			380,8	337,2	469,6
1986	389,8	444	456,5	425,9	372,3			398,9	447,8	403,7
1987	443	210,7	429,1	454	369,3			436,9	408,3	432,4
1988	458,5	451,7	467,5	531,5	505,5			386,2	513,2	445,8
1989	595,4	560	547,5	571,4	582,1	502		623,5	277,6	622,1
1990	255,6		208,2	363,9	346,4	178,6		292,5		307,8
1991	274,3		305	307,9	351,2	194,5		264,1	278,2	251,7
1992	175,8		191,3	330,4						
1993	325,9									

Le graphique ci-dessous est établi à partir d'une série de moyennes des différents postes de Dakar; il représente la variation interannuelle sur laquelle apparaît nettement la sécheresse actuelle amorcée depuis 1969.

Graphique 13 - Variation interannuelle des pluies à Dakar

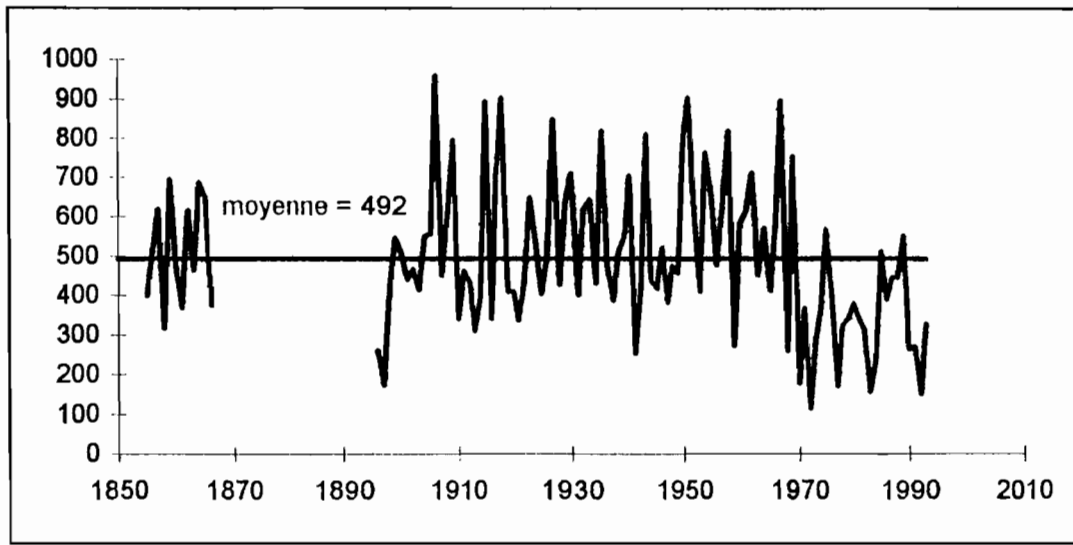


Tableau 49: Fichier homogénéisé de la pluviométrie annuelle de Dakar

Année	Vecteur	Hôpital	BelAir	CManue	Gorée	Ouaka	Yoff	MbaoT	Hann	Pikine	Rufisque	Bambilo	SebiCER	Sebissou
1920	0,7928	407	372	377	332	381	397	379	378	391	423	394	409	461
1921		335	346	336	414	331	290	543	354	499	558	521	546	441
1922		437	420	432	563	463	412	536	425	493	550	513	531	428
1923	1,1626	647	546	554	486	559	582	596	554	573	523	579	600	676
1924		526	501	539	770	646	583	436	512	624	740	706	887	734
1925	0,8457	403	397	403	354	406	423	451	403	417	451	421	437	492
1926	0,9162	499	430	436	382	440	459	744	436	451	444	456	473	533
1927	1,6408	847	770	781	686	789	821	761	782	809	912	816	847	955
1928	1,467	427	686	696	611	702	731	446	696	720	772	727	754	849
1929	1,2158	628	571	579	508	584	609	680	579	599	657	605	628	707
1930	1,4962	709	702	713	266	719	749	768	713	737	805	745	773	870
1931	0,7808	399	366	372	226	375	391	373	372	385	495	389	403	454
1932	0,9153	618	430	436	383	440	458	413	436	451	497	455	473	532
1933	1,3973	627	656	665	642	672	700	732	666	689	701	695	722	812
1934	1,0168	445	477	484	431	489	509	612	484	501	483	506	525	591
1935	1,7573	817	825	837	735	845	880	889	837	866	975	875	908	1022
1936	1,3203	476	620	629	552	635	661	651	629	651	759	657	682	768
1937	0,958	388	450	456	401	461	480	467	456	472	498	477	495	557
1938	1,2457	679	585	593	521	599	624	549	513	614	760	620	643	724
1939	1,2441	634	570	578	508	583	608	585	547	598	665	604	627	706
1940	1,3524	678	635	644	566	650	677	663	702	666	658	673	698	586
1941	0,5394	347	253	257	225	254	270	256	235	266	326	268	279	314
1942	0,9612	477	451	458	402	426	481	556	387	474	546	478	496	559
1943	1,7105	840	803	815	715	808	857	921	833	843	909	851	884	995
1944	0,8897	424	507	424	372	435	445	468	424	438	473	443	459	517
1945		596	586	638	725	417	374	520	515	478	527	490	489	392
1946		636	624	678	772	520	468	412	555	380	384	346	221	161
1947	0,7728	381	363	368	323	364	383	417	367	381	413	385	399	449
1948	0,9171	452	395	437	384	421	475	444	315	452	462	456	474	533
1949	0,8116	400	386	386	339	336	456	368	545	400	346	404	419	472
1950	1,7132	845	873	816	717	796	802	949	882	844	887	853	885	996
1951	1,7129	844	740	816	649	903	901	899	683	844	977	852	885	996
1952	1,1668	575	503	392	502	552	613	460	531	575	595	581	603	678
1953	0,8706	429	331	421	401	358	409	482	446	429	486	433	450	506
1954	1,4336	707	689	704	665	615	760	795	639	707	835	713	740	834
1955	1,4644	722	597	719	574	702	674	757	703	722	793	729	756	851
1956	0,9727	479	343	466	418	461	477	445	431	479	364	484	502	566
1957	1,4749	579	550	579	491	639	624	596	555	579	562	585	607	683
1958	0,3965	688	653	549	584	760	818	697	682	688	742	695	721	812
1959	0,5816	287	244	310	243	304	273	290	267	287	309	289	300	338
1960	1,0307	508	441	491	431	507	582	514	461	508	548	513	532	599
1961	0,3047	643	683	644	546	709	614	533	719	643	558	649	674	759
1962	1,2362	609	589	396	500	560	709	662	591	609	657	615	638	719

Année	Vecteur	Hopita	BelAir	CManue	Gorée	Ouaka	Yoff	MbaoT	Hann	Pikine	Rufisque	Bambilo	SebiCER	Sebissou
1963	1,0501	518	476	525	456	505	451	555	441	517	642	523	542	611
1964	1,2054	595	536	661	504	579	570	527	597	591	492	600	622	747
1965	0,8425	415	395	407	400	405	412	385	410	415	393	419	435	664
1966	1,1546	569	542	607	668	555	595	577	562	569	577	575	596	552
1967	1,8706	922	878	937	759	899	895	954	929	922	1000	894	718	1140
1968	0,3904	192	183	160	184	188	260	171	228	192	175	282	262	250
1969	1,4998	739	704	677	827	721	751	703	725	739	820	754	774	897
1970	0,4377	216	205	248	110	210	177	206	167	216	221	336	358	375
1971	0,8636	426	405	402	372	415	367	385	386	426	452	494	532	496
1972	0,2577	127	121	116	120	124	117	181	129	127	125	118	352	154
1973	0,6227	307	292	294	243	299	287	293	277	307	389	364	333	325
1974	0,7028	346	310	334	269	337	366	373	387	363	351	332	353	400
1975	1,3484	665	726	624	543	648	564	696	668	691	783	671	648	746
1976	0,7607	375	369	500	380	366	388	371	333	339	383	379	420	380
1977	0,3085	152	161	147	100	148	171	131	145	132	151	257	249	238
1978	0,6914	341	327	329	258	332	323	358	355	413	292	455	337	551
1979	0,7246	357	359	345	292	348	341	347	307	364	354	463	519	492
1980	0,7205	355	336	340	289	346	378	372	356	476	363	358	372	431
1981	0,726	358	300	346	304	349	356	371	252	392	342	381	427	422
1982	0,7966	393	379	379	333	383	310	390	401	356	585	401	411	463
1983	0,3749	185	160	178	157	180	156	210	172	209	179	214	194	218
1984	0,5023	247	236	239	210	241	236	223	226	261	189	278	364	292
1985	0,9837	485	519	468	411	473	509	456	505	437	347	349	539	572
1986	0,8442	416	446	402	353	408	388	400	387	416	448	451	426	491
1987	0,8672	427	421	413	363	417	443	437	407	426	420	447	453	504
1988	0,9509	469	459	453	398	457	439	452	472	469	513	?????	523	553
1989	1,1835	583	569	564	502	569	580	623	547	622	278	591	571	688
1990	0,5407	266	101	257	189	260	263	307	254	321	287	249	364	314
1991	0,5379	265	252	256	194	258	270	265	232	252	274	266	308	313
1992	0,4356	215	152	207	189	209	180	196	207	186	231	308	330	253
1993	0,6553	323	309	312	102	315	326	295	312	367	348	326	329	381

Source: KANE 1995

Différentes valeurs caractéristiques (minima, quantiles, maxima et moyennes) ont été établies à l'issue de la reconstitution par le vecteur régional.

Tableau 50- Statistiques des pluies homogénéisées

		Hopita	Bel A	CMan	Gorée	Ouaka	Yoff	Mbaot	Hann	Pikine	Rufisq	Bambi	SebiC	Sebiss
Min		127	101	116	100	124	117	131	129	127	125	118	194	154
25°		362	344	352	309	348	366	372	355	382	356	382	405	429
50°		461	448	445	407	449	459	458	444	473	494	478	511	552
75°		628	588	620	560	611	614	620	588	620	658	619	642	723
Max		922	878	937	827	903	901	954	929	922	1000	894	908	1140
Moy	1920-93	491	467	479	435	481	492	499	473	497	519	507	529	575
	1921-50	553,9	540,8	548	499,3	538,8	555,3	573,5	538,5	559	605,9	567,1	588,6	627,5
	1931-60	565,9	531,5	547,3	496,6	544,2	571	572,7	536,6	555,6	599,2	560	575,9	633,4
	1941-70	554,5	517,4	532,9	496,2	530,3	552,5	550,6	527,5	539,6	567,3	549,8	557,3	632,2
	1951-80	489,6	456,3	471,3	425,9	483,2	495,6	490,5	470,3	495,6	513	513,7	527,7	593
	1961-90	423,3	406,2	413,1	368	414,4	413,9	421,6	411,2	432	425,5	445,4	466,9	514,8
	1968-93	355	338,5	345,8	295,8	346,2	344,1	354,3	339,9	365,3	357,7	384,2	413,4	430,7
	1970-93	345,8	329,8	339,7	278,4	337,2	330,6	347,4	328,5	357	346	373	404,7	418,8

Deux ajustements de lois statistiques sous DIXIOT ont été faits sur les valeurs annuelles observées puis sur les valeurs reconstituées. Les tableaux suivants indiquent les différentes hauteurs de pluies annuelles pour des périodes de retour déterminées.

Tableau 51- Hauteurs fréquentielles des pluies annuelles observées

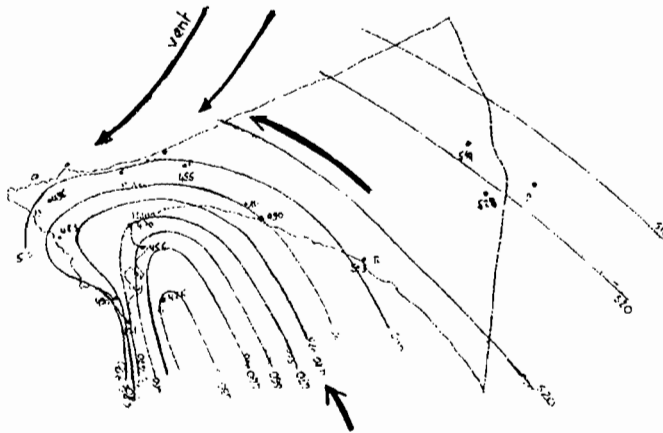
Stations	Récurrences sèches						Moy	Méd	Mode	Récurrences humides				
		Fréq	0,01	0,02	0,05	0,1				0,5	0,9	0,95	0,96	0,98
	Lois	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans		2 ans		10ans	20 ans	25 ans	50 ans	100 ans	
Yoff	Goodr	133,4	157,1	201,8	250,6	491,7	477,3	446,6	750,3	831,1	854,7	922,6	983,9	
Ouakam	Goodr	139,3	161,6	204,0	250,4	480,6	466,5	436,4	728,0	805,5	828,2	893,4	952,3	
Hôpital	Goodr	142,3	166,8	212,4	261,2	491,2	480,0	457,2	734,4	808,4	830,0	891,8	947,3	
C, Manuel	Goodr	132,4	156,8	201,9	250,3	478,8	467,6	444,8	720,5	794,1	815,5	877,0	932,3	
Gorée	Goodr	89,4	113,7	158,7	207,0	435,3	424,1	401,1	676,8	750,4	771,9	833,3	888,6	
Bel Air	Goodr	107,3	134,1	182,8	234,3	467,6	458,4	440,7	711,2	742,8	783,7	804,8	865,0	
Hann	Goodr	136,9	158,3	199,1	244,2	473,1	458,0	424,8	720,8	799,3	822,3	888,6	948,6	
Pikine	Goodr	135,4	162,7	212,1	263,9	496,6	488,0	471,9	738,7	810,3	831,1	890,4	943,5	
MBaoTh	Fuite	132,4	162,1	212,2	262,1	499,0	479,5	439,7	760,8	852,2	879,8	961,2	1037,3	
	Pear3	133,8	163,9	213,9	263,3	499,0	478,0	435,5	761,8	855,8	884,3	994,9	1049,1	
Rufisque	Goodr	138,9	161,4	205,4	255,0	519,2	498,6	452,2	809,5	903,9	931,8	1012,2	1085,2	
Sébikot	Goodr	203,2	223,0	261,1	303,2	519,4	504,6	471,9	754,1	828,9	850,9	914,2	971,5	
SebiSoeur	Pear3	150,1	187,2	247,8	306,6	574,8	554,3	512,8	869,6	972,1	1003,1	1094,6	1180,7	
Pout	Pear3	161,2	184,7	222,3	258,2	414,8	404,8	404,9	584,3	641,5	658,7	709,4	756,7	
Bambilor	Pear3	163,3	194,2	244,2	292,3	507,4	492,1	461,5	742,0	822,5	846,8	918,4	985,6	

Tableau 52- Hauteurs fréquentielles des pluies annuelles homogénéisées

Station	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	MOY	E.T	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
Hôpital	142,3	166,8	212,4	261,2	329,3	480,0	491,1	183,4	645,4	734,4	808,4	891,8	947,3
Bel Air	107,3	134,1	182,8	234,3	305,1	458,4	467,4	185,2	623,5	711,2	783,7	865,0	918,8
CManuel	132,4	156,8	201,9	250,3	318,0	467,6	478,8	182,1	632,0	720,5	794,1	877,0	932,3
Gorée	89,4	113,7	158,7	207,0	274,6	424,1	435,0	183,1	588,4	676,8	750,4	833,3	888,6
Ouakam	139,3	161,6	204,0	250,4	316,5	466,5	480,5	185,4	635,6	728,0	805,5	893,4	952,3
Yoff	133,4	157,1	201,8	250,6	320,1	477,3	491,6	194,2	654,0	750,3	831,1	922,6	983,9
Thiaroye	148,3	169,5	210,7	256,9	324,1	480,9	499,0	196,7	662,5	763,5	848,8	946,5	1012,3
Hann	136,9	158,3	199,1	244,2	309,1	458,0	473,2	185,2	627,5	720,8	799,3	888,6	948,6
Pikine	135,4	162,7	212,1	263,9	335,0	488,0	496,5	183,6	651,9	738,7	810,3	890,4	943,5
Rufisque	152,1	177,7	220,9	264,8	327,7	477,2	519,3	215,7	698,1	835,1	979,4	1174,2	1327,5
Bambilor	157,5	184,0	232,1	282,4	351,2	499,5	507,4	177,0	657,8	741,6	810,7	888,1	939,2
Sébi CER	203,2	223,0	261,1	303,2	364,2	504,6	519,4	175,3	665,4	754,1	828,9	914,2	971,5
Sébi-Soeu	166,5	193,2	243,9	299,3	378,4	557,9	574,8	221,5	760,2	870,9	963,6	1068,9	1139,4

Les ajustements n'étant pas faits sur des données identiques, des différences de valeurs existent entre ces deux tableaux pour certaines stations. Les récurrences prévues par les pluies homogénéisées sont très souvent plus élevées. A partir du tableau des données homogénéisées, KANE A. B, (1995) a dessiné la carte des isohyètes des pluies annuelles de récurrence décennale que nous reprenons ci-dessous.

Carte 9- Isohyètes des hauteurs de pluies annuelles de période de retour décennale



Les séries des stations expérimentales ne dépassent pas 2 ans et ne peuvent donc faire l'objet d'une étude statistique. Nous y avons déjà fait quelques commentaires et ne pouvons qu'espérer que leur observation soit pérennisée.

Après un aperçu sur la pluviographie à Yoff, nous procéderons à une étude statistique des pluies exceptionnelles d'1 à 20 jours consécutifs.

2 LA PLUVIOGRAPHIE

La pluviographie ou étude fine des averses consiste à analyser les intensités de pluie tombées selon le temps. Il est précédé d'un dépouillement des enregistrements par PLUVIOM. Les données sont ensuite récupérées sous EXCEL pour tracer les hyétogrammes avec des programmes intermédiaires comme ARES par exemple. Nous renvoyons au manuel de PLUVIOM pour des informations sur le dépouillement des pluviogrammes. Quelques définitions utiles sur les averses sont données aussi en annexe.

Dans la région de Dakar, seule la station de Dakar - Yoff dispose d'un pluviographe. Ce type de données a été aussi collecté à la station expérimentale des Parcelles Assainies en 1995.

2.1 La pluviographie à Dakar Yoff

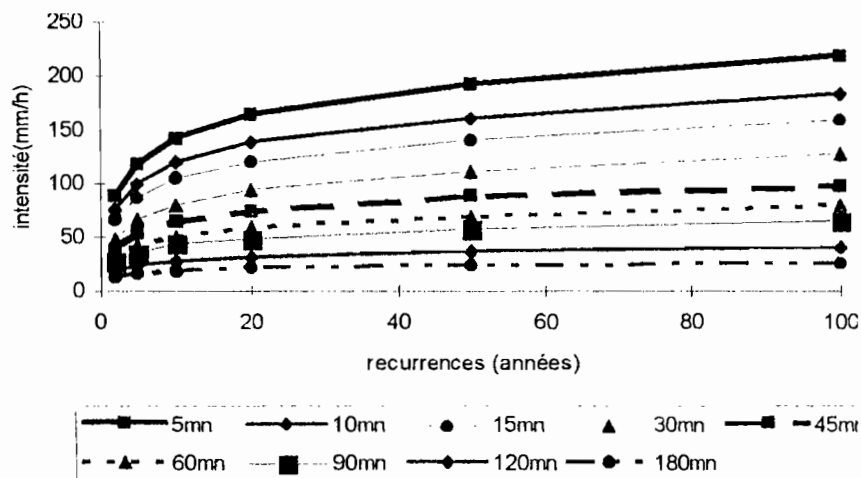
L'étude statistique (actuellement menée par DACOSTA H.) sur la pluviométrie dans la région a concerné les enregistrements pluviographiques des averses de Dakar-Yoff sur la période 1974-1991. Les différentes hauteurs et intensités à certaines durées, ont été obtenues.

Tableau 53- Hauteurs fréquentielles des averses sur la période 1974-1991 à Dakar - Yoff

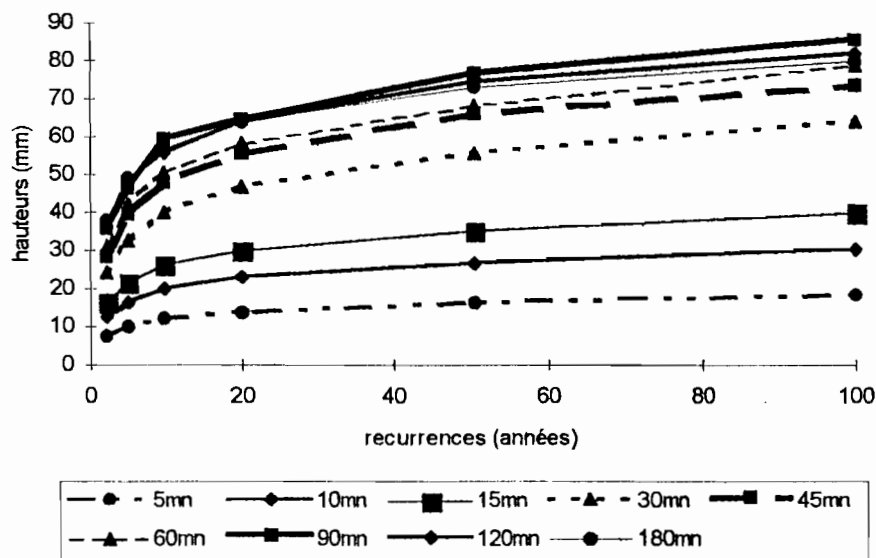
Récurrences	Durée	5 mn	10 mn	15 mn	30 mn	45 mn	60 mn	90 mn	120 mn	180 mn
	Nb pluies	105	105	104	97	81	68	55	43	31
Intensités	freq/temps	5 mn	10 mn	15 mn	30 mn	45 mn	60 mn	90 mn	120 mn	180 mn
2 ans	0,5	89,1	75,1	65,9	48,1	38,0	31,3	26,9	18,1	12,7
5 ans	0,2	118,7	99,4	87,4	65,7	52,9	42,0	34,7	24,2	16,4
10 ans	0,1	142,7	119,5	104,8	80,1	63,9	50,4	44,6	27,8	18,9
20 ans	0,05	164,9	138,1	121,0	94,1	74,2	58,6	48,4	32,0	21,3
50 ans	0,02	192,6	161,2	141,1	111,8	88,2	68,6	57,5	37,3	24,4
100 ans	0,01	218,3	182,5	159,7	128,1	98,1	79,1	64,4	41,1	26,6
Hauteurs	5 mn	10 mn	15 mn	30 mn	45 mn	60 mn	90 mn	120 mn	180 mn	
2 ans	0,5	7,4	12,5	16,5	24,1	28,5	31,3	35,9	36,1	38,0
5 ans	0,2	9,9	16,6	21,8	32,9	39,7	42,0	46,3	48,4	49,1
10 ans	0,1	11,9	19,9	26,2	40,1	47,9	50,4	59,5	55,7	56,7
20 ans	0,05	13,7	23,0	30,3	47,0	55,7	58,6	64,5	64,0	64,0
50 ans	0,02	16,1	26,9	35,3	55,9	66,2	68,6	76,7	74,7	73,1
100 ans	0,01	18,2	30,4	39,9	64,0	73,5	79,1	85,9	82,2	79,8

Ces données ont servi à tracer les courbes intensité-durée-fréquence (IDF) et hauteur-durée-fréquence (HDF).

Graphique 14- Courbes IDF pour la station de Yoff



Graphique 15- Courbes HDF pour la station de Yoff



En 5 mn, l'intensité la plus élevée qui peut tomber est de 218,3 mm/h, ce qui constitue une hauteur d'eau de 18,2 mm. Quant à l'intensité de durée de retour centennale, qui pourrait être enregistrée en 180 mn, elle donnerait 79,8 mm d'eau.

L'achèvement de cette étude est liée à la disponibilité des enregistrements des périodes antérieure à 1974 et postérieure à 1991, à la Météorologie Nationale. Leur dépouillement rendrait l'échantillon plus consistant et plus représentatif en s'étendant sur la période humide et sur les années 1990. L'étude de cette dernière période pourrait indiquer si réellement, il s'opérerait un retour vers une situation moyenne voire excédentaire.

2.2 La pluviographie aux Parcelles Assainies

Comme il ne s'agit que d'une seule année, les résultats détaillés des averses sont présentés dans les tableaux suivants. Notons qu'un seuil de traitement pour les averses supérieures à 3 mm a été défini pour le logiciel.

Tableau 54- Hauteur maximale observée à divers pas de temps aux Parcelles Assainies

N°	H (mm)	Date	H et mn	5	10	15	30	45	60	90	120	180	Durée
1	10	23. 6.1995	00:06	3.3	4.5	6	8	9.3	10	10	10	10	59
5	3	12. 7.1995	01:48	0.9	1.5	2	2.6	3	3	3	3	3	33
6	4	12. 7.1995	05:47	1.5	1.5	1.8	2.2	3.5	3.5	4	4	4	70
7	49	22. 7.1995	18:24	7.5	13	18.5	23.3	26.5	26.5	33	45	49	147
9	39.5	1. 8.1995	23:14	10	17.5	24	30	31	36.5	39	39.5	39.5	93
13	11	3. 8.1995	03:03	1.5	2	2.5	3	3.5	3.5	5.6	6	9	221
15	7.5	15. 8.1995	05:23	4.1	6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	15
16	96.5	17. 8.1995	01:38	9.5	14.5	17.5	30.5	44	51	59.9	64	71.2	804
17	8.5	20. 8.1995	04:34	3	5.4	6.9	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	24
18	26	23. 8.1995	05:49	7.8	14.2	21	26	26	26	26	26	26	26
19	43	23. 8.1995	20:35	7.1	12.5	17.5	24.3	32.5	36.5	40	41.6	42.5	195
24	28	25. 8.1995	17:36	8	13.4	15.8	20.4	21.7	22.7	26.4	28	28	115
31	56.5	30. 8.1995	02:57	10.5	19.7	25.5	40.1	42	53.9	56.5	56.5	56.5	69
32	14	4. 9.1995	05:34	9.7	13.5	14	14	14	14	14	14	14	11
34	5.5	11. 9.1995	04:12	2	3.5	4.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	19
40	4.5	19. 9.1995	19:23	1.3	2.5	3.5	3.9	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	34
45	5.5	22. 9.1995	22:20	3.7	4.5	5	5.3	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	31
46	6	23. 9.1995	07:42	2.2	3.8	5.3	6	6	6	6	6	6	25
47	20.5	8.10.1995	01:26	4	5.8	7.3	12.7	15.2	15.8	16.7	18.7	20.5	140

Tableau 55- Intensité maximale des averses tombées aux Parcelles à divers pas de temps

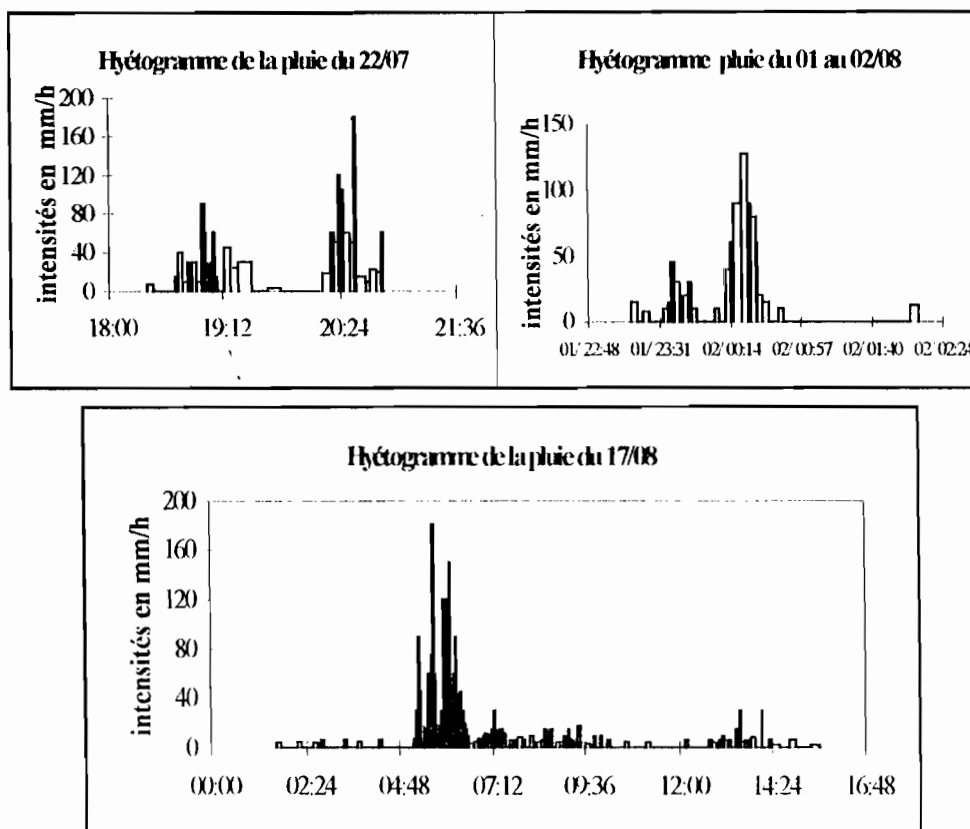
N°	H (mm)	Date	H et mn	5	10	15	30	45	60	90	120	180
1	10	23. 6.1995	0.0042	39.6	27	24	16	12.4	10	6.7	5	3.3
5	3	12. 7.1995	0.075	10.8	9	8	5.2	4	3	2	1.5	1
6	4	12. 7.1995	0.241	18	9	7.2	4.4	4.7	3.5	2.7	2	1.3
7	49	22. 7.1995	0.7667	90	78	74	46.6	35.3	26.5	22	22.5	16.3
9	39.5	1. 8.1995	0.9681	120	105	96	60	41.3	36.5	26	19.8	13.2
13	11	3. 8.1995	0.1271	18	12	10	6	4.7	3.5	3.7	3	3
15	7.5	15. 8.1995	0.2243	49.2	36	30	15	10	7.5	5	3.8	2.5
16	96.5	17. 8.1995	0.0681	114	87	70	61	58.7	51	39.9	32	23.7
17	8.5	20. 8.1995	0.1903	36	32.4	27.6	17	11.3	8.5	5.7	4.3	2.8
18	26	23. 8.1995	0.2424	93.6	85.2	84	52	34.7	26	17.3	13	8.7
19	43	23. 8.1995	0.8576	85.2	75	70	48.6	43.3	36.5	26.7	20.8	14.2
24	28	25. 8.1995	0.7333	96	80.4	63.2	40.8	28.9	22.7	17.6	14	9.3
31	56.5	30. 8.1995	0.1229	126	118.2	102	80.2	56	53.9	37.7	28.3	18.8
32	14	4. 9.1995	0.2319	116.4	81	56	28	18.7	14	9.3	7	4.7
34	5.5	11. 9.1995	0.175	24	21	18	11	7.3	5.5	3.7	2.8	1.8
40	4.5	19. 9.1995	0.8076	15.6	15	14	7.8	6	4.5	3	2.3	1.5
45	5.5	22. 9.1995	0.9306	44.4	27	20	10.6	7.3	5.5	3.7	2.8	1.8
46	6	23. 9.1995	0.3208	26.4	22.8	21.2	12	8	6	4	3	2
47	20.5	8.10.1995	0.0597	48	34.8	29.2	25.4	20.3	15.8	11.1	9.4	6.8

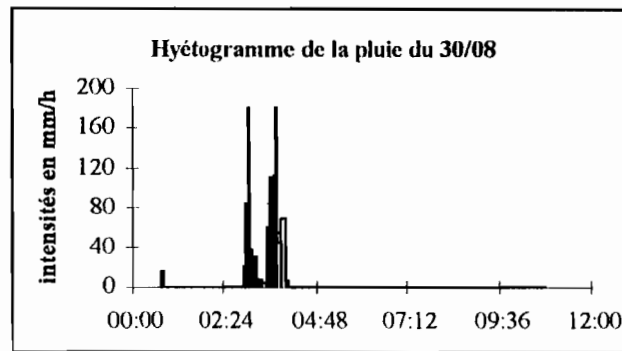
En 5 mn, il est tombé une hauteur de 10,5 mm le 30/08/1995 correspondant à une hauteur de fréquence de retour de 6 ans pour la station de Yoff. Quant à la hauteur décennale (19,9 mm), elle a été approchée ce même jour avec 19,7 mm en 10 mn. En somme cette pluie du 30/08/1995 a présenté les plus fortes hauteurs aux pas de temps de 5 à 60 mm. Au delà, les plus fortes valeurs ont été enregistrées avec la pluie du 17/08, qui a effectivement plus duré.

Quant aux intensités observées, le maximum a été de 126 mm/h en 5 mn (récurrence 6,5 ans) avec la pluie du 30 août. En 10 ans, un maximum de 118,2 mm (presque une période de retour décennale) a été atteint.

A la suite des hauteurs et des intensités, voici quelques hyétoigrammes

Graphique 16- Hyétoigrammes de pluies enregistrées aux Parcelles Assainies





Les autres hyétogrammes sont en annexe ainsi que le dernier élément des résultats obtenus sous PLUVIOM à savoir les indices d'érodibilité des sols de Wischmeyer.

Conclusion sur la distribution et la répartition des pluies

L'étude de la pluviométrie de Dakar fait ressortir la difficile question du tracé des isohyètes. En effet sur la région, celles-ci ne suivent pas l'uniformité globale (en Afrique de l'ouest) de la progression des lignes d'égale valeur de pluie du nord vers le sud. La région présente deux domaines: la zone intérieure où les isohyètes sont conformes au reste du pays et la tête de la presqu'île, ouverte aux 4 vents. Celle-ci présente selon KANE (1995) une sorte de distribution circulaire croissant à partir de l'île de Gorée. Comme il n'existe pas de postes au sud de l'île, il est difficile de confirmer cette disposition. Nous préconisons dans nos travaux ultérieurs, un tracé automatique par un logiciel de géostatistique comme SURFER si les informations sont consistantes.

Par ailleurs, nous pensons que la tête de la presqu'île, très avancée dans l'océan, est soumise à des vents d'origine et de dynamisme variant, qui perturbent la disposition des lignes de pluie. En effet les pluies aussi bien orageuses que continues, sont confrontés aux vents du nord qui restent maîtres sur le domaine marin. L'Équateur Météorologique ne présente-t-il pas une orientation presque méridienne, en suivant le tracé des côtes ouest-africaines ? Ainsi sur la tête de la presqu'île de Dakar, les perturbations pluvieuses sont déplacées par l'action des vents et selon les forces en confrontation, le maximum de l'averse peut tomber, au nord ou au sud, à l'est ou plus à l'ouest. Si les flux boréaux sont supérieurs, la pluie de mousson peut se concentrer sur la partie sud; à l'inverse, la pluie peut « remonter » jusqu'aux stations du littoral nord.

* *
*

La construction d'une pluie de projet à partir des observations pluviographiques à la station de Dakar-Yoff était envisagée mais les lacunes importantes et la non disponibilité d'enregistrements sur la période de bonne pluviométrie (antérieure à 1974) nous ont obligé à différer ce travail.

3 LES PLUIES EXCEPTIONNELLES CONSÉCUTIVES

Dans le cadre d'un mémoire de maîtrise, une telle démarche avait été adoptée sur la Casamance (BASSEL 1992). La problématique qui sous-tendait ce travail est certes différente de celle de la thèse que nous présentons. Cependant il est admis que les ouvrages d'aménagement agricole comme ceux d'assainissement doivent reposer sur une étude des pluies exceptionnelles. Le dimensionnement des aménagements hydro-agricoles en particulier les digues anti-sel, qui jusqu'ici a reposé sur la crue de fréquence décennale, ne garantissait pas toujours de bons résultats. Cette fréquence était souvent dépassée par des épisodes pluvieux de plusieurs jours consécutifs (1 à 20). Il est certain que la pluviométrie de la Casamance est beaucoup plus importante que celle de la région de Dakar, où il est très rare d'enregistrer des séries pluvieuses de 20 jours consécutifs. Une période de 10 jours serait plus raisonnable mais nous avons conservé la même durée afin de pouvoir comparer avec les résultats obtenus sur le bassin de la Casamance et ceux de LAHAYE (1980) sur la Haute Volta (actuel Burkina Faso).

En milieu urbain, cette étude est surtout utile pour les zones où l'évacuation pose problème (remontée de nappes, topographie basse ...). Les pluies successives du mois d'août 1995 ont posé autant de problèmes dans beaucoup de quartiers de la ville que celles de l'année précédente dont les fréquences de retour étaient très faibles (121,7 mm le 13 août, 102,3 mm le 21 septembre). Les eaux stagnantes n'étaient pas encore évacuées que d'autres quantités venaient s'y ajouter. Ceci montre que le cumul des fortes pluies peut donner la même conséquence que celle des crues rares.

3.1 Méthodologie

Elle est identique à celle utilisée dans le travail ci-dessus cité. La constitution de 8 échantillons de pluies maximales d'un à vingt jours consécutifs pour chaque station est la première opération. La hauteur maximale journalière est fournie par les relevés. Par contre, les autres hauteurs sont calculées après plusieurs combinaisons pour déterminer la série qui renferme la hauteur maximale et ceci pour chaque durée allant de 2 à 20 jours consécutifs. Ce travail fastidieux serait évité avec la disponibilité d'un programme pour automatiser ce traitement. Le tableau suivant donne en guise d'exemple, les valeurs établies pour la station de Pikine, celles des autres sont en annexe. Un examen des tableaux montre que certaines stations ont enregistré des valeurs assez importantes pour un climat aussi proche du milieu sahélien.

Tableau 56- Pluies maximales d'1 à 20 jours consécutifs à la station de Pikine

Année	Max 1j	Max 2j	Max 3j	Max 4j	Max 5j	Max 10j	Max 15j	Max 20j
1973	36,2	64,4	64,4	66,2	66,2	74	80,5	118,4
1974	60,7	69,8	103,1	112,2	112,2	127,5	186,9	216,5
1975	136,7	148,6	148,6	194,2	194,5	273,5	294,6	306,9
1976	50,3	68,4	68,4	72,4	73,2	101	120,2	129,3
1977	44,3	55,3	55,3	55,3	55,3	55,6	55,7	72,2
1978	54,9	65,3	65,3	65,3	67,1	70,3	78,4	137,1
1979	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	99,3	101,3	106,7
1980	141,2	153	157,7	157,7	165,7	166,5	209,8	210,6
1981	45,4	64,6	93,6	93,6	139	154,4	154,4	166
1982	36,7	53,1	68,4	68,4	68,4	106,7	118,4	126,1
1983	58,3	61,5	61,5	77,6	77,6	80	80,9	96,2
1984								
1985	57	78,5	97,8	97,8	107,8	126,6	196,4	202,3
1986	73,1	79,8	82,9	82,9	97,4	102,7	147,9	172,6
1987	86,4	94,1	94,1	96,6	96,6	96,6	115,1	157,1
1988	48,3	77,7	83,6	88,1	99,8	146,8	164,8	226,1
1989	118,1	146,1	166,1	194,7	195,7	195,7	237,6	282,1
1990	41,9	47,1	47,1	47,1	65,5	71,1	89,5	131,4
1991	33,2	43,4	45,4	60,1	64,4	91,8	106,1	169,8
Moy	65,2	79,0	86,3	93,4	99,8	118,9	141,0	168,2

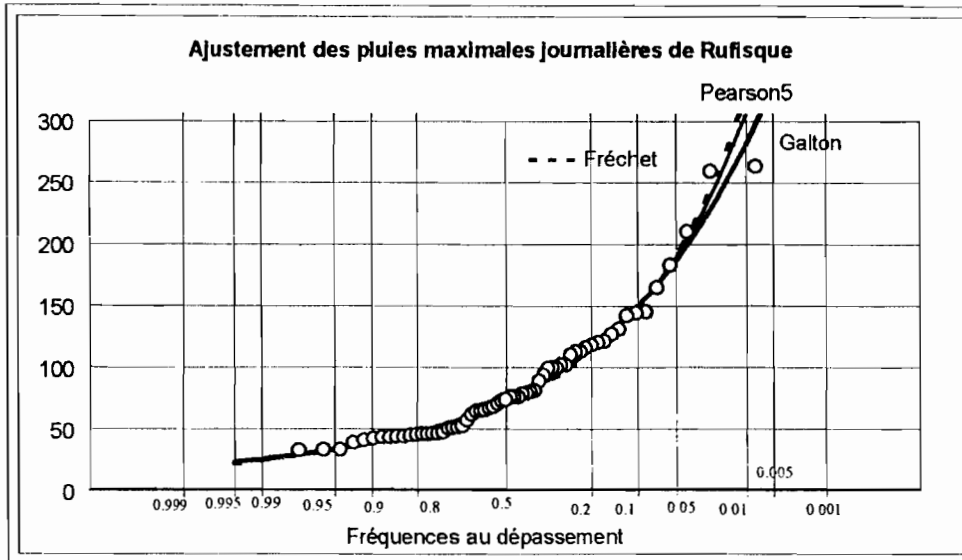
3.1.1 Ajustements des maxima annuels

Chacune de ces séries sera saisie sous DIXLOI (les années lacunaires ne sont pas saisies) et des lois statistiques seront ajustées à ces valeurs. L'ajustement aux données de pluie permet d'obtenir les hauteurs maximales pour différentes périodes de retour. Dans ce travail, l'ajustement est fait avec le logiciel DIXLOI. Ce traitement est de plus en plus fait avec SAFARHY⁹, autre logiciel développé au laboratoire d'hydrologie de Montpellier (LUBES et al 1995).

3.1.2 Choix des lois

Il est fondé d'abord sur l'observation du graphique de l'ajustement pour voir la meilleure loi. c'est à dire celle qui prend en compte le maximum de points surtout les valeurs extrêmes. Avec DIXLOI, la meilleure loi est choisi selon les résultats de différents tests associés au logiciel: test de BRUNET-MORET, test du χ^2 .

⁹ voir en annexe

Graphique 17- Ajustement de lois aux pluies maximales journalières de Rufisque

Avant de passer aux résultats, rappelons que si l'ajustement conduit à une et une seule loi adéquate pour l'ensemble des stations, on pourrait la considérer comme loi régionale et les récurrences obtenues seraient comparables.

3.2 Résultats des ajustements

Après avoir choisi les meilleures lois, nous avons relevé les hauteurs de pluies maximales consécutives selon différentes périodes de retour. Remarquons que les récurrences sèches ont été écartées car elles n'intéressent pas cette étude. Les résultats des pluies maximales journalières et celles de 2 ans consécutifs sont présentés dans les tableaux suivants, les autres sont renvoyés en annexe.

Tableau 57- Hauteurs récurrentielles de la pluie maximale journalière par année

Station	Loi adéquate	Moy	E Type	0,5	0,8	0,9	0,925	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
				2 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Pikine	Pearson 5	65,2	33,6	53,1	79,7	106,7	120,3	142,6	156,6	176,7	209,5	280,6
	Fréchet			53,0	79,3	107,1	121,4	145,4	160,7	183,1	220,6	304,8
Pout	Fuite	73,9	26,8	71,6	95,0	108,4	113,5	120,2	123,8	128,2	134,3	144,0
	Pearson 3			71,4	94,9	108,6	113,9	120,9	124,6	129,2	135,5	145,8
Rufisque	Pearson 5	85,8	50,9	71,8	114,4	149,4	165,2	189,0	202,9	221,8	250,4	305,5
	Galton			72,3	115,9	149,9	164,6	186,0	198,2	214,4	238,1	281,2
Sebikotane	GumbelV	79,5	33,2	73,9	103,7	123,4	131,3	142,3	148,3	156,0	166,8	185,1
	Galton			73,5	104,0	124,4	132,7	144,1	150,4	158,5	169,8	189,4
	Pearson 3			71,0		128,6	138,0	151,0	158,1	167,1	179,6	200,8
Bel Air	log-gamma	72,7	32,4	65,4	96,1	118,0	127,1	140,1	147,4	156,8	170,4	194,5
Yoff	Pearson 5	70,7	31,7	64,4	93,1	113,1	121,4	133,1	139,6	148,1	160,3	181,9
Hann	Pearson 5	69,5	31,7	61,7	89,7	110,8	119,9	133,3	140,9	151,1	166,1	193,7
AlbaTh	Goodrich	76,5	28,0	71,7	93,0	115,4	121,7	130,0	134,4	139,9	147,4	159,5
	Galton			71,5	98,0	115,6	122,6	132,4	137,7	144,6	154,2	170,7

A partir de la seconde colonne on observe que les stations ne suivent pas toutes, une seule et unique loi. Les stations de Pikine, Rufisque, Yoff et Hann suivent la loi de Pearson 5. Les autres suivent des lois différentes. Cette absence d'isotropie nécessite d'autres procédés pour aboutir à une loi unique.

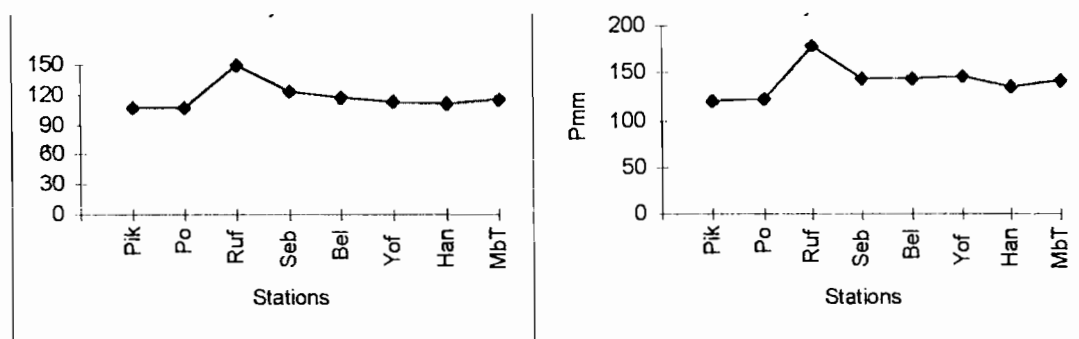
Tableau 58- Hauteurs de pluie de 2 jours consécutifs pour différentes périodes de retour,

Station	Loi adéq	Moy	EctT	0,50	0,80	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
				2 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Pikine	Frechet	79,0	34,7	67,6	95,1	121,2	133,9	154,4	167,0	184,8	213,6	274,2
	Pearson 5			67,7	95,7	121,4	133,8	153,1	164,9	181,4	207,4	260,7
Pout	Pearson 5	83,9	31,4	79,1	105,8	123,1	130,1	139,7	144,9	151,7	161,2	177,6
Rufisque	Pearson 3	103,8	55,5	91,1	142,7	178,0	192,1	211,6	222,2	235,7	254,5	286,2
	Galton			89,8	140,0	177,5	193,5	216,5	229,5	246,5	271,2	315,5
Sébik	Gauss	92,1	40,8	92,1	125,9	143,5	149,9	158,1	162,3	167,6	174,5	185,4
	Goodrich			91,4	126,8	144,9	151,4	159,6	163,9	169,0	175,9	186,5
	Pearson 3			87,7	125,8	148,4	157,0	168,5	174,6	182,3	195,0	209,8
	Gumb Mo			85,4		145,4	155,0	168,4	175,6	185,0	198,0	220,3
Bel Air	Polya	92,0	39,9	86,0	134,6	144,0	153,0	165,0	171,0	179,0	179,0	179,0
Hann	Pearson 5	86,6	38,1	79,1	112,6	135,9	145,6	159,4	167,0	177,0	191,4	216,8
Yoff	Galton	89,7	45,9	81,2	119,3	145,5	156,3	171,4	179,8	190,6	205,9	232,7
	Gumbel V			82,6	118,7	142,6	152,2	165,5	172,7	182,1	195,1	217,3
MBath	Galton	93,4	36,3	87,9	120,6	141,4	149,6	161,0	167,1	174,9	185,8	204,2
	Peason 3			87,6	121,3	142,4	150,6	161,8	167,7	175,3	185,7	202,9

Il n'y a pas plus de deux stations qui suivent ensemble une même loi. La situation est conforme à celle des pluies maximales journalières.

Avec les 2 tableaux ci-dessus, nous avons dessiné les graphiques des hauteurs de récurrence décennale (pour 1 ou 2 jours consécutifs de pluie maximale) en d'autres termes, celles qui sont les plus utilisées comme paramètres de protection des ouvrages évacuateurs.

Figure X - Récurrences décennales des pluies maximales de 1 et 2 jours consécutifs



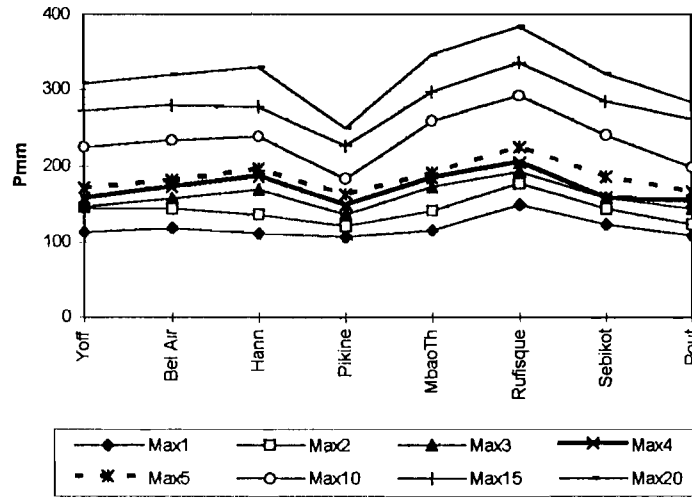
Les récurrences des autres durées consécutives sont représentées en annexe. La situation au niveau de ces pluies consécutives de 3 à 20 jours ne s'améliorent pas trop. Dans certains cas, on retrouve au maximum 3 stations sur les 8, qui suivent la même loi. Nous préconisons de passer aux valeurs réduites et d'agglomérer les observations non sans avoir dressé le tableau synthétique de l'ensemble des récurrences décennales pour toutes les stations de la région.

Tableau 59- Pluies maximales de 1 à 20 jours consécutifs de période de retour décennale

Station	Max1	Max2	Max3	Max4	Max5	Max10	Max15	Max20
D-Yoff	113,1	145,0	146,5	158,1	171,3	225,4	272,8	308,0
Bel Air	118,0	144,0	158,0	172,9	181,8	234,4	280,0	319,3
Hann	110,8	135,9	169,2	187,1	196,7	239,4	277,9	329,5
Pikine	106,7	121,2	136,6	149,6	163,2	184,3	227,4	250,3
MbaoTh	115,4	141,4	173,4	185,4	191,8	259,6	297,4	346,5
Rufisque	149,4	178,0	193,3	205,4	225,7	292,6	335,5	383,6
Sebikotane	123,4	143,5	158,5	158,9	186,8	241,4	284,4	320,4
Pout	108,4	123,1	144,1	154,2	166,9	198,8	261,7	284,0

Mieux que le tableau ci-dessus, le graphique suivant montre, au niveau des hauteurs décennales, la prépondérance régionale de la station de Rufisque, Celle de Pikine, comme pour les pluies observées, présentent les valeurs les plus faibles.

Graphique 18 - Récurrences décennales des pluies maximales d'1 à 20 jours consécutifs



En résumé sur l'ajustement, on constate que certaines lois apparaissent plus que d'autres mais il est clair qu'il n'y a pas adéquation d'une loi unique pour l'ensemble des stations, comme le montre le tableau suivant.

Tableau 60- Lois adéquates pour les pluies maximales consécutives des stations

Station	Max1	Max2	Max3	Max4	Max5	Max10	Max15	Max20
Pikine	Pearson 5	Frechet	Pearson 5	Frechet	Galton	Frechet	Galton	GumM
Pout	Fuite	Pearson 5	GumV	Galton	Pearson 3	Pearson 3	Galton	Pearson 5
Rufisque	Pearson 5	Pearson 3	Pearson 3	Galton	Galton	Galton	Galton	Fuite
Sébikotane	GumbV	Gauss	Pearson 3	Good	Fuite	GumM	Pearson 3	Pearson 3
Bel Air	logamma	Polya	Polya	Fuite	Galton	Polya	Polya	Polya
Hann	Pearson 5	Pearson 5	Galton	Pearson 5	Pearson 5	Pearson 3	Good	Polya
Yoff	Pearson 5	Galton	Goodrich	Goodrich	Goodrich	Goodrich	Goodrich	Goodrich
Mbath	Goodrich	GumbV	Frechet	Pearson 3	Pearson 3	Pearson 3	Pearson 3	Pearson 3

Ceci est un inconvénient parmi d'autres:

- l'ajustement n'est pas réalisable sur les stations de courte durée que nous avons dû écarter
- les fluctuations d'échantillonnage sont très importantes à cause de la diversité de la taille des échantillons
- les relations interpostes sont négligées si l'ajustement est individuel pour chaque station

Compte tenu de toutes ces considérations, nous proposons une autre démarche.

3.3 Recherche d'une loi à l'échelle régionale

La recherche d'une loi à validité régionale pour Dakar peut s'opérer par une procédure de globalisation des observations fournies par l'ensemble des 8 stations, Celle-ci n'est permise cependant qu'avec la satisfaction de deux conditions:

- l'isotropie de la loi statistique c'est à dire la convenance d'une même loi pour l'ensemble des postes. Pour y arriver il faut donc un autre type d'ajustement ou tout simplement l'ajustement sur des valeurs autres que celles observées.
- l'indépendance des stations qui n'est vérifiée et établie que par une étude des corrélations entre les postes de mesures.

Nous nous proposons d'ajuster les lois hydrologiques sur des valeurs réduites. Quant à l'indépendance des stations, les différents coefficients de corrélation nous indiqueront ce qu'il en est.

3.3.1 Corrélations interpostes

L'étroitesse de la région de Dakar peut tenter de faire croire a priori que les corrélations entre les stations seront forcément bonnes. Nous expliquons la méthode de recherche des liaisons avant de présenter les résultats.

3.3.1.1 méthodologie

Les corrélations interpostes ont un double intérêt dans la mesure où elles permettent dans le cas d'un coefficient de corrélation significatif, de combler les lacunes de stations à observation discontinue ou brève et de procéder à leur extension au delà de leur période d'observation. La faiblesse du coefficient de corrélation établit l'indépendance entre les deux stations. Plusieurs logiciels comme STATT-CF, OPTIM mis au point par BADER (1991), le Vecteur Régional, permettent de montrer les relations entre les séries en fournissant le coefficient de corrélation pour deux échantillons considérés dans leur période commune. Sous EXCEL, la fonction DROITEREG permet de faire rapidement des corrélations. La calculatrice Hewlett Packard 15C simple à manipuler fournit des résultats identiques à ceux obtenus avec l'ordinateur. Nous avons cherché la relation entre stations géographiquement proches 2 à 2. En plus du coefficient de régression, on obtient les paramètres a et b qui permettent d'établir la droite de régression de la forme $Y = aX + b$. Celle-ci permet de combler les lacunes avec X variable de la série complète et Y valeur à chercher pour la série présentant des lacunes.

Il est utile de s'entendre d'abord sur la signification d'un coefficient de corrélation. Elle dépend de sa valeur et de la taille de l'échantillon. En ce qui concerne la valeur « il y a présomption de corrélation si le coefficient de corrélation r est supérieur à 0,87 » (LABROUSSE 1969). Le coefficient de corrélation est toujours compris entre -1 et +1.

La taille de l'échantillon reste prépondérante car « tout coefficient de corrélation calculé à partir d'un échantillon, tiré au sort, de couple (x,y), comporte en effet une zone d'indétermination, d'autant moins large que l'effectif de l'échantillon est plus important. La valeur vraie d'un coefficient de corrélation ne pourrait donc être déterminée qu'en étendant le calcul à une population infinie » (LIORZOU 1966). La valeur calculée de r est donc une estimation de la valeur vraie qu'on ne saurait déterminer.

Cette valeur calculée est variable suivant la taille de l'échantillon; LIORZOU (1966) propose un abaque qui permet de saisir la signification ou non du coefficient de corrélation (voir annexe).

3.3.1.2 résultats des corrélations interpostes

Le Tableau suivant donne les résultats obtenus. Nous remarquons que le coefficient de corrélation n'est pas significatif en fait, car hormis les corrélations de Pikine avec les autres stations, toutes les autres ne dépassent pas 0,70. Cette station trop proche de Hann et Mbao Thiaroye, introduit aussi un caractère de redondance dans l'observation de la pluviométrie. Nous rappelons aussi qu'au-dessous de 20 valeurs, un ajustement n'est pas très intéressant. Nous écarterons alors les stations de Pikine et de SébiCER, trop courtes et proches de stations à plus longue série, pour la confection de "l'agglomérations". Si l'isotropie d'une loi avait été établie, on pourrait passer dès à présent à la confection de la station-année.

Tableau 61 - Corrélations interpostes

Station X	Station Y	Nbre de valeurs	Coef Cor (R)	a	b
Dakar-Hann	Dakar-Yoff	42	0,70	0,68	24,94
Dakar-Yoff	B, Air-ORSTOM	28	0,65	0,64	23,04
Dakar-Yoff	Pikine	16	0,64	0,64	23,04
Mbao-Thiaroye	Pikine	16	0,92	1,18	-11,45
Dakar-Hann	Pikine	16	0,86	0,96	5,35
Mbao-Thiaroye	Dakar-Yoff	40	0,66	0,70	21,51
Mbao-Thiaroye	Rufisque	61	0,49	0,88	19,76
Rufisque	Sébikotane	24	0,16	0,10	72,50
Sébikotane	Sébi-CER	12	0,57	0,32	36,65
Sébikotane	Pout	12	0,40	0,34	46,00

3.3.2 Les valeurs réduites

L'isotropie d'une loi n'ayant pas été établie, même à l'intérieur des 8 échantillons d'une station, nous avons alors procédé à un changement de variable en considérant la valeur réduite à la place de la valeur brute.

3.3.2.1 méthode de constitution des valeurs réduites

La moyenne des pluies maximales journalières est calculée à partir de la 1^{ère} colonne des valeurs réelles observées. L'ensemble des 8 échantillons est alors divisé par cette moyenne de la série maximale journalière. La formule mathématique de calcul des valeurs réduites est donc la suivante:

$$p_i = P_i / P_{\text{moy}}$$

p_i valeur réduite.

P_i pluie maximale observée l'année i en une station donnée (ou pluie extrême de n jours consécutifs).

P_{moy} = moyenne des pluies maximales journalières observées à une station.

Chaque station à l'instar des valeurs réelles observées, aura 8 échantillons de valeurs réduites. Le tableau suivant montre les valeurs réduites de la station de Pikine, celles des autres stations figurent en annexe. Ces nouveaux échantillons de valeurs réduites vont être traités sous DIXLOI, d'abord par station isolée puis, dans le cas d'une isotropie de loi, les échantillons de même durée de toutes les stations seront agglomérées. Ainsi on obtiendra 8 échantillons de 324 valeurs pour l'ensemble de la région de Dakar.

Tableau 62- Valeurs de la station de Pikine

Année	Max 1j	Max 2j	Max 3j	Max 4j	Max 5j	Max 10j	Max 15j	Max 20j
1973	0,555	0,988	0,988	1,015	1,015	1,135	1,235	1,816
1974	0,931	1,071	1,581	1,721	1,721	1,956	2,867	3,321
1975	2,097	2,279	2,279	2,979	2,983	4,195	4,518	4,707
1976	0,771	1,049	1,049	1,110	1,123	1,549	1,844	1,983
1977	0,679	0,848	0,848	0,848	0,848	0,853	0,854	1,107
1978	0,842	1,002	1,002	1,002	1,029	1,078	1,202	2,103
1979	0,778	0,778	0,778	0,778	0,778	1,523	1,554	1,637
1980	2,166	2,347	2,419	2,419	2,541	2,554	3,218	3,230
1981	0,696	0,991	1,436	1,436	2,132	2,368	2,368	2,546
1982	0,563	0,814	1,049	1,049	1,049	1,637	1,816	1,934
1983	0,894	0,943	0,943	1,190	1,190	1,227	1,241	1,475
1984								
1985	0,874	1,204	1,500	1,500	1,653	1,942	3,012	3,103
1986	1,121	1,224	1,271	1,271	1,494	1,575	2,268	2,647
1987	1,325	1,443	1,443	1,482	1,482	1,482	1,765	2,410
1988	0,741	1,192	1,282	1,351	1,531	2,252	2,528	3,468
1989	1,811	2,241	2,548	2,986	3,002	3,002	3,644	4,327
1990	0,643	0,722	0,722	0,722	1,005	1,090	1,373	2,015
1991	0,509	0,666	0,696	0,922	0,988	1,408	1,627	2,604

3.3.2.2 distribution statistique des valeurs réduites

3.3.2.2.1 ajustement par station isolée

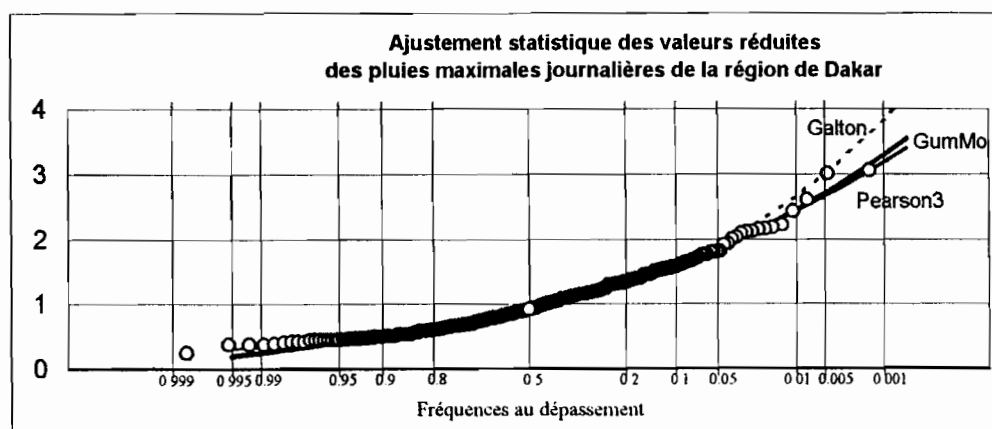
La loi de Galton s'ajustait assez bien aux valeurs réduites des 8 stations retenues. La seconde condition à savoir l'isotropie d'une loi statistique pour l'ensemble des postes de la région, étant obtenue, nous pouvons procéder à la globalisation de l'information.

3.3.2.2.2 ajustement des séries régionales de valeurs réduites

La méthode de la station-année ne tient plus compte de la position géographique d'une station mais considère globalement la zone, c'est à dire la région de Dakar. Nous avons saisi à nouveau ces 8 séries de 324 valeurs sous DIXLOI. Les graphiques suivants présentent les résultats obtenus. Nous ferons remarquer qu'à ce niveau de l'ajustement à des échantillons très étendus, le test de BRUNET-MORET et la fréquence au non dépassement donnent des valeurs nulles et c'est la plus faible valeur de test du χ^2 qui indique la meilleure loi.

Les échantillons de valeurs réduites pour l'étendue de la région de Dakar, suivent la même loi statistique, c'est à dire celle de *Gumbel* pour les pluies maximales consécutives d'un à cinq jours. A partir de dix jours et jusqu'à vingt jours, ils suivent la loi de *Goodrich*.

Graphique 19 - Ajustement des valeurs réduites de pluies maximales journalières.



3.3.2.3 interprétation des résultats

Sur le bassin de la Casamance, nous étions parvenus à l'isotropie de la loi de Gumbel pour les pluies maximales d'un à vingt jours consécutifs. La différence des deux conclusions pourrait s'expliquer par deux réalités: la rareté des événements pluvieux dépassant 5 jours consécutifs dans la région de Dakar et donc une différence climatique entre les deux zones. Il paraît de ce point de vue intéressant de reconduire ce travail pour une zone du nord du Sénégal, où l'on ne retrouverait peut-être pas la loi de Gumbel. Cela voudrait dire qu'il convient à chaque région climatique une loi hydrologique donnée et la région de Dakar apparaîtrait comme une transition entre les zones sahéliennes du nord et les zones subtropicales du sud.

3.4 Prédétermination des pluies exceptionnelles d'1 à 20 jours

3.4.1 Les valeurs récurrentielles

A partir des résultats des ajustements des lois de Gumbel pour la période de un à cinq jours et de Goodrich pour celle de dix à vingt jours, nous avons dressé le Tableau 63 qui présente les valeurs récurrentielles des valeurs réduites pour les durées de retour retenues.

Tableau 64- Valeurs récurrentielles des données réduites

Durée	Récurrences sèches				Médiane	E.C	Moy	Récurrences humides				
	100	50	20	10				2	10	20	25	50
1 j, max	0,306	0,336	0,401	0,482	0,942	0,461	1,008	1,63	1,855	1,922	2,12	2,303
5 j, max	0,416	0,501	0,64	0,777	1,402	0,667	1,512	2,383	2,757	2,876	3,242	3,606
10 j, max	0,679	0,791	0,972	1,152	1,97	0,874	2,114	3,254	3,744	3,9	4,379	4,855
15 j, max	0,859	0,986	1,196	1,402	2,342	1,004	2,507	3,818	4,382	4,561	5,112	5,659
20 j, max	0,974	1,121	1,364	1,602	2,689	1,161	2,88	4,395	5,047	5,254	5,891	6,523

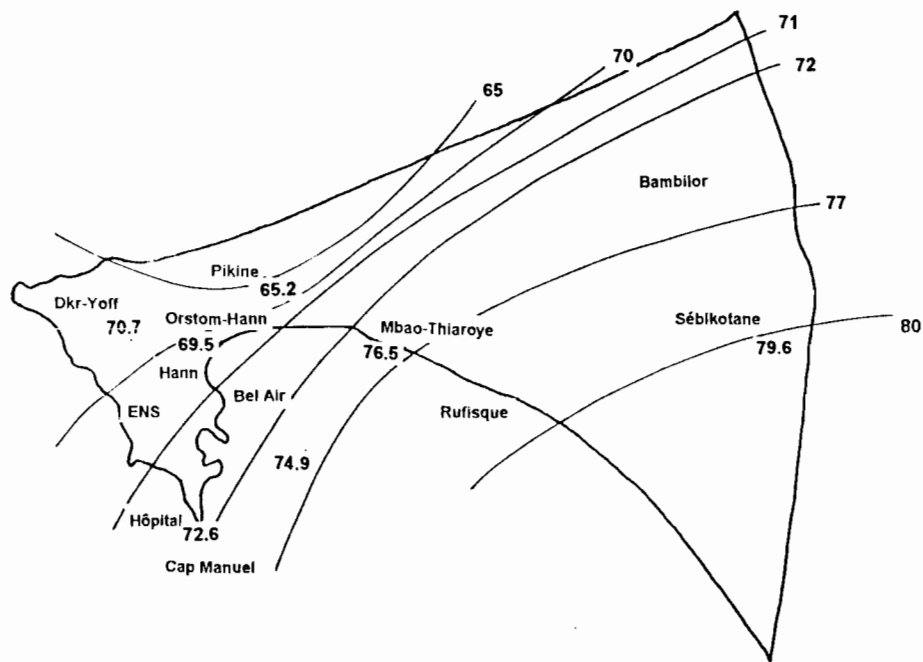
3.4.2 Les moyennes de pluies maximales journalières

Le tableau suivant présente les moyennes des pluies maximales journalières des stations de la région de Dakar. Nous l'avons traduit en une carte des isohyètes de la moyenne des pluies maximales journalières.

Tableau 65- moyennes des pluies maximales journalières de stations de la région de Dakar

Année	Gorée	MBaoTh	Yoff	Pikine	Pout	Hann	Bel Air	Sébikotane
Moy max jour	74,9	76,5	70,7	65,2	74,0	69,5	72,7	79,6

Figure XI - Isohyètes des moyennes maximales journalières



Cette carte va permettre de retrouver une valeur moyenne de pluie maximale journalière pour n'importe quel point de la région, avec ou sans poste pluviométrique, ceci grâce aux isohyètes. Cela explique que le tracé des isohyètes se soit appuyé sur les stations à longue durée et encore fonctionnelles car leur moyenne est plus consistante parce qu'elles tiennent compte aussi bien de la période sèche que de la période humide. En effet ALBERGEL (1988) et DACOSTA (1989) ont montré que le nombre des fortes averses a beaucoup diminué durant la sécheresse actuelle. Par conséquent il paraît plus prudent d'axer le tracé de ces isohyètes, dont la connaissance est indispensable pour la détermination des hauteurs exceptionnelles de durée donnée, sur les stations de période d'observation suffisamment longue.

3.4.3 La prédétermination des pluies exceptionnelles

La carte des isohyètes des moyennes maximales journalières présente un intérêt certain dans la prédétermination. En effet, elle permet d'obtenir pour n'importe quel point géographique de la région, une pluie moyenne maximale journalière. A partir de celle-ci, on peut déterminer la quantité de pluie pouvant tomber selon les durées de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 ou 20 jours consécutifs, en la multipliant par la fréquence établie pour la durée choisie. Ainsi deux valeurs permettent cette prédétermination:

- * la moyenne de pluie maximale journalière P_{moy} dont la détermination est aisée à partir des relevés de pluies journalières et plus rapidement à partir de la carte des isohyètes de la moyenne des pluies maximales journalières.

- * la fréquence fournie par l'ajustement des lois de Gumbel et de Goodrich aux échantillons de valeurs réduites. Cette fréquence est une valeur réduite, indépendante de la position géographique du point sur la région car elle est extraite ou obtenue à partir d'un échantillon de 324 valeurs, ce qui présente une assez bonne précision.

L'équation pour la prédétermination est donc la suivante: $P_n = p_r * P_{moy}$

P_n = valeur extrême de la pluie de n jours consécutifs en une station ou en un point de la région

p_r = valeur fréquentielle des valeurs réduites, obtenues par ajustement statistique

P_{moy} = moyenne des pluies maximales journalières.

Conclusion sur les pluies exceptionnelles

L'étude des pluies exceptionnelles d'un à vingt jours consécutifs sur la région de Dakar est un complément à l'étude statistique de la pluviométrie et de la pluviographie. Cette étude statistique de la pluviométrie et de la pluviographie, caractérise les pluies extrêmes par la détermination de la fréquence

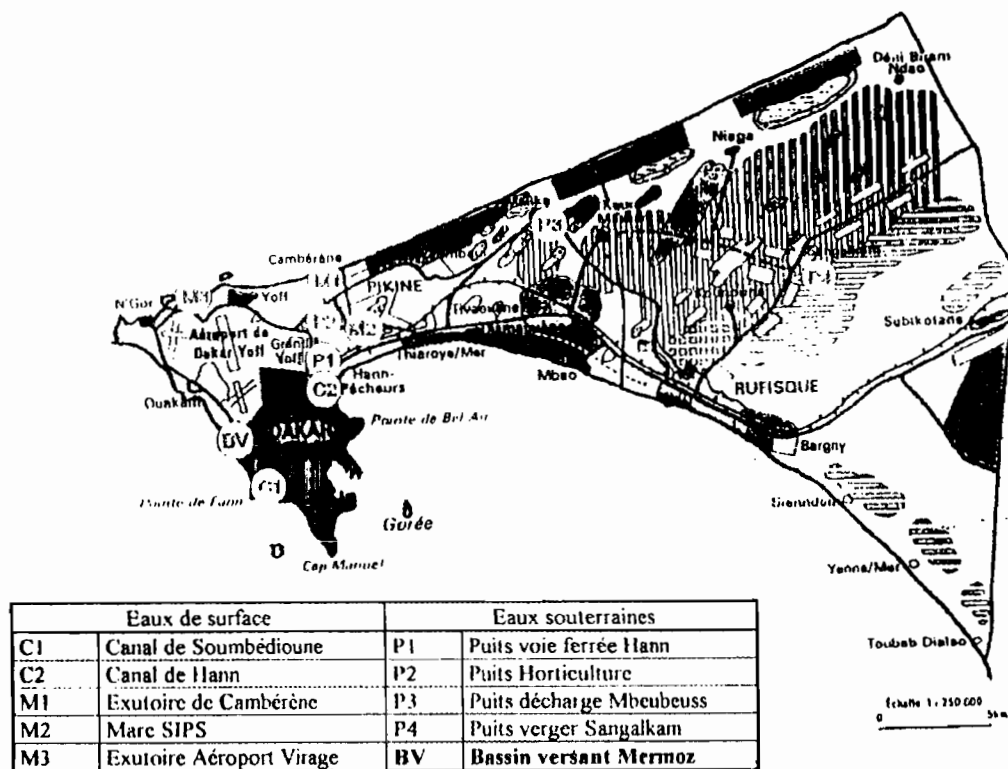
décennale, paramètre essentiellement utilisé dans le dimensionnement des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales. En prenant en compte, en plus de la fréquence décennale, les valeurs extrêmes de pluie cumulées, l'on ne ferait que renforcer la maîtrise des paramètres hydrologiques dans le dimensionnement des ouvrages évacuateurs. En Casamance le calage à partir de la fréquence décennale a déjà posé beaucoup de problèmes surtout en période de bonne pluviométrie. L'accumulation des eaux de ruissellement dans les zones basses et rapidement saturées que sont les bas-fonds, crée les conditions d'inadéquation et de détérioration rapide des ouvrages de retenue. A Dakar les pluies cumulées ne sont certes pas fréquentes mais on peut rappeler qu'il est quand même tombé en 13 jours à la station de Dakar ENS, 206,1 mm entre le 16 et le 29 août 1995. L'imperméabilité des zones urbaines et la mauvaise performance du réseau existant, a créé une situation d'inondation semblable à celle causée par des pluies de récurrence rare. A la sortie de l'échangeur de la Patte d'Oie, la route construite il y a juste une année, a été submergée et coupée par les eaux stagnantes qui ont atteint une hauteur assez exceptionnelle du fait de leur accumulation

CHAPITRE DEUXIÈME: COMPOSITION CHIMIQUE D'EAUX DANS LA RÉGION

La mauvaise évacuation des eaux constatée dans les quartiers ciblés par les enquêtes de NIANG (1995) est confirmée par l'observation des éléments du réseau d'évacuation des eaux usées. Nous avons pris un certain nombre de photos qui décrivent mieux la situation alarmante que connaît la ville malgré les multiples opérations "coups de poing", investissement humain, "set-setal"¹⁰. Le quartier de Grand-Yoff est un condensé des différents problèmes liés aux eaux usées mal évacuées. Différentes diapos ont été prises pour sensibiliser sur la menace que représentent les eaux usées stagnantes.

Partant de ce constat déplorable, nous avons initié une étude assez sommaire somme toute, de caractérisation de la composition chimique d'eaux de localités et de provenance différentes (voir carte des sites de prélèvement). Après une présentation de la méthodologie, nous passerons ensuite aux bilans chimiques que nous avons obtenus et enfin quelques résultats que nous avons relevés çà et là sur des études antérieures.

Carte 10 - Sites de prélèvement des eaux dans la région



1 MÉTHODOLOGIE

Elle regroupe les hypothèses de l'étude, le choix des sites, la méthode de travail et la base de la caractérisation.

1.1 Hypothèses

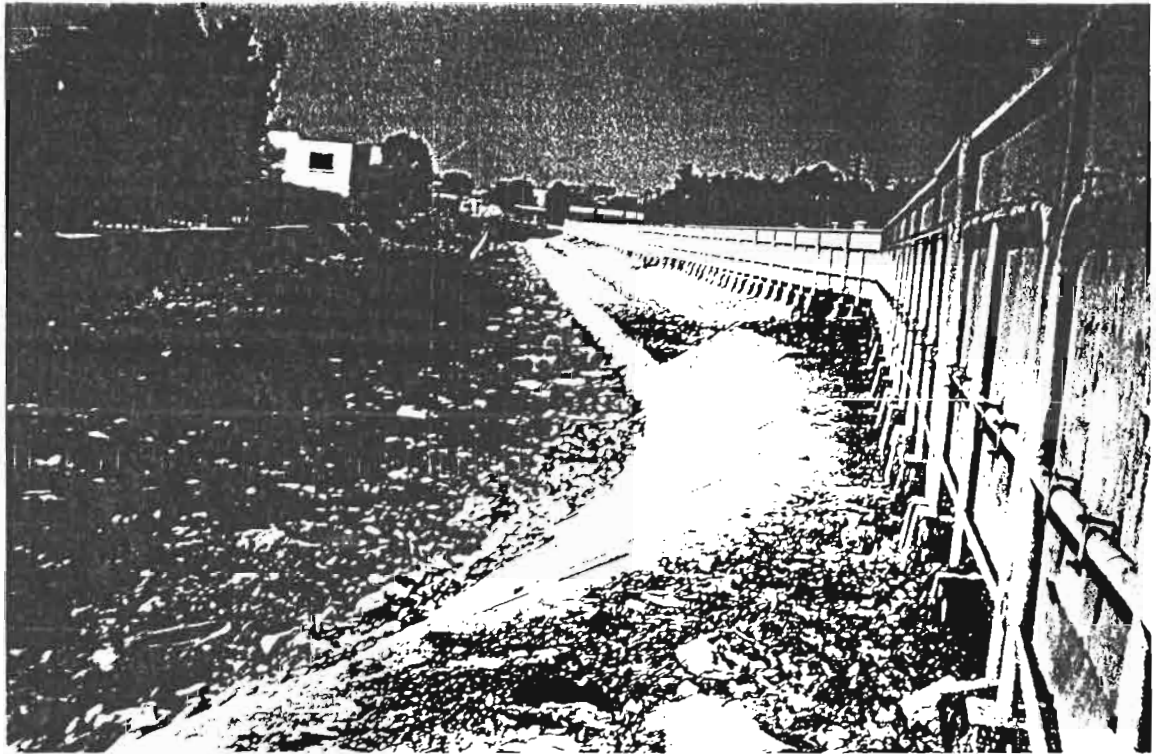
L'étude de la caractérisation de la qualité des eaux se fonde sur les hypothèses suivantes:

- les eaux usées versées directement dans la nature sont des eaux chargées (matières dissoutes, matières en suspension, autres déchets solides). Leur évacuation est très souvent lente: il s'ensuit une sédimentation importante d'éléments polluants qui détruisent les sols: c'est par exemple le cas de l'exutoire du canal du Front de Terre. Le tronçon complémentaire qui devrait évacuer les eaux usées plus à l'est, est à réaliser sans délai.
- les eaux de pluie favorisent une remobilisation des éléments toxiques rejetés dans l'environnement (gaz d'échappement des véhicules, huile moteur des garages sur la voie publique...).

¹⁰ Littéralement être propre et rendre propre

Photo 2: Canal de Soumbédioune (Photo M. BASSEL)

Photo 3: Rejets d'eaux usées à Grand Yoff (Photo K. DIAGNE)



- les eaux stagnantes favorisent la contamination des eaux souterraines par le lessivage des sols et la dilution des polluants.

1.2 Choix des sites

Plusieurs sites ont été choisis, selon la localité géographique et la provenance de l'eau. Ainsi ont été ciblés l'espace urbanisé, l'espace semi-urbanisé, la banlieue, le domaine rural. La provenance permet de distinguer les eaux de puits, de mares, de canaux et de cours d'eau ou de stations d'épuration. Les sites choisis sont donc des puits, des exutoires de bassin versant ou de station d'épuration, des canaux à ciel ouvert unitaires drainant en période sèche des eaux usées et enfin des mares exploitées pour l'agriculture.

1.3 Méthodes

L'étude de la qualité de l'eau dans la région de Dakar se fait à travers les échantillons prélevés aux différents sites définis. L'échantillonnage consiste à faire des prélèvements de portion d'eau représentative d'éléments ciblés que sont les nappes phréatiques et les eaux usées évacuées vers la mer. Un calendrier est déterminé au préalable essentiellement à partir de la saison climatique. L'échantillonnage a lieu sur onze sites vers le 15 juin (période sèche et chaude), le 15 août (période humide et chaude) et le 15 décembre (période sèche et froide). Le calendrier de prélèvement a été suivi pendant deux ans, pour déceler une éventuelle évolution de la qualité des eaux selon la saison, mais aussi au cours de deux années consécutives.

Sur le bassin versant, le prélèvement a lieu en période d'hivernage et il se fait lors des crues, en même temps que les jaugeages. Un nombre de 6 à 8 prélèvements est retenu selon l'importance de la crue. On s'arrange à avoir trois échantillons en phase de montée des eaux, un ou deux échantillons très proches du débit de pointe et trois en phase de décrue. Ce procédé permet d'établir une courbe de pollution. Il nous arrive ainsi de prendre plusieurs flacons selon la hauteur à l'échelle pour n'en retenir que 8 au maximum. Comme les analyses chimiques coûtent cher, il faut opérer un choix des échantillons représentatifs des différentes phases de l'hydrogramme. Ce suivi des eaux de crues permet d'appréhender les matières polluantes que les eaux de ruissellement transfèrent vers le milieu marin.

Les échantillons prélevés et étiquetés sont maintenus à une basse température dans une glacière puis acheminés dès la fin des prélèvements sur le terrain, au laboratoire de chimie où ils sont rangés dans le réfrigérateur en attendant leur analyse.

1.4 Les paramètres de caractérisation

Les paramètres de mesure de la pollution sont de trois types : physiques, chimiques et biologiques. Ces paramètres caractérisent tout aussi bien les eaux naturelles que les eaux résiduelles. Les paramètres physico-chimiques de mesure informent sur la qualité d'une eau et la nature des polluants à l'instant donné du prélèvement. Or la qualité d'une eau fluctue en fonction du temps, des saisons, des débits, des charges polluantes et de leurs origines. Gardons à l'esprit aussi que la seule mesure de ces paramètres donne une appréciation incomplète de l'état qualitatif d'une eau.

1.4.1 Les paramètres physiques

Les eaux usées domestiques présentent généralement une température variant entre 20°C et 40°C tandis que leur pH se situe entre 6,5 et 8, "La conductivité, c'est à dire la facilité avec laquelle l'eau conduit un courant électrique, augmente avec la quantité de sels dissous et est fonction de la température". Elle s'exprime en microsiemens/cm ($\mu S/cm$). Les matières en suspension (MES) sont exprimées en mg/l de matière sèche insoluble. Leur détermination est essentielle pour évaluer la répartition entre la pollution dissoute et la pollution sédimentable dont le devenir est différent.

1.4.2 Les paramètres chimiques organiques

La DCO et la DBO sont des paramètres d'évaluation de la pollution organique. La DCO, demande chimique en oxygène, exprime la quantité d'oxygène dissous nécessaire pour oxyder par voie chimique, sans intervention d'êtres vivants, toutes les substances oxydables (sels minéraux oxydables, composés organiques biodégradables,...). La DBO (Demande Biochimique en Oxygène), plus précisément la DBO₅, exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie biologique (c'est à dire par les bactéries normalement présentes dans les eaux) les matières organiques de l'eau. Elle mesure la consommation d'oxygène par les bactéries d'une masse d'eau conservée dans l'obscurité en tube Emeri fermé, à 20°C, pendant 5 jours.

Photo 4 : Prélèvement d'eau de nappe sur céane (Photo Y. PÉPIN)

Photo 5 : Écoulement d'eau usée à la station 2 (Photo M. BASSEL)



1.4.3 Les paramètres chimiques minéraux

L'azote et le phosphore sont des éléments indicateurs de pollution d'eau. L'azote (N) est un élément présent sous plusieurs formes dérivées comme l'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-). Ainsi plusieurs techniques d'analyses ont été mises au point pour étudier les réactions chimiques et biologiques responsables du passage de l'azote entre ces différentes formes. Le phosphore présent dans les eaux naturelles ou dans les eaux usées, apparaît sous forme de phosphates.

1.4.4 Les paramètres biologiques

L'eau est à la fois un réservoir de germes infectieux et un vecteur de transmission de ces germes dont la recherche systématique n'est pas réalisable. Ainsi on s'attache à déterminer des micro-organismes "indicateurs de contamination fécale". Ce sont essentiellement les coliformes et les streptocoques. On distingue les coliformes totaux, bactériens non liés à la flore intestinale humaine ou animale et les coliformes fécaux indicateurs de pollution. La présence des streptocoques est un bon indicateur de la contamination fécale des eaux et du risque sanitaire encouru. La mesure de ces éléments est exprimée par leur nombre présent dans 100 ml d'eau. Les virus représentent le second élément de la pollution biologique. Un virus est décelé s'il est mis en contact avec une cellule capable de l'accueillir et de le multiplier.

Dans notre étude de la qualité de l'eau qui s'est faite de juin 1994 à décembre 1995, seuls des paramètres physiques et chimiques minéraux ont été déterminés. Ainsi des paramètres essentiels (DCO et DBO_5) dans la caractérisation de la qualité de l'eau ne l'ont pas été pour des raisons de matériel non disponible au Laboratoire de chimie. Ailleurs leur coût était très au dessus de nos moyens. Malgré cette insuffisance importante, nous pensons parvenir à la détermination de ces éléments pour nos études futures.

2 INDICATIONS SUR LA QUALITÉ DES EAUX DANS LA RÉGION

L'échantillonnage dans la région donne des indications sur l'état chimique des eaux superficielles ou souterraines étudiées. L'évolution probable de la composition chimique, lié au changement de la température et à l'apport hydrique en saison des pluies peut être déterminé.

2.1 Bilans chimiques

Les résultats sont répertoriés dans les tableaux suivants. On observe d'ores et déjà une évolution entre les trois périodes ciblées. Celle-ci traduit l'influence certaine de la pluie sur les éléments contenus dans les eaux.

Tableau 66- Composition chimique des eaux à différents points de la région de Dakar

Au canal de Soubédionne (C1: 14°24 Lat N, 17°27 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	7,42	1,72	6,2	0,78	5,2	0,37			24		191						
août 94	7,32	1,56	5,2	0,98	1,3	0,94					315	3,9	1,7	5,2	0,81	8,4	11,6
dec 94	8,01	1,56	5,50	1,10	9,0	0,44	0,0	0,0	0,51	3,0		3,8	1,8	5,9	0,74	16,5	15,5
juin 95	7,49	1,07	10	0,81	6,4	0,42	0,0	0,0	1,07	3,83	287	3,0	1,7	7,2	0,96	17,6	16,7
août 95	7,96	0,616	2,6	0,86	1,3	0,3	0,97	0,00	0,082	0,00	105	2,3	0,73	2,6	0,27	6,1	5,9
dec 95	7,85	0,699	3,70	0,84	4,0	0,42	0,00	0,00	0,35	36	116	1,7	0,74	2,5	0,4		

Au canal de Hann (C2: 14°42 Lat N, 17°25 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	7,74	1,84	9,5	1,9	8	0,62			13		460						
août 94	7,16	2	13	2,1	2,8	0,33					195	5,4	3	9,5	0,75	18,2	18,7
dec 94	10,43	4,24	28,0	3,0	4,9	7,8	0,0	0,0	0,12	0,78		0,42	0,17	42	1,0	43,8	44,4
juin 95	8,4	7,75	75,0	6,0	17,0	1,4	0,0	0,0	0,35	2,72	343	6,7	11	66,0	1,8	99,4	88,4
août 95	8,08	13,5	131	14,0	2,1	0,2	150	0,02	6,4	0,08	425	8,10	24,0	104	2,7	149,9	138,8
dec 95	7,68	0,593	3,2	0,67	3,4	0,46	0,00	0,01	10	26	299	1,7	0,82	2,5	0,25		

Au puits de la voie ferrée de Hann (P1: 14°43 Lat N, 17°25 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	6,6	2,2	11	4,1	1,8	0	423	0,49	4		85						
août 94	6,46	2,43	12	4,5	2	0	477	0,68	9,7		75		3,7	10	1,7	26,2	25,1
dec 94	7,24	0,811	4,4	1,8	0,87	0,0	0,12	0,0	0,01	0,04		1,6	1,4	4,1	0,21	7,2	7,3
juin 95	6,72	2,4	13	5,0	2,2	0,0	5,06	0,48	0,08	0,02	33	9,9	3,8	9,8	1,5	20,2	25
août 95	8,29	0,49	2,1	0,52	1,8	0,29	2,5	0,02	0,08	0,012	128	1,60	0,81	2,10	0,14	4,8	4,7
dec 95	7,0	1,22	11	4,9	0,09	0,75	382	0,02	2,8	0,76	202	5,9	2,5	6,3	1,0		

Au puits Horticulture (P2: 14°45 Lat N, 17°25 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	4,49	0,744	5	1,3	0,09	0	164	0	0,04		96						
août 94	6,7	0,905	6	2,3	0,79	0	14	0,02			307	2	1,5	5,1	0,22	9,3	8,8
dec 94	7,15	2,45	10,0	4,5	0,9	0,58	5,31	0,01	0,11	0,01		8,6	3,4	8,9	1,6	21,4	22,5
juin 95	6,82	0,603	3,9	1,7	0,83	0,0	0,02	0,01	0,01	0,02	118	1,3	1,1	3,3	0,19	6,4	5,9
août 95	7,47	3,28	23,0	5,5	5,30	0,30	0,339	0,00	3,30	0,15	372	5,4	6,2	22,0	1,40	34,5	35
dec 95	7,12	0,553	5,7	2,1	0,0	0,58	0,02	0,01	0,15	0,49	61	1,6	1,4	4,6	0,15		

Au puits à la décharge de Mbeubeuss (P3: 14°47 Lat N, 17°19 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	7	0,634	1,7	0,34	4,3	0	6,5	7,2	5		765						
août 94	5,03	0,682	3,3	1	0,1	0	148	0,04			7	1,5	1,2	2,9	0,68	6,8	6,3
dec 94	4,44	0,761	3,10	0,83	0,10	0,0	2,10	0,00	0,0	0,00		1,5	1,3	2,7	0,7	6,1	6,2
juin 95	4,88	0,456	2,9	0,83	0,2	0,0	0,18	0,0	0,0	0,01	10	1,2	0,98	2,3	0,68	3,9	5,2
août 95	4,84	0,811	3,8	0,71	0,00	0,00	3,452	00,5	0,02	0,15	3	1,7	1,10	3,6	0,85	8,0	7,3
dec 95	5,78	0,382	2,0	0,7	0,14	0,0	94	0,01	0,01	0,19	16	0,98	0,65	1,4	0,37		

Au puits d'un verger de Sangalkam (P4: 14°46 Lat N, 17°14 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	8,09	0,599	1,9	2	2,6	0	0,49	0,02	0,14		48						
août 94	6,93	0,652	2,5	1,8	2,5	0	14	0,23			62	2,9	1,2	2,6	0,14	7	6,8
dec 94	7,69	0,802	2,1	1,7	1,3	0,51	1,6	0,0	0,0	0,01		3,1	1,4	2,7	0,32	7,2	7,5
juin 95	6,87	0,578	0,56	0,10	2,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,03	29	2,1	1,0	2,7	0,15	2,7	6,0
août 95	8,09	0,574	1,7	1,3	2,4	0,29	4,5	0,02	0,04	0,19	91	2,6	0,66	2,2	0,25	5,8	5,7
dec 95	7	0,325	2,3	1,4	0,4	0,54	155	0,15	0,2	0,55	73	2,3	0,7	1,5	0,15		

A l'exutoire de la station d'épuration de Cambérène (M1: 14°46 Lat N, 17°25 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	7,23	2,35	7,2	1,3	16	1,1			51		1663						
août 94	7,19	1,07	4,1	0,87	1,4	0,42					90	3,7	1,4	4,9	0,78	6,8	10,8
dec 94	7,67	1,48	5,1	1,0	5,0	0,32	3,06	0,09	1,01	1,17		3,8	1,5	6,2	1,0	15,6	13,7
juin 95	7,13	1,17	20,0	0,98	5,7	0,56	0,0	0,0	1,17	0,35	120	3,6	1,5	6,1	1,0	37,2	12,6
août 95	6,81	1,04	4,0	0,8	3,3	0,23	138,0	0,02	17,0	0,08	85	3,4	1,3	4,6	0,72	11,1	10
dec 95	7,55	0,732	5,3	1,3	2,6	0,38	84	4,6	36	13	116	2,3	0,92	4,1	0,75		

A la mare derrière la SIPS (M2: 14°44 Lat N, 17°23 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	7,4	36,1	414	34	32	2,2			19		3737						
août 94	7,57	9,47	92	18	5,9	1					402	16	27	75	2	116,9	120
dec 94	7,77	3,68	24	1,3	10,0	0,42	0,0	0,0	0,08	0,07		3,6	9,3	24	0,74	35,8	37,7
juin 95	8,54	10,01	109,0	0,62	21,0	2,5	0,0	0,0	0,27	0,13	978	6,0	29,0	83,0	2,2	133,1	120,3
août 95	7,73	1,28	8,0	2,9	0,61	0,32	7,4	0,00	1,0	0,12	154	2,7	1,9	7,2	0,3	12	12,1
dec 95	8,01	2,04	16	0,78	7,8	0,54	0,0	0,02	2	2,9	232	3,7	5,1	11	0,22		

A l'exutoire de l'Aéroport au Virage (M3: 14°45 Lat N, 17°29 Long W)

	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
		ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	6,96	0,604	4,1	2	0,78	0			0,43		58						
août 94	7,78	0,682	1,9	0,52	5,1	0					34	3,2	1,1	1,9	0,27	7,5	6,5
dec 94	7,79	0,712	2,3	0,41	3,7	0,41	0,0	0,03	0,03	0,42		2,8	1,3	2,10	0,15	6,9	6,8
juin 95	7,61	0,825	3,1	0,27	5,2	0,58	0,0	0,0	0,18	1,0	73	3,2	1,5	2,8	0,29	9,2	8,8
août 95	7,42	3,44	16,0	7,5	5,2	0,3	596	0,01	5,1	0,13	239	14	5,0	14,0	2,4	38,8	35,4
dec 95	7,42	0,505	1,7	0,5	2,2	0,65	1,3	0,02	3,6	5,4	34	1,9	0,94	1,7	0,15		

A l'exutoire du bassin versant urbain (plage) (BV: 14°41 Lat N, 17°28 Long W)

	Réf.	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	MES	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ
			ms 20°C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation
juin 94	BV	7,05	1,05	2,8	1,6	6,3	0,98			24		246						
août 94	BV1	7,6	0,242	0,65	0,35	1,3	0					908	1,3	0,33	0,58	0,21	2,3	2,4
août 94	BV2	7,38	1,01	3,1	0,39	7,5	0					107	3,2	1,6	3,4	0,45	11	8,7
dec 95	BV	7,61	1,09	3,2	0,39	7,0	0,36	0,0	0,0	0,54	2,17		2,3	1,6	3,9	0,4	11,5	10,4
juin 95	BV	7,38	1,02	3,7	0,54	6,6	0,54	0,0	0,0	0,63	2,0	429	2,8	1,8	3,4	0,39	11,4	10,4
août 95	BVU S1	7,0	0,36	0,72	0,46	0,86	0,39	16	0,02	0,63	0,53	203	1,5	0,43	0,81	0,17	2,7	2,9
août 95	BVU S2	7,96	0,5	1,6	0,42	1,0	0,2	122	0,00	5,8	0,36	743	2,0	0,72	1,7	0,26	5,4	4,7
dec 95	BVS2	7,48	1,15	4,5	1,2	6,1	0,52	0,08	0,01	11	39	139	2,4	1,6	4,3	0,36		

Les résultats que nous avons obtenus sur 2 ans permettent de faire une étude de l'évolution des éléments chimiques sur cette période. En outre, il est possible de procéder à une caractérisation des eaux à l'aide du logiciel SYSEAU, également développé au laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM (LARAQUE et al 1995).

La norme européenne impose aux stations d'épuration de ne pas rejeter de l'eau contenant plus de 35 mg/l de MES. Nous remarquerons que Cambérène (M1) évacuait 1663 mg/l en juin et 90 en août, ce qui est très élevé. Par contre les eaux rejetées directement dans la mer varient entre 107 et 908 mg/l, sauf celles de l'aéroport dont la faiblesse s'explique par la faible population déversant des déchets dans ce collecteur.

2.2 Résultats d'études antérieures

La comparaison que nous avons toujours préconisée entre des résultats d'études antérieures et ceux que nous avons obtenus, a été difficile puisque nous ne disposons pas de données sur les éléments qui sont déterminants sur la pollution. Nous rapportons quelques-uns sur le canal de la Gucule-Tapée, proche du canal de Soubédioune. Ces données sont cités par le Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar 2001. Nous ne disposons pas d'informations sur la date et l'heure de la prise de ces échantillons, ainsi que le laboratoire qui a fait les analyses.

En observant les MES, on remarque qu'elles sont d'abord peu élevées, qu'elles progressent avec le débit, et qu'enfin les valeurs avant et après la pluie s'élèvent avec l'installation de la pluie, car les débits sont de plus en plus importants. Cependant, ces valeurs restent faibles par rapport à celles qui ont été obtenues sur le canal de Soubédioune, ces deux dernières années. Par contre les valeurs de MES baissent avec les pluies (juin et août).

Tableau 67 - Résultats d'échantillonnages du Canal de la Gueule-Tapée

Pt de mesure	Condit° pluv	Q en m ³ /s	MES en mg/s	DBO5	DCO
1	Temps sec	40	8	181	121
	P1	182	9	109	154
	P2	263	9	120	180
	P3	416	11	111	195
2	Temps sec	72	10	370	264
	P1	400	9	185	243
	P2	483	10	200	257
	P3	674	12	278	389
3	Temps sec	99	11	500	362
	P1	578	11	250	300
	P2	752	12	254	320
	P3	900	15	390	519
4	Temps sec	129	11	590	421
	P1	648	12	290	375
	P2	816	13	300	390
	P3	1023	17	490	600

Source: NEDECO

P1= 26 mm Temps = 3 à 6 h
 P2 = 32 mm = 2 à 7 h
 P3 = 32 mm = 1 à 5 h

i = 7 à 22 mm/h
 i = 11 à 85 mm/h
 i = 21 à 33 mm/h

Tableau 68 - MES du canal de Soumbédioune

Date	MES en mg/l
juin 94	191
août 94	315
dec 94	
juin 95	287
août 95	105
dec 95	116

Ce même document (PDU Dakar 2001) rapporte les normes de rejet suivantes:

Tableau 69- Normes de rejets d'eaux usées

Éléments ciblés	Agglomération de 800 à 3000 hbts	Habitat diffus et Moyen standing
DBO5	29 g/hb/j	37 g/hb/j
DCO	54 g/hb/j	85 g/hb/j
MES	17 g/hb/j	32 g/hb/j
Azote Total	6,3 g/hb/j	6 g/hb/j

FAYE (1990), reprenant ces résultats, indique un certain nombre d'actions que nous partageons, pour mieux caractériser les effluents urbains: mesure de débits et de pollution des effluents rejetés, mesure du volume journalier, du débit horaire (minimal et maximal), des éléments que sont la DBO5, la DCO, les MES, le pH et les sels métalliques. Il avait noté une bonne corrélation entre la masse des matières solides et l'intensité de la pluie pour dire ensuite que la durée de la pluie influence les concentrations moyennes en DBO5, DCO et MES.

3 ÉTUDE DE LA POLLUTION SUR BASSIN REPRÉSENTATIF

Les eaux pluviales sont source d'inondation et aussi de pollution chimique des milieux récepteurs. Elles remobilisent des éléments pollués par «rinçage» des sols durant la pluie; hydrocarbures, pesticides, matières organiques... sont transportés vers les cours d'eau, les nappes souterraines et le milieu marin. Lors de la première campagne hydrologique, l'échantillonnage des crues a été très insuffisante pour plusieurs raisons:

- * l'insuffisance des crues ayant occasionné un écoulement à la station de référence.
- * lors de la crue du 13 août, nous avons saisi l'occasion pour cerner les limites réelles et les pertes à l'écoulement du bassin,
- * le manque de crédits du programme pour payer l'analyse de plusieurs échantillons,
- * la crue du 21 septembre a débuté avant le réveil des citadins et nous n'avons pu mobiliser une équipe pour le jaugeage et l'échantillonnage,
- * enfin rappelons que l'invasion des eaux usées allait fausser les bilans chimiques des eaux de ruissellement.

Ce n'est qu'à l'occasion de la pluie du 26 septembre qu'une série complète a été prélevée durant la montée et la baisse des eaux. Les résultats obtenus laissant voir un certain intérêt, nous avons privilégié la collecte des échantillons lors de la deuxième campagne.

3.1 Bilans de crue

Le tableau ci-dessous présente les résultats des analyses de la crue.

Tableau 70 - Composition chimique des eaux du bassin versant le 26 septembre 1994

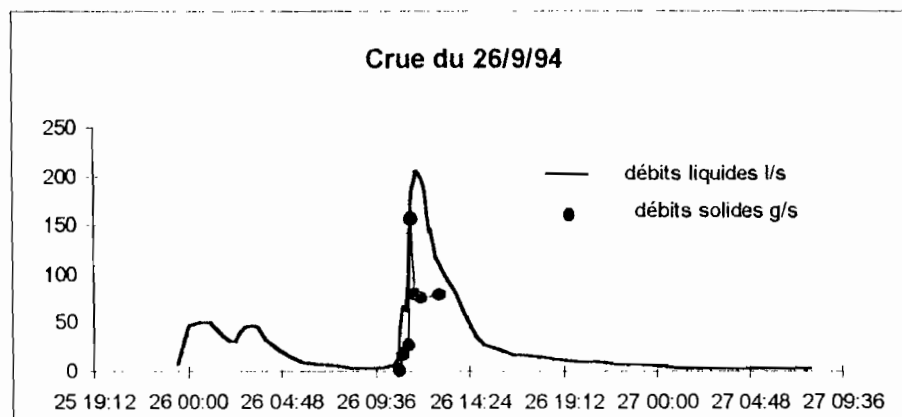
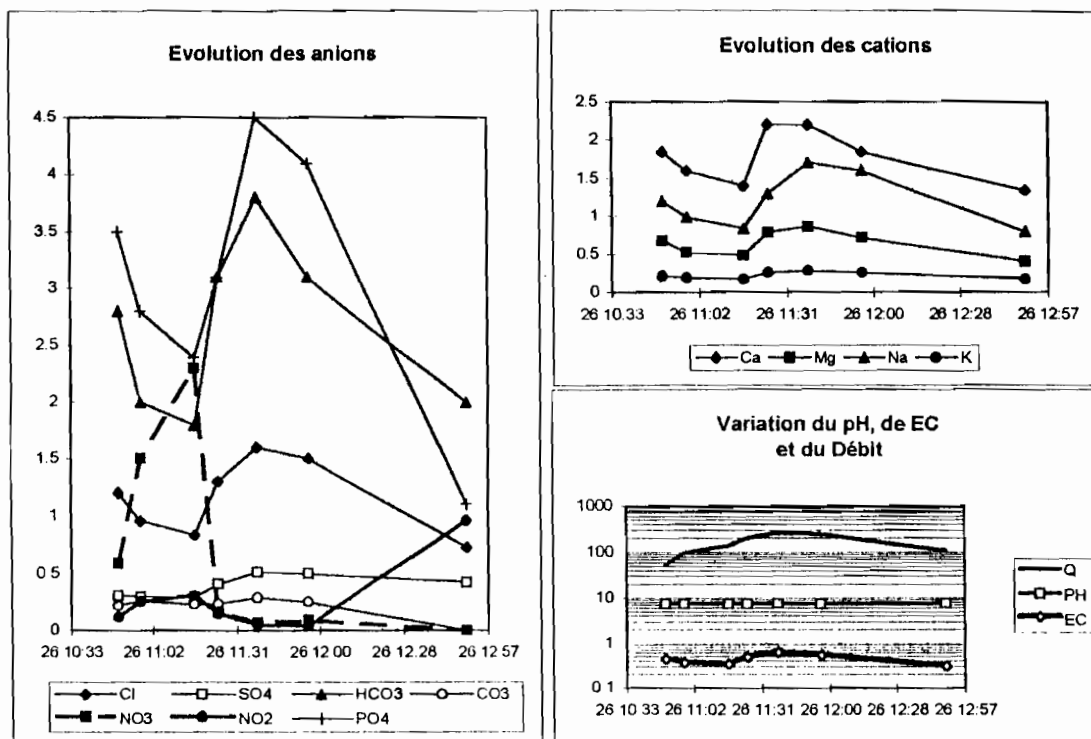
Date	Q	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ	MFS
	l/s		ms20°	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anion	cation	mg/l
26 10:50	52	7,45	0,453	1,2	0,31	2,8	0,22	0,59	0,12	3,5	1,84	0,68	1,2	0,22	4,5	3,9	38
26 10:58	96,3	7,42	0,373	0,96	0,3	2	0,26	1,5	0,25	2,8	1,6	0,53	0,99	0,19	3,5	3,3	194
26 11:17	138	7,42	0,339	0,84	0,3	1,8	0,23	2,3	0,31	2,4	1,4	0,49	0,84	0,17	3,2	2,9	198
26 11:25	206	7,5	0,501	1,3	0,41	3,1	0,24	0,16	0,15	3,1	2,2	0,79	1,3	0,26	5	4,6	769
26 11:38	263	7,56	0,629	1,6	0,51	3,8	0,29	0,07	0,05	4,5	2,2	0,87	1,7	0,29	6,2	5,1	305
26 11:56	248	7,48	0,548	1,5	0,5	3,1	0,25	0,09	0,04	4,1	1,84	0,72	1,6	0,26	5,3	4,4	303
26 12:50	107	7,72	0,308	0,73	0,42	2	0	0	0,96	1,1	1,34	0,41	0,8	0,17	3,1	2,7	730

ramené à Q	Q	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	Ca	Mg	Na	K	Σ	Σ	MFS
26 10:50	52	7,45	0,453	62,4	16,12	145,6	11,44	30,68	6,24	182	95,68	35,36	62,4	11,44	234	202,8	1.976
26 10:58	96,3	7,42	0,373	92,45	28,89	192,6	25,04	144,5	24,08	269,6	154,1	51,04	95,34	18,3	337,1	317,8	18,68
26 11:17	138	7,42	0,339	115,9	41,4	248,4	31,74	317,4	42,78	331,2	193,2	67,62	115,9	23,46	441,6	400,2	27,32
26 11:25	206	7,5	0,501	267,8	84,46	638,6	49,44	32,96	30,9	638,6	453,2	162,7	267,8	53,56	1030	947,6	158,4
26 11:38	263	7,56	0,629	420,8	134,1	999,4	76,27	18,41	13,15	1184	578,6	228,8	447,1	76,27	1631	1341	80,22
26 11:56	248	7,48	0,548	372	124	768,8	62	22,32	9,92	1017	456,3	178,6	396,8	64,48	1314	1091	75,14
26 12:50	107	7,72	0,308	78,11	44,94	214	0	0	102,7	117,7	143,4	43,87	85,6	18,19	331,7	288,9	78,11

Les graphiques que nous tirons de ce tableau, montre l'évolution des teneurs pour chaque élément, en fonction de la progression des volumes. Ces volumes d'eau sont rejetés dans le milieu marin sans aucun traitement. Les normes de rejet préconisées par l'OMS sont loin d'être respectées..

Trois graphiques ont été réalisés pour caractériser les bilans chimiques. Le premier présente l'évolution des différents éléments chimiques en fonction de l'écoulement. Les nitrites (NO2) et les nitrates (NO3) connaissent une évolution proche de celle des matières en suspension c'est à dire sont à leur maximum avant le maximum de la crue, cependant la dernière valeur de NO2 est très forte et peut s'expliquer par la valeur correspondante en concentration de matières en suspension (des tas d'ordures sont de temps à autre arrachés des flancs du canal). Les sulfates, les carbonates et les cations suivent l'évolution de la crue. Le second graphique montre que le pH n'a que très légèrement augmenté avec la crue et reste légèrement basique contrairement à la conductivité électrique qui suit l'évolution des cations. Le dernier graphique représente les transports solides; nous remarquons que comme sur des bassins versants conventionnels, la charge maximale précède le maximum de la crue.

Graphique 20- (pour les unités se référer au tableau ci-dessus)

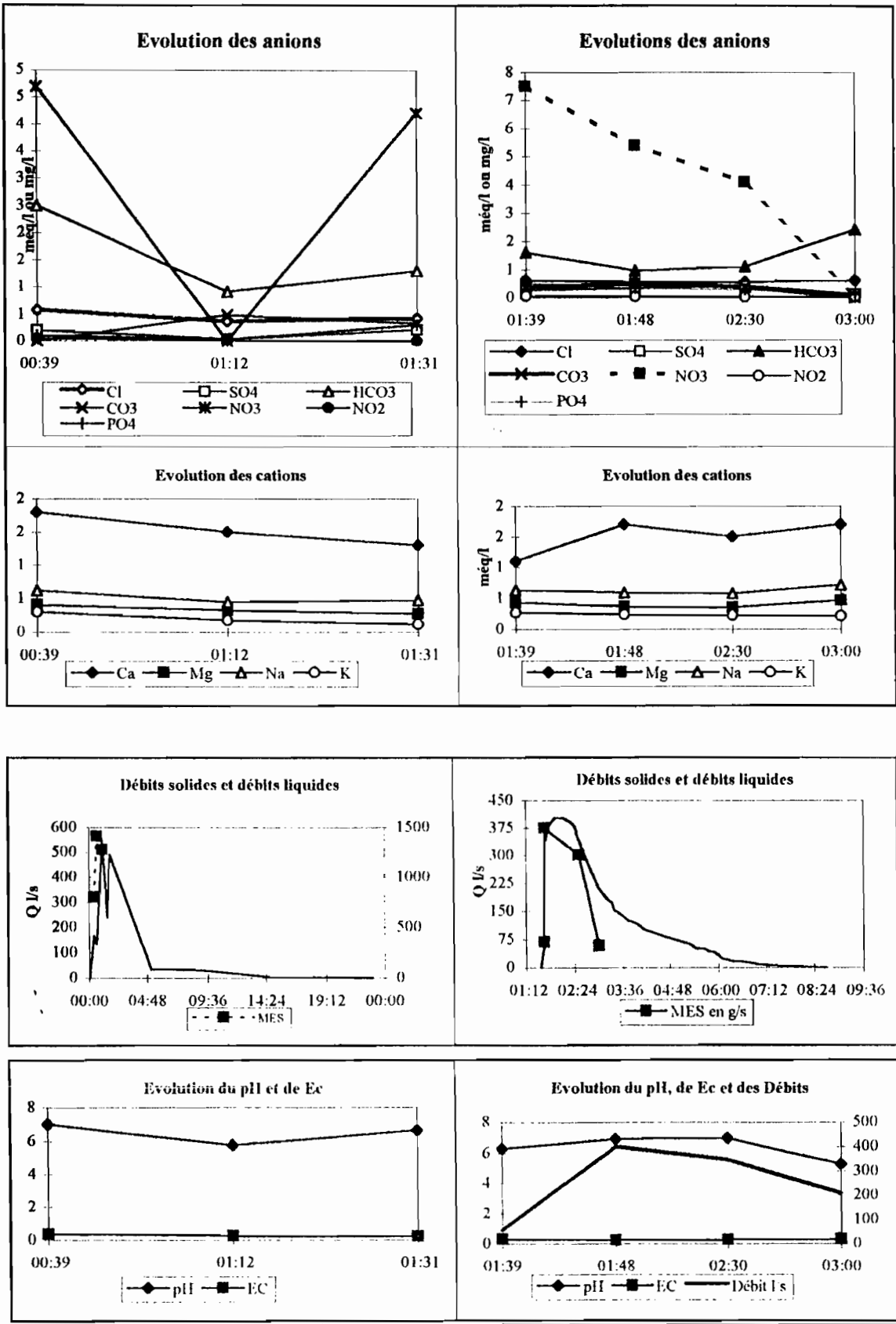


L'année 1995 a permis de rassembler plus de données sur la chimie des eaux du bassin versant de Mermoz, contrairement à l'année 1994. Les pluies s'étant bien réparties durant le mois d'août, l'écoulement a été favorisé même avec les pluies faibles. Nous avons ciblé certaines crues comme:

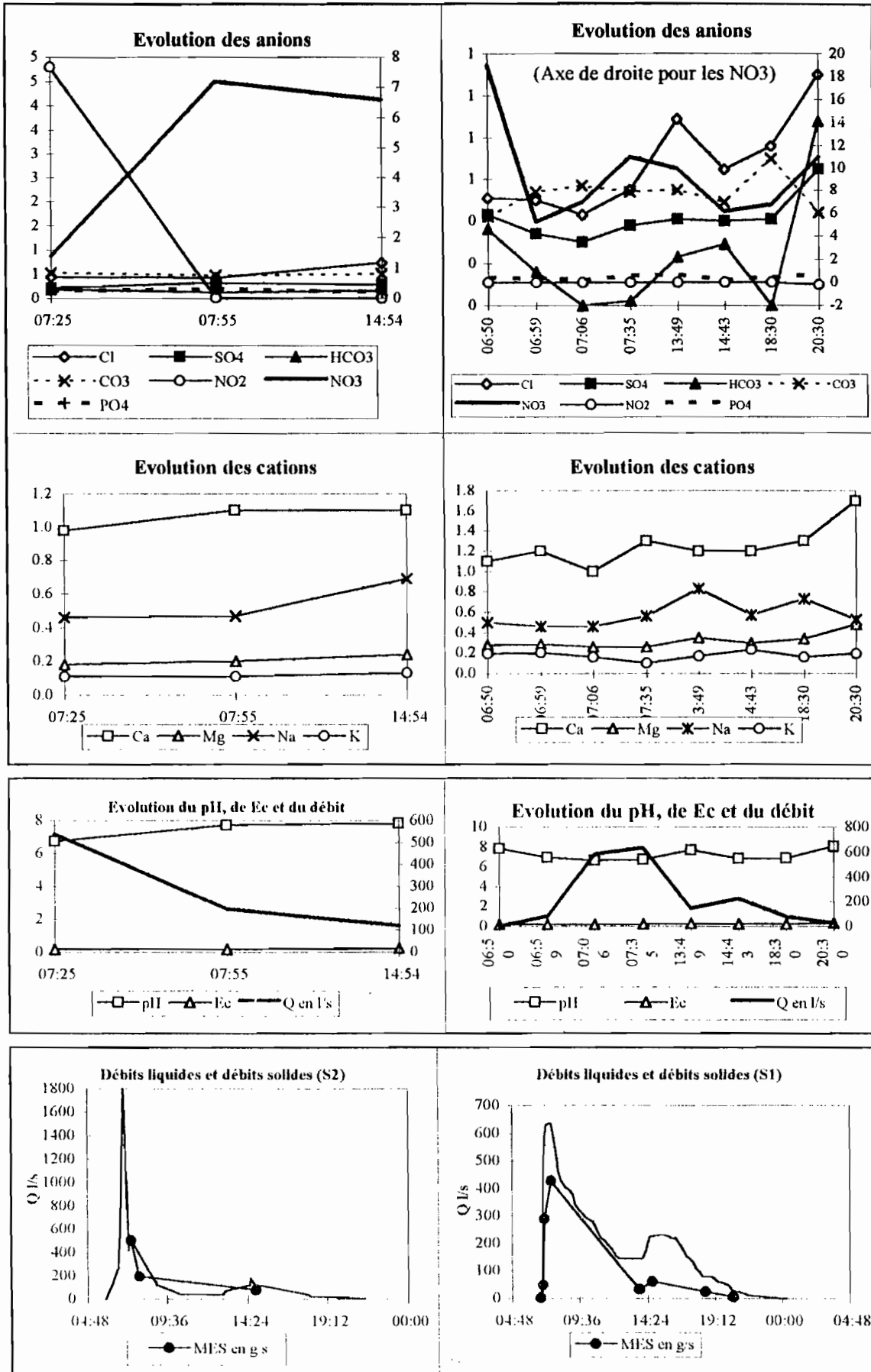
- la première au début du mois (02/08/1995)
- une crue à chaque station en milieu du mois (17 et 23/08/1995).
- une crue en début de septembre avec un prélèvement sur trois points du canal (04/09/1995).
- et enfin la dernière crue intéressante de la saison des pluies 1995.

Les analyses du 04/09 ne figuraient pas sur le rapport de campagne tandis que celles d'octobre ont été éliminées suite à une longue coupure d'électricité. Nous avons rassemblé les données dans des tableaux renvoyés en annexe, puis nous avons fait les graphiques ci-dessous. Ils présentent les compositions chimiques des eaux par crue. En plaçant côte à côte les données des deux stations, nous essayons de faire percevoir une certaine évolution longitudinale de la qualité des eaux qui passent par la station 2 en amont avant d'arriver à la station de référence.

Graphique 21- Crue du 02 août 1995 aux stations 2 et 1.



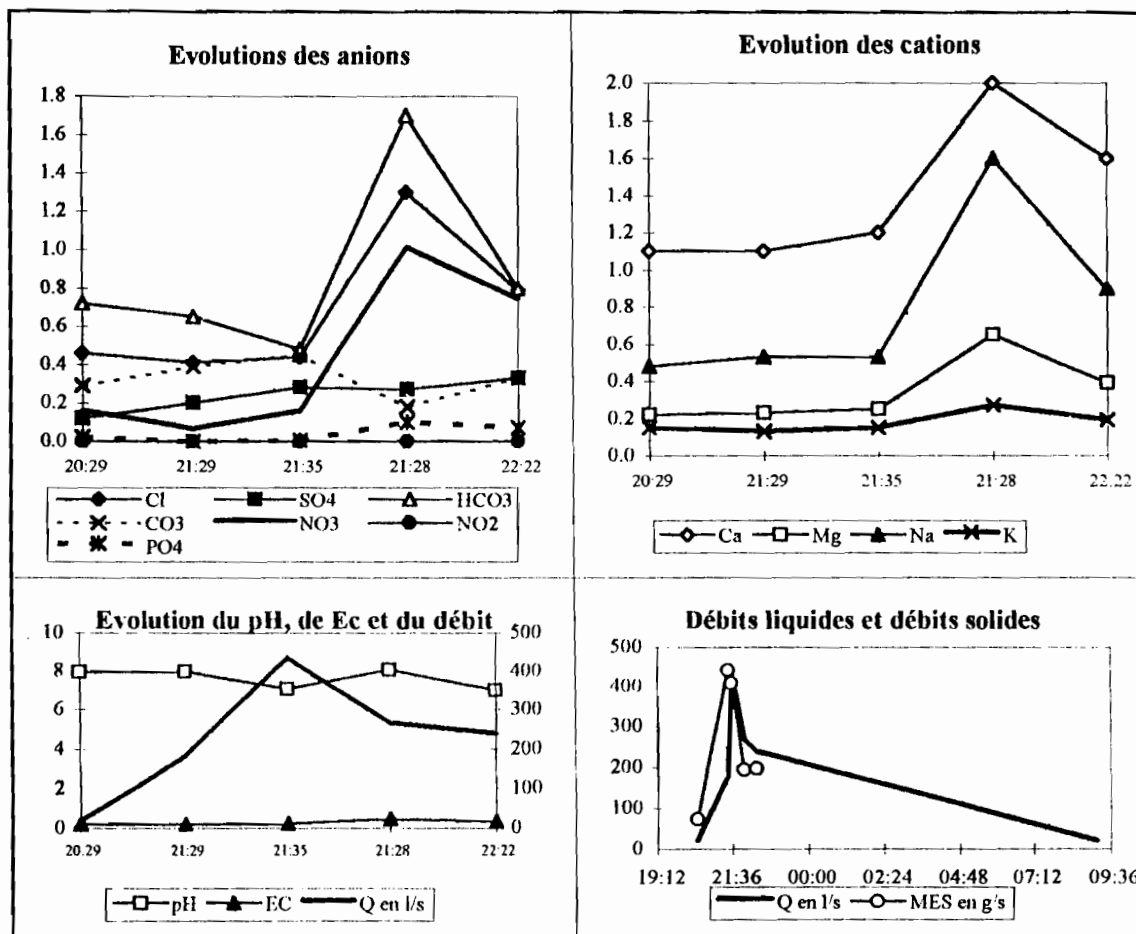
Graphique 22- Crue du 17 août 1995 aux stations 2 et 1



L'étude des transports solides sur bassin versant urbain sert à montrer les quantités de sable transportées lors des crues. Ces volumes peuvent se déposer au niveau des réseaux, *les rendant moins performants*. A partir de cette dernière figure comparant les MES et le débit écoulé lors de la crue du 17/08/1995, nous avons estimé par planimétrie les quantités de sable évacuées. Cette crue présente certes une valeur pas très élevée de 78 kg/ ha, mais très significative quand on sait qu'elle correspond à une crue de moindre importance et surtout que la valeur ne tient pas compte :

- du charriage (importants dépôts sableux surtout autour du Parc OMVS)
- de l'importance des zones imperméabilisées (routes) difficilement érodables
- des zones de stockage qui piègent aussi bien le charriage que le transport en suspension en ce sens qu'elles sont des points de décantation.

Graphique 23- Crue du 23 août 1995 à la station 2



Trois hypothèses avancées à partir des résultats de la campagne précédente sont confirmées:

- * le pH évolue en sens contraire au débit, tandis que la conductivité et les cations vont dans le même sens.
- * les MES atteignent leur maximum avant celui de la crue, comme constatés sur les bassins conventionnels.
- * les anions sont dominés par les nitrates (NO3) qui évoluent peu vers les nitrites (NO2); seule la crue du 17 août a montré des nitrites en quantités importantes au début de la crue à la station amont. Ces éléments ont été vite dilués par les eaux de ruissellement. Ce phénomène indique tout de même qu'il y a bel et bien lessivage chimique des sols et des eaux usées par les pluies.

Encore une fois nous déplorons la non détermination de paramètres biologiques comme la DCO et la DBO, éléments de base pour une bonne caractérisation de la pollution des milieux aquatiques. Nous avons été toute l'année 1995 en contact avec le laboratoire de Chimie qui avait décidé d'acquérir le matériel nécessaire. Aujourd'hui, une bonne partie est déjà sur place et le responsable assure que l'équipement sera complet pour que son unité soit compétente dans la détermination de la pollution organique. A l'occasion de notre séjour à Montpellier, nous avons découvert SYSEAU, un logiciel qui permet un traitement élémentaire de données sur la qualité de l'eau mais qui n'est pas encore tout à fait au point.

3.2 Réflexions sur des perspectives d'étude de la qualité de l'eau

En dehors de la non-détermination des paramètres essentielles de la pollution, nous avons conscience de n'avoir pas suffisamment exploité les données de qualité des eaux car aujourd'hui à l'instar des écoulements, la modélisation des flux polluants est d'actualité. Les universités françaises de Lyon et surtout belges, ont fait plusieurs publications. Nous avons relevé dans la littérature un certain nombre de modèles dont HYPOCRAS, mis au point par BERTRAND-KRAJEWSKI J. L. (1992). Sa mise en œuvre paraît assez facile si on dispose de bonnes séries d'observations. En effet, plus la durée des observations est longue, meilleure sera la modélisation. Les nôtres manquent de paramètres essentiels et ne sont que sur 2 ans, Notre souhait est de trouver un cadre de recherches qui puisse nous permettre de poursuivre les observations qui pourront être à la base d'études que nous souhaiterions mener sur la modélisation de la pollution.

Pour la saison des pluies 1996, nous avons réfléchi sur les études à mener du point de vue de la caractérisation des eaux: deux types de profil longitudinal établis par plusieurs échantillons pris le long du canal. Un premier dit profil instantané, avec des prélèvements simultanés le long du canal et un autre dit profil progressif, avec un échantillonnage sur une masse d'eau, durant son écoulement dans le canal (l'injection de fluorescine permet de situer cette masse). Nous partons du constat fait en 1995 sur les valeurs que nous avons enregistrées au niveau des deux stations avec un différé assez proche (07H25 en amont et 07H35 en aval). Il montre des éléments identiques (pH, Cl et K) tandis que tous les autres ont beaucoup évolué. Le profil progressif consiste à suivre l'évolution des eaux de ruissellement durant leur parcours. Les éléments chimiques peuvent alors devenir des indicateurs des « coins polluants » ou aussi des « coins épurateurs d'eau ». Ces derniers peuvent correspondre, sur notre bassin, aux zones où le lit est tapissé d'une végétation dense. Comme il n'existe aucun aménagement contre la pollution sur le site, on pourrait déceler ce qui participe à l'épuration ou à la détérioration chimique des eaux de crue. C'est certes un travail intéressant mais qui nécessite une bonne réflexion au préalable et des moyens en plus de la bonne volonté.

Tableau 71 - Évolution de la composition chimique des eaux de la crue du 17/08/1995

Éléments	Unités	Station amont			Station exutoire							
		07:25	07:55	14:54	06:50	06:59	07:06	07:35	13:49	14:43	18:30	20:30
Heure												
Q en l/s		540	198	122	3,55	83,8	582	635	145	224	80	26
pH	ms/20°C	6,75	7,72	7,85	7,81	6,93	6,66	6,75	7,67	6,86	6,89	8,08
EC	még/l	0,181	0,185	0,227	0,205	0,216	0,191	0,224	0,279	0,239	0,262	0,357
Cl	még/l	0,44	0,42	0,74	0,51	0,50	0,43	0,55	0,89	0,65	0,76	1,10
SO4	még/l	0,21	0,32	0,28	0,43	0,34	0,30	0,38	0,41	0,40	0,41	0,65
HCO3	még/l	0,18	0,12	0,16	0,36	0,16	0,00	0,02	0,23	0,29	0,00	0,88
CO3	még/l	0,53	0,47	0,51	0,42	0,54	0,57	0,54	0,55	0,49	0,70	0,44
NO3	mg/l	1,40	7,20	6,60	19,00	5,30	7,00	11,00	10,00	6,20	6,80	11,00
NO2	mg/l	4,80	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PO4	mg/l	0,25	0,31	0,21	0,47	0,35	0,26	0,58	0,67	0,26	0,48	0,67
Ca	mg/l	0,98	1,10	1,10	1,10	1,20	1,00	1,30	1,20	1,20	1,30	1,70
Mg	még/l	0,18	0,20	0,24	0,28	0,29	0,26	0,26	0,35	0,30	0,34	0,48
Na	még/l	0,46	0,47	0,69	0,50	0,46	0,46	0,56	0,83	0,57	0,73	0,53
Σ anions		1,5	1,5	1,8	2,0	1,6	1,4	1,7	2,3	1,9	2,0	3,3
Σ cations		1,7	1,9	2,2	2,1	2,2	1,9	2,2	2,6	2,3	2,5	2,9
K	még/l	0,11	0,11	0,13	0,19	0,20	0,16	0,10	0,17	0,23	0,16	0,19
MES	mg/l	932	993	658	364	586	499	673	234	274	302	182

L'intérêt d'un tableau portant suffisamment d'informations chimiques sur le profil en long du canal, peut effectivement montrer les tronçons au niveau desquels, se détériore ou s'améliore la qualité des eaux. La végétation devrait jouer un rôle déterminant dans l'évolution chimique des eaux car le lit du canal est par endroits, une vraie forêt-galerie. Cette section aval du canal pourrait servir de site-test d'épuration des eaux par des plantes macrophytes comme celles qui ont été testées à la station d'épuration à Cambérène par NIANG (1995). Ce serait ainsi une validation de leur capacité épuratoire dans un domaine plus proche de la réalité.

La première opération que les pouvoirs publics devraient s'atteler à réaliser est la mise en place de grilles galvanisées pour freiner les importantes quantités de matières solides qui sont évacuées en mer lors des fortes crues. Le "canal de Fann" n'est pas considéré comme un ouvrage du réseau d'évacuation par les services compétents alors qu'il achemine en mer plus de la moitié des eaux de ruissellement de trois grands quartiers

résidentiels. La seconde opération est de contrôler les dépôts d'ordures, souvent trop importants, qui jonchent l'entrée du canal, sur la route de Ouakam mais aussi l'exutoire au pont sous la corniche. Ces tas d'ordures ménagères accroissent assurément la pollution des eaux de ruissellement. On n'est tout de suite frappé par la cohabitation de ces tas d'ordures avec le standing de vie de ces quartiers. Les ordures doivent être déposées aux endroits indiqués car il n'en manque pas dans ces endroits où les habitants sont certainement conscients de la nécessité de protéger l'environnement

L'amélioration de la qualité des eaux de ruissellement est tout un programme à élaborer et à doter de moyens. Si aujourd'hui on parvient à estimer de manière assez correcte les débits maximaux et les hydrogrammes de crue, c'est à la suite de plusieurs observations de débits. L'observation longue est l'unique base pour une modélisation valable. Il faut préparer dès à présent la prévision des états chimiques des eaux à différents parcours du réseau en constituant progressivement une banque de données chimiques concernant aussi bien les eaux que les sols, avant, pendant et après les pluies. L'état initial du sol dans le bassin versant est caractéristique de la masse de matière polluante que les eaux de pluie pourront mobiliser lors des crues. La disponibilité de mallettes permettant de faire facilement, et sur le terrain, des analyses chimiques concernant surtout des paramètres déterminants comme la DBO₅, la DCO sont nécessaires pour la réussite de tels programmes.

4 RISQUES ÉVENTUELS DE POLLUTION DES MILIEUX RÉCEPTEURS

Les conséquences de la pollution sur les milieux récepteurs sont multiples et d'aspects divers. Elles se rencontrent à différents niveaux dont nous ne rappelons que quelques-uns.

4.1 Détérioration des eaux de baignade

Nous avons retenu cet aspect car les eaux de ruissellement du bassin versant de Mermoz sont directement rejetées sur une petite baie très fréquentée par les baigneurs. Cette petite plage de sable fin est un des rares que l'on rencontre sur le littoral ouest de Dakar, au nord de la baie de Soumbédioune. Après chaque pluie, les eaux chargées se dispersent en un demi-cercle qui s'élargit. La position abritée de la baie, favorable à la baignade, ralentit la dispersion. Ainsi la plage est polluée pour plusieurs jours avec les galets du rivage qui retiennent les déchets solides retournés par la marée tandis qu'une pellicule huileuse couvre le sable. À défaut d'une épuration des eaux, une solution économique pourrait être la déviation des eaux vers des falaises plus au sud et plus avancées dans la mer et dont le bas est jonché de débris rocheux provenant de l'action de l'érosion marine sur les côtes rocheuses. La déviation consistera à retourner les eaux par un "canyon" où passait une autre ligne de chemin de fer dirigée vers l'Université. Tant qu'aucun aménagement n'est fait, il faudrait alors surveiller strictement la plage plusieurs jours après la pluie. L'écoulement des eaux d'égouts est quant à lui, permanent et ces eaux sont particulièrement dangereuses car elles véhiculent des quantités immenses de germes pathogènes (choléra, typhoïde) et de virus (surtout celui de l'hépatite). La transmission est directe vers les baigneurs.

4.2 Impact sur la faune marine

La pêche doit aussi être contrôlée car après la pluie, des piroguiers viennent pêcher les poissons attirés par les rejets. La réglementation de la pêche doit tenir compte des éléments pollués dont se nourrissent les poissons. Nous n'avons pas fait d'étude sur des poissons capturés dans ces eaux mais nous rapportons celles faites dans les eaux évacuées sur la plage de l'Université et de celles d'autres plages de Dakar recevant des eaux usées (Séminaire - atelier de Gorée 1992). Cette étude avait montré la présence d'une contamination bactériologique (coliformes et staphylocoques) de tous les échantillons d'eau prélevés de Thiaroye à l'Université. Les échantillons de poissons collectés ont été distingués en espèces pélagiques vivant en pleine eau et en espèces démersales vivant au fond. Les résultats ont montré que "les espèces démersales vivant ou se nourrissant au fond ont été plus contaminées que les espèces pélagiques, vivant en pleine eau, exception faite de la baie de Soumbédioune où des échantillons de poissons très consommés (*Trachinotus ovatus* ou Khane en ouolof, *Selene dorsalis* ou fanta mbaye et *Pomadasys jubelini* ou sompaat) contenaient jusqu'à 7100 coliformes fécaux/g.

L'analyse des métaux au niveau des échantillons de poissons a montré une nette contamination des poissons en cuivre, mercure plomb, chrome et cadmium, éléments hautement nocifs pour l'organisme humain. L'étude de SECK A. A. (1992) sur la contamination du peuplement benthique et la pollution des baies de Dakar¹¹ a montré que le littoral de Dakar présentait deux secteurs séparés par la pointe du Cap Manuel. Le secteur

¹¹ Communication au séminaire atelier de Gorée

couvrant les façades ouest et nord est plus pauvre en matière organique et en biomasse phytoplanctonique. Cependant cette dernière étude affirme que malgré le dépassement des normes requises, la situation n'est pas irréversible sauf à la baie de Sombédioune où elle est catastrophique.

4.3 Pollution des nappes phréatiques

Les nappes phréatiques à l'instar du milieu marin, reçoivent des matières polluantes par infiltration des eaux superficielles, phénomène souvent accrue par la stagnation des eaux usées. Les campagnes de mesures de mai et décembre 1995 menées par la SONEES ont montré des concentrations en nitrates indiquant une pollution très importante au niveau des champs de captage des nappes infrabasaltique et de Thiaroye. SONIA C. (1996) préconise, après ce constat, la mise en place de périmètre de protection immédiats autour des ouvrages de captage destinés à l'AEP.

Dans les zones rurales, dominées par l'agriculture, le phosphate contenu dans les engrais est entraîné vers les eaux souterraines. D'ailleurs les valeurs de nos prélèvements de juin 1994, en fin de période sèche sont toujours plus élevés. Elles baissent avec les pluies importantes qui diluent les concentrations

* * *

Le chapitre sur la qualité de l'eau restera celui qui nous procure le moins de satisfaction car pendant deux ans, nous avons cherché en vain les moyens de déterminer les paramètres essentiels que sont la DBO et la DCO. Au delà des structures sur place, nous avons pris contact avec un spécialiste de la FUL dans l'espoir d'obtenir des techniques légères qui permettraient des analyses rapides et de coût acceptable. En réalité celles-ci sont impossibles pour ces types de paramètres d'après un chimiste de l'ORSTOM Montpellier. Cela semble se confirmer car la FUL nous a orienté vers un laboratoire français proposant du matériel couvrant tous les besoins mais d'un montant de 4.500.000 F cfa. Ce ne sont pas des kits légers et sont hors de nos possibilités. Nos espoirs résident dorénavant sur la mise sur pied d'un projet fédérateur afin que des données de qualité des eaux usées urbaines soient disponibles dans un avenir proche.

TROISIÈME PARTIE ÉTUDE DES ÉCOULEMENTS

Le premier chapitre rappelle différents modèles sur le ruissellement urbain, le second présente la physiographie du bassin expérimental, le troisième rend compte des mesures hydropluviométriques sur le bassin expérimental. Enfin le quatrième et dernier concerne les essais de modélisation de l'écoulement urbain à Dakar.

CHAPITRE PREMIER : REVUE CRITIQUE DES MODÈLES

Les modèles d'assainissement s'attachent à simuler l'évolution dans le temps et dans l'espace des phénomènes qui sont à l'origine de l'assainissement des agglomérations. Ces phénomènes sont nombreux et complexes. Ils constituent le cycle de l'eau, naturel et influencé en milieu urbanisé: pluviométrie, ruissellement superficiel, écoulement dans les réseaux de drainage.

Globalement un modèle est une représentation mentale ou physique d'un système réel que l'on traduit sous forme verbale, graphique ou mathématique. Un modèle mathématique d'un phénomène est constitué par une ou plusieurs relations entre des variables expliquées et expliquantes (explicatives). Elles comprennent également des paramètres liés à la nature du phénomène, de son domaine d'observation. Pour un ensemble donné de valeurs des variables expliquantes et des paramètres, un modèle conduira à la détermination, explicite ou implicite, des valeurs des variables expliquées.

Deux grandes écoles se partagent le terrain de la modélisation: les modèles déterministes et les modèles probabilistes (ou stochastiques). Les modèles déterministes sont constituées par des relations déterministes entre variables expliquantes et expliquées. Ce sont des relations soit purement déterministes soit comportant une faible composante aléatoire attribuée aux erreurs de mesure ou d'adéquation du modèle. Quant aux modèles probabilistes, ils supposent que les variables sont aléatoires. Ils sont constitués de relations entre les variables des phénomènes et leurs probabilités d'atteindre ou non certaines valeurs.

Les modèles déterministes comportent trois éléments que sont:

- les modèles déterministes mécanistes qui découlent d'une analyse physique et théorique plus ou moins simplifiée des phénomènes. Ils relèvent d'une conception classique reposant sur une certaine homogénéité ou harmonie des phénomènes autorisant la connaissance du plus "grand" par celle du plus "petit". Ces modèles nécessitent cependant un support expérimental pour la définition de certains paramètres physiques des équations ou pour tester certaines approximations.

- les modèles déterministes empiriques sont issues de l'observation des phénomènes et de la mesure de leurs variables.

- les modèles déterministes conceptuels, une alternative aux deux précédents, sont généralement fondées sur une schématisation des phénomènes, les identifiant à des processus de transformation de flux entrants en flux sortants à la traversée d'une unité hydrologique considérée alors comme une unité de transformation.

Le dimensionnement des ouvrages d'évacuation, quelque soit le modèle choisi, passe par la détermination d'un certain nombre de paramètres sans lesquels, les prévisions ne peuvent être fiables. Les modèles d'estimation du ruissellement comprennent un certain nombre d'éléments qui reviennent assez souvent.

1 LES COMPOSANTES DES MODÈLES

Il existe des composantes nécessairement retenues dans la construction de tout modèle de ruissellement.

1.1 Surface et pluie du bassin

La surface du bassin et les précipitations sont partout présentes dans la mesure où le débit est le résultat d'un "filtrage" de la pluie par le bassin versant (DESBORDES M. 1984). La surface du bassin versant, c'est à dire la zone dont il faut évacuer l'eau, est en général assez facile à déterminer. Il s'agit ici du bassin dit topographique et surtout en milieu naturel. La délimitation des surfaces de bassins versants urbains est cependant assez souvent compliquée par les modifications du drainage causées par le bâti et le réseau routier. Les intensités de pluie peuvent être obtenues après dépouillement des enregistrements du pluviographe par des logiciels comme PLUVIOM. Pendant longtemps les hydrologues se sont intéressés au débit de pointe de fréquence décennale que le bassin devrait évacuer. Ce débit maximal ne peut cependant être correctement estimé sans au préalable une détermination du coefficient de ruissellement c'est à dire la fraction du volume d'eau tombé sur une surface et qui atteindra l'exutoire.

1.2 La question du coefficient de ruissellement

La détermination du coefficient de ruissellement reste un des problèmes principaux des bassins versants urbains. La recherche a d'ailleurs bien pris en charge cet aspect; les chercheurs ont procédé par estimation, puis par échantillonnage de portions de sols du bassins. Le simulateur de pluie a été ensuite d'un grand apport. La

téledétection permet de saisir, grâce à la diversité de la réflectance spectrale des éléments de la nature, les différents types de surfaces représentées sur les bassins versants.

La difficulté est restée toute entière à cause de la multiplication des états de surfaces du fait de la variété des types de recouvrements. La réponse à la pluie est différente selon chaque état de surface. Il a fallu donc sérier ces états pour mieux appréhender la réponse particulière de chacune d'elles. Cet axe de recherche a conduit à l'adoption de sites représentatifs assez homogènes et de dimension réduite à partir desquels on procède à l'extrapolation des résultats pour des ensembles plus vastes. La distribution des types de surfaces sur le bassin versant est une difficulté qui s'est ajoutée à la situation des pays sous-développés. En effet, l'imbrication entre les surfaces naturelles nues, les surfaces couvertes de végétation et les surfaces imperméabilisées rend plus difficile la détermination d'un coefficient moyen pouvant être considéré pour l'ensemble du bassin.

Le bassin versant que nous avons suivi pendant 2 campagnes est de taille modeste mais renferme cependant plusieurs types d'états de surface: routes goudronnées, trottoirs cimentés ou pas, maisons en terrasse ou en tôles ondulées, sols pavés, sols nus, couvert végétal... Ces différents états de surface se retrouvent dans chacun des sous-bassins car ils sont imbriqués les uns dans les autres. Pour chacune de ces unités, nous avons établi les superficies occupées selon plusieurs méthodes: lors de la première campagne, nous avons procédé par planimétrie systématique ou par estimation et extrapolation en ce qui concerne les zones résidentielles très souvent inaccessibles. Nous avons alors généralisé les plans des maisons que nous avons visitées à l'ensemble du même quartier. Cette généralisation a permis d'individualiser un nombre restreint de type d'occupation:

T1: Terrain nu non revêtu

T2: Terrain avec bâti assez dense (type Mermoz)

T3: Terrain bâti avec espace vert important (type Fann)

T4: Espace recouvert de végétation (type Parc OMVS)

Le SIG Savane détermine automatiquement les surfaces élémentaires qui ont été individualisées et digitalisées. Pour les routes, dont l'évaluation de la surface est difficile sur les cartes, leurs longueurs peuvent être cherchées par le compteur d'une voiture puis être multipliées par une largeur qui peut être de 10 mètres pour les grands axes et 8 pour les rues. Finalement la restitution par la cartographie informatique a été retenue et le réseau routier intégré dans les zones à bâti dense. Le tableau ci-dessous présente les valeurs en hectares pour chaque état de surface ou type d'occupation.

Tableau 72 - Superficie des états de surfaces représentés sur le bassin versant

Type de sol	échantillon	Coefficient probable	superficie
T1	terrain ENS		16.26923
T2	Mermoz		42.68732
T3	Fann		37.85255
T4	Parc OMVS		33.17235
Total			129.98145

La discrétisation du bassin versant en plusieurs sous-bassins caractérisés par un type particulier de recouvrement permet d'obtenir un coefficient de ruissellement moyen par pondération de la valeur de chaque type à la superficie qu'il représente sur le bassin. Les valeurs seront attribuées en fonction des capacités de ruissellement de chaque type. On admet que les routes, imperméables, écoulent toute la pluie reçue, les zones densément bâties sont plus ruisselantes que celles où les espaces verts sont bien représentés, les surfaces recouvertes de végétation ne ruissellent pas tandis que les sols nus ne sont pas totalement perméables et participent à la formation des débits écoulés à l'exutoire.

1.3 Les paramètres de crue

Certaines notions de temps méritent d'être comprises car elles apparaissent souvent dans l'énoncé de certains modèles: temps de concentration, temps de réponse, temps de base, etc. La plupart d'entre elles sont définies selon l'hydrogramme ou courbe des débits instantanés en fonction du temps.

Le *temps de montée* ou T_M , est le temps écoulé entre le début du ruissellement et la pointe de débit. Le *temps de base* ou T_B , s'écoule du début à la fin du ruissellement.

Le *temps de réponse* ou T_R d'un bassin versant est caractérisé par l'intervalle de temps qui sépare la pointe du hydrogramme de la pointe de l'hydrogramme, ou par l'intervalle de temps entre leur centre de gravité.

Le *temps de concentration* T_C , est le plus difficile à définir pour un bassin versant. C'est le temps nécessaire que met la goutte d'eau la plus éloignée hydrologiquement, pour atteindre l'exutoire. On simplifie souvent en

considérant le temps pour que le ruissellement au point le plus éloigné parvienne à l'exutoire. En réalité il ne s'agit pas de la distance la plus longue car celle-ci peut, à la faveur d'une pente importante, atteindre plus vite l'exutoire. Il est souvent mesuré par l'intervalle de temps entre le début de la pluie nette et la fin du ruissellement de surface. Généralement le temps de concentration est supérieur au temps de réponse, la différence étant fonction de la taille du bassin versant.

Pour le cas du bassin de Dakar, caractérisé par un allongement notoire, nous avons pensé à implanter un second pluviographe sur le point le plus éloigné selon la distance et peut être aussi le plus éloigné hydrologiquement de l'exutoire, pensant ainsi approcher cette notion de temps de concentration.

L'estimation du temps de concentration reste donc difficile. Il est le plus souvent décomposé en temps de ruissellement superficiel (t_s) dans la partie du bassin qui ne comporte pas de canalisation et en temps d'écoulement (t_r) dans le réseau jusqu'à l'exutoire.

Notons aussi avec BOUVIER (1990) que le temps de concentration varie en fonction du débit de pointe, ceci veut dire que le temps de parcours de l'écoulement sur le plus long chemin hydraulique est fixe pour une crue donnée, mais peut varier d'une crue à l'autre.

Plusieurs formules ont été définies pour le calcul de t_s , parmi lesquelles:

$$t_s = 1.1 * (1.1 - C) * (L)^{1/2} / (J)^{1/2}$$

t_s : temps de ruissellement en minutes

C : coefficient de ruissellement

L : longueur du plus long chemin hydraulique en mètres

J : pente moyenne du chemin hydraulique en %.

Le temps de ruissellement superficiel est très court pour des bassins fortement urbanisés et de forte pente.

Pour ce qui est du temps t_r , on peut passer par la formule de Manning-Strickler qui permet de déterminer la vitesse et le débit de l'écoulement en fonction de la nature et des caractéristiques géométriques de la canalisation en question:

$$V = K_s * R^{2/3} * J^{1/2}$$

$$Q = V * S$$

V = vitesse de l'écoulement en m/s, Q = débit de l'écoulement,

K_s = coefficient de Strickler¹²

R = rayon hydraulique en m (rapport entre section mouillée et périmètre mouillé)

J = pente de la canalisation (m/m), S = section mouillée

A partir de la vitesse et de la longueur du réseau, on peut avoir le temps d'écoulement (t_r).

De manière beaucoup plus simple, certains chercheurs considèrent le temps de concentration comme le temps écoulé entre la pointe du hyétogramme et celle de l'hydrogramme, ce qui en réalité est le temps de réponse du bassin versant.

Quelques autres définitions utiles en hydrologie figurent en annexe. Elles sont tirées de CHUZEVILLE 1990.

2 LES MODÈLES DE RUISSÈLEMENT

Pour une connaissance plus exhaustive de cette question, nous renvoyons à l'ouvrage de DESBORDES 1984 déjà cité. L'estimation du débit de pointe, de récurrence décennale en particulier, occupe une place centrale dans les projets d'ouvrages évacuateurs¹³. En effet, il est nécessaire de connaître le débit maximum que la pluie dont on veut se protéger, est capable de produire. Le canal ou le caniveau que l'on veut construire, devrait pouvoir évacuer ce débit sans dommages. Ainsi pendant longtemps la modélisation du ruissellement ne s'est soucié que

¹² voir en annexe la liste des coefficients de rugosité K de Manning-Strickler

¹³ il faut noter que la recherche a évolué d'abord vers la reconstitution de l'hydrogramme complet de ruissellement et actuellement c'est la modélisation spatialisée qui se développe de plus en plus

de la prédétermination de ce paramètre, certes essentiel dans le calibrage des ouvrages, mais insuffisant si l'aménagement concerne la surface intérieure du bassin.

« Le calcul des débits d'eaux pluviales à l'exutoire d'un bassin versant fait intervenir un certain nombre de facteurs: des facteurs climatiques concernant la nature des précipitations, leur distribution dans le temps et dans l'espace, leur durée, la direction de leur déplacement, l'humidité initiale du sol, etc.; des facteurs physiographiques concernant les dimensions du bassin versant, sa forme, son orientation, la distribution de ses pentes superficielles, la densité de son réseau hydrographique, l'utilisation, la couverture et la nature des sols, etc.; des facteurs physiques concernant les modes d'écoulement des eaux dans le réseau de drainage naturel ou artificiel, les dimensions des chenaux, leurs formes, longueurs, pentes, rugosités, capacités, etc.

Les processus physiques de la transformation de la pluie en débit sont en outre particulièrement complexes et ne peuvent être décrits par une théorie générale intégrant la totalité de ces facteurs. Il est donc délicat de réaliser une analyse hiérarchique de leurs influences sur les débits afin de ne retenir que les plus importants» (FOUQUET et al 1978).

Compte tenu de ces difficultés, les recherches se sont orientées vers deux axes principaux. La première se fonde sur l'exploitation des données observées, cependant très réduites car l'hydrologie urbaine est moins développée que l'hydrologie classique.

2.1 Les formules empiriques

Très tôt, de nombreuses formules empiriques ont été mises au point mais très vite délaissées: elles sont très peu utilisables en dehors de leur domaine expérimental d'ajustement. Dans la centaine recensée par l'hydrologue américain Van Te CHOW, nous citons celle de BÜRKL-ZIEGLER:

$$Q = k_1 * A^{0,75} * I * S^{0,25}$$

Q est le débit de pointe en pieds cubes par secondes (une unité = 0,0283 m³/s)

k₁ est un coefficient variant de 0,2 en zone rurale à 0,75 en zone urbaine d'habitat très dense

A est la surface drainée en acres (une unité = 0,405 ha)

I est l'intensité moyenne de la pluie en pouces par heure (25,4 mm/h) variant de 1 à 3.

S est la pente moyenne du bassin en millièmes.

Des variantes à cette formule de BÜRKL-ZIEGLER ont été utilisées; le plus souvent, ce sont les exposants ou certaines variables qui changent. mise à part celle de la surface du bassin versant présente dans toutes les formules empiriques. Certains auteurs ont essayé d'améliorer cette formule en introduisant la période de retour T du débit calculé¹⁴.

La vérification de ces types de formules en dehors de leur domaine expérimental a vite mis à nu leur caractère arbitraire. Certains chercheurs s'orientèrent alors vers l'utilisation de théories générales simplifiées des phénomènes hydrologiques. Ainsi naquirent les formules dites rationnelles.

2.2 La formule rationnelle et ses dérivées

Elles sont fondées sur la sélection des facteurs prépondérants du ruissellement urbain. L'utilisation ou non d'un concept (le temps de concentration d'un bassin versant) est cependant à la base de la distinction des écoles anglo-saxonne (formules débitométriques) et italienne (formules volumétriques). Nous distinguerons d'abord la forme initiale, puis les réaménagements superficiels ensuite la proposition de CAQUOT qui s'est voulue une remise en question des paramètres à considérer et enfin la formule proposée par LEMOINE et MICHEL.

¹⁴ La formule de Fuller (ou formule de Coutagne en France) en est une illustration. Elle s'exprime comme suit:

$$Q = K_2 * A^{0,75} * (1 + b \log T) * (1 + 2A^{0,25})$$

k₂ varie de 25 à 200 suivant la nature des bassins en particulier

b varie de 0,8 à 45, suivant les conditions climatiques régionales, la saison, etc.

Cette formule, encore utilisable en hydrologie classique, est difficilement extrapolée en bassin non jaugé, comme du reste la grande majorité des formules empiriques.

2.2.1 La forme initiale et les premiers réaménagements

Elle s'écrit comme suit: $Q_p = C * I * A$

Q_p représente le débit de pointe de crue en m^3s^{-1} , C le coefficient de ruissellement en rapport, I l'intensité constante de la pluie en m/s et A la superficie du bassin en m^2

Cette célèbre formule rationnelle a été réaménagée à plusieurs reprises et les premières modifications datent du début du siècle. Le premier constat est qu'*une averse présente rarement une intensité constante*. Si le coefficient de ruissellement C est constant, le débit de pointe donné par une averse d'intensité variable est égal à celui provoqué par une averse d'intensité constante et égale à $\bar{I}_{\max}(tc)$, maximum de l'intensité moyenne de l'averse sur une durée égale au temps de concentration du bassin; ainsi la formule devient:

$$Q_p = C * \bar{I}_{\max}(tc) * A$$

Dans cet ordre d'idée, l'intensité moyenne maximale sur le temps de concentration du bassin et le débit qui en résulte ont même fréquence d'apparition, la formule s'écrit alors:

$$Q_p = C * \bar{I}_{\max}(tc, T) * A$$

La formule rationnelle est représentée le plus souvent sous cette forme. Elle donne le débit de pointe $Q_p(T)$, de période de retour T, à l'exutoire d'un bassin versant de surface A, de coefficient de ruissellement C, sous une averse de durée égale au "temps de concentration" tc du bassin et d'intensité moyenne $i(tc, T)$ de période de retour T.

Le concept de temps de concentration est à la base de cette méthode fondée donc en résumé sur trois hypothèses:

- * le débit de pointe ne peut être observé à l'exutoire que si l'averse a une durée au moins égale au temps de concentration. A cette condition, la totalité du bassin contribue à la formation de la pointe de débit. "et le débit atteint son palier maximum égal au produit de l'intensité de la pluie nette par la superficie du bassin" (BOUVIER 1990)

- * le débit de pointe est proportionnel à l'intensité moyenne de l'averse au cours du temps de concentration:

- * le débit de pointe a la même période de retour que l'intensité moyenne qui le provoque. Ceci suppose que le coefficient C soit constant; en fait, il est fonction de l'état du sol au début de la période de forte intensité de la pluie, notamment en zone rurale ou faiblement urbanisée.

Ces données d'analyse supposent implicitement que le bassin versant présente une homogénéité spatiale de tous les facteurs de l'écoulement (nature des sols et de leur couverture, coefficient de ruissellement, pentes, rugosités, etc.), ce qui s'observe difficilement.

L'estimation des variables de la formule pose quelques problèmes. La surface A est la seule variable en général simple à définir car elle représente l'aire drainée à l'amont d'un point de calcul du réseau, point appelé exutoire. L'intensité $i(tc, T)$ peut être obtenue par les courbes « intensité-durée-fréquence », obtenue par l'étude statistique des enregistrements de la pluviographie. Le temps de concentration et le coefficient de ruissellement demeurent les paramètres les plus difficiles à déterminer.

Les chercheurs ont ensuite tenté d'améliorer la formule rationnelle par l'estimation de l'abatement spatial de l'intensité d'un orage autour de son épiceutre. L'abatement se fait par la substitution à la mesure ponctuelle de la pluie par une valeur moyenne étendue sur le bassin. A partir de 1930, des modifications diverses ont été apportées à la formule rationnelle pour prendre en considération le temps de concentration ainsi que d'autres facteurs de l'écoulement comme la forme du bassin versant, de son réseau de drainage¹⁵ ainsi que l'effet de stockage temporaire dans le réseau. Ces auteurs (parmi lesquels GREGORY et ARNOLD, CAQUOT puis CHOW) s'efforcent d'exprimer le débit de pointe en collant le plus à la réalité de la transformation de la pluie en débit.

La formule rationnelle a alors évolué vers l'expression suivante:

$$Q_p(T) = K * C * \bar{I}_{\max}[T, i(tc)] * A * \alpha$$

k (< 1) traduit l'effet d'écrêtement du réseau,

¹⁵FOUQUET P., COSTE C idem

α (< 1) l'effet d'abatement des précipitations,
f la fonction de variation du temps de concentration.

Certains chercheurs (notamment ceux de l'école italienne) remirent en question le concept de temps de concentration et reprochèrent à la méthode rationnelle de ne pas tenir compte de l'effet de capacité du réseau. Ils pensèrent à des théories volumétriques fondées sur le "temps de remplissage du réseau" et le calcul du volume d'eau stocké. Les formules qu'ils ont développées, nécessitent des calculs nombreux et difficiles.

2.2.2 Le modèle de CAQUOT

Cherchant à lever les indéterminations que renferment les formules rationnelles, CAQUOT va s'appuyer sur la conservation des volumes mis en jeu dans le ruissellement durant l'intervalle de temps séparant le début de l'averse et l'instant θ où l'on observe le débit maximum Q_p à l'exutoire du bassin. Ce bilan volumétrique s'écrit pour un bassin et une averse donnée:

$$\frac{1}{6} H * C * A * \alpha = (\beta c + \beta \theta) Q_p$$

H est la hauteur de pluie en mm, tombée entre les instants 0 et θ à l'épicentre de l'orage

C est le coefficient de ruissellement du bassin,

A est sa surface en hectares,

α est le coefficient d'abatement spatial de l'averse, $= A^{(-0.063)}$

t_c est le temps de concentration en minutes

$\beta + \delta$ sont des paramètres de transfert et de stockage.

$\beta Q_p \theta * 60$ est le volume écoulé à l'exutoire depuis le début de l'averse.

1/6 est un coefficient qui tient compte des unités choisies

CAQUOT proposait $\beta = 0.85$ et $\delta = 1$ pour les paramètres de transfert et de stockage, 0.178 pour le coefficient d'abatement spatial de la pluie. DESBORDES M. (1974) corrigera en prenant $\beta + \delta = 1.10$ et $\alpha = 0.05$

θ est en général, légèrement supérieur au temps de concentration. En prenant $t_c = \theta$, il y aura une majoration du débit de pointe. L'équation qui donne ce débit sera donc la suivante:

$$Q_p = \frac{1}{6(\beta + \delta)} \alpha \cdot C \cdot A \cdot \frac{H}{t_c}$$

avec H / t_c qui représente l'intensité moyenne sur la durée t_c .

Cette équation s'écrit aussi comme suit:

$$Q_p = \frac{H \cdot C \cdot A \cdot \alpha}{6 \cdot (\delta + \beta) \cdot t_c}$$

Elle se présente aussi sous une forme monôme plus connue et appelée « formule superficielle » de CAQUOT:

$$Q_p(T) = K(T) * I^{m(T)} * C^{n(T)} * A^{p(T)}$$

Cette formule a été le plus utilisée pour le dimensionnement des ouvrages en Afrique de l'Ouest. Les bureaux d'étude, à qui ont été confiés ces travaux, « n'ont pas toujours pris en compte les spécificités climatiques et urbaines des bassins africains ».

Évaluation critique de la méthode de CAQUOT

Beaucoup d'auteurs sont revenus sur la méthode de CAQUOT et face aux mauvais résultats, les responsables africains chargèrent le CIEH¹⁶ et l'EIER de faire le point et d'apporter des correctifs.

LEMOINE et MICHEL (1972) partirent du constat suivant: « l'évaluation des débits de ruissellement en zone urbaine procède de formules générales mises au point en Europe pour des types d'averses correspondant aux climats européens et des bassins urbains européens. Les averses et les conditions d'écoulement sont fort différentes en Afrique, aussi ne faut-il pas s'étonner de rencontrer des débits de ruissellement très différents eux aussi des valeurs calculées à partir de telles formules ». LEMOINE et MICHEL ont eu des résultats décevants en

¹⁶ Comité Inter-africain des Etudes Hydrauliques

testant le modèle de CAQUOT malgré un meilleur choix des paramètres. Pour une utilisation du modèle de CAQUOT, ils avaient établi pour Niamey l'équation suivante:

$$Q = 850 * I^{0.20} * C^{1.11} * A^{0.80}$$

Pour le Sénégal où la valeur du coefficient α de la loi de Montana relatif à la détermination de l'intensité devrait être majorée par rapport à Niamey¹⁷, ils proposaient l'équation suivante:

$$Q = 975 * I^{0.20} * C^{1.11} * A^{0.80}$$

Ils ont ensuite testé ces formules avec des données de mesure sur 2 bassins à Niamey. Les résultats montrent d'abord une très nette sous-estimation par les formules de la France mais aussi par celle de Niamey.

Tableau 73- Débit décennal observé, estimé et calculé par la Formule de CAQUOT

	Qmax observé en l/s	estimé d'après les mesures	Paris	Montpellier	Niamey
Bassin 1	5480	7000 à 9500	3070	3700	4070
Bassin 2	8400	10000 à 13500	6700	8220	8800

Tableau 74- Estimation comparée par les formules rationnelle et de CAQUOT

Débits décennaux	Bassin 1	Bassin 2
Extrapolés	7 à 9,5	10 à 13,5
Formule de CAQUOT	5,0	10,8
Formule rationnelle	7,0	14,0

SIGHOMNOU D. (1986) se propose de réadapter la formule de CAQUOT à partir de données recueillies à Niamey, Ouagadougou et Yopougon. En appliquant sa formule modifiée par un réajustement des paramètres sur un échantillon des débits de pointe observés, aux événements non utilisés pour l'ajustement, SIGHOMNOU remarque que la comparaison débits calculés - débits observés est bonne à condition que le coefficient C choisi, soit très supérieur au coefficient d'imperméabilisation du bassin.

Avec sa formule calée sur les débits observés, il calcule les débits de période de retour décennale sur les bassins de Yopougon et les compare aux débits maximaux observés. Sur 4 bassins, les débits sont sous-estimés sur 2 et surestimés sur les 2 autres. Le coefficient expérimental C étant supérieur aux coefficients de ruissellement observés, la formule de SIGHOMNOU tend à sous-estimer les débits de pointe décennaux.

"Les vérifications de SIGHOMNOU montrent que la difficulté principale de l'application des modèles rationnels en Afrique de l'ouest réside dans l'évaluation du coefficient de ruissellement. La valeur moyenne observée tend à réduire le débit de pointe calculé".

La formule de CAQUOT est encore recommandée en France, territoire qui a été découpé en plusieurs zones ayant chacune ses propres paramètres; la détermination de ces derniers repose sur de longues séries d'observation des pluies et des débits, ce qui n'est pas le cas en Afrique où malgré les limites d'application et d'adaptation, cette formule qui s'est voulue une version améliorée de la formule rationnelle, reste encore utilisée dans le dimensionnement des ouvrages.

2.2.3 La formule de Lemoine et Michel

Ils en sont venus à proposer une approche inspirée de la méthode rationnelle à la suite de plusieurs observations sur le mode d'établissement de la formule ($Q = f(I, C, A)$), sur le coefficient d'abattement spatial, sur l'allongement du bassin, le temps de concentration et la capacité du réseau. S'agissant du coefficient d'abattement spatial, ils pensent qu'une valeur de 0.05 pour le coefficient α , proposée par RODIER et AUVRAY (1965) et confirmée par DESBORDES (1974) était meilleure que celle de 0.178 proposée par CAQUOT. S'agissant du temps de concentration, ils définissent $t_c = 1.1 * A^{0.20} * I^{-0.375}$, avec t_c en min, A en ha, I en mm/m, alors que Caquot définissait pour ce temps: $t = 3.7 * A^{0.366} * Q^{-0.20}$.

¹⁷ Ces valeurs ont été obtenues suite à l'étude de BRUNET-MORET (1967) sur les averses en Afrique occidentale: pour la Vallée du Sénégal, la valeur de a doit être prise entre 7.8 à 8, pour le centre-nord entre 8 et 8.5 et pour le centre-sud entre 8.5 et 8.7. la valeur de b restant égale à -0.5, on obtient $i = 8.5 t^{-0.5}$

L'équation globale proposée pour l'Afrique Tropicale et établie pour un débit de fréquence décennale est la suivante:

$$Q = \frac{10^3 a}{9 * 1.1^b} * C * I^{\frac{3b}{8}} * A^{0.95-0.2b}$$

L'application à chacune des sous-zones d'Afrique Tropicale dépend des coefficients a et b . Ainsi on obtient les formules suivantes pour :

$$\text{Niamey: } Q = 795 * I^{0.19} * C^{1.11} * A^{0.85}$$

$$\text{Sénégal: } Q = 900 * I^{0.19} * C^{1.11} * A^{0.85}$$

Pour le coefficient de correction (K) de l'allongement du bassin, ils proposent le tableau suivant:

Tableau 75- Coefficient de correction de l'allongement du bassin

L/NA	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4
K	1,3	1,5	1,9	1	0.94	0.89	0.81

La formule de Niamey donne 5000 l/s pour le bassin n°1 et 10800 l/s pour le bassin n°2. Si le calcul s'approche plus pour le bassin n°2 (10000 à 13000 l/s), ce n'est pas le cas pour le n°1 (7000 à 9500). Cette minoration serait peut être due à la valeur de 1.5 affectée à $\beta+\alpha$, ce qui surestime la capacité de stockage du réseau. Une valeur de 1.2 majorerait le débit de 20%. qui serait plus conforme aux observations.

Le constat définitif de LEMOINE et MICHEL est que le débit de pointe calculé aussi bien par la formule de CAQUOT que par celle qu'ils ont modifiée, est en deçà des valeurs observées à Niamey. Ils avancent l'idée que "ces valeurs calculées pourraient probablement être la limite inférieure du débit de crue décennale dans la mesure où ces formules semblent surestimer l'effet d'écrêtement de la crue dû à la capacité de stockage du réseau".

Constatant que la méthode rationnelle conduit à des valeurs plus élevées que celle de Caquot et celle qu'ils avaient défini en premier car elle néglige l'effet de stockage, LEMOINE et MICHEL, après des considérations sur la vitesse d'écoulement dans le réseau, du temps de ruissellement en surface, aboutissant à une nouvelle définition du temps de concentration ($t = 1/12 * L * I^{-1/2}$, avec L longueur du plus long chemin hydraulique en hm et I pente moyenne du bassin en m/m), arrivent à l'équation suivante:

$$Q_{1/s} = 1000/6 * 12^b * a * C * I^{b/2} * L^{-b} * A^{0.95}$$

Cette nouvelle formule générale conduit aux expressions locales suivantes pour:

$$\text{Niamey: } Q_{1/s} = 4330 * C * I^{0.25} * L^{-0.5} * A^{0.95}$$

$$\text{Sénégal: } Q_{1/s} = 4900 * C * I^{0.25} * L^{-0.5} * A^{0.95}$$

Selon les auteurs, ces formules sont valables pour des temps de concentration à 90 minutes, ce qui correspond aux données suivantes pour un bassin: 130 hm pour une pente de 0.005 et 0.75 hm pour une pente de 0.015. Pour notre part nous remarquons que cette formule comme la précédente ne comporte pas la pluie tombée sur le bassin mais une valeur de l'intensité locale déterminée par l'équation de Montana. Cette valeur de i fait varier les paramètres d'ajustement.

Les valeurs trouvées par ces formules ci-dessus se rapprochent davantage de celles observées à Niamey (7000 l/s au bassin n°1 et 14000 au bassin n°2). L'estimation est plus correcte au bassin 2 car le coefficient de ruissellement considéré est de 70% alors qu'il est de 55% au bassin 1; l'observation a cependant montré qu'il ne dépasse nulle part 50%, ce qui veut dire qu'avec une valeur correcte, ces formules sous-estimeraient le débit. Le choix du coefficient de ruissellement conditionne donc la précision du résultat final et il faut qu'il soit surévalué pour que l'estimation soit assez correcte. LEMOINE et MICHEL ont fait remarqué qu'ils ne pouvaient pas estimer le coefficient de ruissellement sur un bassin non jaugé. BOUVIER (1990) montrera que "l'approximation utilisée en France, consistant à prendre pour coefficient de ruissellement la proportion des surfaces imperméables, ne pouvait être adoptée au milieu africain".

Pour des soucis économiques, LEMOINE et MICHEL proposent un tableau de variation de a et du coefficient de correction pour différentes périodes de retour. Ceci permet aux ingénieurs chargés de l'aménagement de choisir

à partir de la valeur de crue décennale, la fréquence contre laquelle ils souhaiteraient protéger les populations ou les infrastructures.

2.3 Test d'adéquation de la formule rationnelle par LE BARBE

LE BARBE ajuste son modèle⁽¹⁸⁾ aux données qu'il a mesurées à Ouagadougou et en déduit des débits associés à des périodes de retour différentes. Ces débits selon la période de retour augmentent de même que le coefficient C, qu'il assimile au coefficient de ruissellement mais qui, apparaît selon BOUVIER comme un simple coefficient d'ajustement: en effet ses valeurs dépassent 100% alors que celles qui sont observées n'atteignent que 25 à 30%.

Pour LE BARBE, le coefficient C ne peut être considéré comme constant dans la mesure où le temps de concentration est constant. L'un des deux paramètres devrait varier selon le débit de pointe. Ceci n'est pas conforme avec les hypothèses sur lesquelles s'appuie la formule rationnelle: une formule du type de celle de CAQUOT, supposant que le temps de concentration varie en fonction du débit de pointe serait alors en meilleure adéquation avec les propositions de LE BARBE.

Ce dernier conclut que la formule rationnelle n'est pas valable car pour qu'elle donne des valeurs proches des débits qu'il a mesurés sur des bassins expérimentaux, il faudrait affecter au coefficient C une valeur supérieure à 1, ce qui est une aberration. Après avoir décrit le modèle de LE BARBE, BOUVIER dit ceci: « il s'attache à obtenir une évaluation précise des coefficients de ruissellement, fondée sur des concepts d'hydrologie des espaces naturels, et il prend en compte l'influence de la durée de l'averse sur la surface du bassin qui contribue au débit de pointe de crue. Ceci permet une évaluation correcte des débits de fréquence rare. Les inconvénients restent liés à ce que, en l'absence de mesures, les paramètres ne peuvent être prédéterminés; le nombre et la nature des paramètres de production rendent assez complexe leur interprétation et leur association avec des fonctions caractéristiques mesurables du bassin ou des précipitations. D'autre part, la reconstitution des débits reste limitée au seul débit de pointe ».

De toutes ces dernières considérations sur les formules rationnelles et celle de CAQUOT, nous retiendrons les remarques suivantes de BOUVIER 1990:

- l'approximation du coefficient de ruissellement du bassin par un coefficient constant n'est justifiée que dans la mesure où les surfaces imperméables exercent un rôle prépondérant. Un coefficient d'imperméabilisation minimum de 0.20 a donc été proposé pour satisfaire à cette approximation. L'estimation du coefficient de ruissellement à partir de la considération des surfaces imperméabilisées dans les pays développés, ne convient pas en Afrique car elle est en deçà de la réalité. Les paramètres annexes, comme le temps de concentration, l'effet d'écrêtement du réseau, l'abattement spatial des précipitations ne sont pas aussi aisément cernés. Il faudrait donc développer les mesures de ruissellement pour consolider davantage une démarche empirique, à l'instar de celle développée en pays industrialisés.
- l'application de la formule de CAQUOT suppose que les caractéristiques sont homogènes, notamment en ce qui concerne la pente et l'occupation des sols. En cas de groupements de sous-bassins de caractéristiques hétérogènes, il est possible d'évaluer des "paramètres équivalents" sur l'ensemble du bassin. d'après les recommandations de Desbordes 1974 et Raous 1975;
- des limites de superficies et de pentes ont également été fixées:

$$A < 200 \text{ ha, et } 0.002 < I < 0.05 \text{ m/m.}$$

En dehors de ces limites, les vérifications expérimentales montrent l'inadéquation de l'ajustement numérique proposé pour le modèle de CAQUOT, pour des raisons liées au non respect de la supériorité de la durée de l'averse par rapport au temps de concentration du bassin, à l'hétérogénéité des caractéristiques de pentes et d'occupation des sols, à la dynamique du transfert de l'eau sur des bassins plats ou très pentus.

- les modèles rationnels sont d'exploitation très simple mais ne reconstituent que le débit de pointe de crue, certes suffisante pour dimensionner un aménagement à l'aval d'une superficie restreinte mais ne permet pas d'étudier le fonctionnement général de réseaux d'assainissement, dans lesquels la propagation des écoulements nécessite une connaissance précise de la dynamique de la crue et de son hydrogramme complet. »

¹⁸ in DEBORDES M., BOUVIER C. (1990): pages 68 à 73.

Ces remarques de Bouvier donnent d'ores et déjà une idée des axes de recherche vers lesquels il va s'orienter pour proposer des schémas plus convenables aux zones hors d'application correcte de la formule de CAQUOT. Les travaux de DESBORDES lui ont balisé le chemin.

Méthode de CAQUOT comme formule rationnelle et dérivées ne donnent satisfaction que d'une manière arbitraire ou en tout cas dans un bassin jaugé et donc assez bien connu. La formule rationnelle ne tenant pas compte de l'effet de stockage du réseau, surestime les débits tandis que celle de CAQUOT essayant de corriger cette imperfection, sous-estime les débits. La réalité devrait se situer entre les deux estimations et pourtant on n'a pu voir ci-dessus que les deux formules pouvaient sous-estimer le débit. Il y a donc en plus de la question du coefficient de ruissellement, le problème du stockage. A notre avis le stockage ne peut être pareil pour tous les bassins même situés dans une même zone géographique. La géologie plus que le climat est responsable de la diversité de ce phénomène. Le choix de la valeur des coefficients de stockage devient à la limite arbitraire, à moins que l'on fasse des études au préalable.

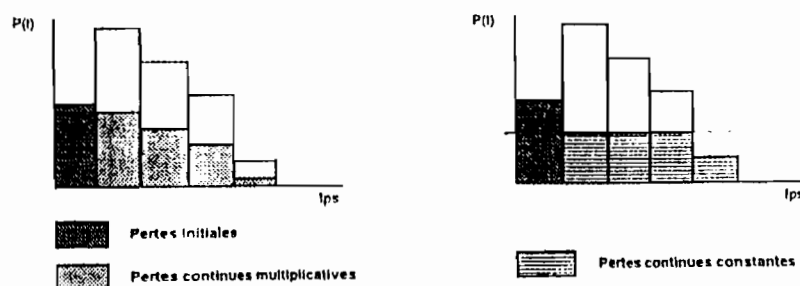
2.4 Les modèles de reconstitution de l'hydrogramme

Vers la fin des années 1970, les mesures hydropluviométriques en milieu urbain d'Afrique de l'Ouest ont commencé à se développer car les formules d'estimation des débits de pointe ne donnaient pas entière satisfaction ou en tout cas, ne se transféraient pas aisément d'une zone à l'autre en Afrique de l'Ouest. Des rapports de campagne ont été publiés sur des études faites à Lomé (MOYON Y. 1979, CIEH-ORSTOM 1979 et LE BARBE L., WOME K. A. 1984), à Cotonou (AFOUDA A. et al 1981, MILLET B. 1980, LE BARBE L. et al 1985), à Yopougon (CHEVALLIER P. et al 1983 et 1984, CASENAVE A. et al 1983 et 1984), à Bamako (DNIE-CIEH 1985, 2 tomes) à Ouagadougou (LE BARBE L. et al 1978, LE BARBE L. 1980) et à Niamey (GATHELIER R. et al 1978, 1979, 1980; BOUVIER C., GUIGUEN N., PEPIN Y. 1988). La multiplication des données a favorisé un réajustement plus correct des paramètres.

2.4.1 Les modèles de DESBORDES et les tests de SIGHOMNOU

Ils sont orientés dans le sens de la reconstitution de l'hydrogramme complet. DESBORDES a proposé deux modèles ci-dessous représentés, dans lesquels les pertes à l'écoulement sont divisées en pertes initiales au début de l'averse (elles sont limitées dans le temps) et en pertes continues dans le temps durant l'averse.

Figure XII - Les modèles de DESBORDES



Le premier modèle considère les pertes initiales comme un volume d'eau P_i en mm. constant pour toutes les averses et les pertes continues comme une intensité PC en mm/h, constante pour une averse donnée mais pouvant varier d'une averse à l'autre. Quant au second modèle, les pertes continues dans le temps sont proportionnelles à l'intensité de l'averse et sont représentées par un coefficient constant pour toutes les averses.

« Ces deux schémas de production transforment le hétérogramme de la pluie brute tombée sur le bassin, en hétérogramme de la pluie nette, c'est à dire disponible au ruissellement. Une fonction de transfert dite de stockage à un réservoir linéaire, traduit l'effet d'amortissement et d'étalement de la crue sur le bassin. Cette fonction est définie par les équations suivantes:

$$\text{équation de stockage: } S(t) = K * Q(t)$$

$$\text{équation de continuité: } dS/dt = i_n(t) - Q(t)$$

$S(t)$ est le stockage d'eau au temps t sur le bassin et dans son réseau élémentaire de drainage,

$Q(t)$ le débit à l'exutoire au temps t .

K l'unique paramètre de la fonction de transfert.

La solution de cette équation différentielle conduit à l'équation de convolution classique de la théorie de l'hydrogramme unitaire

$$Q(t) = Q(t_0) \cdot \exp(-(t-t_0)/K) + \int_{t_0}^t i_n(t-\tau) \cdot 1/K \cdot \exp(-\tau/K) \cdot d\tau$$

Q débit à l'instant t, $i_n(t)$ l'intensité de la pluie nette sur le bassin au temps t,
 $Q(t_0)$ débit au temps initial t_0 , résultant d'une averse précédente terminée à $t = t_0$,
 K unique paramètre du modèle.

Ce modèle est associé à un hydrogramme unitaire d'expression $h(t) = 1/K \cdot \exp(-t/K)$,

le paramètre K est constant pour une averse donnée et varie éventuellement d'une averse à une autre.

« Après avoir testé les deux modèles sur un échantillon de 6 bassins grenoblois, DESBORDES conclut à la supériorité du modèle à pertes continues proportionnelles à l'intensité de l'averse, pour reconstituer les hydrogrammes ».

Pour une utilisation du modèle sur bassin non jaugé, DESBORDES (1984) pose les règles suivantes:

- * PI : compris entre 0.5 et 2 mm
- * PC: à choisir égal au coefficient d'imperméabilisation du bassin, IMP
- * K, déterminé par la formule suivante

$$K = 5.07 \cdot A^{0.18} \cdot p^{-0.36} \cdot (1 + IMP)^{-1.9} \cdot T_p^{0.21} \cdot L^{0.15} \cdot H_p^{-0.07}$$

A est la surface du bassin en ha, p pente moyenne en m/m, IMP coefficient d'imperméabilisation des sols en rapport, T_p la durée de la pluie en mn, L la longueur du drain principal en m, H_p la hauteur de la pluie en mm, K est en mn.

Il est aussi possible de trouver une valeur moyenne de K par une relation simple indépendante des caractéristiques de l'averse et de la longueur du drain principal:

$$\bar{K} = 5.3 \cdot A^{0.30} \cdot IMP^{-0.45} \cdot p^{-0.38}$$

DESBORDES a aussi étudié l'influence des surfaces naturelles sur les écoulements, influence qu'il détermine séparément de celle des surfaces urbanisées.

Toute une série de logiciels ont été mis au point à la suite des travaux de DESBORDES pour faciliter l'application de son modèle qui nécessite beaucoup de calculs pour l'ajustement des paramètres.

SIGHOMNOU (1986) tente d'appliquer aux bassins de YOPOUGON, le premier modèle de DESBORDES, c'est à dire celui où les pertes à l'écoulement sont représentées par les pertes initiales constantes PI et les pertes continues dans le temps constantes PC, afin d'évaluer plus précisément le transfert des paramètres sur des bassins africains. Comme DESBORDES, il propose un transfert par le modèle dit à réservoir linéaire et ajuste les paramètres comme suit:

PI est l'abscisse à l'origine de la droite de régression entre les lames ruisselées L_r et les pluies moyennes P_m tombées sur le bassin,

PC est calculée pour chaque averse, en divisant la lame d'eau disponible pour le ruissellement après satisfaction des pertes initiales, par la durée de l'averse également après satisfaction des pertes initiales.

SIGHOMNOU (1986) transforme le hyétogramme de la pluie brute en hyétogramme de la pluie nette et calcule le paramètre de transfert, égal à la durée séparant le centre de gravité du hyétogramme de la pluie nette du centre de gravité de l'hydrogramme de ruissellement, pour chaque événement observé.

Après ce calage du modèle, SIGHOMNOU (1986) obtient une reconstitution des débits de pointe de crue avec moins de 30 % d'erreur sur 80 % des événements. Il note que les évaluations des pertes initiales PI sur ses bassins (1,3; 8,8; 3,8; 10,7) sont différentes de celles que propose DESBORDES (1986) sur les bassins urbains des pays industrialisés (0,4 à 2 mm).

En outre, il observe que les valeurs des paramètres de transfert qu'il trouve, sont assez distantes de celles de DESBORDES dont la formule tend à surestimer le paramètre K de transfert du modèle, de l'ordre de 100 % en moyenne.

Le modèle de DESBORDES, réajusté par SIGHOMNOU, décrit les hydrogrammes de crue à partir de 3 paramètres (PI, PC et K). Cependant il nécessite des mesures expérimentales pour mieux caler les paramètres.

2.4.2 Les travaux de BOUVIER (1990)

BOUVIER se fixe comme objectif d'introduire la contribution des surfaces naturelles dans le ruissellement tout en reconstituant tout l'hydrogramme de crue avec sa distribution dans le temps. Le problème est qu'il est insuffisant de chercher à se protéger uniquement contre les débits de pointe, car il faut prendre en compte la totalité du réseau de drainage, réseau dans lequel seront édifiés des ouvrages de rétention de l'écoulement par exemple.

Il constate que le modèle de LE BARBE ne vise que la reconstitution du débit de pointe tandis que l'adaptation des modèles de DESBORDES au contexte africain que propose SIGHOMNOU, ne prend pas réellement en compte les surfaces naturelles. BOUVIER essaye donc de remédier aux quelques insuffisances de ces travaux qui contiennent selon lui, l'essentiel des concepts valables pour la modélisation de l'écoulement urbain en Afrique. Il procède alors à la description de ses nombreuses données recueillies après plusieurs campagnes de mesure de 1977 à 1987, pour ensuite en tirer un ou plusieurs modèles tenant compte des spécificités du milieu urbain africain.

Les travaux de BOUVIER ont non seulement bénéficié des résultats de plusieurs campagnes de mesure de pluie, mais aussi et surtout de campagnes de simulation de pluie qui ont permis d'étudier les états de surface, de mieux connaître leur réaction selon l'intensité choisie par le chercheur. Le simulateur de pluie est un outil important dans l'étude du ruissellement selon le type de sols. En ce qui concerne le bassin de Dakar, nous emprunterons certains résultats pour la classification des états de surface.

L'aspect suivant étudié est l'urbanisation et l'occupation des sols pour bien cerner les surfaces bâties qui sont le plus souvent imperméables. A la suite de LE BARBE et SIGHOMNOU, il établit la classification suivante:

- T1: terrains nus sans ou avec peu de constructions,
- T2: zones d'habitat non loti, habitat souvent précaire et non contrôlé, avec des réseaux généralement très peu développés.
- T3: zones d'habitat dense loti, constituées de maisons de petite taille, en dur et généralement couvertes de tôle ondulée, situées dans des concessions encloses. Ce type d'habitat est aussi parfois appelé habitat traditionnel par opposition aux types d'habitat suivants, plus modernes.
- T4: zones d'habitat dense loti, de construction récente, correspondant aux grands ensembles immobiliers qui se développent actuellement dans la plupart des capitales africaines,
- T5: zones industrielles situées en périphérie des villes et constituées de bâtiments de grande taille (hangars, entrepôts) au milieu de vastes terrains,
- T6: zones commerciales situées dans les parties centrales des villes et caractérisées par un taux d'occupation du sol important
- T7: zones résidentielles et administratives, comportant un couvert végétal important sous forme arborée ou herbacée.

Après la classification des types d'occupation, BOUVIER identifie des classes de perméabilité sur les bassins (imperméable, imperméable III, imperméable végété, perméable III, perméable végété). Les observations montrent que les coefficients d'imperméabilisation sont de l'ordre de 10 % à 30 % en zone d'habitat traditionnel, entre 60 et 70 % en zone d'habitat moderne. Ensuite par une méthode statistique, il procède au dépouillement des documents cartographiques.

En ce qui concerne la modélisation des écoulements, BOUVIER a tenté de corriger les modèles de DESBORDES pour améliorer les résultats que SIGHOMNOU en avait obtenus, en combinant une fonction de production à deux paramètres et une fonction de transfert à un paramètre. Par une fonction de stockage linéaire à un réservoir, faisant intervenir un paramètre unique K, caractéristique du bassin, il transforme la pluie nette en hydrogramme de crue. Cette reconstitution par les modèles de BOUVIER donne selon lui 25% d'écart entre les lames ruisselées et les débits de pointe de crue observés. Il y a cependant des règles d'utilisation des modèles:

- les coefficients d'occupation des sols doivent être cernés de préférence à partir des photographies aériennes, avec une caractérisation des proportions de surfaces revêtues, surfaces couvertes de végétation, surfaces nues.

- les paramètres de production doivent tenir compte de la contribution des surfaces nues; les valeurs proposées¹⁹ sont déduites des mesures réalisées au simulateur de pluie,

- les paramètres de transfert pour chaque modèle sont les suivants:

$$\text{Modèle I } K = 0.68 * A^{0.304} * \text{IMP}^{-0.453} * p^{-0.385}$$

$$\text{Modèle II } K = 0.45 * A^{0.304} * \text{IMP}^{-0.453} * p^{-0.385}$$

A représente la surface du bassin, en hectares, IMP le coefficient d'imperméabilisation, en rapport, et p la pente du bassin en pourcentage.

Ensuite ce sont les limites d'utilisation des modèles car les différents paramètres doivent être compris entre des valeurs bien précises²⁰. La taille représentative des bassins étudiés est de l'ordre de 20 à 200 ha. Au delà, la validation ne peut être satisfaisante. L'usage du Modèle I (pertes initiales et continues constantes pour la production) est réservé aux bassins faiblement imperméabilisés (moins de 15%): la formule de prédétermination de K n'est valable qu'à cette condition. Enfin, il faut s'assurer du bon drainage du bassin versant et de l'inexistence d'endoréismes localisés sur le bassin.

3 LES RECHERCHES ACTUELLES

La modélisation du ruissellement s'oriente de plus en plus vers l'étude fine du ruissellement c'est à dire sur des surfaces élémentaires du bassin que sont les mailles.

3.1 La modélisation spatialisée

Actuellement, l'équipe RUES que dirige BOUVIER s'est résolument tournée vers la modélisation hydrologique spatialisée qui consiste à utiliser des modèles distribués sur un bassin versant discrétisé par un maillage régulier. L'objectif des modèles distribués est de tenir compte de la variabilité spatiale des principaux facteurs qui interviennent sur les écoulements superficiels: pluies, sols, pente et réseau de drainage.

On est alors amené à déterminer toutes les réactions qui se produisent sur chaque maille. Vu que le nombre de maille pouvait être très élevé, la réflexion se devait de porter sur une multiplication des opérations menées en méthode global par le nombre de mailles. Avec les informaticiens du laboratoire de Montpellier, l'équipe achève la mise au point d'une unité de travail, ATHYS²¹, intégrant l'ensemble des traitements de la pluviométrie, des écoulements et de la modélisation.

La rapidité du traitement sur station de travail permet de prendre en compte toute information disponible sur le bassin. La modélisation spatialisée nécessite aussi la multiplication des pluviographes pour assurer une meilleure connaissance de la distribution spatiale des pluies. Il est aussi important de disposer de plans d'occupation des sols mis à jour. La numérisation (ou digitalisation) des plans ou schémas d'occupation des sols, facilite l'exploitation de cette information grâce au SIG Savane.

La modélisation spatialisée vise à déterminer la distribution des eaux dans le bassin versant en cas d'inondation, c'est à dire de débordement des capacités d'évacuation du réseau. Elle fournit à l'aménageur des connaissances sur le bassin versant donc en amont de l'exutoire. Aujourd'hui avec le coût économique élevé d'un réseau surdimensionné ou en tout cas calé sur une fréquence rare, l'alternative est l'amortissement ou l'étalement des ondes de crue dans le champ du bassin versant par l'aménagement de retenue, la densification du réseau secondaire afin de laminier les crues brutales.

3.2 Le modèle MERCEDES

Le modèle MERCEDES²² disponible sur ATHYS a été mis au point au Mexique sur des bassins de taille moyenne et de pente importante. Il a été testé sur les bassins de Ouagadougou par Hingray B. (1995) sous la direction de C. Bouvier. "Le modèle MERCEDES opère comme une juxtaposition de modèles globaux appliqués à chacune des mailles. Il permet de prendre en compte la variabilité spatiale des caractéristiques du milieu, de mieux respecter la non-linéarité de la fonction de production de l'écoulement et de moduler le transfert de l'écoulement

¹⁹ Voir en annexe (tiré de BOUVIER 1990: pages 279)

²⁰ Voir en annexe (tiré de C. BOUVIER 1990: pages 280)

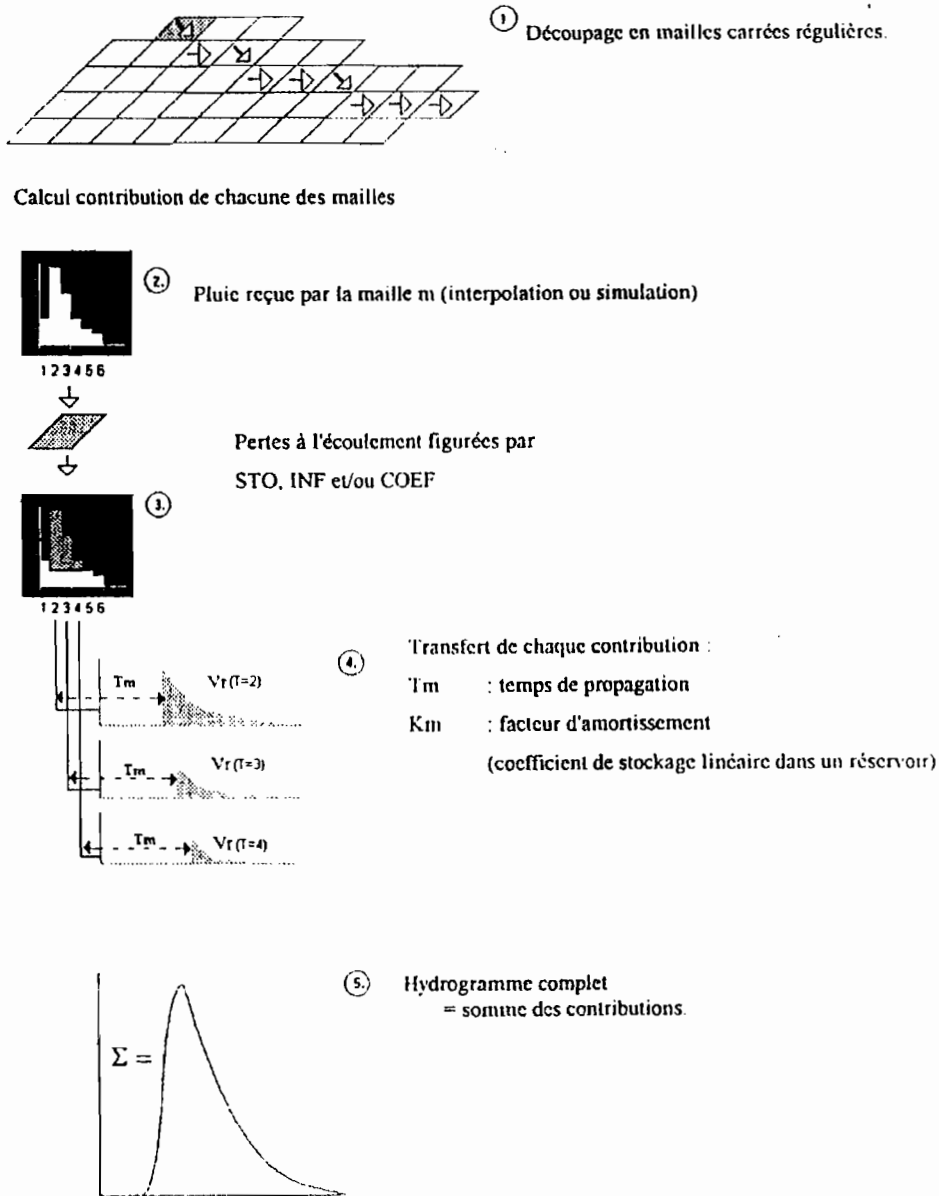
²¹ Atelier Hydrologique Spatialisé (à paraître dans HydroGis96, Vienne, mai 1996)

²² MERCEDES : Maillage Élémentaire Régulier Carré pour l'Étude Des Eaux Superficiels

en fonction de la position de la maille sur le bassin et des conditions géomorphologiques locales". Il faut définir un pas de temps, général choisi égal à 5 mn et une taille pour la maille, pouvant aller de l'ordre du m² à plusieurs km², selon la superficie du bassin. Les pentes et directions de drainage de chaque maille sont données par le MNT et corrigées selon l'interférence du réseau de voirie. Il est souvent utile de procéder à une typologie des mailles après une classification fondée sur la relation type d'occupation des sols-production et type de drainage (versant, bief naturel, bief revêtu)-transfert. La pluie moyenne reçue peut aussi être calculée par interpolation entre les pluies observées aux différentes stations du bassin.

A partir de cette pluie brute, on extrait la fraction représentant la pluie nette. Conjugée aux paramètres de production et de transfert, on détermine l'hydrogramme élémentaire à l'exutoire de chaque maille. Cette étape est très importante car elle indique les signaux d'alerte pour les zones à risque. La sommation des hydrogrammes élémentaires sur l'ensemble des mailles et des pas de temps de l'événement donne l'hydrogramme complet de la crue à l'exutoire du bassin. La figure ci-après résume les principales étapes du modèle.

Figure XIII - Description du modèle MERCEDES



(Source: BOUVIER (1994): Principes du modèle MERCEDES et notice d'utilisation. ORSTOM)

Tableau 76- Récapitulation des différentes méthodes de calcul

BÜRKL-ZIEGLER:	$Q = k_1 * A^{0.75} * I * S^{0.25}$
forme rationnelle initiale	$Q_p = C * I * A$
formule rationnelle 2 ^{ème} version	$Q_p = C * \bar{I} \max(tc) * A$
formule rationnelle 3 ^{ème} version	$Q_p(T) = K * C * \bar{I} \max [T, f(tc)] * A * \alpha$
méthode de Caquot	$Q_p = \frac{H * C * A * \alpha}{6 * (\delta + \beta) * tc}$
« formule superficielle » de Caquot	$Q_p(T) = K(T) * I^{u(T)} * C^{v(T)} * A^{w(T)}$
formule rationnelle révisée par L. et M.	$Q = 975 * I^{0.20} * C^{1.11} * A^{0.80}$
formule pour l'Afrique Tropicale (L. et M.)	$Q = \frac{10^3 a}{9 * 1.1^b} * C * I^{\frac{3b}{8}} * A^{0.95-0.2b}$
formules de Niamey (L. et M.)	$Q = 795 * I^{0.19} * C^{1.11} * A^{0.85}$
formules du Sénégal (L. et M.)	$Q = 900 * I^{0.19} * C^{1.11} * A^{0.85}$
formule corrigée de Niamey (L. et M.)	$Q_{1/8} = 4330 * C * I^{0.25} * L^{-0.5} * A^{0.95}$
formule corrigée de Sénégal (L. et M.)	$Q_{1/8} = 4900 * C * I^{0.25} * L^{-0.5} * A^{0.95}$
L'équation de l'Hydrogramme Unitaire	$Q(t) = Q(t_0) \cdot \exp(-(t-t_0)/K) + \int_{t_0}^t i_n(t-\tau) \cdot 1/K \cdot \exp(-\tau/K) \cdot dt$

CHAPITRE DEUXIÈME : PHYSIOGRAPHIE DU BASSIN EXPÉRIMENTAL

Avant d'aborder l'étude physiographique du bassin de Merinoz, nous rappelons brièvement quelques opérations qui précèdent une campagne de mesure.

1 RECONNAISSANCE ET CHOIX DES SITES DE MESURE

La recherche de sites favorables à l'étude du ruissellement a été la première opération. A priori, le phénomène d'urbanisation écarte la possibilité de disposer d'un bassin naturel dans un milieu transformé. Dans le dernier trimestre de 1993, presque toute la presqu'île de Dakar a été parcouru et plusieurs sites ont été répertoriés aussi bien en zone urbanisée qu'en zone semi-rurale. Le domaine urbain a été retenu car les études portent sur les transformations éventuelles que l'urbanisation introduit dans le ruissellement.

Un site favorable est un bassin versant où l'écoulement des eaux est canalisé vers un exutoire (pouvant être équipé en limnigraphe, échelles limnimétriques et passerelle de jaugeage si nécessaire) ; il doit être aussi une zone d'accès assez facile pour les études de topographie, de sols, de délimitation de bassin versant et de problèmes d'inondation.

1.1 Visites de bassins

1.1.1 Le bassin versant de la Foire de Dakar

C'est un petit bassin d'une vingtaine d'hectares, englobant la foire de Dakar et le Centre de formation professionnelle Sénégal - Japon. Il est ceinturé par un système de canalisations assez important. Les pentes sont assez uniformes, le ruissellement se fait de la route de l'aéroport vers le Centre de formation. L'exutoire du bassin est relié par un canal sous la Voie de Dégagement Nord (notée ultérieurement VDN) à une vallée dont les eaux s'écoulaient vers la pharmacie de Yoff.

L'aval de cet exutoire, jadis domaines de champs de culture est aujourd'hui morcelé en lots où poussent de plus en plus des résidences. La zone comprend plusieurs grands bâtiments recouverts par des tôles ondulées et un réseau routier assez dense. La moitié de la superficie du bassin est imperméabilisée tandis que sur l'autre moitié, les sables éoliens ont recouvert les épanchements volcaniques des Mamelles. Sur ces zones nues poussent par endroits une végétation arborée ou herbacée. Le quartier est de type commercial. Son étude pourrait être envisagée car le site paraît favorable.

1.1.2 Le bassin versant de l'aéroport

C'est une zone située sur le littoral nord de la tête de la presqu'île. Elle concerne les terrains de l'aéroport de Dakar-Yoff ainsi qu'un lot de maisons situé entre le mur de l'aéroport et la route de la Corniche. Un pont enjambe son exutoire après le virage vers le Casino.

Caractérisé par un écoulement permanent du fait des eaux usées provenant des activités de l'aéroport et des domaines à grand standing, le cours d'eau se jette dans la mer. On y note une certaine avancée du front salé à cause de la marée très active, une végétation halophyte tapisse l'embouchure.

En amont du pont routier s'est développée une exploitation maraîchère, qui semble fonctionner comme un site d'épuration naturelle des eaux. En effet celles-ci présentent une certaine clarté à la sortie du pont. Notons cependant que ces eaux font l'objet d'une étude de composition chimique que nous menons par un triple prélèvement dans l'année (M3 dans carte des sites de prélèvements).

Ce bassin versant rassemble de bonnes conditions justifiant une étude mais le caractère particulier de l'aéroport, zone dangereuse à haute protection, nous a dissuadé d'y projeter des études. Il nous serait difficile d'avoir les autorisations de parcourir les pistes d'envol et d'atterrissage, les hangars, les espaces non bâtis chaque fois qu'une pluie se déclencherait.

1.1.3 Le bassin versant de Ndongorane-Ngor

C'est un bassin versant constitué par la partie nord-ouest du terrain de l'aéroport où prend naissance la rivière intermittente qui passe sous la corniche et la route de Ngor pour s'écouler à l'ouest du village. Aujourd'hui l'hôtel Méridien Président s'est installé à l'exutoire et le chenal est utilisé pour le déversement des eaux usées après un reprofilage pour inverser la pente. Cependant en saison des pluies, il y a constitution de mares du fait des apports opposés (eaux pluviales d'amont et eaux usées d'aval) vers les zones basses intermédiaires. C'est une zone volcanique, rebord des Mamelles, occupé en amont du pont routier par une végétation assez importante. Cependant l'urbanisation y progresse avec l'implantation de villas modernes. La configuration actuelle enlève l'opportunité d'une étude de ruissellement.

1.1.4 Le marigot de Mbao

C'est un cours d'eau intermittent qui coule à 18 km de Dakar, en zone encore rurale. Il se jetait dans l'Océan Atlantique avant que la progression des dunes littorales n'ait fermé son embouchure. Le pont sur la route de Rufisque, 150 m après le village de KEUR MBAYE FALL, est encore muni d'une batterie d'échelles limnimétriques, témoin d'un suivi hydrologique antérieur, par le laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM pour le compte de l'Hydraulique. Sous ce pont, un seuil a été construit afin de freiner l'avancée des eaux marines; en aval, le lit est tapissé de croûtes salines, les jardins sont protégés par des fossés.

La végétation se raréfie du fait de la salinisation des sols; à 1 km de la mer, un reboisement d'Eucalyptus a été fait en rive droite pour atténuer les effets marins. En amont, c'est la zone maraîchère et fruitière, avec quelques villages isolés. C'est pendant la saison des pluies 1995 que nous avons constaté qu'au pont le niveau de l'eau est monté jusqu'à 54 cm mais aucun écoulement ne s'est produit.

D'ailleurs, au 30 novembre 1995, les mares étaient encore en place. Ce sont surtout des eaux salées car les sels fossiles apportés par les eaux marines qui remontaient le cours d'eau, se diluent pendant l'hivernage. Les nappes souterraines étant presque affleurantes, les mares peuvent se maintenir encore longtemps. La prospection du bassin versant du marigot de Mbao se justifie par la préparation d'un grand projet de viabilisation de 25 000 logements dans la zone. Cependant nous doutons d'une probabilité d'écoulement en année de type moyenne; les études antérieures, que nous avons retrouvées au Centre Régional de Documentation de l'ORSTOM de Dakar, ne signalaient aucun écoulement durant la saison 1973 très déficitaire.

Ces bassins versants urbains ou semi-urbains n'ont cependant pas fait l'objet d'étude de superficie ou d'occupation des sols dans la mesure où ils n'ont pas été retenus pour les premières campagnes de caractérisation du ruissellement à Dakar. C'est un autre site visité, le bassin de Fann, qui a finalement été choisi pour les premières études. Il sera présenté de manière détaillée.

1.2 Les raisons du choix

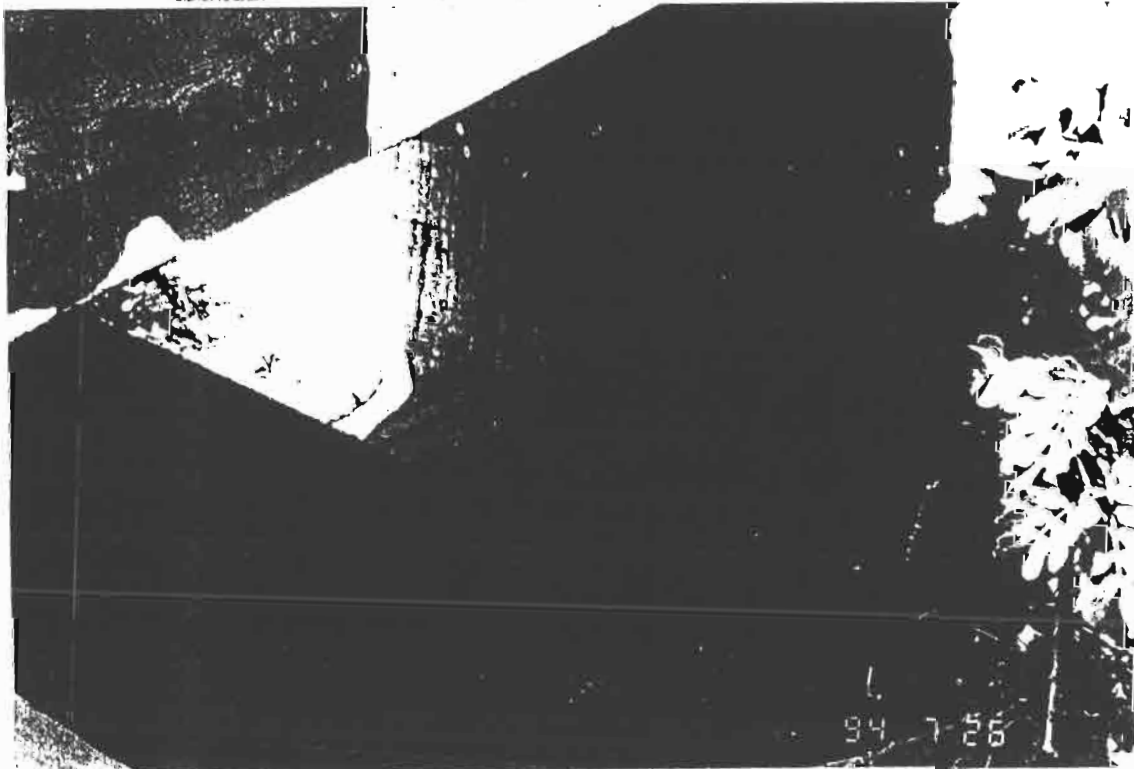
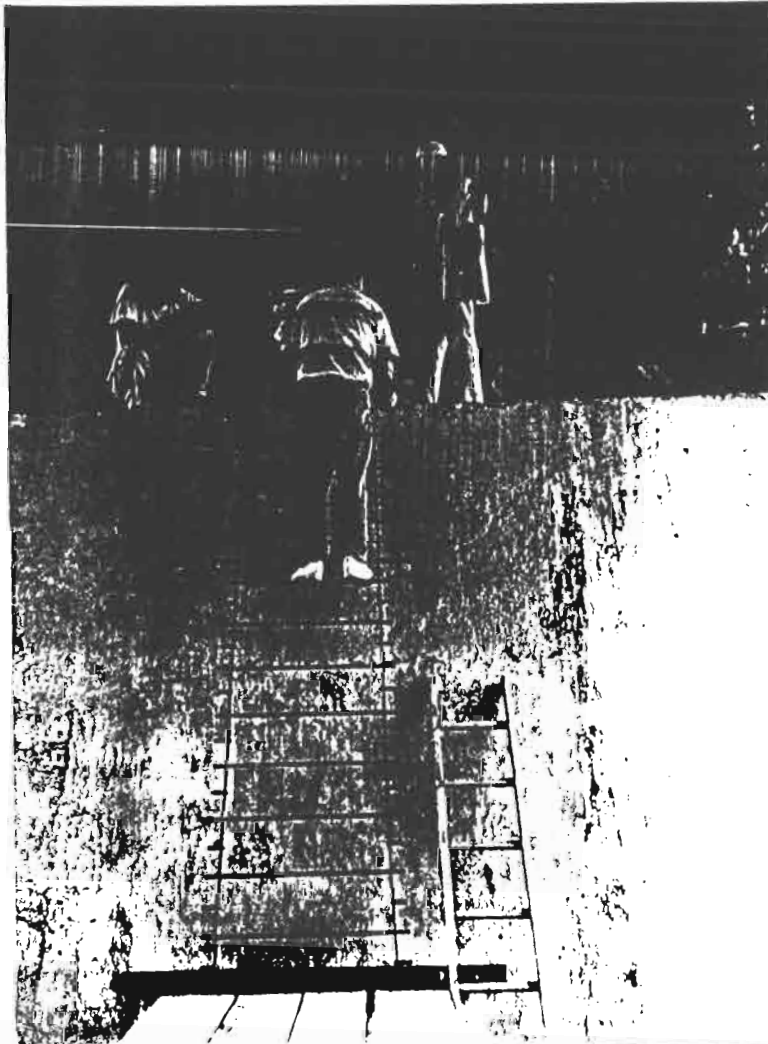
La présence du pont sur la route de Ouakam à la hauteur du « Relais » a plusieurs fois retenu notre attention. Il nous a ensuite été précisé que sous cet axe, passait la voie du chemin de fer des carrières reliant la corniche ouest et le port de Dakar en construction. Des falaises de la corniche, étaient prélevées de grosses pierres basaltiques pour construire les quais du port. La tranchée est désignée comme cours d'eau intermittent sur la carte topographique au 1/50000. Le chemin de fer mis en place avant la seconde guerre mondiale passait par le service géographique à Hann, enjambait l'autoroute, traversait le site des actuels quartiers H.L.M, Niary Tally au niveau de la poste, SICAP rue 10, SICAP Bourguiba et longeait le mur séparant l'Ecole Normale Supérieure et le Point E. A partir du pont, comme l'altitude croissait vers la mer, la voie était de plus en plus creusée dans

les dolérites volcaniques afin que le terminal sur la côte à falaise, puisse être au niveau de la mer. Les rails ont été enlevés et aujourd'hui, ce sont les eaux pluviales qui empruntent cet axe pour rejoindre la mer.

Photo 6 : L'installation de la station hydrologique principale (Photo M. BASSEL)

Photo 7 : La station principale vue du pont

(Photo M. BASSEL)



Sous le pont de la corniche ouest, l'ex-voie de chemin de fer passe entre deux parois obliques bétonnées, constituant une section assez uniforme où les eaux sont canalisées sur une quinzaine de mètres. Les parois bétonnées sont séparées du pont par des surplombs sur les deux rives. Ces surplombs constituent des abris naturels pour les hommes et le matériel de jaugeage, car la route de la corniche passe au-dessus de la passerelle de jaugeage. L'accès est assez facile des deux côtés par escalade des rochers solides. A la sortie des parois cimentées existe un site adéquat pour un limnigraphe et sa gaine.

Après ces quelques raisons justifiant le choix de ce bassin, il importe de le présenter plus amplement en rappelant qu'un rapport d'installation des équipements a été annexé au premier rapport de campagne (BASSEL et al 1994).

Après le choix d'un site de mesure, la délimitation du bassin versant contrôlé est la première phase de l'étude physiographique. Les multiples transformations en milieu urbain le rendent plus difficile. Les routes, les constructions sont très souvent des facteurs de modification du drainage naturel.

2 LA DÉLIMITATION DE LA SURFACE

L'estimation des surfaces que nous exposons ici, s'est faite sur la base des cartes topographiques et du travail de terrain. Cependant, elle a été corrigée avec l'étude du relief, à partir de la cartographie informatique.

2.1 Cartes et reconnaissance de terrain

Après le choix du pont de la corniche pour abriter la station hydrologique, il a fallu déterminer la superficie drainée par les eaux qui s'écoulent à cette exutoire. Cette opération paraissait simple dès le début car à partir de la carte topographique et une étude sommaire de la topographie, nous avons effectué une première estimation du bassin: entre 39 et 41 ha. La pluie du 11 juillet 1994 (7,1 mm) confirma à peu près notre estimation de la surface du bassin. Cette superficie est d'ailleurs celle que nous avons utilisée dans l'estimation des débits maximaux pouvant être mesurés à la station hydrologique par la formule suivante:

$$Q_{\max} = Q_{\text{smax}} * A \quad \text{et} \quad Q_{\text{smax}} = Q_{\max} / A$$

avec Q_m : Débit maximal, Q_{sm} : Débit spécifique maximal et A: Superficie du bassin.

Durant la crue du 13 août provoquée par une pluie de 121.7 mm, des observations sur le terrain montrèrent que le bassin avait été sous-estimé. La limite sud-est ne changeait pas car le canal avait été creusé dans le sens transversal à la grande dénivellation qui partait des Mamelles (point culminant de la ville) vers Fass-Soumbédioune; ainsi aucun apport ne pouvait provenir du sud-est hormis quelques maisons adossées au canal et dont les eaux de ruissellement s'y déversent par canalisation.

Au nord-est, la cité SICAP BOURGUIBA et une partie de l'ENS (Ecole Normale Supérieure) qui constituent la source du canal ne participent pas à l'écoulement car un seuil alluvionnaire (sablo-argileux) bloque les eaux de ruissellement dans des mares le long du mur et dévie une importante partie des eaux provenant des salles de classe vers la porte d'accès au POINT E. Afin d'éviter la stagnation des mares et l'érosion du chemin d'accès au Point E, il serait nécessaire de rétablir la pente, des mares vers le jardin situé à l'arrière du lycée. Un caniveau franchissable à pied ou une liaison par tuyau enterré, maintiendrait la communication en protégeant la couverture latéritique de la rue. Le reprofilage du canal est aussi une autre solution pour drainer les mares.

La limite occidentale reste toujours la corniche mais au nord du bassin, sont intervenus de grands changements. Le bassin y est en réalité plus étendu: il dépasse la stèle de Mermoz, sur la route de Ouakam et s'étend jusqu'à la porte sud du Dépôt de la SOTRAC à Mermoz. Au nord-est le bassin s'étend le long de la VDN jusqu'au delà de la piste désaffectée. Une ligne de crête partage alors les eaux: une partie s'écoule vers le nord et rejoint les dépressions Ouakam-Base Aérienne, une autre vers le sud, à droite de la VDN (elle intéresse le bassin); enfin la dernière partie se dirige vers le sud-est, longe le camp militaire, traverse la SICAP Karack, dépasse l'Ecole de Police puis le Point E. et rejoint le grand canal de Soumbédioune.

La surface du bassin versant est passée à 0.98 km² si l'on considère toutes les zones d'où peuvent provenir des eaux pouvant participer au débit à l'exutoire, quelque soit leur volume. La SICAP Mermoz est désormais prise en compte. Ce quartier de type moderne a connu de sérieux problèmes d'inondation liés à la construction de la V.D.N. qui canalise les eaux, avec une pente assez forte vers le nord-ouest de Mermoz.

La délimitation à partir de la carte topographique au 1/50000 de Dakar, du plan de la ville au 1/10 000, des premières études de terrain et des observations du ruissellement pendant les fortes pluies ont permis de connaître plus précisément la superficie, hormis les zones au nord de la route de la Pyrotechnie. Ce sont des espaces agricoles séparés par des zones herbueses. L'infiltration y est très forte et ce n'est qu'avec les

averses exceptionnelles que les surplus sont vidés dans le bassin. Le front d'urbanisation y étant déclenché, il est de plus en plus probable que leur contribution rehausseront les débits à l'exutoire.

A l'issue de la première estimation, les paramètres consignés dans le tableau suivant, ont été déterminés. Leur connaissance est nécessaire pour une meilleure appréhension des conditions de l'écoulement dans le bassin. La valeur du coefficient K confirme la forme très allongée du bassin de Dakar: elle est égale à 1,2 pour un bassin d'allongement moyen.

Tableau 77 - Paramètres morphométriques

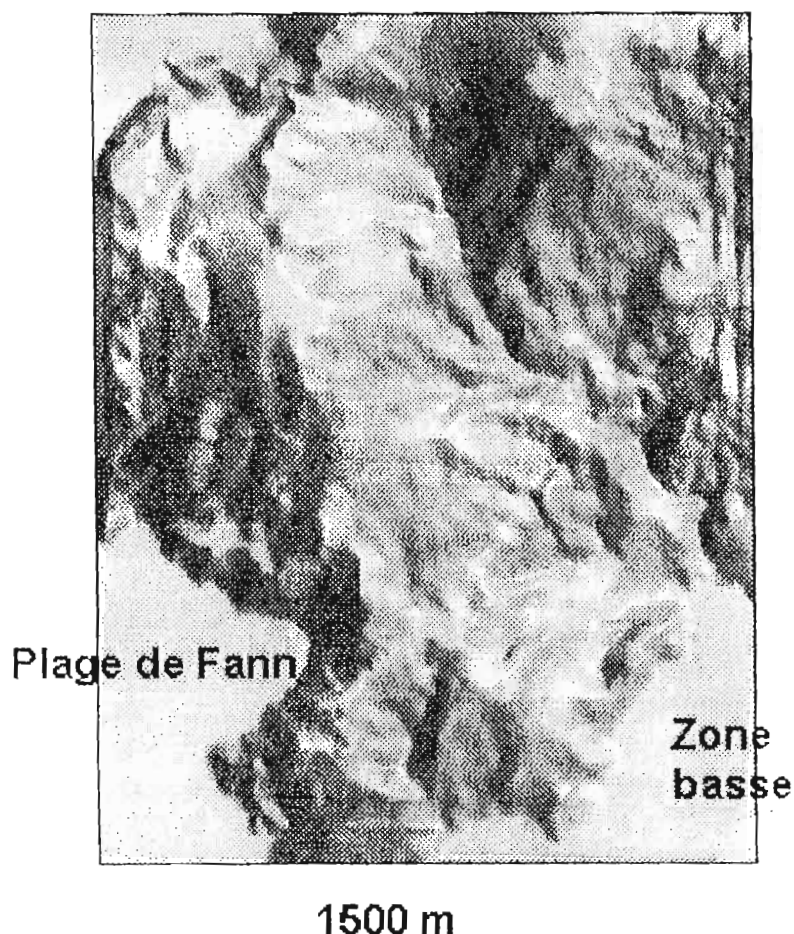
surface	0,98 km ²
longueur	3,50 km
largeur	0,28 km
périmètre	7,50 km
coefficient K de compacité	2,14
longueur chemin hydraulique de la VDN	2700 m + 649 m de canal principal
longueur chemin hydraulique de la Route de Ouakam	900 m + 649 m de canal principal

La valeur de superficie est celle obtenue par planimétrie de toute la zone contrôlée topographiquement par la station de référence du pont de la corniche. Nous avons ensuite procédé à d'autres techniques d'évaluation.

2.2 Examen du MNT

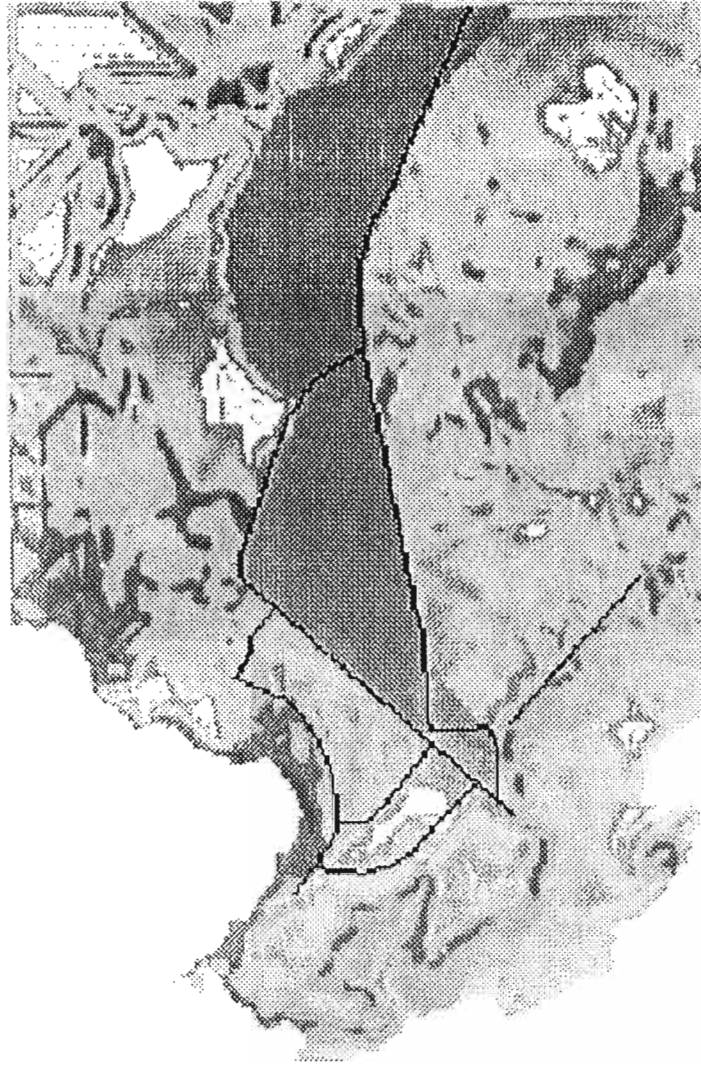
A partir d'une carte au 1/10 000 présentant des courbes de niveau à équidistance de 2,5 mètres, un modèle numérique de terrain a été dressé. Cette image en 3D permet de percevoir les variations du relief, les zones dépressionnaires et les parties élevées.

Figure XIV - Modèle Numérique de Terrain du bassin de Mermoz-Fann.



Ce Modèle Numérique de Terrain est traité sous LAMONT, pour générer des fichiers dérivés. Parmi ceux-ci, on note des cartes de courbes de niveau, des pentes, du drainage naturel et celui modifié par la voirie. A partir de n'importe quel point du bassin, le traitement permet d'établir la surface drainée. Nous avons repéré alors les deux stations de mesure et calculé la superficie de leur bassin versant. Ainsi la figure suivante montre celle de la station amont. Elle est estimée après planimétrie à 84,5 ha dont environ 56.4 produisent effectivement un ruissellement.

Figure XV - Surface drainée par la station amont



L'introduction de la tranchée dans le fichier de saisie permettrait d'obtenir celle de la station aval. Nous l'avions établie dans la première estimation. Le MNT indique qu'elle prend en compte les surfaces occupées par les zones herbeuses au nord du bassin et serait ainsi d'environ 118 hectares dont 30 ne produisent aucun écoulement.

La détermination de la superficie est un élément incontournable pour l'obtention de résultats satisfaisants dans la modélisation. Elle n'est cependant pas très aisée et un mauvais choix perturbe tous les essais de reconstitution ou de prévision des écoulements. Le MNT permet de corriger l'estimation à partir des cartes et de la reconnaissance de terrain.

3 L'ÉTUDE DU RELIEF

La pente étant une des conditions les plus importantes du ruissellement des eaux, nous avons consacré une large part de nos recherches à une cartographie détaillée du relief. Cette opération s'est faite en deux phases, liées à la disponibilité des moyens.

3.1 La cartographie élémentaire

La cartographie du bassin versant porte sur des aspects liés aux problèmes de ruissellement. Différentes cartes ont été établies suite au nivellement du bassin. :

3.1.1 Le nivellement du bassin

Il s'est déroulé lors de la campagne hydrologique 1994. Le macaron IGN du pont de la station hydrologique, d'altitude 17.66m IGN, a servi de référence pour déterminer l'altitude du Zéro de l'échelle limnimétrique, 7.13m IGN. Celle-ci a été le point de départ du nivellement dans le bassin.

La tranchée entre la station principale et celle d'amont au pont sur la route de Ouakam, a été nivelée avant de remonter les sens d'écoulement des eaux lors des crues. Ainsi les lignes de pente ou plutôt les chemins hydrauliques, ont été déterminées. Le bassin versant étant assez bien urbanisé, nous avons ensuite pris le soin de niveler toutes les routes, rues et ruelles des différents quartiers.

Le nivellement du bassin sert à indiquer les pentes donc les chemins potentiels d'écoulement de l'eau. La redistribution des points cotés sur une carte donne la carte des altitudes ou points levés; celle-ci permet de passer à la carte des courbes de niveau en joignant les points de même altitude. L'étape suivante est la carte hypsométrique, c'est à dire la distinction des surfaces de même altitude ainsi que la détermination du pourcentage que chacune d'elle représente.

3.1.2 Les cartes

3.1.2.1 altitudes et courbes de niveau

Quelques 300 points ont été levés sur le bassin. Plusieurs d'entre eux ont été éliminés pour des raisons liées à la non disponibilité d'une carte au 1/5000 et aussi au fait que certains étaient répétés soit pour boucler soit pour vérifier. Tous les points intéressants du bassin ont été cotés: ruptures de pentes, sommets, points bas, repères de points remarquables...

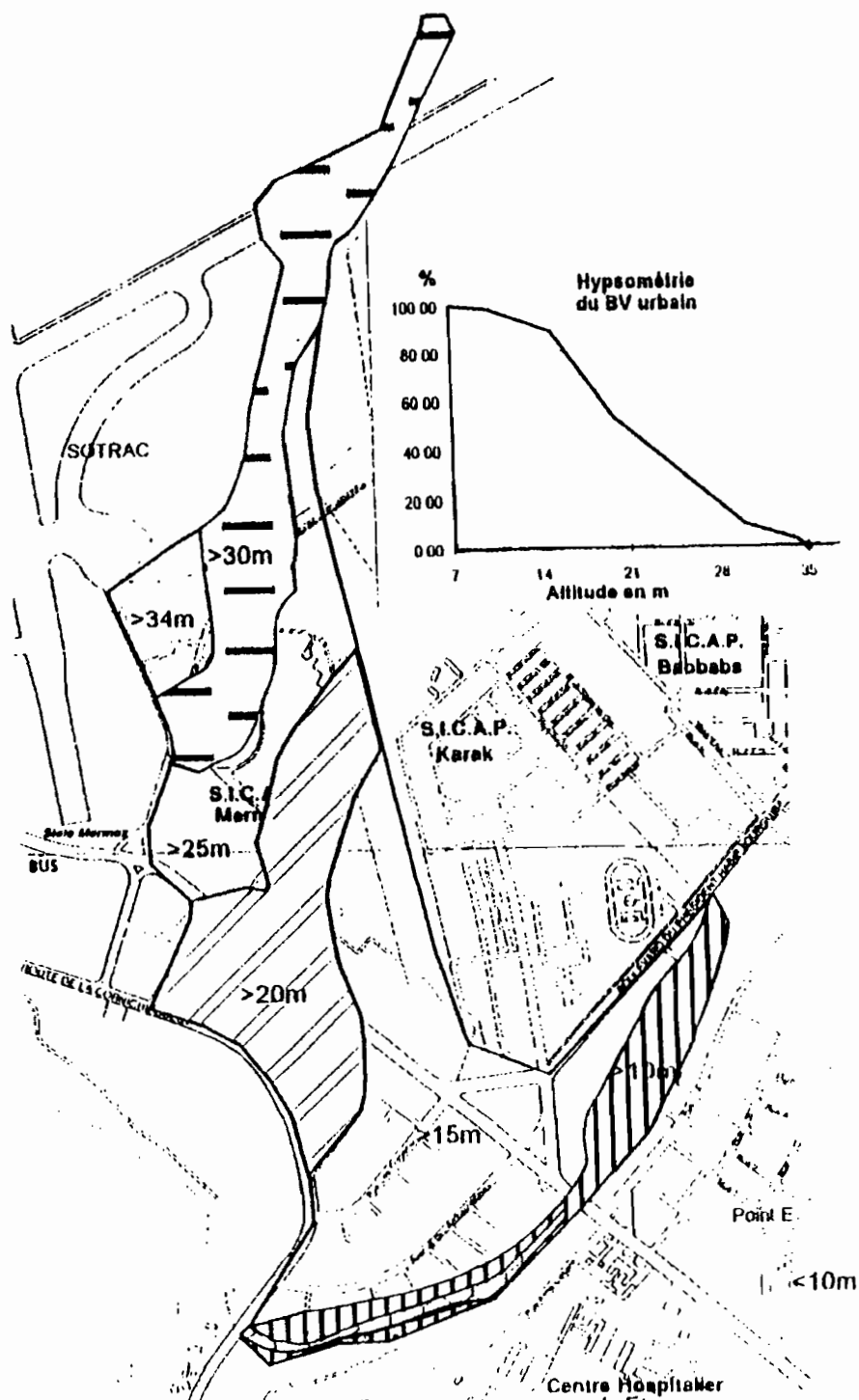
A partir de la redistribution des points sur le bassin, les courbes de niveau à équidistance de 5 mètres ont été dessinées. Celles-ci ont servi à faire l'hypsométrie du bassin.

3.1.2.2 l'hypsométrie du bassin

Une carte et une courbe hypsométriques ont été faites à partir des courbes de niveau. La carte permet de situer les zones élevées et les zones basses. Le bassin présente une forme très allongée et ceci dans le sens de la pente. Une portion de surface au nord avec une altitude comprise entre 30 et 35 mètres surplombe le quartier de Mermoz installé en contrebas sur des altitudes allant de 20 et 25 mètres. Les eaux du nord se frayent ainsi un passage dans le quartier avant d'envahir l'Ecole Normale Supérieure située encore plus bas. Elles entrent par la porte de service de la Résidence, ravinent le terrain de foot-ball dans le sens de la diagonale avant de pénétrer dans le canal en aval du Lycée d'application.

Le tracé de ces courbes de niveau pourrait être fait avec le logiciel SURFER après une digitalisation par de petits programmes comme DIGIT.PTS dont le fichier de sortie restitue sous SURFER, une carte hypsométrique en 3 dimensions. Le semis de nos points n'ayant pas été suffisamment dense pour ce type d'exercice, nous avons fait appel à notre connaissance du terrain pour la restitution du relief.

Carte 11- Hypsométrie du bassin versant



3.2 La cartographie informatique

Nous avons tenté déjà sans succès à Dakar, de restituer une carte en 3D par SURFER. En effet le semis de points dont nous disposions était très faible et la carte ne montrait pas bien la topographie alors que si cela avait été le cas, l'on percevrait mieux la "réalité topographique" qui justifie les inondations permanentes des quartiers installés sur le bassin.

Au laboratoire de Montpellier, la digitalisation des cartes a été faite avec MYGALE/PC. Ensuite ces cartes vectorisées ont été traitées avec DEMURGE 2.2, une chaîne de production et de traitement des Modèles Numériques de Terrain. Le SIG (Système d'Information Géographique) SAVANE récupère les produits de ces

deux logiciels et permet une bonne présentation grâce aux possibilités de superpositions de plusieurs cartes. Nous renvoyons en annexe pour une présentation sommaire des logiciels et passons aux résultats obtenus.

La feuille *OOUAKAM* d'une série de cartes de la région au 1/10000 (dressées à partir de levés de terrains en 1945) a servi à l'élaboration du Modèle Numérique de Terrain (MNT) du bassin. Celui-ci permet d'étudier le relief et le réseau de drainage naturel c'est à dire avant l'occupation de la zone.

3.2.1 Les MNT

3.2.1.1 *l'élaboration*

Le Modèle Numérique de Terrain est élaboré à partir des cartes de courbes de niveau et des points cotés disponibles sur le bassin, à l'aide de logiciels de production de MNT comme OROLOG ou BABEL. La différence fondamentale entre ces deux logiciels réside dans la méthode d'interpolation²³ utilisée pour la genèse des points entre les courbes de niveau: le premier utilise une interpolation par des fonctions splines courbes tandis que le second utilise l'interpolation barycentrique.

Le principe des MNT montre d'ores et déjà que le traitement est meilleur d'autant plus que les courbes de niveau sont denses. Il existe aussi divers problèmes de qualité liés à la production des MNT. On a observé qu'il y avait des stries dans les zones à faible pente, sur les produits de OROLOG. Sur ceux de BABEL, on note des reliefs en marche d'escalier à proximité des courbes de niveau. Cet aspect de la question des MNT est largement abordé par BOUVIER (1994) qui procède à la comparaison des productions de MNT et de fichiers dérivés comme les modèles de drainage obtenus par BABEL et OROLOG ainsi que la comparaison des modèles de drainage cartographié et reconstitué de bassins mexicains. L'enseignement principal de cet article est la nécessité de disposer de cartes denses en courbes de niveau et l'éventualité d'une utilisation de l'interpolation multidirectionnelle qui permettrait de réduire les problèmes de striage. Enfin, il existe un logiciel, GEO-IMAGE qui permet de faire des MNT à partir de couples de photo aériennes.

3.2.1.2 *l'utilité des MNT*

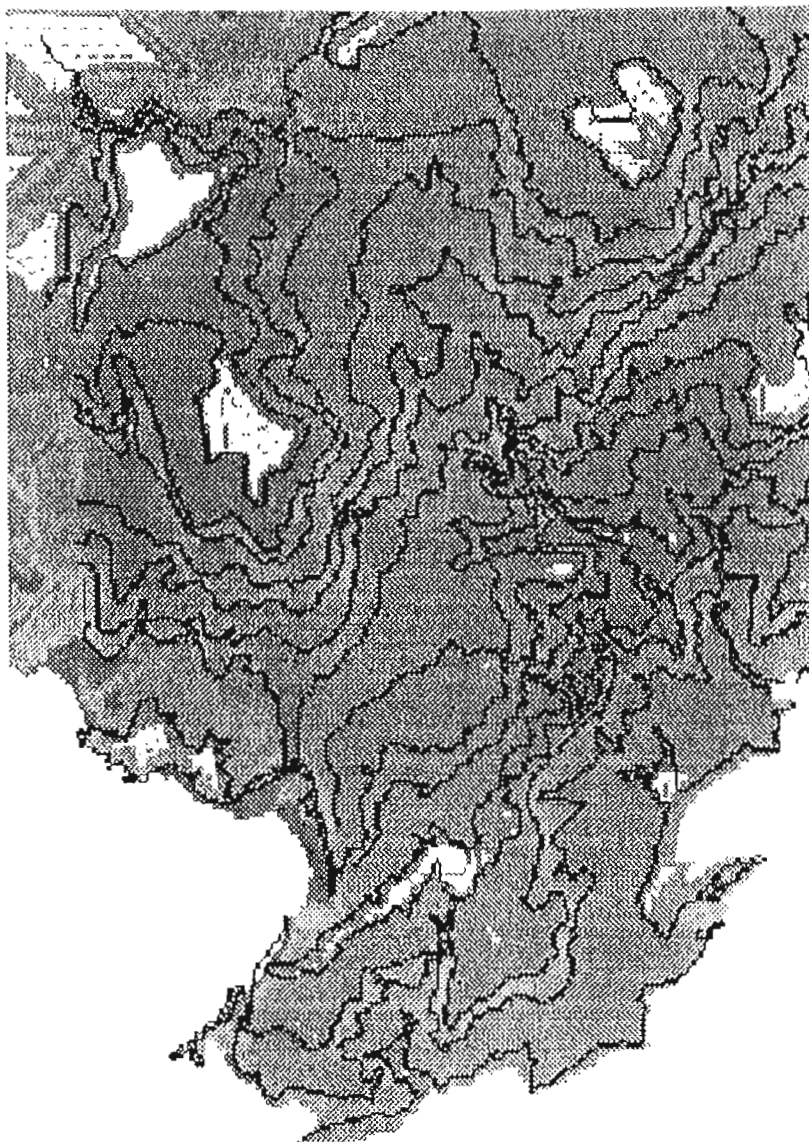
Beaucoup de fichiers dérivés des MNT donnent des informations pour l'étude hydrologique de bassins versants: les pentes, l'orientation, les mesures de courbures de terrain, les encaissements, le modèle de drainage de la surface, la distance à l'exutoire, la surface drainée, la longueur du drainage et l'extraction de sous-bassins versants sans oublier les divers modes de visualisation.

En milieu urbain, qui nous intéresse particulièrement, il faut noter que le modèle de drainage obtenu par traitement des MNT est toujours modifié par les réseaux de voirie et de collecteurs des eaux de pluies. La cartographie de ces éléments s'impose donc pour déterminer le modèle exact de drainage. Le réseau de collecteurs (matérialisé sur les plans de la SONEES) n'a pas été cartographié car la nouvelle route de la VDN a obstrué son raccordement au réseau de la ville. La superposition de cet ensemble d'éléments est possible grâce au SIG Savane.

3.2.2 Les cartes thématiques

Élaborées à l'aide du SIG Savane, elles concernent différents modèles de drainage, naturel ou modifié par la voirie. La carte des pentes et courbes de niveau montre nettement quelques zones dépressionnaires, déjà identifiées lors des reconnaissances de terrain.

²³ voir en annexe les deux méthodes d'interpolation

Figure XVI - Pentas et courbes de niveau

La carte du drainage naturel, reconstitué à partir du MNT, montre les classes de pentes qui décroissent du rouge au jaune foncé c'est à dire du nord au sud. Les altitudes sont comprises entre 7 et 42 mètres.

Figure XVII - Modèle de drainage naturel du bassin versant

Modèle de drainage du bassin
(fichier dérivé du MNT)



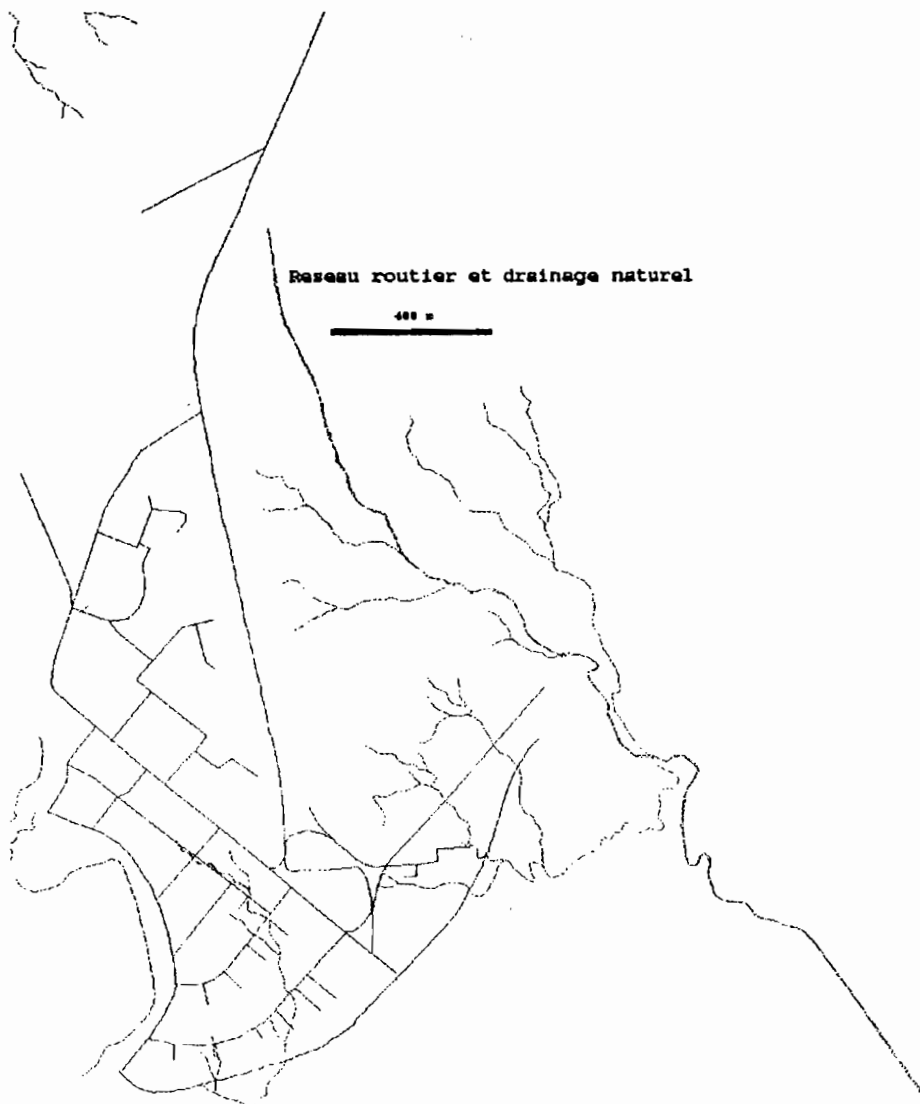
Le réseau hydrographique naturel, qu'il soit cartographié ou reconstitué par MNT, est modifié par le réseau de voirie. En effet, des sous-bassins jadis en relation sont souvent séparés par le réseau routier. Celui-ci devient alors un axe notable de drainage des eaux: l'illustration parfaite dans ce bassin est la présence de la VDN. Sans aller sur le terrain et sur simple observation des résultats du MNT, on se rend compte que la VDN allait

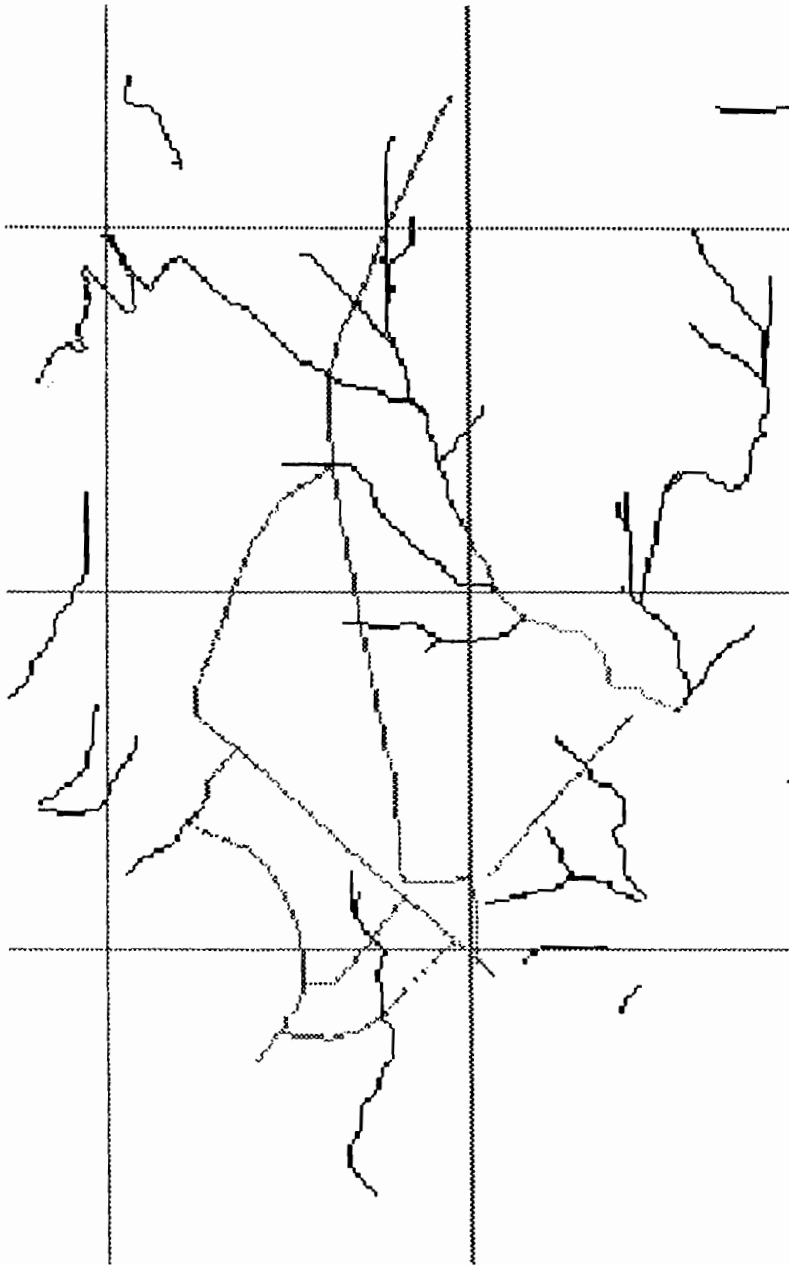
provoquer sur le long de son côté gauche (direction nord-sud) un ravinement important. En effet, avec les pluies exceptionnelles de 1994, toute le bas-côté latéritique aménagé pour l'arrêt des voitures, a été érodé et des dépôts importants se sont amassés tout autour du parc OMVS. Ce phénomène d'érosion s'explique par le fait que les eaux "cherchant" à passer sur leur chemin naturel, sont déviées par la route rehaussée. Alors la vitesse s'accroît et provoque le creusement et le transport de matériau meuble.

Nous présentons d'abord la cartographie directe des réseaux routier et hydrographique ensuite celle obtenue par le traitement numérique.

Figure XVIII - Modèle de drainage et réseau routier du bassin versant de Mermoz

a- obtenu par levé du réseau sur les cartes



b- obtenu par traitement numérique

Sur la première cartographie, le réseau ne remonte pas loin car ce sont des axes de ruissellement diffus qui se concentrent au bas des pentes. Le traitement numérique présente un système plus dense car il tient compte des pentes qui sont réelles en amont.

4 L'OCCUPATION SPATIALE

Une description géographique de l'urbanisation à travers les quartiers, écoles, commerces, routes, parcs sera suivie d'une étude de l'occupation des sols, c'est à dire la distinction des types de recouvrements (espaces nus, types de bâtis, zones à végétation).

4.1 Les quartiers installés

Trois grands quartiers résidentiels sont installés sur le bassin (voir carte de présentation):

4.1.1 Fann Résidence

Il est surtout composé d'ambassades et de résidences de Diplomates, expliquant la présence d'une Avenue des Ambassadeurs. Entre les résidences diplomatiques, on retrouve du côté sud du bassin, une petite cité des Professeurs de l'Université de Dakar, quelques familles très aisées et plus au nord-ouest des maisons occupées par des expatriés surtout français.

Les caractéristiques principales de ce quartier sont la taille assez vaste des domiciles dépassant généralement 1000 m², l'occupation classique avec un bâtiment central entouré de jardins de repos et d'espaces verts bien entretenus. Les sols nus y sont rares, les routes sont goudronnées. Ce quartier de Fann est limité par la Corniche ouest, la rue Aimé CÉSAIRE et la route de Ouakam qui le sépare du quartier de Sicap Mermoz. Cette portion du bassin couvre 32 ha.

4.1.2 SICAP-Mermoz

C'est un quartier résidentiel réalisé par la SICAP avec quelques constructions individuelles dans les zones périphériques. On y rencontre des maisons construites selon les possibilités économiques des demandeurs: logement très économiques avec 2 à 3 pièces recouvertes par des tôles ondulées, logement économique avec 4 pièces et un petit espace non bâti, logement moyen standing à grand standing, spacieux et confortable, recouvert par une terrasse en dur. Enfin il existe des appartements dans 6 immeubles à 4 étages, dont les rez-de-chaussée sont des espaces de commerce: magasins divers, supermarché, salon de coiffure ou de couture...

Le quartier de Mermoz est traversé par deux grands axes routiers goudronnés appelés 1^{er} porte et 2^{ème} porte. Les maisons sont séparées par des ruelles pavées très étroites (2 à 3 mètres de large) réservées aux piétons. Les voitures sont stationnées dans de multiples parkings prévus à cet effet. La disposition des maisons paraît irrégulière tellement les rues en T sont nombreuses, plusieurs d'entre elles sont des impasses.

C'est au nord-ouest de ce quartier que l'on rencontre les plus fortes altitudes du bassin. Le ruissellement pluvial n'est pas canalisé vers un collecteur principal. Les grilles avaloirs sont vite débordées et les eaux de ruissellement retrouvant leur chemin d'avant l'urbanisation, traversent des maisons qui sont vite inondées.

La construction de la VDN a accru les problèmes du quartier car une grande partie des eaux qui se jetaient dans le canal de Karak à l'est, sont drainées par le rebord droit de la route en direction du Parc de l'OMVS. Une partie de ces eaux empruntent souvent des points bas et sont déviées dans le quartier. Les fondations n'étant pas surélevées, chambres et salles de séjour sont vite remplies. Coincé entre la VDN et la route de Ouakam, Mermoz couvre 40.5 ha dans le bassin.

4.1.3 SICAP Bourguiba

Situé au sud-est du bassin, cette petite cité est composée de villas à étages d'un style commun. Chaque maison couvre en moyenne 400 m² et abrite généralement des familles aisées. Les routes sont goudronnées, un parking central sert surtout aux visiteurs car les habitations disposent de garage personnel.

La SICAP Bourguiba occupe un sous-bassin qui pourrait être la source du canal. Cependant il participe peu aux débits mesurés à la station car ses eaux sont retenues par des mares dont le trop plein n'atteint pas le canal mais sort par la porte d'accès Point E-ENS. Sa surface est de 3.5 ha.

4.2 Les autres infrastructures

En dehors des quartiers résidentiels, le centre sud du bassin versant est occupé par une institution universitaire, l'Ecole Normale Supérieure où le pluviographe a été implanté, le Lycée d'application Seydou NOUROU TALL, le Parc O.M.V.S. et 3 stations d'essence.

4.2.1 Le complexe scolaire de l'Ecole Normale

L'Ecole Normale Supérieure occupe une superficie de 6 ha où sont érigés 6 grands bâtiments de résidence, de salles de cours, et d'administration de l'école. On y trouve un parking arboré, un terrain nu de sport, quelques jardins cultivés et des espaces verts.

4.2.2 Le Parc OMVS et les commerces

Le parc couvre 1.8 ha et renferme des espaces verts et des zones densément arborées; aucun écoulement ne provient du jardin pour rejoindre le canal. Les stations d'essence sont entièrement imperméabilisées mais leur superficie ne dépasse pas 500 m². En dehors de ces stations on rencontre quelques magasins de commerce surtout dans les immeubles de Mermoz.

4.2.3 Routes et espaces non bâtis

Avec leurs bordures souvent nues, les routes recouvrent jusqu'à 3.7 ha du bassin. La plus longue, 2.7 km, est celle qui va de la VDN à la station 2. Le second axe important part de la station 2 en ligne droite jusqu'à la stèle Mermoz d'où part une bretelle (la route de la Pyrotechnie) qui rejoint la VDN. Le reste du réseau routier est disséminé à l'intérieur des quartiers.

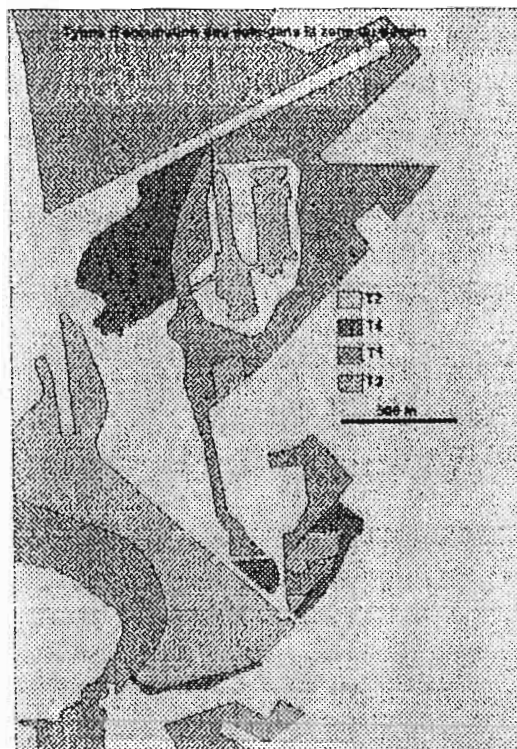
Les zones herbeuses sont situées au nord du bassin, sur les hautes altitudes. Cet espace encore vierge il y a moins de 10 ans, est aujourd'hui sous une dynamique d'urbanisation très forte. Elles couvrent 10 ha dans le bassin.

5 L'OCCUPATION DES SOLS DU BASSIN

Le bassin versant de Mermoz, à l'image des bassins d'Afrique de l'ouest qui ont été étudiés par L'ORSTOM, présente une hétérogénéité des types de recouvrements. On y rencontre des quartiers modernes de grand standing, caractérisés par des espaces vastes contenant une large part de surface à végétation.

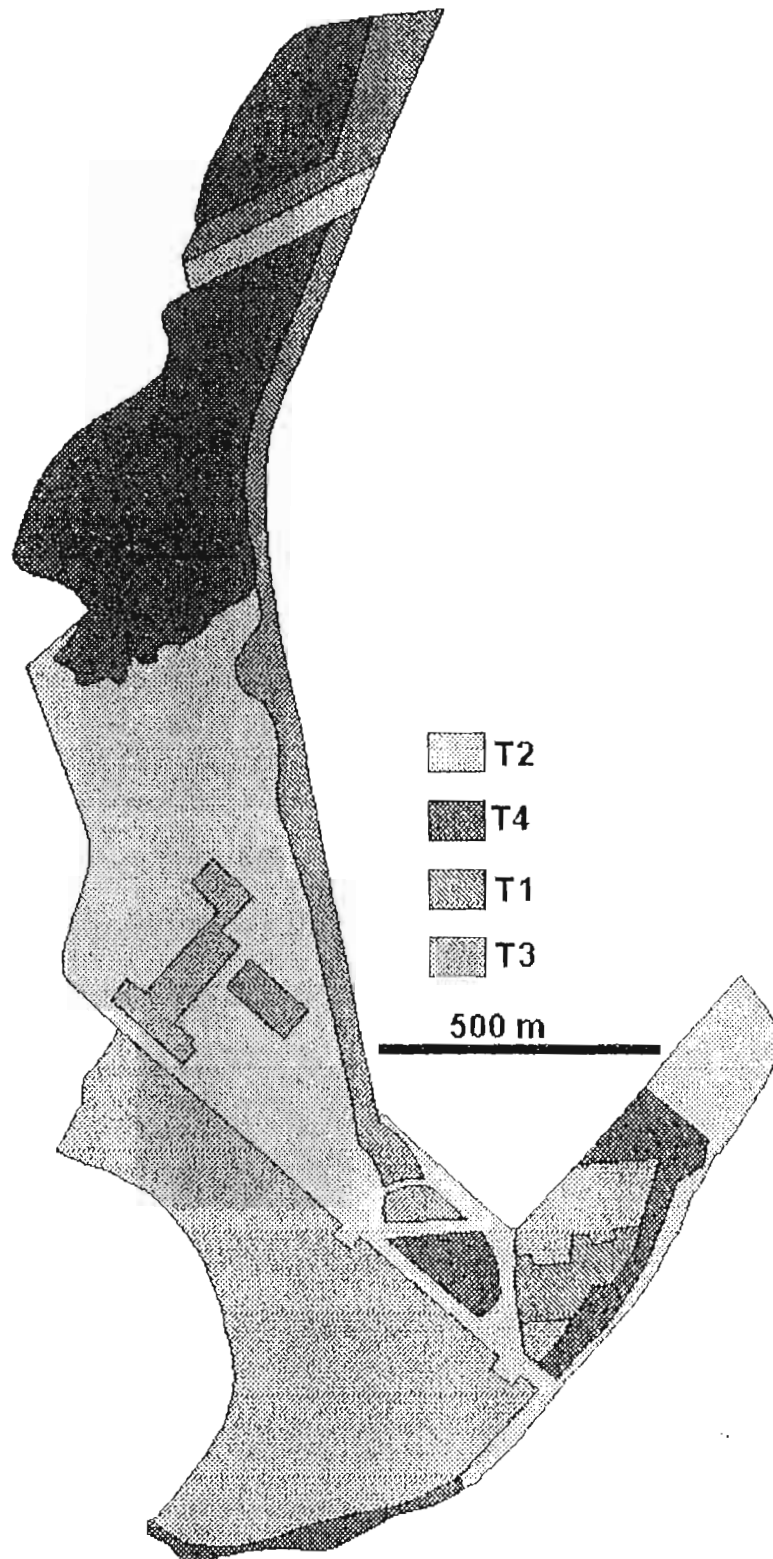
Ce type est représenté essentiellement par le quartier de Fann. Le parc de la place OMVS est quant à lui espace vert qui ne produit aucun écoulement. D'autres quartiers comme Mermoz et Bourguiba présente un bâti assez dense, interrompu le plus souvent par des sols nus. Ces sols nus dominent surtout dans les infrastructures scolaires où ils séparent les bâtiments et pelouses. La planche suivante montre que le bassin est ceinturé par le noyau urbain (type Mermoz) et les sols nus à l'ouest et au nord.

Figure XIX - Types d'occupation des sols dans les zones environnantes du bassin



La figure suivante détermine quant à elle les types d'occupation au niveau strict du bassin.

Figure XX - Occupation des sols sur le bassin versant de Mermoz



L'urbanisation a beaucoup progressé depuis la seconde guerre mondiale. En effet, le bassin n'était pas situé dans le noyau urbain dakarois dont la progression se fait du sud au nord. Dans nos publications ultérieures, nous présenterons une carte de 1945 avec des zones bâties faiblement représentées par rapport aux zones nues.

CHAPITRE TROISIÈME LES MESURES HYDROPLUVIOMÉTRIQUES

Le suivi des pluies et des écoulements a eu lieu deux campagnes durant; la première s'est déroulée du 8 juillet 1994, date de l'installation du pluviographe vers le 15 octobre, date du vol du limnigraphe à la station 1. Avec l'appui renouvelé de l'UR24 au programme RUES, les études ont pu se poursuivre en 1995.

Chacune de nos campagnes ayant fait l'objet d'un rapport détaillé, nous ne ferons qu'une synthèse des différents événements après un rappel des problèmes rencontrés dans le suivi. Enfin nous présenterons les résultats auxquels ont abouti les études : élaboration de bilan partiel pour chaque séquence pluie-débit et de bilan global pour l'écoulement pendant toute la saison.

1 OBJECTIFS, MOYENS ET PROBLÈMES DES CAMPAGNES

1.1 Objectifs

L'assainissement d'une localité nécessite des études en amont de toute réalisation. L'aménageur a besoin de données sur les pluies ainsi que les volumes écoulés par une surface en amont d'un point à partir duquel un réseau devrait être construit. Mieux, pour configurer les évacuateurs dont le rôle est d'éviter ou plutôt d'amoindrir les effets néfastes causés par les inondations, il est capitale qu'il dispose des débits de fréquence rare contre lesquels il souhaite protéger les populations. Cette fréquence rare a été longtemps choisie égale à la fréquence décennale c'est à dire faire en sorte que les inconvénients liés aux pluies n'apportent de réelles difficultés qu'en moyenne une fois par dix ans. La protection absolue étant difficilement réalisable, le concepteur doit choisir un niveau de protection, en rapport cependant avec les possibilités économiques des localités. Les villes des pays développés peuvent se permettre de tendre vers une fréquence vicennale voire plus alors que les pays en développement doivent opter pour un choix judicieux qui est peut-être compris comme une "moyenne protection". Il faudrait cependant prévoir des stratégies pour amoindrir les effets néfastes avant qu'ils ne soient de véritables catastrophes.

C'est pour aider à la prise de décision que des études sur le ruissellement doivent être faites. On ne peut pas en faire partout et toujours car elles sont coûteuses. L'estimation devient alors un outil pour palier le manque d'étude mais elle ne peut cependant être fiable que lorsqu'elle s'appuie sur une bonne base de données réelles. De grandes villes comme Dakar souffrent de la quasi - inexistence de mesures sur les écoulements alors celles des pluies ont dépassé aujourd'hui un siècle de mesures. Nous serions tenté de dire que toutes les réalisations en matière d'évacuation des eaux pluviales se sont fondées sur des estimations des débits à évacuer. Ces estimations ont été peut être valables pour les canaux construits il y a plus de 30 ans et qui aujourd'hui encore servent de manière plus ou moins correcte selon l'importance de la pluviométrie. Mais quand des ouvrages récents montrent leurs limites avant même d'être achevés, on ne peut pas indexer l'urbanisation rapide.

L'étude sur le ruissellement urbain initié par le programme RUES cherche à corriger ces défaillances même si elle vient 30 ans après les premières mesures à Niamey. L'intérêt de telles données n'est plus à démontrer et c'est pourquoi, quelque soit l'appréciation que l'on fera de ces premiers résultats, il faut qu'ils décident les autorités et les services compétents à organiser des campagnes régulières de mesures du ruissellement urbain.

1.2 Moyens

Nous avons à plusieurs reprises souligné le coût des moyens à mettre en œuvre pour réaliser de bonnes campagnes de mesures pouvant garantir des données exploitables dans le cadre du dimensionnement des ouvrages d'assainissement. Ces coûts financiers ne sont d'ailleurs pas énormes si ces campagnes sont menées dans le cadre de partenariat entre les services locaux et avec l'appui d'organismes extérieurs. Rien ne justifie cependant la non réalisation de telles opérations qui ne demandent qu'à être bien définies pour bénéficier de coopérations diverses.

Une fois les moyens matériels mis en place, l'étude du ruissellement urbain nécessite quelques compétences pour le jaugeage. Le maniement des appareils s'acquiert assez rapidement. Le moulinet et le limnigraphe en sont les plus indispensables pour les canaux ; une passerelle assure un confort au jaugeage et permet de travailler sur des verticales fixes. Le jaugeage est une opération qui permet de déterminer les vitesses puis les débits et les volumes écoulés. La vitesse dépend de la pente mais aussi de la taille du bassin et surtout de la section mouillée.

Le jaugeage s'est fait sur la passerelle de la station principale pendant les deux campagnes et aussi à la station amont en seconde campagne. Les jaugeages permettent d'établir une courbe d'étalonnage (ou de tarage) pour la station. Des mesures ont été faites aussi pour évaluer les pertes du bassin mais aussi les transferts entre sous-bassins. Ces derniers participent différemment aux écoulements mesurés sur le tronçon principal du canal. La campagne de 1994 avait d'ailleurs permis d'établir une représentation schématique des différents sous-bassins et leur contribution au ruissellement. Certains axes de drainage produisaient soit un écoulement perdu, soit un écoulement atteignant l'exutoire, soit les deux à la fois. Il faudrait cependant une équipe plus renforcée pour confirmer les pourcentages de transfert d'une unité hydrologique à une autre.

Le ruissellement en milieu urbain est plus complexe qu'en milieu rural. La campagne ne se déroule pas souvent sans réserver des surprises. Parti pour une campagne systématique de jaugeage à la Station 1, sous le pont de la Corniche, nous avons été amené à partir du 17 août à faire des jaugeages à la station 2 en amont, où des eaux usées provenant d'une conduite cassée, ont commencé à s'écouler dans le canal. Ces perturbations peuvent compromettre une campagne bien débutée. L'avenir a montré que ces mesures inattendues ont donné lieu à des études intéressantes mais à confirmer sur les rejets d'eau.

Le lit du canal étant jalonné de mares qui doivent se remplir avant que l'écoulement ne se fasse à la station principale, il faut déterminer les conditions exactes de pluie sur le bassin qui déclenchent un écoulement à cette station. Pour y parvenir, il faudrait procéder à des jaugeages en amont de ces mares pour établir une corrélation entre les deux débits. La station amont créée pour les eaux usées a offert cette possibilité. Aujourd'hui, après deux campagnes hydrologiques, nous sommes convaincus que cette station amont est plus apte à étudier les phénomènes du ruissellement urbain.

Il faut aussi savoir gérer une crue c'est à dire entre deux jaugeages. étudier d'autres caractéristiques qui peuvent être utiles en cas d'estimation ou de modélisation par exemple: limites du bassin, pertes, stockage...

1.3 Problèmes

Ils sont en corrélation avec les moyens disponibles: plus ceux-ci sont importants, moins il y a de problèmes. Ici les moyens sont aussi bien financiers, matériels que humains. Les premiers justifient les autres; s'ils sont disponibles, il ne reste qu'à chercher les compétences car si le projet n'est pas bien défini et des compétences bien choisies, un résultat fiable ne peut découler des études. Pour illustrer cet aspect, nous citerons le cas du choix de l'emplacement d'une échelle, de l'endroit adéquat pour les mesures et même tout simplement du choix de la station.

Dans la réalité de nos campagnes, nous avons été confronté à plusieurs de ces problèmes: la station de référence, sous le pont de la corniche, choisi pour plusieurs avantages indiqués dans le premier rapport pose un problème dans la forme des hydrogrammes à cause des nombreuses mares de la tranchée qui « laminent » les petites pointes des crues qui en fin de compte n'en présentent plus qu'une seule. L'échelle limnimétrique en station amont, devrait être placée en rive gauche pour éviter les dragages mais aussi et surtout l'écoulement important au dessous du zéro qui a contribué aussi au double étalonnage de cette station. Il fallait la placer en aval du pont et non en amont car de grosses quantités considérées comme pertes pour la section mouillée, descendent du pont en aval de l'échelle.

Les problèmes rencontrés dans cette étude touchent aussi les moyens matériels: appareils assez souvent défectueux, compromettant certaines mesures de pluies et de crues; insuffisance de ces appareils et d'hommes en nombre pour mesurer simultanément à plusieurs endroits; disponibilité d'un véhicule de terrain pour toute la durée de la campagne. C'est d'abord l'occasion de rappeler que nous avons travaillé avec un limniographe OTT-X, moins précis que le OTT-XX. En plus, il a connu au début de la campagne des blocages du système d'enregistrement comme lors de la crue du 30 août 1995; seule la cote maximale était tracée alors que la décrue était amorcée.

Avec la remise en marche de l'enregistreur et des lectures sur la décrue, nous avons pu retracer la crue. Les pointages en tirant sur le câble du flotteur introduisaient aussi des anomalies car le stylet ne se replaçait pas toujours sur sa position d'avant (problèmes de réglage ?). Ces maladrotes s'expliquaient par les pointages de nuit et la position élevée de la guérite, que nous avons adoptée pour mieux protéger l'appareil.

Des problèmes d'enregistrement sont aussi survenus au niveau du pluviographe installé à l'École Normale Supérieure. Plusieurs fois, nous avons constaté un arrêt du compteur. Il se coinçait souvent s'il était remonté assez fort mais la plupart du temps, il s'arrêtait sans que le ressort ne soit complètement déroulé. D'ailleurs, un léger coup le remettait en marche. Malgré une surveillance, la pluviographie du 23 août n'a pas été enregistrée. Nous n'avons eu que la hauteur par le seuil.

2 BILAN DES CAMPAGNES

Avant de présenter les différents résultats obtenus, nous voudrions rappeler les termes d'un bilan hydrologique.

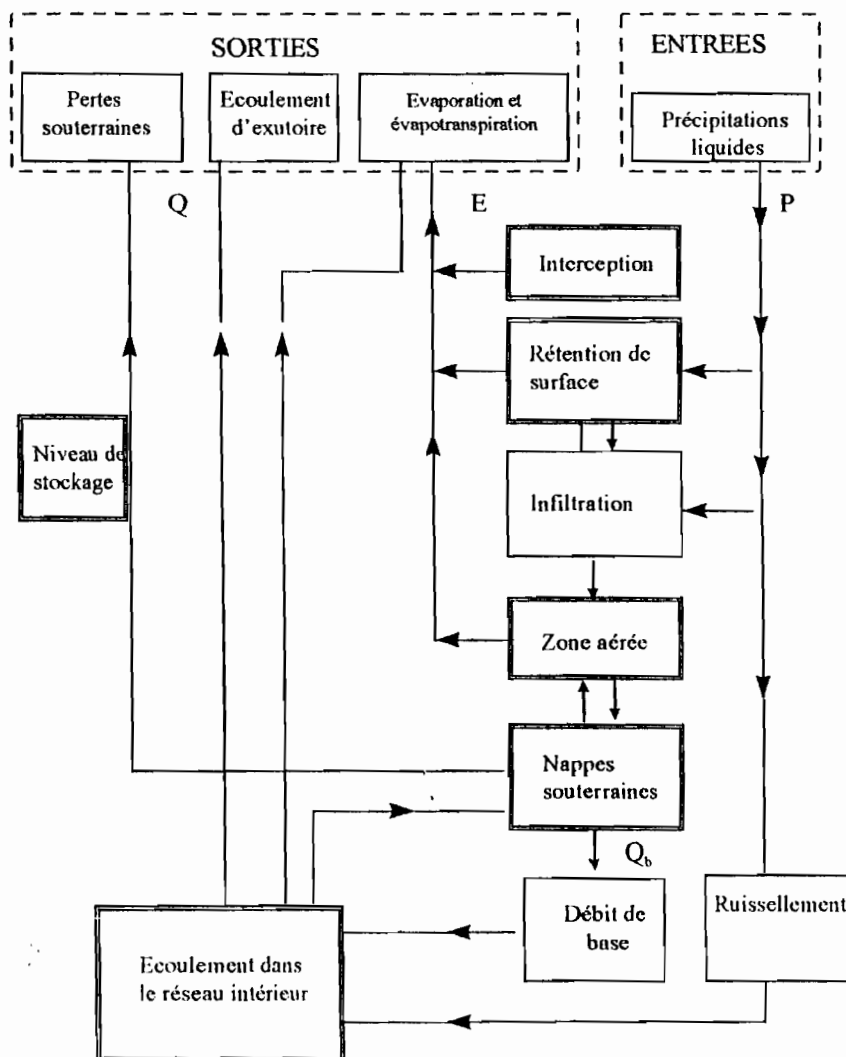
2.1 Les facteurs du bilan hydrologique

Le bilan d'un bassin versant consiste à déterminer:

- * les apports au bassin versant, dus essentiellement aux pluies et accidentellement aux conduites défectueuses d'eaux usées,
- * les pertes, occasionnées par les rétentions superficielles, l'infiltration, l'évaporation et éventuellement les fuites hors du bassin.

Si les apports sont inférieurs aux pertes, le bilan est dit négatif; si la situation est inverse, le bilan est positif et se traduit par un écoulement à l'exutoire du bassin. Le schéma suivant tiré de CHUZEVILLE (1988), montre les différents éléments et leur relation.

Figure XXI - Bilan hydrologique d'un bassin versant



Les mesures de pluies, de débits et les prélèvements d'eau se faisant à des sites déterminés, nous avons cherché avec un GPS, les positions géographiques des sites. Elles sont mentionnées sur le tableau suivant. Certains points de mesure ont été référencés en cas de suivi éventuel des écoulements sur d'autres bassins versants dans la région de Dakar. Les points ont été choisis les plus dispersés possible, en vue d'une bonne prise en compte de toute l'étendue de la région. On remarque cependant que le noyau urbain et la zone du front d'urbanisation sont mieux suivis parce qu'étant le lieu des problèmes.

Tableau 78 - Coordonnées géographiques des sites d'étude

Type	Sites	Latitude	Longitude
Canal	Soumbédioune	14°41'24"8 N	17°27'30"5 W
	Bai : Hann	14°42'5"4 N	17°25'52"2 W
	Fron. de Terr.	14°43'4"1 N	17°26'47"7 W
	Foire de Dakar	14°44'35"5 N	17°28'10"7 W
Marigot	Station 1 du Bassin versant	14°41'41"2 N	17°28'22"2 W
	Station 2 du Bassin versant	14°41'50" N	17°28'01"3 W
	Virage Aéroport vers Casino	14°45'13"8 N	17°29'51"2 W
	Mare SIPS	14°44'37"5 N	17°23'18"8 W
	Exutoire Épuration de Cambérène	14°46'13"8 N	17°25'51"8 W
	Pont de Mbao	14°44'50"4 N	17°19'24"6 W
	Puits	Hann	14°43'37"9 N
Horticulture		14°45'01"7 N	17°25'37"5 W
Mbeubeuss		14°47'36"1 N	17°19'33" W
Sangalkam		14°46'29"5 N	17°14'39"5 W
Enregistreur	Pluviographe ENS	14°41'59"5 N	17°26'56"7 W
	Pluviographe Parcelles Assainies	14°45'50" N	17°26'12"1 W
	Pluviomètre Hamo 4 Guédiawaye	14°46'53"7 N	17°23'22"7 W
	Pluviomètre Orstom-Hann	14°43'57"9 N	17°25'58"6 W

2.2 Les pluies

2.2.1 Le réseau de mesure

Pendant les deux campagnes hydrologiques la pluie a été mesurée par un pluviographe basé à l'Ecole Normale. Des problèmes ont été rencontrés pour trouver un bon emplacement. Le terrain de foot-ball s'y prêtait mieux mais il était régulièrement utilisé par les activités de vacances. A côté du garage où il a été placé, il était bien surveillé mais pas à distance recommandée d'un immeuble de 2 étages.

Pour une étude sur un bassin versant aussi allongé, dont la longueur fait près de trois fois la largeur, il serait plus judicieux d'installer un second pluviographe dans le quartier de Mermoz ou vers la zone d'amont. Celui de l'Ecole Normale pourrait alors être déplacé du côté de l'exutoire. Les pointages sur la feuille aident à mieux calculer l'avance ou le retard d'un appareil mais s'ils sont trop nombreux, ils deviennent sur surcharge qui détériorent la qualité du dépouillement.

Des difficultés ont aussi été relevées dans celui-ci à la table à digitaliser. Le curseur muni d'une loupe permettrait de bien mieux prendre en compte les cassures. Il a fallu donc s'y mettre minutieusement pour s'approcher de le plus possible de la réalité. Des diagrammes ont aussi été digitalisés à nouveau pour corriger des imperfections. A propos de la digitalisation, il faut rappeler que le passage de PLUVIOM à EXCEL pour dessiner les hyétogrammes nécessitent de petits programmes-relais pas toujours commodes à manipuler. Le passage entre le logiciel de dépouillement et le tableur gagnerait à être automatisé.

2.2.2 La pluviométrie

2.2.2.1 les pluies journalières

Elles ont été enregistrées à la station pluviographique de Dakar-Ecole Normale qui a totalisé pour 1994, 27 averses de durées et d'intensités différentes en dehors de celle du 20 juin qui a été de 3.6 mm à Dakar-Yoff et 10 mm à Dakar-Hann. La pluie maximale journalière enregistrée est celle du 13 août avec 121.7 mm. C'est une averse exceptionnelle de période de retour de 17 ans par rapport aux statistiques de Dakar Yoff.

Nous avons fait quelques notes²⁴ sur cette averse (annexe du rapport 1). Le 21 septembre, une pluie de 102.3 mm (récurrence 7,5 ans) est tombée sur le bassin à une période où les conditions physiques étaient différentes de celles du 13 août: avec la presque saturation du bassin, "tout ce qui tombait s'écoulait". Ainsi la côte à l'échelle limnimétrique atteignait 130 cm (voir photo), le temps de base de l'écoulement se prolongeait car les mares étaient saturées. De plus la forme de cette averse est différente de celle du 13 août. Des événements pluvieux séparés ont eu lieu dans une même journée, celle-ci se compte de 8h00 à 8h00 le lendemain).

Tableau 79 - Pluies journalières enregistrées à la station de Dakar-ENS.

Station : pluviométrie école normale sup dakar 1389900501										année 1994		
	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	1
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
6	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	6
7	-	-	-	-	-	-	-	Tr	-	-	-	7
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
9	-	-	-	-	-	-	-	6.4	-	-	-	9
10	-	-	-	-	-	-	-	37.0	4.9	-	-	10
11	-	-	-	-	-	-	7.1	0.3	-	-	-	11
12	-	-	-	-	-	-	-	13.4	-	-	-	12
13	-	-	-	-	-	-	-	121.7	-	-	-	13
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
15	-	-	-	-	-	-	-	1.1	3.4	-	-	15
16	-	-	-	-	-	-	-	0.7	0.3	-	-	16
17	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	-	-	17
18	-	-	-	-	-	-	-	11.5	-	-	-	18
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
21	-	-	-	-	-	-	-	-	102.3	-	-	21
22	-	-	-	-	-	-	-	7.5	-	-	-	22
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
24	-	-	-	-	-	-	1.9	1.5	-	-	-	24
25	-	-	-	-	-	-	-	21.9	12.6	-	-	25
26	-	-	-	-	-	-	-	27.7	11.6	-	-	26
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
28	-	-	-	-	-	-	-	Tr	-	-	-	28
29	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	29
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
TOT	-	-	-	-	-	-	9.0	258.2	135.2	0.0	0.0	0.0
MAX	-	-	-	-	-	-	7.1	121.7	102.3	0.0	0.0	0.0
ANNÉE INCOMPLÈTE							TOTAL PARTIEL : 402.4 mm					
NOMBRE DE JOURS DE PLUIE : (24)												

En 1995, la station a non seulement régressé au niveau du total mais elle n'a pas enregistré de pluies exceptionnelles; la hauteur maximale a été de 48.4 mm. Pourtant des problèmes d'inondation se sont posés dans la mesure où l'essentiel des pluies s'est concentré sur le mois d'août. Les zones basses sont restées longtemps inondées.

²⁴BASSEL M., PEPIN Y. (août 1994): Observations sur la crue du 13 août 1994 à Dakar. ORSTOM-DEC - UCAD Dakar.

Tableau 80 - Station Pluviographique Dakar-Ens (1389900501 Année 1995)

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	
1	-	-	-	-	-	-	-	27.6	0.3	.	-	-	1
2	-	-	-	-	-	-	-	7.5	.	.	-	-	2
3	-	-	-	-	-	-	-	1.0	11.4	.	-	-	3
4	-	-	-	-	-	-	-	.	0.1	.	-	-	4
5	-	-	-	-	-	-	-	.	5.5	.	-	-	5
6	-	-	-	-	-	-	-	.	3.5	.	-	-	6
7	-	-	-	-	-	-	-	0.2	1.0	18.5	-	-	7
8	-	-	-	-	-	-	-	.	1.0	.	-	-	8
9	-	-	-	-	-	-	-	.	.	.	-	-	9
10	-	-	-	-	-	-	-	.	8.0	.	-	-	10
11	-	-	-	-	-	-	9.2	.	0.9	7.4	-	-	11
12	-	-	-	-	-	-	TR	.	.	.	-	-	12
13	-	-	-	-	-	-	.	0.4	.	.	-	-	13
14	-	-	-	-	-	-	.	1.4	.	.	-	-	14
15	-	-	-	-	-	-	.	0.5	.	.	-	-	15
16	-	-	-	-	-	-	.	48.4	2.6	.	-	-	16
17	-	-	-	-	-	-	.	20.7	.	.	-	-	17
18	-	-	-	-	-	-	-	-	18
19	-	-	-	-	-	-	1.0	10.3	0.1	.	-	-	19
20	-	-	-	-	-	-	.	0.2	2.1	.	-	-	20
21	-	-	-	-	-	-	.	0.7	0.3	.	-	-	21
22	-	-	-	-	-	0.4	27.4	14.6	4.5	.	-	-	22
23	-	-	-	-	-	22.1	0.3	37.9	12.5	.	-	-	23
24	-	-	-	-	-	.	.	1.8	.	.	-	-	24
25	-	-	-	-	-	.	.	35.3	.	.	-	-	25
26	-	-	-	-	-	.	.	0.1	.	.	-	-	26
27	-	-	-	-	-	.	.	0.1	.	.	-	-	27
28	-	-	-	-	-	.	4.4	2.5	.	.	-	-	28
29	-	-	-	-	-	.	2.9	24.2	.	.	-	-	29
30	-	-	-	-	-	.	.	TR	.	.	-	-	30
31	-	-	-	-	-	.	2.2	.	.	.	-	-	31
TOT	*****	*****	*****	*****	*****	*****	22.5	47.5	235.4	53.8	25.9	*****	*****
							ANNÉE INCOMPLÈTE 1995			TOTAL PARTIEL			385.1

2.2.2.1.1 les pluies journalières en 1994

La station pluviographique était installée à l'Ecole Normale; elle a totalisé 27 averses de durées et d'intensités différentes. La pluie maximale journalière enregistrée est celle du 13 août avec 121.7 mm. C'est une averse exceptionnelle de période de retour de 17 ans par rapport aux statistiques de Dakar Yoff. Nous avons fait quelques notes²⁵ sur cette averse (voir annexe). Le 21 septembre, une pluie de 102,3 mm (récurrence 7,5 ans) est tombée sur le bassin à une période où les conditions physiques étaient différentes de celles du 13 août: le bassin étant presque saturé, "tout ce qui tombait s'écoulait". Ainsi la côte à l'échelle limnimétrique atteignait 130 cm (voir photo), le temps de base de l'écoulement se prolongeait car les mares étaient saturées. De plus la forme de cette averse est différente de celle du 13 août. Nous précisons aussi que la station n'a pas enregistré la pluie du 20 juin qui a été de 3.6 mm à Dakar-Yoff et 10 mm à Dakar-Hann. Certains événements pluvieux différents ont eu lieu dans une même journée (la journée se compte de 8h00 à 8h00 le lendemain).

2.2.2.1.2 les pluies journalières de 1995

Nous présentons les tableaux des pluies journalières enregistrées aux stations de Dakar-ENS, Dakar-Parcelles Assainies, Dakar-Orstom Hann et Dakar-Guédiawaye (Hamo4) pour la saison des pluies 1995. Les tableaux des deux premières sont donnés par le traitement de la pluviographie sous ARES avec quelques rectifications des valeurs; quant aux deux dernières, ils sont obtenus par reconstitution des observations de la pluviométrie. Enfin un tableau comparatif permet de saisir les différences entre les valeurs journalières enregistrées à ces stations et celles de Dakar-Yoff.

2.2.2.2 les pluies mensuelles

Le tableau suivant donne les précipitations mensuelles enregistrées. La pluie du mois de juin 1994 est celle enregistrée à Dakar Yoff.

Tableau 81 - Pluies mensuelles à la station de l'ENS et moyennes mensuelles de Dakar Yoff

Mois	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
1994	0.0	"3.6"	9.0	258.2	135.2	0.0	0.0
1995	0.0	22.5	47.5	235.4	53.8	25.9	0.0
Moyenne 1947-1993	0.6	9.3	71.2	181.9	145.8	39.9	1.7

²⁵BASSEL M., PEPIN Y. (août 1994): Observations sur la crue du 13 août 1994 à Dakar. ORSTOM-DEC - UCAD Dakar.

Les mois de mai et novembre sont restés secs pendant deux ans, alors que octobre 1995 a enregistré des pluies et même plus que juin. Rappelons qu'une pluie de 14 mm est tombée sur Dakar-Yoff le 15 décembre. Les mois de juin et juillet ont connu une meilleure pluviométrie même si juillet n'a pas atteint la moyenne à Yoff.

Le mois d'août a enregistré le total mensuel le plus élevé, ce qui confirme la tendance qui en fait le mois le plus pluvieux sur les stations du Sénégal. Ce total mensuel dépasse la moyenne des mois d'août depuis l'installation de la période à déficit pluviométrique malgré une légère régression en 1995. En 1994, le mois de septembre n'a enregistré que la moitié du mois précédent qu'il suivait de plus près d'habitude. Sa valeur a encore baissé l'année suivante car il n'atteint même pas le ¼ du mois d'août. Ce mois est resté déficitaire par rapport aux moyennes de Dakar-Yoff.

2.2.2.3 les pluies annuelles

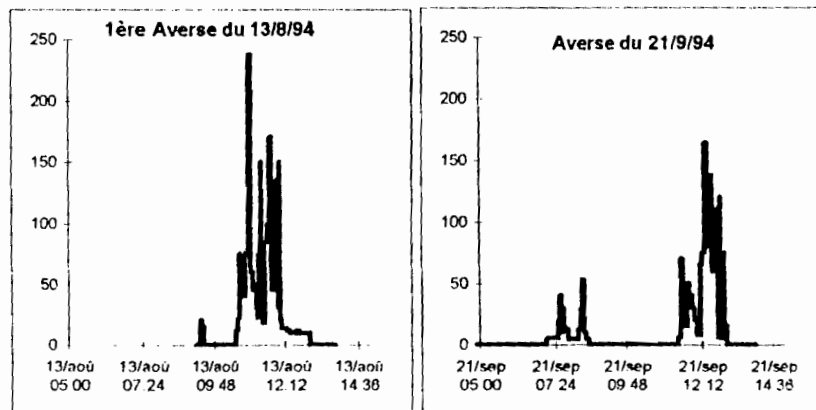
Sur le bassin versant, il est tombé 406 mm, un total annuel dont la récurrence est de 3 ans déficitaire. La saison des pluies s'est caractérisé par un démarrage tardif car les pluies n'ont commencé que le 20 juin (pluie non enregistrée) par un arrêt prématuré, aucune goutte n'est plus tombée depuis le 26 septembre.

Par contre, l'hivernage 1995 a connu 5 mois de pluie pour un total de 385,1 mm, beaucoup plus faible que celle de l'année dernière. Les averses ont été beaucoup plus nombreux mais moins exceptionnelles.

2.2.3 La pluviographie

Les hyétogrammes suivants représentent les deux principales averses de 1994, les autres sont en annexe.

Graphique 24 - représentation des averses du 13/8 et du 21/9/94 (Intensités en mm/h)



Le tableau suivant présente les hauteurs et intensités à différents pas de temps, des averses observées supérieures à 3 mm.

Tableau 82 - Hauteurs des averses supérieures à 3 mm

Date	Heure	Pluie (mm)	5	10	15	30	45	60	90	120	180	durée
11. 7.1994	13:22	7,5	2,8	3,7	4,1	7	7	7,5	7,5	7,5	7,5	53
9. 8.1994	16:17	3,5	2,1	2,5	2,9	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	25
10. 8.1994	02:42	31,5	2,5	5	7,3	11,3	13,4	15,1	18,3	21	26,4	303
12. 8.1994	18:01	13,0	5,3	9	10	10,9	11	11	12,9	13	13	93
13. 8.1994	10:33	113,0	16	22,3	28	42,5	56	76,3	102,7	108,4	113	149
17. 8.1994	16:11	6,5	2	3,5	4	5,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	44
18. 8.1994	23:36	8,5	4,3	6,3	7,6	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	22
22. 8.1994	16:43	7,0	1,3	2,3	3,1	4	4,6	6,6	7	7	7	69
26. 8.1994	03:26	19,0	4,3	6,5	9,5	14,1	17,7	19	19	19	19	60
26. 8.1994	09:49	3,5	2	2,7	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	20
26. 8.1994	12:46	20,0	5	8	10,3	17,6	20	20	20	20	20	39
10. 9.1994	08:48	3,5	1,5	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	3,5	84
21. 9.1994	07:07	17,5	4	5,9	6,8	8	11,2	15,4	17,5	17,5	17,5	86
21. 9.1994	11:29	81,0	12	23	29,2	49,1	57,5	65,8	80,7	81	81	93
25. 9.1994	22:31	6,5	4,5	5,5	6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	20
26. 9.1994	01:00	5,5	1,6	1,8	2	3,3	4,8	5,5	5,5	5,5	5,5	60
26. 9.1994	10:04	11,5	3,5	5,8	6,8	10,8	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	43

Tableau 83 - Intensités des averses supérieures à 3 mm

Date	Heure	Pluie (mm)	5	10	15	30	45	60	90	120	180
11. 7.1994	13:22	7,5	33,6	22,2	16,4	14,0	9,3	7,5	5,6	3,8	2,5
9. 8.1994	16:17	3,5	25,2	15,0	11,6	7,0	4,7	3,5	2,6	1,8	1,2
10. 8.1994	21:42	31,5	30,0	30,0	29,2	22,6	17,9	15,1	13,7	10,5	8,8
12. 8.1994	18:01	13,0	63,6	54,0	40,0	21,8	14,7	11,0	9,7	6,5	4,3
13. 8.1994	10:33	113,0	192,0	133,8	112,0	85,0	74,7	76,3	77,0	54,2	37,7
17. 8.1994	16:11	6,5	24,0	21,0	16,0	10,8	8,7	6,5	4,9	3,3	2,2
18. 8.1994	23:36	8,5	51,6	37,8	30,4	17,0	11,3	8,5	6,4	4,3	2,8
22. 8.1994	16:43	7,0	15,6	13,8	12,4	8,0	6,1	6,6	5,3	3,5	2,3
26. 8.1994	03:26	19,0	51,6	39,0	38,0	28,2	23,6	19,0	14,3	9,5	6,3
26. 8.1994	09:49	3,5	24,0	16,2	12,0	7,0	4,7	3,5	2,6	1,8	1,2
26. 8.1994	12:46	20,0	60,0	48,0	41,2	35,2	26,7	20,0	15,0	10,0	6,7
10. 9.1994	08:48	3,5	18,0	15,0	10,0	6,0	4,0	3,0	2,6	1,8	1,2
21. 9.1994	07:07	17,5	48,0	35,4	27,2	16,0	14,9	15,4	13,1	8,8	5,8
21. 9.1994	11:29	81,0	144,0	138,0	116,8	98,2	76,7	65,8	60,5	40,5	27,0
25. 9.1994	22:31	6,5	54,0	33,0	24,0	13,0	8,7	6,5	4,9	3,3	2,2
26. 9.1994	01:00	5,5	19,2	10,8	8,0	6,6	6,4	5,5	4,1	2,8	1,8
26. 9.1994	10:04	11,5	42,0	34,8	27,2	21,6	15,3	11,5	8,6	5,8	3,8

Le tableau suivant donne les récurrences obtenues à différents pas de temps pour les 2 principales pluies.

Tableau 84 - récurrences des averses du 13/8 et 21/9/94

Date	5	10	15	30	45	60	90	120	180
13. 8.1994	192,0	133,8	112,0	85,0	74,7	76,3	77,0	54,2	37,7
Récurrence	50 ans	18 ans	14 ans	13 ans	20 ans	89 ans	>100 ans	>100 ans	>100 ans
21. 9.1994	144,0	138,0	116,8	98,2	76,7	65,8	60,5	40,5	27,0
Récurrence	11 ans	20 ans	17 ans	27 ans	25 ans	35 ans	72 ans	92 ans	>100 ans

Une analyse des averses observées montre que les deux principales ont des récurrences très faibles. Nous donnons également les indices de WISCHMEYER qui caractérisent l'agressivité de la pluie sur le sol.

Tableau 85 - Indices de Wischmeyer par averse à la station de l'ENS (1994)

N°	date	Heure	Zéimétique	Zmax	Zglobale	R	RUSA
1	11-07	13:22	26,4	65,37	177,2	2480,8	1,43
2	24-07	16:50	19,07	9,53	33,46	110,66	0,06
3	09-08	13:19	19,93	9,96	24,97	68,67	0,04
4	09-08	15:00	16,02	8,01	8,01	8,01	0
5	09-08	16:17	26,85	40,28	78,27	547,9	0,32
6	10-08	21:42	25,29	50,57	649,15	14694,29	8,47
7	11-08	04:20	16,02	15,68	23,69	47,38	0,03
8	12-08	18:01	28,56	99,96	323,07	7042,93	4,06
9	13-08	09:19	23,72	23,72	46,33	185,31	0,11
10	13-08	10:33	34,55	204,86	3234,85	274961,9	158,42
11	14-08	02:42	17,77	16,39	25,27	75,81	0,04
12	14-08	05:05	15,37	7,69	7,69	7,69	0
13	16-08	06:19	18,36	18,36	18,36	36,72	0,02
14	16-08	07:19	16,79	8,4	8,4	8,4	0
15	16-08	16:11	25,29	48,85	143,62	1561,85	0,9
16	18-08	21:41	19,93	19,93	19,93	39,86	0,02
17	18-08	23:36	27,97	83,9	215,41	3661,96	2,11
18	19-08	00:59	22,01	33,02	48,54	234,94	0,14
19	22-08	16:43	22,61	22,61	143,36	1146,91	0,66
20	25-08	16:43	22,61	22,61	32,14	96,42	0,06
21	26-08	03:26	27,97	80,56	470,54	13292,7	7,66
22	26-08	09:49	24,42	48,85	79,26	554,79	0,32
23	26-08	12:46	28,83	80,56	520,89	18361,39	10,58
24	10-09	08:48	23,31	34,97	74,6	447,58	0,26
25	15-09	18:13	18,7	18,7	35,33	105,99	0,06
26	16-09	04:35	15,09	7,54	7,54	7,54	0
27	16-09	09:05	17,5	17,5	17,5	35	0,02
28	21-09	07:07	27,45	96,07	408,46	6566,76	3,78
29	21-09	11:29	33,32	229,65	2336,17	229411,5	132,18
30	25-09	22:31	29,53	88,6	168,2	2186,61	1,26
31	26-09	01:00	26,85	40,28	113,14	746,75	0,43
32	26-09	03:42	14,82	7,41	7,41	7,41	0
33	26-09	10:04	27,26	68,15	282	6110,07	3,52

sommmation des valeurs de rusa s= 337.

Pour la saison 1995, des pluies de moyenne importance ont été enregistrées. C'est le cas de l'averse du 17/08/1995. Elle a cependant donné 99,6 mm aux Parcelles Assainies, situées à moins de 12 km du bassin. Le traitement donne les résultats suivants: hauteurs et intensités maximales à divers pas de temps fixe, indices d'érodibilité de WISCHMEYER et enfin les hyétogrammes des averses à la station de Dakar-ENS. Le tableau n° montre les hauteurs en mm à divers pas de temps, pour les différentes pluies tombées sur le bassin.

Tableau 86 - Hauteur maximale observée à divers pas de temps sur le bv (averses < 3,0 mm)

N°	Hauteur	Date	Heure	5mn	10mn	15mn	30mn	45mn	60mn	90mn	120mn	180mn	Durée
1	19	23/ 6/1995	19:25	5.2	8	11.6	19	19	19	19	19	19	29
2	5	11/ 7/1995	18:33	1.4	2.8	3.5	3.5	4	4	4.2	5	5	118
7	25	22/ 7/1995	20:02	9.5	17	19.5	23.4	24.5	25	25	25	25	52
11	26	1/ 8/1995	23:32	5	9.3	11.5	16.4	21.9	24.2	25.4	26	26	117
14	5.5	3/ 8/1995	04:04	1.1	1.7	2	2.3	3.2	3.5	5	5	5.5	152
19	63.5	17/ 8/1995	05:28	6.8	10.3	12.3	19.9	24.3	27.9	32	33.9	40.3	580
21	14.5	23/ 8/1995	05:28	6	9.3	11.3	14	14	14.5	14.5	14.5	14.5	53
22	29.5	25/ 8/1995	16:46	6.7	11	15.6	21.5	23.3	24.2	27.6	29	29.5	176
23	3	26/ 8/1995	00:36	1.7	2.2	2.5	3	3	3	3	3	3	26
27	23	30/ 8/1995	03:29	11.2	16.7	19	22.5	23	23	23	23	23	35
31	7.5	4/ 9/1995	05:46	4	6	7	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	25
32	3.5	6/ 9/1995	03:01	1.8	2.5	2.7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	22
35	7.5	11/ 9/1995	04:08	3.5	5.5	6.3	7	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	35
40	4	22/ 9/1995	21:01	1.2	1.8	2.3	3	3	3.5	3.5	3.7	4	123
41	12	23/ 9/1995	07:50	6	7.3	10.5	12	12	12	12	12	12	26
42	17	8/10/1995	01:21	2.5	4.3	5.3	8.5	9.7	10.4	12.4	15.2	17	162

Le tableau suivant indique les intensités en mm/h à divers pas de temps fixe. Ils sont obtenus en divisant les hauteurs par le pas de temps fixe et en multipliant par une heure (ex: au pas de temps de 5 mn: $H \text{ mm} / 5 * 60$).

Tableau 87 - Intensité maximale des averses tombées sur le bassin à divers pas de temps

N°	1mm	Date	11 et mn	5	10	15	30	45	60	90	120	180
1	19	23/ 6/1995	19:25	62.4	48	46.4	38	25.3	19	12.7	9.5	6.3
2	5	11/ 7/1995	18:33	16.8	16.8	14	7	5.3	4	2.8	2.5	1.7
7	25	22/ 7/1995	20:02	114	102	78	46.8	32.7	25	16.7	12.5	8.3
11	26	1/ 8/1995	23:32	60	55.8	46	32.8	29.2	24.2	16.9	13	8.7
14	5.5	3/ 8/1995	04:04	13.2	10.2	8	4.6	4.3	3.5	3.3	2.5	1.8
19	63.5	17/ 8/1995	05:28	81.6	61.8	49.2	39.8	32.4	27.9	21.3	17	13.4
21	14.5	23/ 8/1995	05:28	72	55.8	45.2	28	18.7	14.5	9.7	7.3	4.8
22	29.5	25/ 8/1995	16:46	80.4	66	62.4	43	31.1	24.2	18.4	14.5	9.8
23	3	26/ 8/1995	00:36	20.4	13.2	10	6	4	3	2	1.5	1
27	23	30/ 8/1995	03:29	134.4	100.2	76	45	30.7	23	15.3	11.5	7.7
31	7.5	4/ 9/1995	05:46	48	36	28	15	10	7.5	5	3.8	2.5
32	3.5	6/ 9/1995	03:01	21.6	15	10.8	7	4.7	3.5	2.3	1.8	1.2
35	7.5	11/ 9/1995	04:08	42	33	25.2	14	10	7.5	5	3.8	2.5
40	4	22/ 9/1995	21:01	14.4	10.8	9.2	6	4	3.5	2.3	1.9	1.3
41	12	23/ 9/1995	07:50	72	43.8	42	24	16	12	8	6	4
42	17	8/10/1995	01:21	30	25.8	21.2	17	12.9	10.4	8.3	7.6	5.7

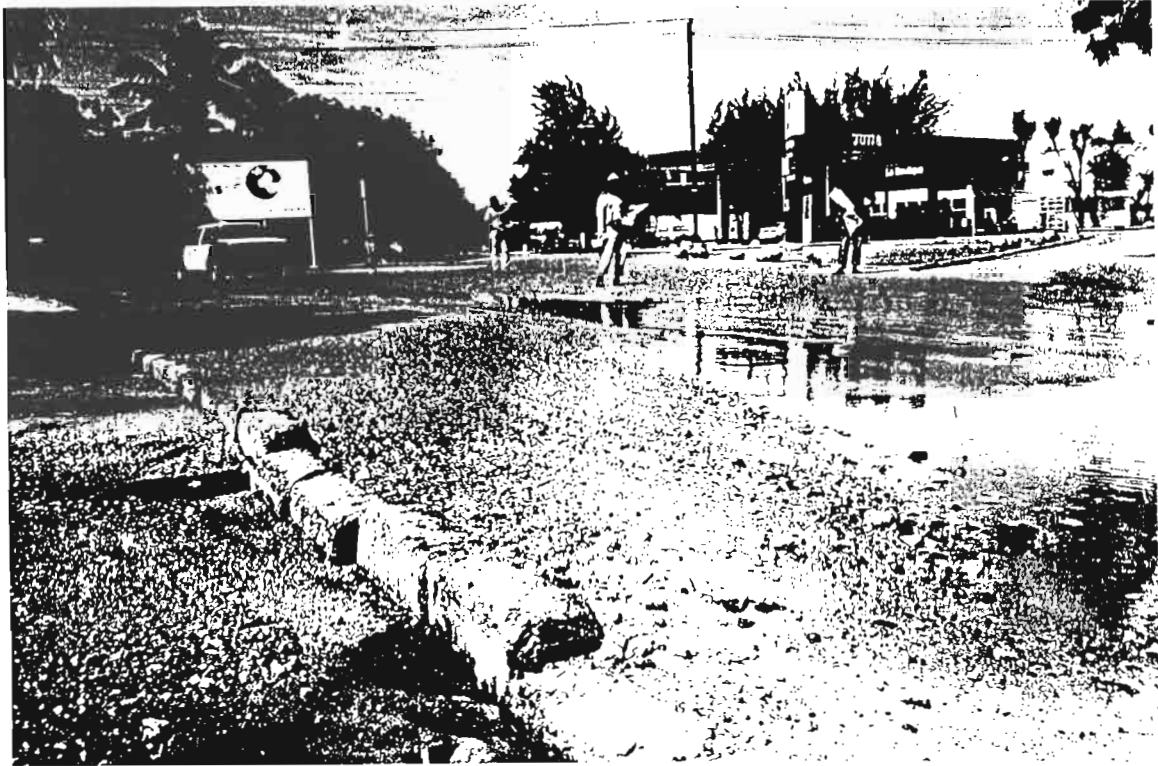
Les hyétogrammes des autres pluies enregistrées sont représentés en Annexe ainsi que les indices de Wischmeyer qui sont également obtenues par le traitement de la pluviographie. Ces indices renseignent sur la capacité érosive des sols par les pluies.

Photo 8 : Dépôts de sable et de latérite devant le Place OMVS

(Photo M. BASSEL)

Photo 9 : Ravinement des surfaces nues de l'École Normale Supérieure

(Photo M. BASSEL)



2.3 Les débits

L'installation d'une station limnigraphique a servi à évaluer les débits à l'exutoire lors des crues. L'intrusion des eaux usées a justifié les mesures à une seconde station créée en amont et les études sommaires qui en ont été faites. Ces jaugeages de part et d'autre de la longueur de la tranchée ont montré aussi une très forte infiltration dans cette tranchée. Un troisième point a été créé à 109 mètres en aval de la station 1, à l'entrée d'un verger proche de l'embouchure du canal. Les données de cette dernière station n'ont servi qu'à l'estimation des pertes dues à l'infiltration. Le bilan des écoulements sur le bassin comprend ainsi une composante eau usée.

Aussi bien l'installation que les caractéristiques des stations de mesure ont été présentées dans les rapports de campagne. Nous rappelons brièvement ces aspects avant de faire la synthèse des deux campagnes de mesures du ruissellement.

2.3.1 Les stations de mesure

La station 1 est la principale. Elle a été choisie parce qu'étant la section pouvant contrôler le plus d'axes de drainage des eaux de ruissellement du bassin, malgré les pertes et fuites.

2.3.1.1 les caractéristiques de la station 1

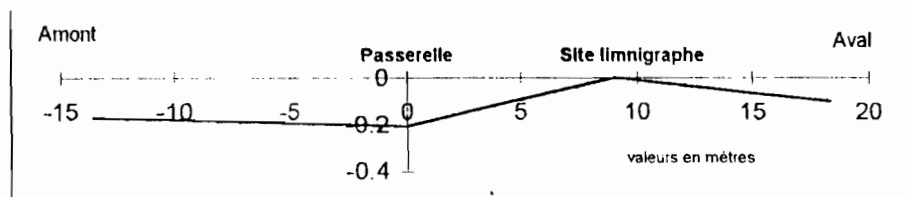
Les éléments installés sont: une batterie de 2 éléments conventionnels d'échelle en rive gauche, au bas d'une passerelle de jaugeage d'où elle est visible; à 9m en aval, sur un tube PVC de 200 mm de diamètre et de 5m de haut, un limnigraphie. En 1994 c'était un OTT XX et l'année suivante, c'était un OTT X, installé sur un tube PVC de 300 mm de diamètre et de 6m de haut.

Les coordonnées de la station, établies avec un GPS sont: 14°41'38 Latitude N et 17°41'38 Longitude W. L'altitude du zéro de l'échelle, déduite de celle de la borne IGN du pont d'altitude 17.66 m, est de 7.13 m IGN. Un barème de conversion²⁶ hauteurs lues à l'échelle / hauteurs réelles par rapport au zéro a été dressée car l'échelle est inclinée. Les mesures de moyennes et hautes eaux se font au niveau de 11 verticales matérialisées sur la passerelle, tandis que celles de basses eaux sont faites au droit du limnigraphie.

2.3.1.1.1 les profils à la station 1

Un profil en long entre les deux parois de la station a été fait après l'installation de la passerelle et du limnigraphie. Il montre qu'une mare se remplit toujours avant que l'écoulement ne commence.

Graphique 25 - Profil en long entre les 2 parois



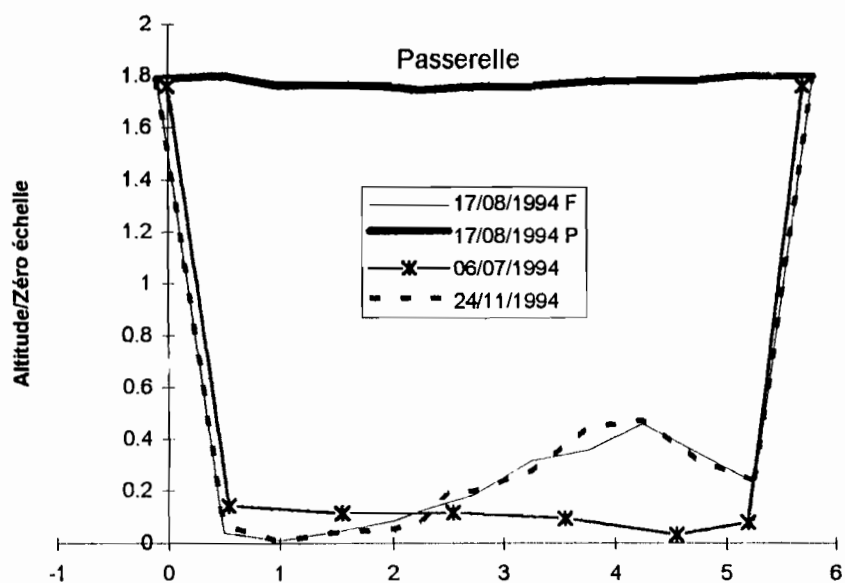
Différents profils en travers ont été réalisés au droit de la passerelle. Le premier a été fait le 06 juillet 1994 pour déterminer la configuration du fond avant les pluies. Il montrait que la section mouillée n'était pas complètement active en raison d'un tas d'immondices situé en amont en rive droite. Le fond aussi n'était pas bétonné: en trois heures, une mare d'environ 400 mm à l'échelle s'est infiltrée.

La figure (suivante) montre aussi plusieurs autres profils en travers à différentes périodes des campagnes, indiquant l'instabilité de la section mouillée. Celle-ci est surtout due aux dépôts d'ordures: le 17/08/1994, la rive droite est relevée par la stagnation du tas d'ordures qui était à 3 mètres en amont. Cette rive était plus profonde avant les pluies. Le profil du 24/11/1994 confirme encore le passage des eaux en rive gauche qui se creuse encore.

Un changement de rive d'écoulement comme le profil du 02/09/1995 à la suite de la pluie du 25/08/1995 a nécessité l'enlèvement d'un important tas de branchages morts charrié par les eaux et d'ordures retenus par les piliers de la passerelle.

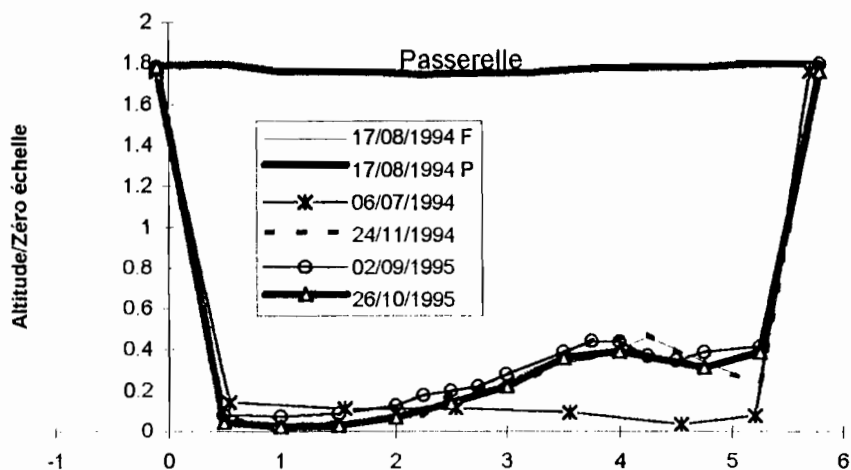
²⁶ Voir Rapport d'installation de la station, ci-joint en annexe.

Figure XXII - Évolution du profil en travers durant la saison des pluies



Le dernier profil, fait le 26/10/1995 en fin de campagne, ne devrait plus évoluer qu'en saison prochaine.

Graphique 26 Évolution du profil en travers durant les deux campagnes



A partir de la station 1, un profil en long du lit de la rivière a été entamé jusqu'à 265 mètres en amont. La présence des mares avaient interrompu ce travail.

2.3.1.1.2 l'étalonnage de la station

Pendant la campagne 1994, 99 jaugeages ont été effectués à la station 1, entre les hauteurs 431 mm et 1181 mm; les débits d'écoulement vont ainsi de 1.99 l/s à 3430 l/s.

Tableau 88 - Les débits à la station principale

N° Station: 1389900500-1 Pont Corniche Ouest DAKAR. Rivière: CANAL FANN
 Pays : SENEGAL Altitude : 7.13 m Bassin urbain de Mermoz-Fann Aire : 0,98 Km²

Date	Heure	Hmm	Q l/s	Date	Heure	Hmm	Q l/s	Date	Heure	Hmm	Q l/s
13/08/1994	11:30	1024	1750	28/08/1994	19:22	459	14,1	21/09/1994	09:36	660	288
13/08/1994	13:16	947	1430	29/08/1994	17:45	459	17,3	21/09/1994	12:02	676	426
13/08/1994	14:20	823	1000	30/08/1994	09:56	455	17,6	21/09/1994	12:20	900	1050
13/08/1994	04:35	699	348	31/08/1994	11:27	474	21,5	21/09/1994	12:41	1110	1850
16/08/1994	15:00	488	12,7	01/09/1994	19:40	479	21,2	21/09/1994	13:06	1181	3430
17/08/1994	11:12	464	4,5	02/09/1994	15:57	479	20	23/09/1991	15:13	469	11,3
17/08/1994	12:30	476	13,7	03/09/1994	16:34	474	17,1	23/09/1994	15:52	464	17,9
17/08/1994	15:01	474	4,29	04/09/1994	19:20	474	11,8	24/09/1994	06:53	431	1,99
17/08/1994	16:50	491	24,1	05/09/1994	12:45	474	16	24/09/1994	07:18	431	2,83
17/08/1994	17:45	541	63,4	06/09/1994	20:22	469	9,59	26/09/1994	07:46	455	6,78
18/08/1994	11:07	469	12,8	07/09/1994	08:58	455	5,58	26/09/1994	10:54	555	58,4
18/08/1994	18:38	464	11,7	08/09/1994	07:25	450	2,19	26/09/1994	11:07	602	171
19/08/1994	01:12	622	340	09/09/1994	08:38	450	3,72	26/09/1994	11:41	636	384
19/08/1994	08:35	459	6,79	10/09/1994	07:12	455	4,49	26/09/1994	11:55	616	243
19/08/1994	20:30	450	4,08	10/09/1994	09:55	450	6,63	27/09/1994	20:36	464	17,9
20/08/1994	13:55	459	7,14	12/09/1994	08:05	445	6,09	28/09/1994	08:35	440	5,41
21/08/1994	18:33	455	6	13/09/1994	07:05	445	4,86	29/09/1994	10:38	469	18,7
22/08/1994	15:19	459	9,6	14/09/1994	09:30	455	5,17	29/09/1994	10:44	474	21,9
22/08/1994	18:15	479	18,8	14/09/1994	09:46	464	7,34	30/09/1994	06:48	431	2,67
22/08/1994	18:25	479	19,5	14/09/1994	10:18	469	10,3	01/10/1994	11:25	474	17,8
23/08/1994	10:32	455	8,32	14/09/1994	12:30	479	15,8	03/10/1994	08:08	440	2,02
23/08/1994	17:19	469	9,96	14/09/1994	14:23	469	16,2	04/10/1994	09:08	469	3,03
24/08/1994	18:03	469	7,58	15/09/1994	17:06	474	13,9	05/10/1994	11:39	479	9,48
24/08/1994	19:15	469	7,06	16/09/1994	07:03	445	3,02	06/10/1994	10:42	469	9,01
25/08/1994	18:48	469	6,45	17/09/1994	06:54	440	4,07	07/10/1994	09:2	459	4,84
26/08/1994	08:22	498	74,4	18/09/1994	21:16	488	15,7	08/10/1994	14:38	479	8,42
26/08/1994	10:39	479	31,7	19/09/1994	09:13	455	3,64	10/10/1994	09:34	459	5,02
26/08/1994	13:53	794	1070	20/09/1994	06:56	435	3,11	11/10/1994	08:25	440	3,74
26/08/1994	13:54	799	1150	20/09/1994	07:13	440	3,27	12/10/1994	17:45	488	7,37
26/08/1994	14:07	794	795	20/09/1994	10:28	474	10,5	13/10/1994	18:12	483	7,09
26/08/1994	14:18	766	668	20/09/1994	10:53	474	6,99	14/10/1994	10:27	469	5,11
26/08/1994	16:23	565	110	20/09/1994	12:42	479	15,1	15/10/1994	09:25	459	4,07
26/08/1994	16:52	541	75,3	20/09/1994	13:01	479	14,7	25/11/1994	09:18	526	18,2
27/08/1994	10:15	459	11,6	21/09/1994	09:10	630	224				

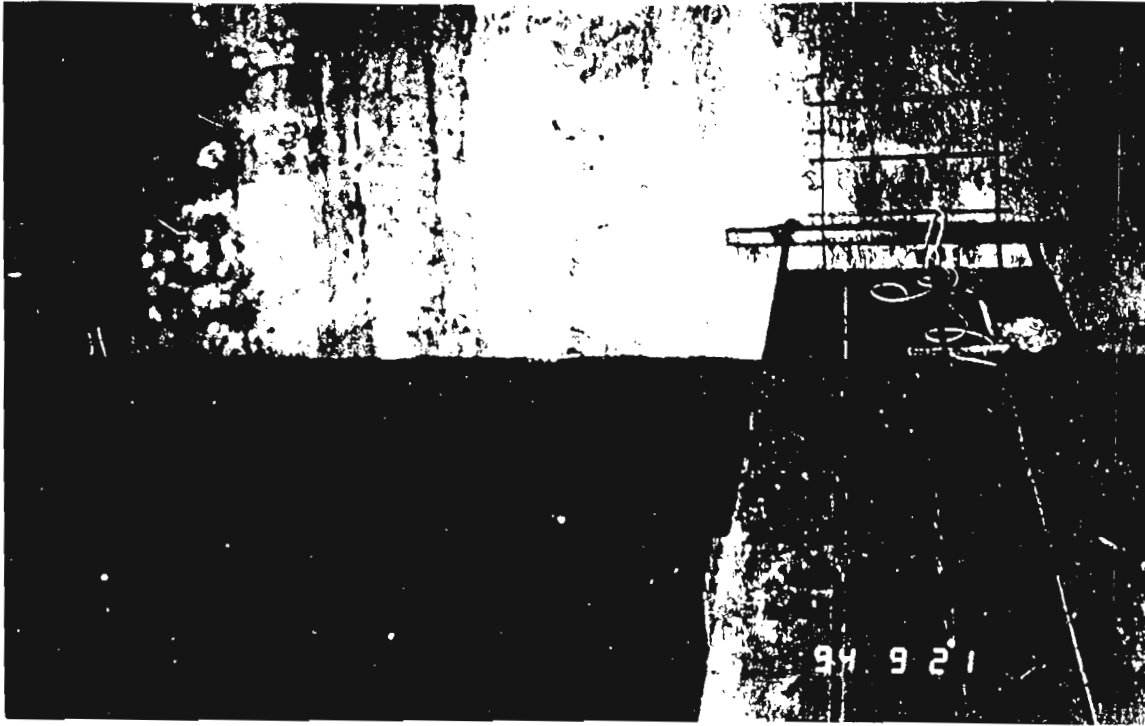
A partir de ces jaugeages, nous avons établi une courbe d'étalonnage de la station. L'étalonnage est valable de 0 à 1400 mm. La combinaison de la courbe et des hauteurs limnimétriques enregistrées, donne les débits instantanés et journaliers. En 1995, des mesures (en moyennes eaux) ont été faites pour vérifier le tarage de la station. Certaines d'entre elles, représentées sur la courbe par des cercles, confirment la validité de l'étalonnage précédent. Cette stabilité montre la bi-univocité de la station de référence.

Photo 10 : Crue à la station principale

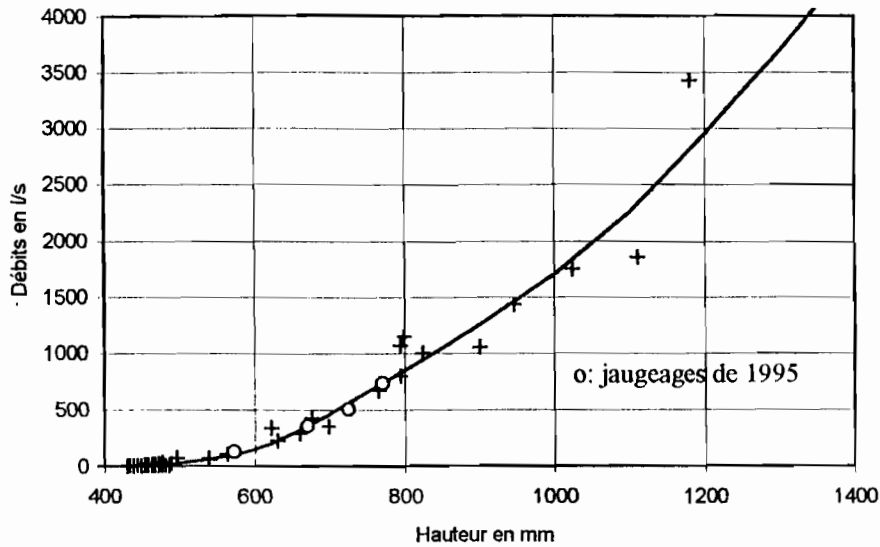
(Photo M. BASSEL)

Photo 11 : Jaugeages des eaux usées à la station principale

(Photo M. BASSEL).



Graphique 27 - Contrôle de l'étalonnage de la station de référence

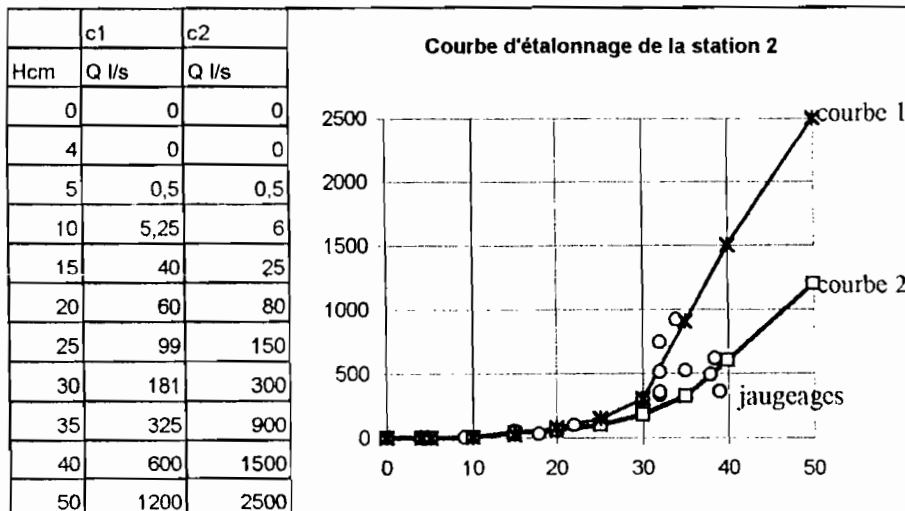


2.3.1.2 la station amont

La seconde station créée en amont à la suite de l'écoulement permanent des eaux usées présente des caractéristiques différentes de la station 1. Elle réagit à presque toutes les pluies même faibles, deux bras se rejoignent à moins de 5 mètres de la section mouillée, l'un descendant en cascades à travers des tas d'ordures, l'autre s'écoulant par débordement d'une mare.

Son étalonnage ne s'est fait qu'en 1995 malgré 75 jaugeages d'eaux usées en 1994. Sans échelle ni enregistreur limnimétriques, le ruissellement urbain d'eaux pluviales n'était mesuré qu'à l'aval. De telles mesures ne pouvaient être recalées sous la cote IGN. Avec une échelle de 1m (l'écoulement en cascades ne devant pas donner des hauteurs supérieures), nous avons procédé à des lectures fréquentes d'échelle pour essayer de restituer approximativement les crues de la seconde campagne. L'étalonnage s'est fait à partir des lectures et de jaugeages. La hauteur la plus élevée a été de 40 cm. L'étalonnage présente deux situations de courbe. Une première courbe au début du mois d'août dont la progression est plus rapide et une courbe à faible évolution. En effet le tableau des jaugeages indique un débit de 916 l/s pour une hauteur à l'échelle de 34 cm et un débit de 662 l/s pour une hauteur de 40 cm.

Graphique 28 - Courbe d'étalonnage de la station 2



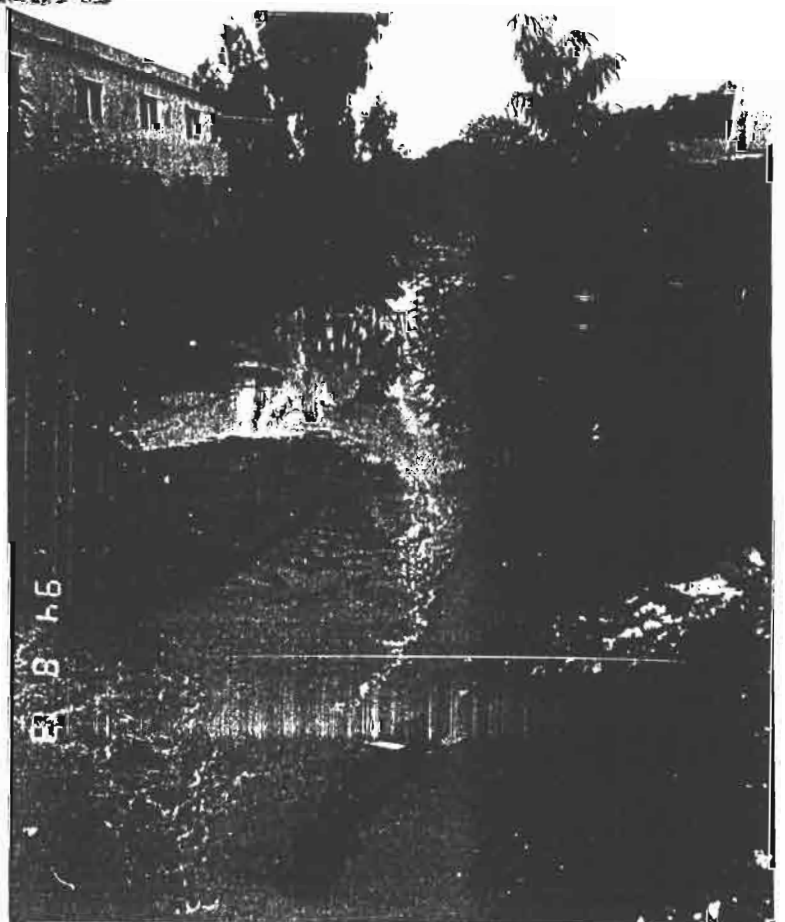
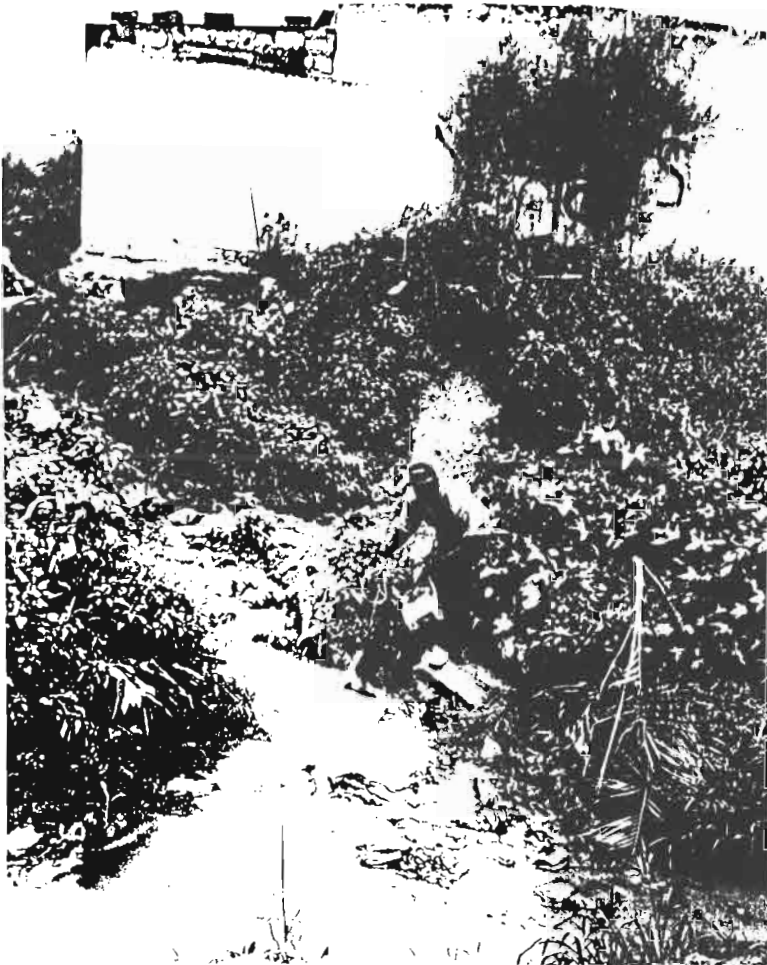
Plusieurs facteurs expliqueraient cette situation:

Photo 12 : Jaugeages des eaux usées à la station amont

(Photo M. BASSEL)

Photo 13 : Mare de stockage en face de la station amont

(Photo M. BASSEL)



la station 2 est devenue un dépôt d'ordures rarement nettoyé par les agents de la SIAS (Société de nettoyage). Si les ordures sont nettoyées avant la pluie, les écoulements sont torrentiels et leur vitesse favorise le creusement de la rive gauche de la section de jaugeage.

- ceci fait que les débits sont importants tandis que la hauteur à l'échelle est basse du fait de l'important écoulement en dessous du zéro de l'échelle. Si les ordures ne sont pas dégagées, elles forment des tas aussi bien en amont qu'en aval de la section mouillée. Les tas d'amont ralentissent la vitesse des eaux tandis que ceux d'aval en freinant l'écoulement aussi, relèvent la hauteur à l'échelle sans que le débit ne soit plus important.
- l'écoulement en provenance de la mare d'en face, est assez lent et comme il ne favorise pas le creusement, il se traduit par une augmentation de la hauteur à l'échelle sans que le débit soit important ici aussi.

Avec l'installation progressive de la saison des pluies, le second étalonnage s'est confirmée car les dépôts d'ordures ont été de plus en plus importants et l'alluvionnement des matériaux déposés a participé à la régression de l'érosion. Cependant il est nécessaire de suivre ce double étalonnage sur d'autres saisons. L'échelle nous paraît aussi mal placée car elle devrait être fixée en rive gauche où se fait le plus souvent l'écoulement; ceci nous éviterait d'ailleurs les multiples "dragages" en basses eaux.

2.3.2 Le bilan global de l'écoulement

Le bilan des écoulements lors des campagnes hydrologiques montre que des quantités d'eau importantes sont tombées sur le bassin versant. En effet, malgré les pertes et les fuites, un volume d'environ 60000 m³ a transité par la station 1 en 1994 contre un volume de près de 34000 m³ en 1995. En amont, où toutes les pluies ont créé un écoulement, il est passé un volume de 58092 m³ en 1995.

Ces volumes écoulés ne comprennent pas les eaux usées de 1994 (49 700 m³). Avec elles, la station 1 avaient enregistré le transit d'un total de 109200 m³. En cette année, les "crues d'eaux usées" avaient été séparés des eaux de ruissellement pluvial comme le présente le tableau ci-dessous du bilan global de l'écoulement observé à la station de référence. La distinction des différentes eaux est cependant difficile pendant les crues. Rappelons que seule celle du 13/08 provenait uniquement du ruissellement pluvial.

Tableau 89 - bilan global de l'écoulement (1994)

Commentaire	Date	Pluie	Qmax	Tmontée	T base	Volume	Lame	Kr
		mm	l/s	mn	h : mn	m ³	mm	‰
ruissellement pluvial	13/08/1994	119,6	3960	160	23:30	27010	27,56	23,94
égout seul	15/08/1994	1,1	9,7	390	12:26	305		
écoulement	16/08/1994	0,7	22,6	127	18:33	900		
écoulement	17/08/1994	6,8	86,3	251	13:04	1751		
ruissellement	17/08/1994	6,8	78	251	14:04	1365	1,39	20,48
écoulement	18/08/1994	11,5	175	49	06:42	2383		
ruissellement	18/08/1994	11,5	166	49	06:42	1728	1,76	15,33
écoulement	22/08/1994	7,5	50,2	182	07:07	700		
ruissellement	22/08/1994	7,5	38,9	182	07:07	382	0,39	5,20
écoulement	25/08/1994	21,9	544	69	04:34	3492		
ruissellement	25/08/1994	21,9	532	69	04:34	3375	3,44	15,73
écoulement	26/08/1994	27,7	810	34	03:37	5225		
ruissellement	26/08/1994	27,7	772	34	03:37	4563	4,66	16,81
écoulement	10/09/1994	4,9	25,6	111	06:14	436		
ruissellement	10/09/1994	4,9	25,6	111	06:14	175	0,18	3,64
écoulement	15/09/1994	3,6	15,4	291	1j23:28	1752		
ruissellement	15/09/1994	3,6	12,6	291	1j23:28	1299	1,33	36,82
1e écoulement	21/09/1994	17,5	302	98	03:00	1909		
1e ruissellement	21/09/1994	17,5	235	98	03:00	1238	1,26	7,22
2e écoulement	21/09/1994	84,8	3040	83	05:50	17950		
2e ruissellement	21/09/1994	84,8	2930	83	05:50	15540	15,86	18,70
écoulement	25/09/1994	12,6	51,1	109	07:00	837		
ruissellement	25/09/1994	12,6	44	109	07:00	634	0,65	5,13
écoulement	26/09/1994	11,6	206	75	04:19	1614		
ruissellement	26/09/1994	11,6	190	75	04:19	1269	1,29	11,16
RUISSALLEMENT	01/6- 15 10	406	3960			59478	60,69	14,95
ÉCOULEMENT	01/6- 5 10	406	3960			109200	111,43	27,45

Les pluies de 1995 ont été moins importantes et les volumes écoulés ont été plus faibles. Les tableaux suivants indiquent le bilan pour chaque station.

Tableau 90 - Bilan de l'écoulement à la station 1 (les débits sont en l/s)

Date	P (mm)	Qmax	Tmontée	Tbase	Volume (m3)	Lame (mm)	Coeff %
22-Jul	27,4	22,6	30 mn	2 h 18 mn	683	0,07	0,26
2-Aug	27,6	401	22 mn	7 h 8 mn	2814	2,87	10,40
17-Aug	69,1	635	25 mn	17 h 16	11190	11,42	16,53
23-Aug	14,6	193	60 mn	9 h 37	2756	2,81	19,25
23-24/08	37,9	718	1 h 41 mn	15 h	924	9,43	24,88
25-26/08	35,3	978	7 h 29	55 h 28	1147	11,7	33,14
30 au 01/09	24,7	678,4	8h 56	25 h 37	10000	7,73	60,41
4-Sep	11,4	28,9	53 mn	8 h 55	2869	0,29	2,54
					32383	46,32	20,93

Tableau 91 Bilan de l'écoulement à la station 2

Date	Pluie	Qmax en l/s	Tmontée	Tbase	Vol (m3)	Lame	Coef%
22-Jun	22,1	435	1 h 27	3 h 40	1471	1,5	6,79
11-Jul	9,2	15,2	1 mn	1 h 12	23,3	0,02	0,22
12-Jul	9,2	20,1	1 mn	1 h 41	60,9	0,06	0,65
22-Jul	27,4	435	47 mn	3 h	1184	1,21	4,42
02-Aug	27,6	545	1 h 04	22 h 57	5763	5,88	21,30
17-Aug	69,1	1800	1 h 3 mn	15 h 29	7359	7,51	10,87
19-Aug	10,3	9,8	24 h 4 mn	30 h 10	586	0,6	5,83
20-Aug	0,2	10,2	1 mn	7 h 01	116	0,12	60,00
23-25/08	39,7	435	16 h 05	26 h 55	11090	11,31	28,49
25-27/08	35,7	600	2 h 11	20 h 52	12050	12,3	34,45
29-Aug	2,5	36	1 mn	9 h 28	955	0,97	38,80
30 au 01/09	24,2	600	30 mn	36 h 43	11030	11,26	46,53
03-Sep	11,4	30	4 h 22	11 h 47	636,3	0,65	5,70
04-Sep	11,4	83,4	40 mn	5 h 41	661,7	0,68	5,96
06-Sep	5,5	83,4	1 h 26	4 h 45	595,7	0,61	11,09
11-Sep	8,9	210	1 h 16	5 h	934,1	0,95	10,67
23-Sep	12,5	83,4	4 h 34	6 h 32	563,8	0,58	4,64
07 au 08/10	18,5	181	2 h 18	9 h 17	1753	1,79	9,68
11 au 12/10	7,4	132	33 mn	4 h 21	1259	1,28	17,30
					58091,8	59,28	17,02

La station amont connaît presque toujours un ruissellement en cas de pluie du fait sa proximité et sa liaison directe par des routes goudronnées, avec la surface drainée. Ses eaux s'écoulent vers la station aval en traversant d'importantes zones de rétention. Ainsi seules les pluies importantes ou la succession de plusieurs épisodes rapprochés produisent des écoulements à la station de référence. Les mares en ralentissant les vitesses, lissent les pointes dues aux variations des intensités de pluie, ce qui se traduit par des crues à pointe souvent unique et arrondie.

Du point de vue des coefficients moyens d'écoulement aux 2 stations, la station amont a une valeur faible car elle prend en compte les très faibles ruissellements donnés par de petites pluies alors que le coefficient à la station aval est plus important dans la mesure où les faibles pluies ne donnent lieu à aucun enregistrement limnimétrique.

Pour compléter le bilan global de l'écoulement, les débits journaliers à la station 1 en 1994 et aux deux stations en 1995, ont été établis à partir des débits instantanés obtenus par HYDROM. Nous renvoyons aux différents rapports pour ces informations. De manière globale, le bilan des écoulements établi par HYDROM se présente ainsi:

Tableau 92 - Bilan global sous HYDROM

	Station1			Station2		
	Date	Heure	Débit	Date	Heure	Volume
Début crue	22/07	22H38	0 l/s	11/07	18H49	0 l/s
Fin de crue	11/09	08H40	0 l/s	16/10	00H00	0 l/s
Maximum de crue	25/08	19H31	978 l/s	17/08	06H57	1800 l/s
Volume annuel			45 840 m3			61 260 m3

Des observations ont été faites sur les eaux usées, nous les présentons avant d'en venir aux débits d'eaux pluviales.

2.3.2.1 les eaux usées

Leur écoulement a commencé le 17 août lorsque le tuyau s'est cassé. En attendant les réparations par la SONEES (Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal), des mesures sur les volumes rejetés avaient été commencées.

Celles-ci avaient lieu plusieurs fois par jour, à des heures différentes, en amont et en aval dans la perspective d'une étude de l'infiltration et de l'évaporation sur le canal. Ces données peuvent aussi aider à la séparation des eaux de ruissellement dans les hydrogrammes. Des observations sont faites sur la variation horaire et journalière à partir des débits qui ont varié entre 3,2 l/s et 99.7 l/s, selon l'heure de la journée, le jour de la semaine et en cas de pluie.

Tableau 93 - Les débits d'eaux usées à la station 2

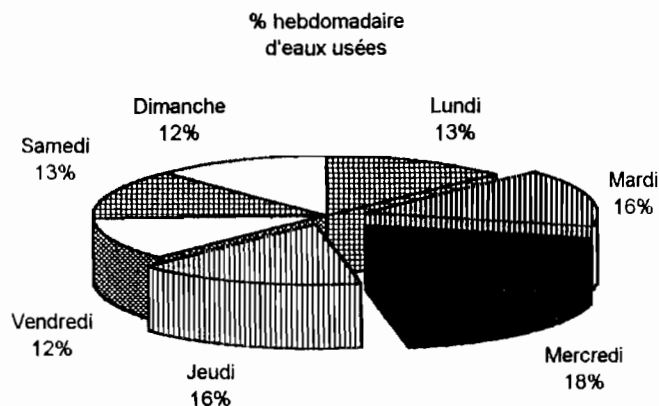
N° Station: 1389900500-2 Pont Route de Ouakam Canal FANN Altitude 11m

DATE	Q l/s	DATE	Q l/s	DATE	Q l/s
17/08/1994 13H05	33,4	05/09/1994 12H20	21,7	20/09/1994 11H52	32,1
17/08/1994 15H24	90	06/09/1994 20H40	5,66	20/09/1994 12H10	24,8
17/08/1994 17H14	30,7	07/09/1994 08H39	29,3	20/09/1994 13H25	43,1
17/08/1994 17H15	99,7	08/09/1994 06H57	29,6	23/09/1994 14H35	15,4
18/08/1994 10H55	29,5	09/09/1994 08H18	21,8	23/09/1994 16H05	15,2
18/08/1994 18H12	18,3	10/09/1994 06H51	19,5	24/09/1994 07H42	10,7
19/08/1994 09H15	17,7	10/09/1994 09H30	3,9	26/09/1994 07H38	16,7
20/08/1994 13H17	14,3	10/09/1994 09H37	3,22	27/09/1994 20H53	9,2
21/08/1994 18H48	14,2	10/09/1994 10H33	73,4	28/09/1994 08H20	16
22/08/1994 15H32	13,8	12/09/1994 07H45	19,3	29/09/1994 11H01	22,5
22/08/1994 18H53	62,1	13/09/1994 06H46	15,2	30/09/1994 06H36	8,07
23/08/1994 10H50	30,7	14/09/1994 08H51	22,8	01/10/1994 11H05	29,5
23/08/1994 17H39	18,9	14/09/1994 09H15	33,8	03/10/1994 07H45	18,5
24/08/1994 18H52	16,6	14/09/1994 10H49	36	04/10/1994 08H48	17,6
DATE	Q l/s	DATE	Q l/s	DATE	Q l/s
25/08/1994 18H17	14,6	14/09/1994 11H53	36,1	05/10/1994 11H27	12,6
26/08/1994 10H20	58	14/09/1994 12H10	35,3	06/10/1994 10H25	20,8
26/08/1994 17H28	72,1	14/09/1994 14H01	35	07/10/1994 09H04	16,6
27/08/1994 10H45	25,5	15/09/1994 16H39	28,1	08/10/1994 15H08	14,6
28/08/1994 19H45	21,3	16/09/1994 07H27	24,9	10/10/1994 09H53	17,2
29/08/1994 18H09	17,7	17/09/1994 07H17	14,5	11/10/1994 08H10	19,8
30/08/1994 09H25	32,9	18/09/1994 20H50	19,2	12/10/1994 17H28	11
31/08/1994 10H50	30,9	18/09/1994 21H38	19,7	13/10/1994 17H57	9,55
01/09/1994 19H15	29,9	19/09/1994 09H31	27,1	14/10/1994 10H11	12,9
02/09/1994 15H44	24,2	20/09/1994 07H34	23,8	15/10/1994 09H08	18,9
03/09/1994 16H15	28,4	20/09/1994 07H50	19,7	25/11/1994 09H35	24,4
04/09/1994 19H10	15,9	20/09/1994 10H26	31,3		

2.3.2.1.1 les variations journalières du débit

La figure ci-dessous montre les pourcentages des volumes moyens journaliers calculés à partir des valeurs mesurées aux mêmes jours. L'observation des données montrent une disproportion faible dans l'utilisation de l'eau selon les jours de la semaine. Le mercredi est caractérisé par une pointe qui traduit la vacance des classes et les grandes lessives ainsi que les compétitions scolaires de l'après-midi suivies de bain. Globalement le week-end (vendredi midi à lundi midi) se caractérise par l'absence des usagers partis vers les domaines de repos (résidence secondaire, ou habitation principale pour ceux qui louent un studio pour la semaine). L'arrêt du travail commence le vendredi midi, pour d'autres c'est le samedi midi, jour des courses ménagères et de sport l'après-midi. La reprise des activités est effective le mardi.

Figure XXIII - Pourcentages des volumes moyens journaliers

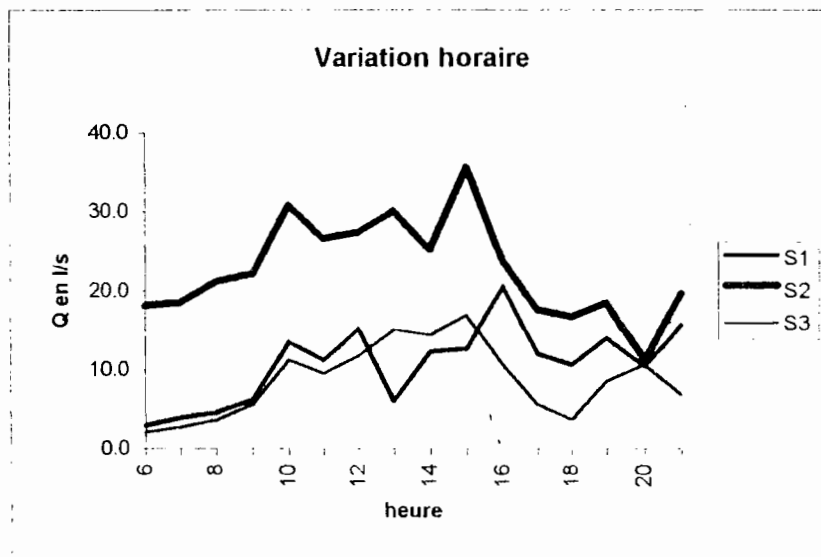


2.3.2.1.2 les variations horaires du débit

Le tableau et le graphique ci-dessous montrent la variation du débit selon les heures de la journée. Les quantités d'eau sortant du collecteur cassé à la station 2 sont plus faibles au niveau des autres stations du fait de l'évaporation et surtout de l'infiltration. De nombreuses brèches favorables à l'infiltration ont dû s'ouvrir car le canal avait été creusé à la dynamite: des traces sont visibles et une forte végétation arborée se développe sur le lit et les flancs, augmentant l'infiltration. Les autres stations enregistrent des pointes et des débits plus faibles avec un décalage dans le temps.

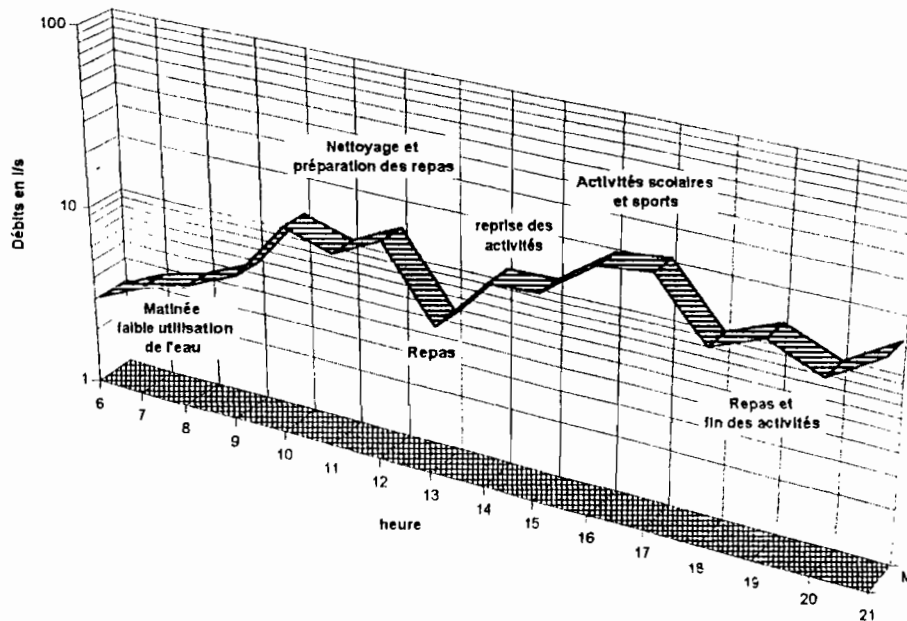
Graphique 29 - Variation du débit selon les heures de la journée

Heures	S3	S1	S2
6	2.1	3.0	18.1
7	2.7	3.9	18.5
8	3.6	4.6	21.2
9	5.5	6.2	22.2
10	11.2	13.5	30.8
11	9.6	11.2	26.6
12	11.8	15.2	27.4
13	15.1	6.1	30.0
14	14.4	12.3	25.2
15	16.9	12.7	35.7
16	10.7	20.5	23.8
17	5.7	12.1	17.6
18	3.8	10.7	16.8
19	8.6	14.1	18.5
20	10.7	10.5	11.4
21	6.9	15.7	19.7



Pour caractériser plus précisément l'évolution horaire des débits, nous proposons le graphique commenté, dessiné avec les valeurs de la seule station 2. L'utilisation domestique des eaux n'est pas uniformément répartie dans le temps, durant la journée.

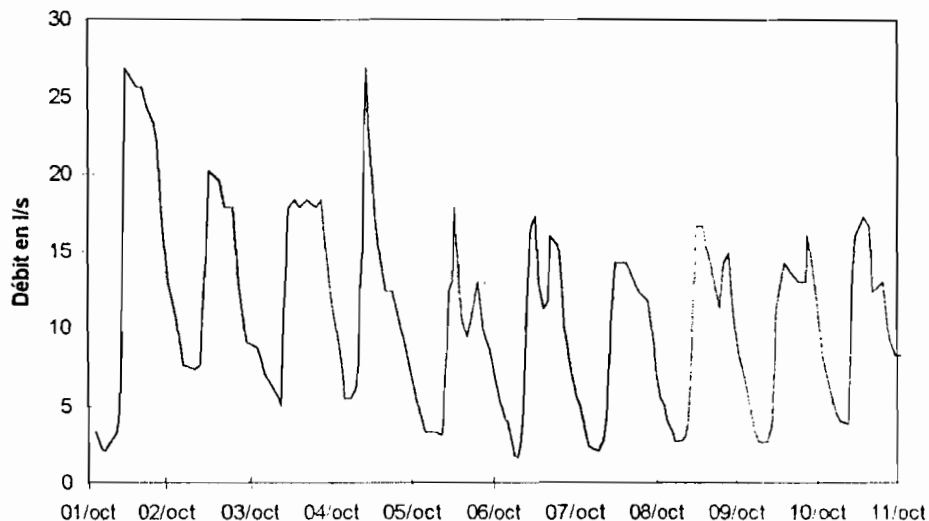
Graphique 30 - Variation horaire du débit d'eaux usées à la station 2



Cette étude sur les débits d'eaux usées pourrait être améliorée par des enregistrements continus avec un limnigraphe. Ceux de la station 1 permet de voir les variations horaires et journalières, malgré l'effet d'amortissement et de possibles apports intermédiaires (vidange de piscine par exemple). Les minima journaliers se situent toujours entre 0 et 6 heures du matin et les maxima vers 17 heures.

De telles données sont à n'en pas douter, utiles pour l'optimisation de la distribution de l'eau potable dans une ville où les déficits sont fréquents. En effet, des observations sur les heures d'utilisation moindre de l'eau doivent être faites afin de privilégier à ces moments les populations des banlieues où les coupures sont constantes.

Graphique 31 - Variation horaire et journalière des débits d'eaux usées à la station 1 (octobre 1994)



Comme en 1994, le canal principal a reçu des eaux usées de durée et d'ampleur moindres cependant. Ces eaux usées rejaillissaient d'une plaque d'ouverture du réseau enterré, à une dizaine de mètres de la section mouillée, à l'occasion de certaines pluies.

Leur débit était proportionnel aux pluies tombées et leur écoulement se prolongeait bien après celui des eaux pluviales. La séparation d'avec les eaux de ruissellement pendant la pluie, reste toujours difficile. Nous avons fait quelques jaugeages à la section mouillée (qui reçoit le cumul) et en amont de la plaque où ne coulent que

des eaux pluviales. En guise d'exemple, le 24/08/1995 à 09 heures 15 mn, il y avait un débit de 20,6 l/s à la section de jaugeage tandis qu'en amont de la plaque il ne coulait que 2,93 l/s à 09 heures 20 mn.

Cependant toutes les pluies n'ont pas donné un écoulement des eaux usées: le 17 août, une pluie de 48,4 mm suivie sans interruption d'une autre de 20,7 mm a provoqué un écoulement des égouts vers le lit du canal; le 23 août, une pluie de 26,2 mm en a donné aussi. La pluie du 04 septembre (7.6 mm) n'a donné aucun écoulement d'eaux usées, ainsi que celle du 06 septembre (05,5 mm).

Ces quelques constats semblent montrer que les eaux usées ne se mêlent à l'écoulement qu'en cas de pluie assez importante dépassant 20 mm. A notre avis, le système d'évacuation enterré bien qu'assez vétuste arrive à évacuer sa part en faible pluie. Cependant, les averses importantes tout en étant difficiles à évacuer par un tel réseau, le rendent encore moins fonctionnel par les ordures et matériau d'érosion qu'elles y entraînent.

Rappelons que la crue du 13 août 1994 avait provoqué l'érosion de surfaces en sable et en latérite, le long de la VDN. D'importants dépôts de terre s'étaient accumulés autour du parc OMVS et faute d'être déblayés, ont progressivement colmaté les systèmes d'évacuation enterrés.

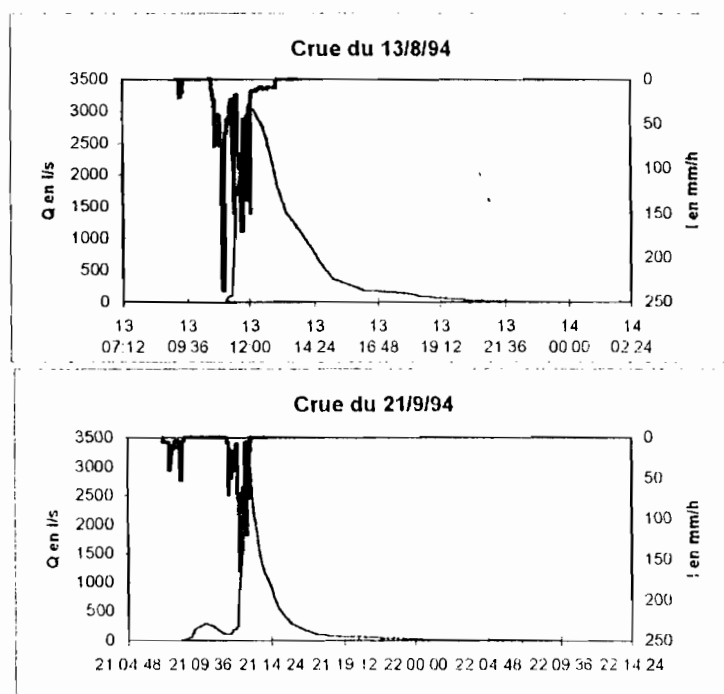
2.3.2.2 les eaux pluviales

Les mesures de débits d'eaux pluviales ont été nombreuses à la station 1 en 1994, l'année suivante il y a eu quelques jaugeages pour contrôler l'étalonnage. En cette seconde campagne, les mesures ont été plus importantes à la station amont. La station 3, près de l'embouchure a été abandonnée alors que le capteur 4 regroupe les mesures de débits faites en dehors des stations pour évaluer les pertes du bassin versant.

Les crues sont obtenues en dépouillant les enregistrements sous HYDROM, à l'aide d'une table à digitaliser. Plusieurs crues ont été observées mais celle du 13/08/1994 est de loin la plus importante. Elle a été générée par une forte averse de 121,7 mm. Son caractère assez exceptionnel nous avait incité à l'étudier de manière assez détaillée; ce document de 4 pages intitulé "Observations sur la crue du 13 août" avait été annexé au rapport de 1994. Il présentait la pluie et les débits ainsi que les conséquences notamment regrettables que ce phénomène avait engendrées.

Cette crue est la seule qui soit uniquement due au ruissellement en 1994, toutes les autres comportent en plus un écoulement d'eaux usées. Il y a eu néanmoins d'intéressants épisodes comme celui du 21/09/1994, donnée par une pluie de 102 mm et celui du 26 septembre qui nous a donné l'occasion de faire des prélèvements à différentes hauteurs d'eau pendant la crue. Les hydrogrammes des 2 crues principales sont représentés ci-dessous tandis que les autres sont renvoyés en annexe.

Graphique 32 - Hydrogrammes des 2 principales crues



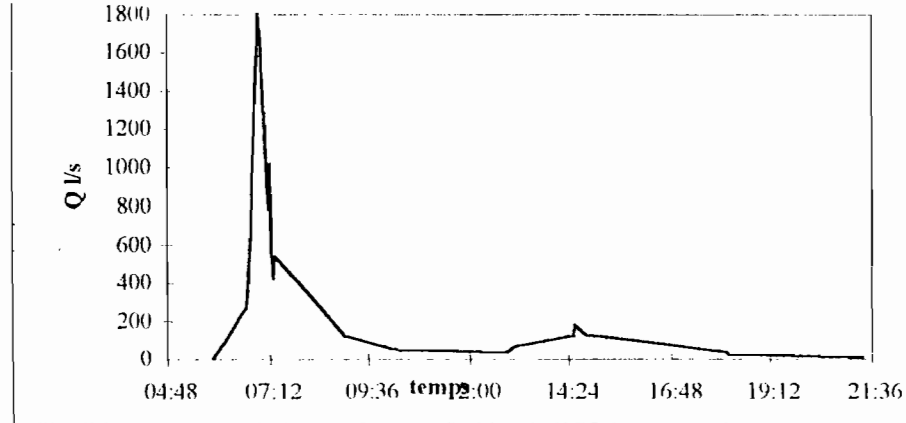
La crue du 13/8 est unitaire ainsi que la forme de l'averse car la petite pluie (2.1 mm) tombée treize heures plus tard n'a donné lieu à aucun écoulement, l'infiltration étant très forte. Son temps de concentration (si on l'assimile au temps écoulé entre la pointe maximale de l'averse et celle du débit) a été de 1 heure; l'intensité maximale a été de 237 mm/h en 4 minutes: c'est une valeur importante si l'on sait que la récurrence centennale pour 5 mn n'est que de 218.3 mm/h.

La seconde crue a deux pointes qui correspondent aux deux corps d'averses séparés de 4 heures. Le débit de pointe a été légèrement plus important parce que la saturation du canal par les eaux usées a rendu faible l'infiltration. Ceci a d'ailleurs raccourci le temps de concentration qui n'a été que d'une ½ heure; l'intensité maximale (164 mm/h) a une fréquence de 20 ans pour 5 mn de durée.

Nous rappellerons qu'une pluie de 37,0 mm tombée le 10 août, ayant produit un écoulement à la station 2. n'avait rien donné à la station 1. Retenu par les mares de la tranchée, cet écoulement nous avait empêché de niveler la seconde portion du canal, le 12 août.

La seconde campagne a connu quelques crues d'importance moyenne comme celle du 17/08/1995 produit par une pluie de 69 mm tombée avec une pause d'une heure environ. La station amont a enregistré un débit maximal de 1800 l/s alors que celui d'aval n'était que de 635 l/s. Le débit maximal à cette station en 1995 a été de 978 l/s donné par une pluie pourtant égale à la moitié de celle du 17 août : les conditions de saturation du bassin étaient meilleures.

Graphique 33 - Crue du 17/08/1995 à la station 2



A partir des caractéristiques observées, nous constatons que l'averse majeure du 13/08 dépasse les données d'une averse décennale. Sa quantité totale dépasse la récurrence décennale de Dakar-Yoff (110 mm) et des autres stations comme Mbao, Hann, Bel Air et Ouakam. Seules les valeurs de Cap Manuel et Hôpital sont légèrement supérieures parce que ces stations étaient déjà fermées pendant la période de sécheresse. La moyenne des stations de la région donne une pluie décennale de 120 mm.

L'averse du 13 peut ainsi générer une crue décennale, sinon plus. C'est pourquoi, nous considérons que si les pertes ne sont pas tenues en considération, une crue décennale sur un bassin versant urbain d'environ 1 km² de superficie produit un débit de pointe décennale d'au moins 4 m³s⁻¹. Les autres caractéristiques d'une telle crue sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau 94 - Caractéristiques d'une crue décennale

PARAMETRES	Ruissellement seul
Pluie décennale	120 mm
Débit maximum	4 m ³ s ⁻¹
Temps de montée	3 heures
Temps de base	24 heures
Volume	30000 m ³
Lame écoulée	30 mm
coefficient d'écoulement	25%

Lors de la crue du 21/09/94, les eaux usées ont augmenté le débit de pointe et allongé le temps de base. Nous avons tentés de "nettoyer" cette crue "perturbée" par les eaux usées en reconstituant l'hydrogramme des eaux

pluviales. L'hypothèse de départ serait de considérer que les débits d'eaux usées écoulés sont pareils pour un même jour de semaine. Ce qui s'est écoulé le mercredi 14 septembre, l'aurait été ce mercredi 21 septembre jour de la crue et le mercredi 28 septembre. On cherche la moyenne des débits instantanés entre les deux mercredi précédant et suivant celui de la crue, puis on retranche ces valeurs moyennes de débits instantanés des débits du jour de la crue. La différence ainsi obtenue pourrait représenter les écoulements d'eaux pluviales.

A l'heure actuelle, avec les stockages, les pertes et les fuites d'eau du bassin, la définition fiable d'une crue décennale est assez difficile dans la mesure où on ignore les débits exacts qui seraient mesurés si toutes les eaux du bassin versant s'écoulaient par l'exutoire.

2.3.2.3 estimation de l'infiltration dans le canal

L'observation des débits entrant à la station 2 et ceux sortant aux stations 1 et 3, donnent une estimation globale des pertes et permettent d'approcher l'infiltration si on considère que l'évaporation moyenne (E) a été de 5 mm par jour, valeur mesurée à la station synoptique de Dakar Yoff. Le lit ayant une largeur moyenne de 6 mètres, on peut donc estimer l'évaporation entre 2 stations, tout en sachant qu'il ne s'agit pas de l'évapotranspiration réelle (ETR).

Tableau 95 - Estimation de l'évaporation

N°station	Distance	Surface	Évaporation
2	0	0	0
1	649m	3894m ²	19,47m ³ /j
3	758m	4548m ²	22,74m ³ /j
1 à 3	109m	654m ²	3,27m ³ /j

La perte par infiltration est de 3 m³/j par 100 mètres de canal.

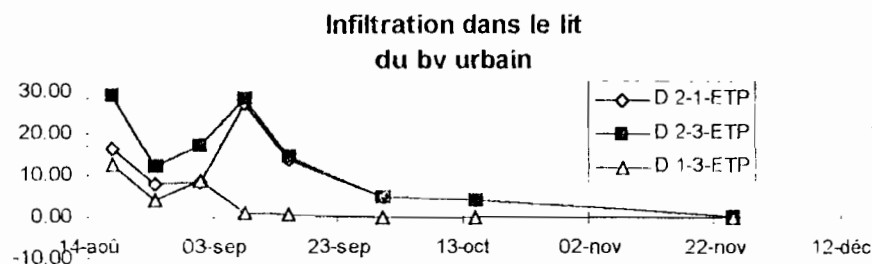
Nous obtenons le tableau suivant où nous voyons nettement la diminution de l'infiltration en cours de saison. Nous utilisons une estimation que nous avons rapporté à un débit instantané le jour de l'observation. En cours de saison des pluies les variations sont un peu perturbées, mais ensuite la décroissance de l'infiltration est très nette. La figure 12 confirme cette évolution qui signifierait la recharge progressive des nappes sous-jacentes. L'aquifère qui reçoit ces volumes d'eau est la nappe des sables infrabasaltiques.

La formule utilisée est : $Q_{d2-1-ETP} = Q_2 - Q_1 - (E_{(1\&2)}/24/3.6)$

où $(E_{(1\&2)}/24/3.6)$ est l'évaporation en l/s entre 2 et 1.

Graphique 34 - débit d'infiltration dans le lit entre S2, S1 et S3

Date	Valeurs en l/s					
	station 2	station 1	station 3	D 2-1-ETP	D 2-3-ETP	D 1-3-ETP
18-aoû	29.5	12.8	0	16	29	13
25-aoû	14.6	6.45	2.13	8	12	4
01-sep	29.9	21.2	12.5	8	17	9
08-sep	29.6	2.19	0.9	27	28	1
15-sep	28.1	13.9	13.2	14	15	1
30-sep	8.07	2.67	2.67	5	5	0
15-oct	9.55	5.11	4.92	4	4	0
25-nov	18.9	18.2	18.2	0	0	0

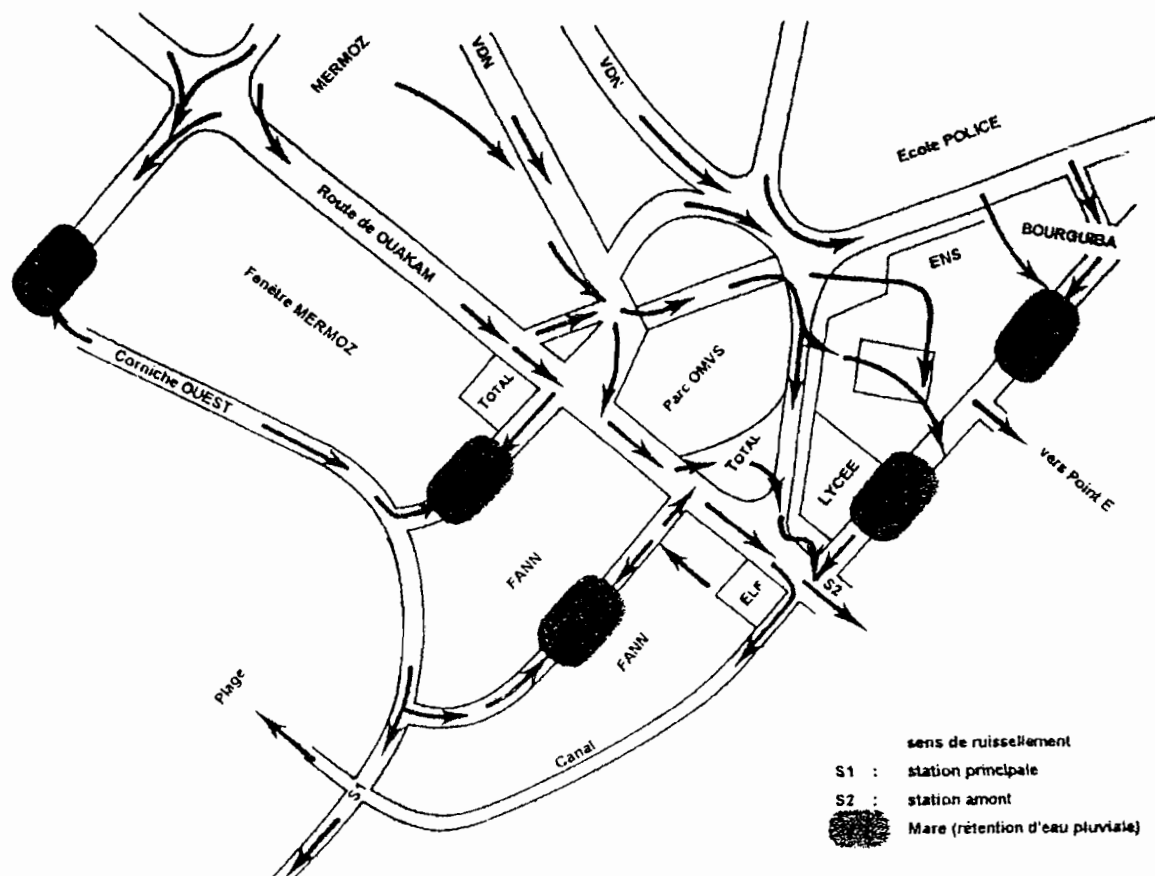


Dès la saison des pluies 1994, nous avons constaté qu'au niveau du pont de Ouakam, des volumes d'eau importants provenant des altitudes septentrionales du bassin versant (Stèle Mermoz et VDN), s'écoulaient sur la route vers le grand canal de Sombédioune plus au sud. La création d'une quatrième station s'est justifiée pour rassembler les estimations des pertes sur l'ensemble du bassin versant: au pont de Ouakam, au pont de la Corniche qui enjambe la station principale, à l'entrée de l'Avenue n°3 des Ambassadeurs où des eaux s'échappent vers la dépression centrale et à la porte du Point E.

2.4.2 La dispersion des écoulements à partir du Parc OMVS

Dans la partie que nous avons dû rajouter au bassin suite à la crue du 13 août, l'écoulement suit deux axes principaux que sont la VDN et la Route de Ouakam. C'est au niveau du Parc OMVS que le réseau de drainage connaît un "éclatement" juste avant la jonction des deux axes principaux. Le schéma suivant illustre mieux la configuration du réseau à ce niveau.

Figure XXV - Dispersion des écoulements au niveau du Parc OMVS



Du niveau de ce Parc vers la station amont, nous avons fait quelques mesures de débit sur certains axes lors de la pluie du 17/08/1995, entre 09 h 30 et 10 h 15.

* En amont des "Feux Rouges", 219 l/s provenaient du haut-bassin dont la grande majorité s'écoulait par devant le Parc. Ces eaux sont rejointes par le bras gauche de celles provenant de la Stèle-Mermoz avec un débit de 77.9 l/s. Ces 296.9 l/s coulent vers la station 2 en se subdivisant en deux bras: le premier passe devant le Parc OMVS, sur une route goudronnée, avec un débit de 216.8 l/s. L'autre partie reprenait la route de Ouakam en rive gauche, sous le feu rouge près du Parc avec un débit de 77.9 l/s: comme si les eaux de Ouakam se séparaient à nouveau de celles de la VDN.

Le bras droit des eaux de la Stèle-Mermoz, s'écoulait vers la station 2, avec un débit de 14.2 l/s. La faiblesse du débit au niveau de ce bras s'explique par l'inclinaison des quartiers de Fann vers la Corniche avec un écoulement dont une partie est piégée dans les mares de Fann, l'autre arrivant en cascade en aval du limnigraphe.

* *Du Parc OMVS vers l'ENS*, les deux trottoirs donnaient donc un débit total de 216.8 l/s (133 et 83.3 l/s). Pendant ce temps l'autre axe de la VDN (sens ENS-Foire) débitait 77.9 l/s. Ce débit s'écoulait dans deux axes qui étaient perdus pour le bassin: une partie entrait dans l'ENS par la porte principale et s'échappait par la porte d'accès du Point E, une autre partie coulait sur l'Avenue Bourguiba, rentrait par l'amont du bassin et rejoignait les mares de l'ENS qui ne participent pas à l'écoulement. Il en est ainsi des eaux qui proviennent de l'Avenue de l'École de Police: elles rentrent dans l'émissaire du Canal de Soumbédioune ou rejoignent les mares de l'ENS.

* *Au niveau de la porte de service de l'ENS*, un écoulement en deux bras, issu des eaux passant devant le Parc (216.8 l/s) évacuait 98.8 l/s (46.9 et 51.9 l/s mesurés sur les deux côtés de la chaussée). Ce premier bras traverse le terrain de foot-ball où les eaux ont creusé une ravine dont la profondeur maximale atteint 55 cm. Elles arrivent à la station 2 en passant par la mare du jardin, contournant le Lycée d'application.

* *Au niveau de la station TOTAL*

Le second bras provenant du Parc longe celui-ci, et au niveau de la station TOTAL derrière le Parc, ses eaux rejoignent à nouveau celles qui avaient passé en rive gauche de la route de Ouakam: ces deux biefs ne forme plus qu'un écoulement vers la station 2 en rive gauche. Elles dépassent les bouches d'égout qui parfois à l'occasion de certaines pluies, en ont rajouté des eaux usées.

* *A l'entrée du canal principal*

Les eaux pénètrent à la station 2 en passant sur le petit caniveau dont un pan de mur avait cédé l'année dernière et tombent en cascades vers l'échelle limnimétrique située à 2,5 m plus bas pour une dizaine de mètres de distance. Les eaux descendent de manière torrentielle en décrivant un arc de cercle qui concentre alors l'écoulement sur la rive gauche de la section mouillée.

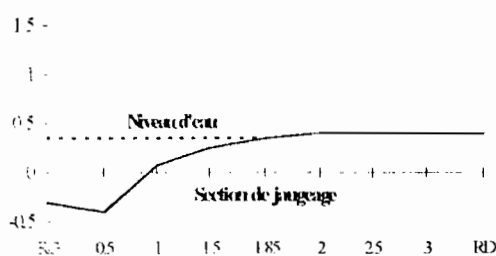
L'arc de cercle s'explique par le fait que les eaux "tournent" pour passer la section de jaugeage parallèle au caniveau. La mare du jardin derrière le lycée d'application se trouve quant à elle, face à la section de jaugeage. Cette mare à fond argileux se remplit vite mais ne déverse que son surplus vers la station 2.

* *Au niveau de la section de jaugeage de la station 2*

La conséquence de l'écoulement torrentiel en arc de cercle est le creusement de la section de jaugeage avec un alluvionnement sableux en rive droite. Le 25/08/1995 à 19 heures 10 mn, on avait de gauche à droite par verticale (elles sont distantes de 50 cm pour une section de trois mètres: 43 cm de profondeur, 37, 23, 19 et 5 cm.

A 19 heures 19 mn, la profondeur à côté de l'échelle était insignifiante pour faire tourner le moulinet tandis qu'en rive gauche elle passait à 47 cm. Au jaugeage de 19 heures 39 mn de ce même jour, la première verticale passait à 75 cm de profondeur: la hauteur à l'échelle étant de 35 cm, le fond était donc à 40 cm sous l'échelle. La terre enlevée, remblayait la rive droite et ceci raccourcissait la section qui ne mesurait plus que 1.85 mètres.

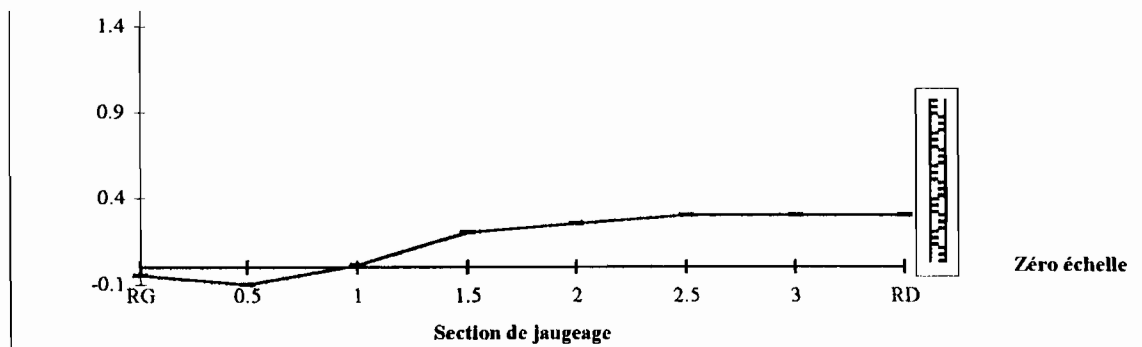
Graphique 35 - Profil transversal du 25/08/1995 à 19h 39



L'échelle étant placée en rive droite, il arrive que l'eau ne l'atteigne plus surtout en débit faible. Il nous faut alors creuser une tranchée pour rétablir la liaison afin qu'on puisse lire la hauteur à l'échelle. Tout au long des pluies nous avons procédé à ces "dragages pénibles".

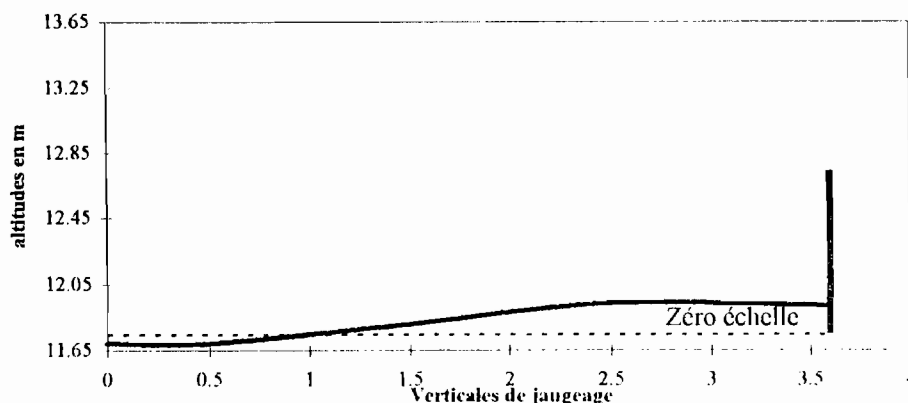
Ce cas de figure peut être différent quand la mare d'en face produit un écoulement assez important: son sens perpendiculaire aux eaux rapides, peut réduire leur force ou infléchir leur trajectoire. La section de jaugeage présente alors un profil en travers à faible dénivellation comme celui que nous avons relevé après les écoulements.

Graphique 36 - Profil en travers de la section de jaugeage (02/09/1996)



Pour terminer avec l'évolution du profil en travers de la station 2, nous présentons ci-dessous le profil définitif, relevé cette fois-ci au théodolite le 26 octobre, à la fin de la campagne hydrologique 1995.

Graphique 37 - Profil en travers de la station 2 (26/10)



Conclusion sur les campagnes de mesure

La campagne hydrologique 1994 jugée bonne²⁷ pour une première année, avec si peu de moyens avait débouché sur des perspectives pour une campagne suivante. Ces perspectives n'ont pu être toutes menées comme on l'aurait souhaité. Une étude sur le ruissellement pour des besoins de modélisation ne peut s'en tenir à deux campagnes et avec des moyens aussi faibles. Même si les études ne se poursuivraient pas de manière continue, il faudrait réorganiser les futures campagnes, établir des collaborations avec les services de l'eau et surtout s'investir davantage en moyens humains et matériels.

Les pertes du bassin, les stockages, les relations entre sous-bassins, la distribution des champs de pluie, la caractérisation des états de surfaces avec un simulateur de pluie, la caractérisation chimique des eaux de ruissellement sont autant de domaines d'études qui nécessitent différents moyens.

La restitution des hydrogrammes par lectures d'échelle à la station 2 n'a pas été facile car contrairement à la station de référence où les eaux ne s'écoulent que 30 minutes à une heure au moins après la pluie, l'écoulement se produit dans les 5 à 10 minutes selon l'intensité des averses. Les pluies ayant eu lieu le plus souvent en pleine nuit, nous avons souvent eu du retard pour assister, comme à la station de référence, au tout début de l'écoulement. L'installation d'un limnigraphe à la station 2 est nécessaire pour confirmer le tarage.

A l'issue de ces campagnes de collecte de données, nous abordons le choix des paramètres qui seront en définitive retenus pour la modélisation.

²⁷ ce fut entre autres, l'avis de J. C. LEPRUN, membre de la commission scientifique 2 (rapport de mission publié dans Uroscope avril 1996)

3 LES PARAMÈTRES DE LA MODÉLISATION

3.1 Évaluation de la surface

La première estimation de la surface du bassin était comprise entre 39 et 41 ha, planimétrée à partir de l'observation des courbes de niveau et de la configuration du terrain. Une seconde évaluation a été faite à partir d'un traitement automatique par des logiciels que nous avons présentés ci-dessus. Un MNT a été fait à partir des cartes de 1945. Plusieurs fichiers ont été dérivés de ce MNT, parmi lesquels le modèle de drainage obtenu par LAMONT. Cependant, ce modèle de drainage ne tient pas compte des modifications artificielles apportées par l'aménagement. Le réseau routier, principal facteur de modification du drainage a été saisi et récupéré sous SAVANE puis exporté ensuite vers ATHYS sous un format d'image raster, c'est à dire "pixelisée". Elle est ensuite recalée dans le MNT. Cet ensemble est alors traité par le logiciel LAMONT après un changement de son format sun raster en type "LAMONT sur 2 octets". Plusieurs fichiers dérivés sont alors créés: pentes, drainage, exposition... On peut alors visualiser ces résultats par VICAIR. Les opérations suivantes consistent à corriger le modèle par un drainage forcé en fonction des axes drainants du réseau routier. Le logiciel SIGNE (BOUVIER et al 1992) permet la correction des anomalies qui apparaissent c'est à dire les boucles et les franchissements. Les anomalies sont caractérisées par des mailles qui ne suivent pas le drainage vers l'exutoire. On parle de *boucles* quand 4 flèches(chacune représentant le sens de l'écoulement dans une maille) sont convergentes: le *franchissement* est occasionné par une flèche qui est perpendiculaire au sens d'une série à direction unique. La correction est automatique mais elle peut aussi être manuelle quand certaines anomalies persistent. Elle consiste à forcer le drainage. Nous renvoyons à Hingray (1995) pour de plus amples informations sur cette question.

Le but de ce travail est alors de retrouver la surface drainée par un point exutoire, dont on a les coordonnées (géographiques) en UTM. Le bassin versant contrôlé par la station 2 a été déterminé ainsi que les pourcentages de pente que l'on y rencontre. L'image est réexportée vers SAVANE sous format "post-script A4" pour qu'elle puisse tenir sur une feuille de ce type.

L'exportation de la carte et la récupération d'une image en pixels a cependant provoqué un changement de l'échelle. En superposant l'image obtenue par traitement avec celle qui avait été exportée, on constate que l'échelle n'est plus identique: le SIG donne une échelle qui n'est pas exacte. C'est par planimétrie que nous avons cherché l'échelle de l'image ainsi que la surface drainée. Des développements futurs sur les logiciels permettront d'éviter ce recours. En effet la carte exportée vers LAMONT est à l'échelle 1/10 000 tandis que celle de l'image en postscript est au 1/20000.

Dans la surface déterminée à partir du modèle de drainage, les quartiers de Fann du type T3, bâti avec espace vert, ont été presque entièrement écartés du bassin contrôlé par la station amont. Cependant les zones herbeuses du nord que nous avons toujours écartées selon la configuration des lieux sont prises en compte par le modèle de drainage.

A partir de l'occupation des sols, nous avons affecté à chaque type de recouvrement, une surface partielle. L'occupation des sols dans ce bassin se présente comme suit: dans la zone à végétation (T4), il y a la part des zones herbeuses du nord et celle du Parc OMVS. Le bâti avec espace vert (T3) est très faiblement représenté dans le bassin 2, alors qu'il est bien représenté par le quartier de Fann pour le bassin 1. Le terrain nu (T1) correspond aux cours de l'École Normale et des lycées. Le quartier de Mermoz représente le bâti dense (T2).

Tableau 96 - Superficies évaluées par le traitement numérique

Types d'occupation	bassin 1	% age	bassin 2	% age
Terrain nu (T1)	16,7	13,79	16,27	19,25
Bâti dense (T2)	37,04	31,39	37,04	43,84
Bâti avec espace vert (T3)	34,99	29,66	3,14	3,71
Zone à végétation (T4)	29,69	25,16	28,05	33,2
Surface totale	117,99	100	84,49	100

Dans la réalité, ces surfaces déterminées ne sont pas fonctionnelles à 100%. En outre, il a été constaté des pertes de l'ordre de 30% sur les productions du bassin lors des écoulements de 1994 et 1995. Les observations de terrain ont par contre permis d'écartier des unités dont l'écoulement n'arrive pas à la station. Ce sont le quartier de Bourguiba (T2) qui écoule vers les mares de l'ENS, le jardin de l'ENS (T4) qui ne produit rien et les autres parties de l'ENS (T3) dont le peu d'écoulement est perdu par la porte d'accès au Point E. Ces zones non contributives font 12 ha. Quant à la prise en compte des caractéristiques de l'occupation du sol, elle autorise l'élimination de zones de végétation, représentées surtout par le Parc OMVS et les zones herbeuses au nord (29.69 ha pour le bassin n°1 et 28.05 pour le bassin n°2).

En définitive, le bassin n°1 fait alors 88,3 ha contre 56,4 ha pour le bassin n°2.

3.2 La correction des débits

"L'urbanisation d'un site n'est pas sans effet sur la production et le transfert de l'écoulement: les volumes ruisselés augmentent en fonction de l'imperméabilisation des surfaces, et les débits de pointe de crue sont renforcés par l'accroissement de la densité de drainage". Le bassin de Mermoz, avec une urbanisation relativement importante, présente des pointes de crue observées somme toute assez faibles. Un tel bassin avec près d'une centaine d'hectares, pourrait écouler entre 9 et 12,5 m³s⁻¹ de débit de pointe décennal (²⁸). La situation en est autre à cause des pertes multiples et importantes, surtout lorsque les écoulements dépassent 300 à 500 l/s.

Ces fuites ont lieu sur le pont qui surplombe la station amont, des deux côtés de la route, mais aussi par la porte d'accès École Normale - Point E. En 1994, les pertes au pont avaient été estimées à 35% des écoulements passant à la station située juste en dessous. Les rares mesures effectuées en 1995 sur ces écoulements perdus, ont conduit globalement à la même estimation.

L'installation d'une échelle limnimétrique à la Porte d'accès au Point E avec des lectures régulières et quelques jaugeages peut être utile pour dresser une courbe d'étalonnage et reconstituer les hydrogrammes. De telles observations permettront également de mieux cerner l'évolution des débits de perte durant la saison. Ce travail ne nécessite pas de grands moyens et pourrait être l'objet de travaux ultérieurs à moins que des aménagements du site soient faits pour négliger ces pertes.

Pour les préoccupations présentes, la correction de l'hydrogramme de crue s'est faite par addition du pourcentage moyen aux différents niveaux limnimétriques de la station 2. Les mesures sur les pertes ne sont pas nombreuses mais elles peuvent être retenues dans la mesure où ce sont des données de terrain. Y. PEPIN notait que le 26/06/1995, pendant qu'un débit de 200 l/s passait à la station, 50 l/s s'écoulaient sur le pont. Ceci donne une perte de 25 % à laquelle il faudrait ajouter celle de la porte du Point E. Nous présentons sous forme de tableau, les autres données mesurées.

Tableau 97 - Mesures de pertes du 02/08/1995

Date	Heure	Pertes vers Soubédioune	à la Station 2 (h=33)
02/08/1995	01:27	2,82 l/s	296 l/s à 01:27
	01:28	41,8 l/s	
	01:31	10,7 l/s	239 l/s à 01:31

Débit écoulé en moyenne à la station pendant l'intervalle des mesures: 267,5 l/s

Total perdu entre 1 heure 27 et 1 heure 31(ce sont 3 axes de pertes): 55,32 l/s

Pourcentage moyen des pertes par rapport au débit mesuré: 20,68 %

Tableau 98 - Mesures de pertes à la porte d'accès au Point E.

Date	Heure	Point E	S2	% perte
17/08/1995	08:50	11,5	122	9,42
23/08/1995	21:30	46,8	497,4	9,41
25/08/1995	18:59	63,2	295	21,4

Le pourcentage perdu est en moyenne de 13,41 %. Il est bien évident que cette valeur arithmétique ne tient compte d'aucune pondération de la perte qui varie en fonction du débit.

En sommant les deux pertes, car elles ont lieu en même temps, on obtient une perte globale à l'écoulement du bassin de 34,09 %. C'est donc par cette valeur que devraient être majorés les débits à la station amont du bassin versant de Mermoz-Famit. Nous présentons la situation pour la crue du 02/08/1995 tandis que les tableaux des autres événements ainsi que leurs valeurs corrigées sont renvoyés en annexe 4.

²⁸ RODIER J. (1967): Etude de ruissellement en zone urbaine. in C. R. de la 4^e réunion du Conseil du CIEH. Abidjan.

Tableau 99 - Débits observés et corrigés lors de la crue du 02/08/1995

Date et Heure	Débit observé	Date et Heure	Débit corrigé
02/08/1995 00:03	0	02/08/1995 00:03	0
02/08/1995 00:25	165	02/08/1995 00:25	221,1
02/08/1995 00:39	132	02/08/1995 00:39	176,88
02/08/1995 01:07	545	02/08/1995 01:07	730,3
02/08/1995 01:12	490	02/08/1995 01:12	656,6
02/08/1995 01:27	296	02/08/1995 01:27	396,64
02/08/1995 01:31	239	02/08/1995 01:31	320,26
02/08/1995 01:44	490	02/08/1995 01:44	656,6
02/08/1995 05:07	36	02/08/1995 05:07	48,24
02/08/1995 09:18	30	02/08/1995 09:18	40,2
02/08/1995 14:48	4,3	02/08/1995 14:48	5,762
02/08/1995 23:00	0	02/08/1995 23:00	0

Le schéma de correction des débits que nous avons utilisé n'est pas exempt d'incorrections car seul un enregistrement simultané des pertes et des débits à la station, et ceci durant toutes les crues, peut garantir une reconstitution valable des débits réels du bassin versant.

Pour clore cette question des pertes, nous retenons que les données du bassin urbain de Dakar sont certes très insuffisantes et en retrait des valeurs réelles qui auraient pu être enregistrées. Cependant elles sont récupérables si les moyens nécessaires sont mis en place pour étudier et non plus estimer les pertes réelles du bassin. L'idéal serait bien sûr l'annihilation de ces pertes. Ceci n'est d'ailleurs pas utopique mais plutôt logique car les eaux pluviales doivent être conduites vers les canaux d'évacuation. Rappelons que pendant ces deux campagnes, des pluies exceptionnelles avaient été enregistrées et ce genre d'événement rare est le meilleur pour apprécier les capacités d'évacuation d'un réseau.

3.3 Présentation des paramètres

Le tableau suivant donne les paramètres qui seront utilisés dans les tests de modèles.

Tableau 100 : Paramètres d'évaluation des débits maximaux

i	l (Pente)	A	L	a	$\beta + \delta$	tc	C'
62,275	0,009	88,3 ha	25 hm	0,5	1,1		35 %

i est l'intensité moyenne maximale, c'est à dire la moyenne des intensités enregistrées au cours du temps de concentration (Sow A. 1994 avait retenu 88 mm/h). Lors des 2 pluies exceptionnelles de 1994, il s'était écoulé une heure puis une demi-heure entre les pointes du hétérogramme et celui de l'hydrogramme. L'année 1995 a montré que ce temps entre les pointes des hétérogrammes et celles des débits enregistrés à la station amont (en fait il s'agit du temps de réponse) dure moins plus la saison s'installe, plus les événements se rapprochent et enfin plus les pluies sont faibles.

Ce dernier constat s'explique par l'allongement du bassin car en cas de pluie importante, des volumes tombés loin du bassin arriveront à la station et participeront au débit tandis que pour les pluies faibles, ces volumes se perdent sur le long chemin hydraulique: ce sont alors les quantités tombées près de l'exutoire qui constituent le débit de pointe.

Tableau 101 - Temps de transfert des pointes de pluie en pointes de débit

Date	Heure pointe de pluie	Heure pointe de débit	Temps écoulé
02-08	00:18	01:12	54 mn
17-08	06:10	06:57	47 mn
23-08	05:45	06:08	23 mn
25-08	18:31	19:19	48 mn
04-09	05:50	06:40	50 mn
06-09	03:15	03:29	14 mn
11-09	04:11	05:16	1 h 5 mn
22-09	22:41	23:34	53 mn
23-09	07:54	08:17	23 mn
08-10	01:50	02:17	27 mn

La détermination du temps de concentration par des formules comme celle de LEMOINE et MICHEL ou celle de SIGHOMNOU par exemple (présentées plus haut) donne des valeurs comprises entre 13 et 15 minutes.

La dernière remarque sur l'intensité est que la valeur maximale enregistrée ne peut être utilisée directement car elle peut atteindre une valeur plus élevée que celle d'une pluie décennale, sans que la pluie ne soit importante.

L est la longueur du plus long chemin hydraulique, égale à 27 km ramenée à 25 km par une correction pour l'allongement du bassin.

Le coefficient de ruissellement C est estimé en affectant des pourcentages de production c'est à dire de ruissellement à chacune des valeurs de surfaces élémentaires déterminées dans le tableau des superficies évaluées par le traitement numérique. Un coefficient de 0% est d'habitude affecté au type T4 constitué de végétation importante car il ne produit pas d'écoulement. Nous lui avons attribué une valeur de 10% car les zones herbeuses cultivées du nord, situées en altitude par rapport au reste du bassin peuvent contribuer au débit en cas de forte pluie. Ce sont des sols de faible profondeur, recouvrant les coulées basaltiques des Mamelles, sans oublier que c'est une zone en urbanisation. Les sols nus (T1) donneraient la moitié de la production des sols recouverts (T2 et T3 réunis)

Tableau 102 - Classification des sols sur le bassin (surface totale = 88.3 ha)

Type de sol	% des types	surface par type (ha)	C par type
Bâti (T2 et T3)	42,2	37,2626	60
Végétation(T4)	45,9	40,5297	10
Sols nus (T1)	11,9	10,5077	30
Valeur totale	100	88,3	
C par pondération			33,48

Les coefficients de ruissellement observés ces deux dernières années sur le bassin de Dakar ont été très variés selon les épisodes. Les événements importants ainsi que les moyennes de ce paramètre sont proches de la valeur du tableau car les données observées ont montré un ruissellement d'environ 35 à 40 %. Nous considérons donc 0.35 pour le coefficient C .

La pente I est la moyenne entre les altitudes de la station amont et du point le plus éloigné sur la ligne de plus grande pente, longue de 2.7 km et constituée d'une bonne partie de la VDN avec un détour dans le quartier de Mermoz. Cette pente est d'environ 0.009 m/m.

Les autres paramètres (a , $\beta + \delta$) ont été proposés par des auteurs que nous avons déjà cités.

CHAPITRE QUATRIÈME ESSAI DE MODÉLISATION

L'application de modèles sur les données du bassin de Dakar s'est faite lors du stage au laboratoire d'hydrologie du Centre ORSTOM de Montpellier. Le but du stage était d'améliorer le traitement des données que nous avons collectées sur le bassin de Dakar. En effet le caractère souvent incomplet de la mesure de tel ou tel paramètre nécessitait l'assistance sinon l'expérience d'un hydrologue ayant travaillé sur des sites urbains. Notre maître de stage, C. BOUVIER a fait sa thèse sur la modélisation des écoulements urbains en Afrique de l'Ouest (BOUVIER 1990). Il a travaillé sur des bassins des villes de Ouagadougou, Niamey, Yopougon et Bamako et ensuite sur des bassins à très forte pente au Mexique et en Équateur. Dakar a ainsi échappé à cette synthèse sur le ruissellement urbain en Afrique de l'ouest. Des essais ont cependant été faits (SOW 1994) sur les données de la crue du 13 août 1994. Nos propres tests quant à eux, sont précédés d'une correction des débits et d'une évaluation des surfaces.

1 LES TESTS DE SOW (1994)

A l'occasion d'un stage de 2^e Année d'élève à l'EIER, SOW A.²⁹ avait testé les formules de BURKLI-ZIEGLER, de CAQUOT, de LEMOINE et MICHEL, de RODIER-AUVRAY et le modèle global de BOUVIER sur les données de la crue du 13 août 1994 (ces données sont en annexe alors que le hyétogramme et l'hydrogramme ont été représentés dans les chapitres précédents). Nous présentons sommairement ce travail avec quelques rectifications que nous y avons apportées.

1.1 Méthode empirique de BURKLI-ZIEGLER

Les résultats obtenus sont les suivants:

Tableau 103 - Résultats du test de BURKLI-ZIEGLER

i	48 mm/h
	1,90 pouces
superficie	217,28 acres
	98 ha
pente moyenne	9 millième
K ₁	0,7
Q _p	3669

La formule de BURKLI-ZIEGLER donne une estimation proche de la crue observée à la station de référence mais en réalité elle est faible si les pertes rentrent en ligne de compte. La valeur de l'intensité pose aussi problème. Nous avons transformé la formule pour faciliter son utilisation, en la ramenant au système métrique français:

$$Q_{p,r} = 2,1946 * K_1 A^{0,75} * I * S^{0,25}$$

avec Q en l/s, A en ha, I en mm/h et S en 1/1000

1.2 Méthode de CAQUOT

Tableau 104 - Résultats du test de la formule de CAQUOT

Hauteur tombée jusqu'à t _c	109,23 mm
Coefficient de ruissellement	0,25
Surface	88 ha
α (coef. d'abattement spatial)	0,75
t _c (temps de concentration)	88 mn
β + δ (paramètres de transfert et de stockage)	1,1
Q ₁₀ (débit de pointe décennal)	3121 l/s

Les remarques suivantes sur les paramètres de la méthode de CAQUOT doivent être faites:

* α = 0,75 est celui que CAQUOT donne pour Paris (voir BOUVIER 1990, page 50)

²⁹ alors stagiaire en 2^e année à l'EIER, accueilli au Laboratoire d'hydrologie du Centre ORSTOM de Dakar

* CAQUOT a proposé 0.178 pour l'abattement spatial; pour les paramètres de transfert et de stockage, il donne 0.85 pour β et 1 pour δ . C'est DESBORDES qui a rectifié en donnant $\beta + \delta = 1.10$ et $\alpha = 0.05$

1.3 Méthode de CAQUOT réadaptée par LEMOINE et MICHEL

Cette formule n'a pas été réadaptée par BOUVIER. Elle est la suivante : $Q_p = 900 * C * I^{0.19} * A^{0.85}$.

Tableau 105 - Résultats de la méthode de Caquot corrigée

Coeff d'abattement	0.25
Intensité moyenne I	48 mm/h
Surface	88 ha
Q ₁₀	3517 l/s

Pour trouver cette valeur de débit, A. SOW a dû diviser le vrai résultat par 6 sans donner une explication. En tout cas le coefficient correcteur de l'allongement du bassin, qui pourrait intervenir, est d'environ 0.88.

1.4 Méthode ORSTOM: RODIER-AUVRAY

La formule est la suivante: $Q_{10} = \frac{\alpha * A * Kr_{10} P_{24} \cdot S}{Tb}$

P_{24} est l'averse décennale choisie égale à 113 mm, suite à l'étude de la pluviographie.

S surface du bassin, A coefficient d'abattement, α coefficient de pointe entre débit maximal et débit moyen, Tb temps de base

Tableau 106 - Test de la méthode RODIER-AUVRAY

Superficie S	88 ha
P ₂₄	113 mm
coeff d'abattement	1
$\alpha = Q_{Max}/Q_{moy}$	1.9
Tb	248 mn
Kr	0.25
Q ₁₀	2222 l/s

Cette méthode d'estimation des débits maximaux sous-estime beaucoup trop les pointes observées en milieu urbain.

1.5 Méthode de BOUVIER

Elle permet de reconstruire l'hydrogramme complet de la crue. STO désigne les pertes initiales et garde une valeur constante pour chaque événement tandis que COEF est un coefficient de ruissellement constant, intervenant après satisfaction de STO. A défaut d'une détermination par simulation de pluie, les valeurs forfaitaires de 5 mn et 87% ont été conseillées car elles sont proches de valeurs trouvées dans des bassins expérimentés.

Voici les valeurs affectées pour l'occupation des sols:

%IMP = 60, %PER NU = 22, %PER VEG = 18.

Le hyétogramme net moyen est transformé en hydrogramme en utilisant un modèle de transfert dit de stockage à un réservoir tel que:

$$Q(t) = \frac{A}{K} \cdot \sum_{s=t_0}^{s-t} (I_n(s) \cdot \exp(-(t-s)/K))$$

t_0 désigne le début de l'averse. $Q(t)$, le débit à l'instant t

A superficie du bassin, $i_n(s)$ désigne l'intensité nette à l'instant s

$i_n(s) = (\%IMP + \%PER NU) * (1 + 13\%) * i_b(s)$, avec $i_b(s)$ = l'intensité brute

K, paramètre de transfert du réservoir, homogène à un temps. Il a été relié au paramètre de pente p(m/m), d'imperméabilisation (IMP en rapport) et de superficie A (ha).

$$K = 0.45 * A^{0.3} * IMP^{0.45} * p^{-0.39}$$

A. SOW rappelle que IMP traduit ici la densité du réseau de drainage. Mais en Afrique de l'Ouest où le fonctionnement des réseaux est considérablement perturbé par le défaut d'entretien ou le sous-dimensionnement, ce coefficient est difficile à évaluer. Pour sa détermination, on conseille d'utiliser le parcours moyen de l'eau hors du réseau. En considérant donc d'une part que le bassin est constitué de deux drains principaux, que sont la route de Ouakam et la VDN, et que seuls les 70% de l'eau drainée par la route de Ouakam rentre dans le bassin, le reste dans les grilles du réseau, IMP a été défini comme suit:

$$IMP = (L + 70%l)/S$$

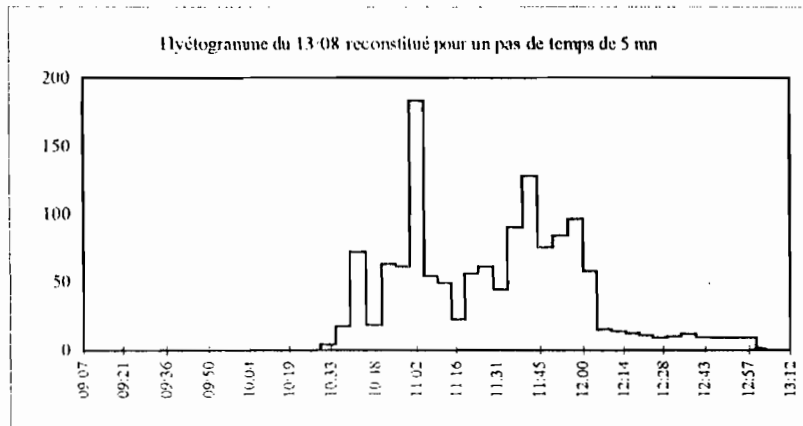
l est la longueur de la route de Ouakam égale à 1500 m, L désigne la longueur de la VDN égale à 2000 m. Ainsi donc IMP = 3.5 et K = 5.8

Tableau 107 - Test de la méthode de BOUVIER

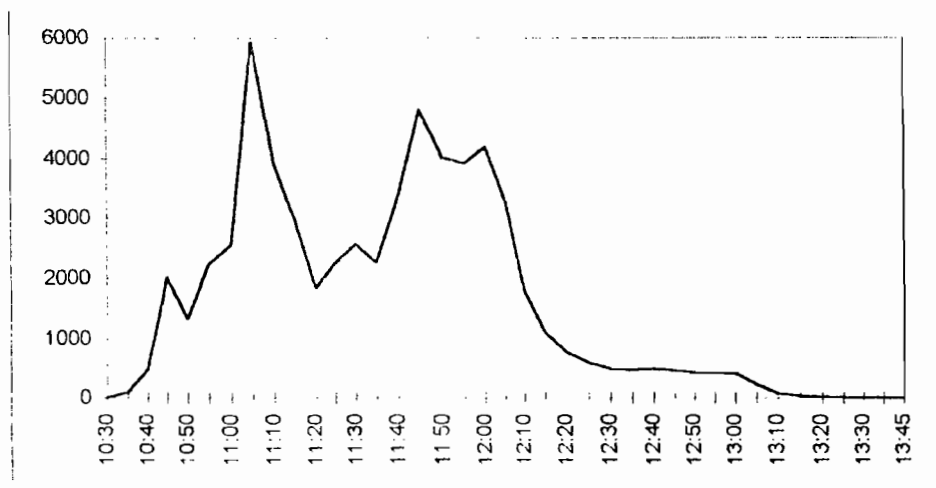
%IMP	60
%PER NU	22
%PER VEG	18
t ₀	10 h 35
STO	mn
COEFF	87%
IMP	3.5
Hydrogramme reconstitué	2 pointes >5000

Le hyétogramme reconstitué pour un pas de temps de 5 mn ainsi que l'hydrogramme restitué par la méthode de BOUVIER sont ci-dessous représentés.

Figure XXVI : Hyétogramme de la pluie du 13 août 1994



Graphique 38 - Hydrogramme reconstitué par la méthode de BOUVIER (SOW 1994)



La conclusion que tire A. SOW de ce test est que "le modèle de BOUVIER calé à partir des paramètres de bassins de Niamey ou Abidjan, plus ruisselants, devrait être adapté aux cas des bassins de Dakar". Elle a par la suite tenté une correction des valeurs de la surface (150 ha au lieu de 88 ha) et du coefficient de transfert (50% à la place de 87%). Ces valeurs fictives rapprochent un peu la reconstitution et l'hydrogramme observé.

Cette reconstitution est cependant très loin de l'hydrogramme réel et le choix des valeurs fictives ne reposent sur aucune base. Des calculs intégraux très étendus ont été utilisés alors qu'EXCEL5 devrait pouvoir raccourcir le traitement par une macro à défaut d'un petit programme. Les pointes supérieures à 5000 l/s sont cependant raisonnables, vu les pertes considérables. La forme du hydrogramme explique aussi qu'il y ait deux pointes dans la reconstitution au lieu d'une seule pour la crue observée. Le tableau suivant regroupe les valeurs estimées et leur rapport avec celle qui a été observée.

Tableau 108 - Résultats des calculs de débits par différentes méthodes

Méthode	Qp(l/s)	Comparaison avec crue observée
Pointe observée	3040	
BURKLI-ZIEGLER	3669	20,71%
CAQUOT	3121	2,67%
LEMOINE et MICHEL	3517	15,69%
RODIER-AUVRAY	2222	-26,9%
BOUVIER	2 pointes > 5000	64,5%

La formule utilisée est la suivante: $\text{erreur}\% = \frac{Q_{\text{calculé}} - Q_{\text{observé}}}{Q_{\text{observé}}} * 100$, le résultat donne l'erreur relative par rapport à la pointe observée.

Les valeurs positives correspondent à une surestimation du débit alors que la valeur négative indique une sous-estimation comme c'est largement le cas avec la méthode de RODIER-AUVRAY. La crue du 13/08/1994 constitue un événement qui pourrait être utile pour le test de méthodes d'estimation du débit de pointe de crue décennale à Dakar si les pertes nombreuses n'avaient réduit les écoulements à la station. Ces multiples pertes et les rétentions importantes s'ajoutent à l'évaluation difficile de la surface ruisselante pour rendre encore plus complexe le comportement hydrologique du bassin de Mermoz.

2 LES TESTS DE BOUVIER ET BASSEL

Considérant les nombreuses erreurs dans les tests de Sow A. (1994), les difficultés liées aux fuites et à la délimitation de la surface, nous avons choisi et expliqué dans le chapitre précédent les paramètres que nous utiliserons pour la modélisation des écoulements sur le bassin versant de Mermoz.

La station amont pourrait être utilisée ultérieurement car la station de référence connaît trop de pertes et surtout elle réagit avec beaucoup de retard à l'impulsion de la pluie sans oublier que les nombreuses mares modifient considérablement la forme de l'hydrogramme.

2.1 Modèles de débits de pointe

Nous ne testons que les formules encore appliquées.

2.1.1 La formule rationnelle modifiée par LEMOINE et MICHEL

Ces auteurs ont proposé une formule tirée de la formule rationnelle et applicable selon les pays avec quelques modifications. Celle proposée pour le Sénégal ($Q = 900 * C * I^{(1,1)} * A^{(1,85)}$), donne un débit de pointe décennal de 5170,5 l/s. Avec un coefficient de correction de l'allongement du bassin (de 0,88), on obtient 4550 l/s.

2.1.2 La formule de CAQUOT

CAQUOT cherchant à corriger la non prise en compte de l'effet de stockage par la formule rationnelle, a mis au point une formule qui ne peut donc pas donner un débit plus élevé. Sa formule reste encore parmi les plus utilisées en Afrique alors que ses limites ont été montrées par plusieurs auteurs.

- l'énoncé original: $Q_p = \frac{H \cdot C \cdot A \cdot \alpha}{6 \cdot (\delta + \beta) \cdot t_c}$ donne un débit de 2606.4 l/s, effectivement plus faible que ce qui est

obtenu avec la formule rationnelle modifiée par Lemoine et Michel. DESBORDES considérant que la valeur de 1.85 choisie par CAQUOT pour les paramètres de stockage et de transfert sous-estime le débit de pointe, propose la valeur de 1.10 (pour $\beta + \delta$), ce qui donne un débit de pointe de **4383,5 l/s**, toujours plus faible. Cependant cette application n'est pas recommandée car le temps de concentration n'est pas aisé à déterminer et toute erreur se répercute sur la hauteur H.

Tableau 109 : Détermination du débit de pointe par la formule initiale de Caquot.

Hauteur tombée jusqu'à t_c	109 mm
Coefficient de ruissellement	0,35
Surface	88,3 ha
α (coef. d'abattement spatial)	0,75
t_c (temps de concentration)	88 mm
$\beta + \delta$ (paramètres de transfert et de stockage)	1,1
Q_{10} (débit de pointe décennal)	4383,5 l/s

H est la hauteur de pluie en mm, tombée entre les instants 0 et θ à l'épicentre de l'orage

C est le coefficient de ruissellement du bassin,

A est sa surface en hectares,

α est le coefficient d'abattement spatial de l'averse, égal à $A^{(-0,063)}$

t_c est le temps de concentration en minutes pris égal à θ .

$\beta + \delta$ sont des paramètres de transfert et de stockage.

$(\beta * Q_p * \theta) * 60$ est le volume écoulé à l'exutoire depuis le début de l'averse.

1/6 est un coefficient qui tient compte des unités choisies

θ est en général, légèrement supérieur au temps de concentration. En prenant $t_c = 0$, il y aura une majoration du débit de pointe.

- LEMOINE et MICHEL ont proposé un énoncé de la formule de CAQUOT, plus facile à mettre en oeuvre. Pour le Sénégal, elle ($Q = 975 * I^{0,20} * C^{1,11} * A^{0,80}$) donne un débit de **4271 l/s**. C'est parce qu'ils avaient trouvé trop faible le débit obtenu en réaménageant la formule de CAQUOT, qu'ils avaient modifié la formule rationnelle d'abord (voir ci-dessus), avant de proposer en définitive une formule dite africaine, comme les deux méthodes précédentes ne convenaient pas.

2.1.3 La formule générale africaine de LEMOINE et MICHEL

S'appuyant sur la démarche de la méthode rationnelle, ils avaient prôné en lieu et place de la méthode de CAQUOT, l'utilisation d'une formule générale africaine avec cependant des paramètres propres aux zones distinctes.

La formule pour le Sénégal ($Q = 4900 * C * I^{0,25} * L^{-1,5} * A^{0,95}$ avec L désignant la longueur du plus long chemin hydraulique) donne un débit de **7456,2 l/s**.

A Dakar, la crue du 13 août 1994 avait un débit observé de 3960 l/s produit par une pluie de 119.6 mm, légèrement supérieure à la pluie décennale pour la région (115.7 mm). Ceci tend à démontrer que la formule de LEMOINE et MICHEL surestime le débit. Cependant il pourrait n'en être rien car les fuites ainsi que les trois mares importantes (qui doivent se remplir entièrement avant que l'écoulement ne se produise) relèveraient le débit observé. La formule africaine de LEMOINE et MICHEL se rapprocherait davantage de la réalité à Dakar.

Tableau 110 - Débits de pointe obtenus pour différents modèles

Modèles testés	Q de pointe en l/s
Formule rat. modifiée par LEMOINE et MICHEL	4550 l/s
CAQUOT retouchée par DESBORDES	4383,5 l/s
CAQUOT modifiée par LEMOINE et MICHEL	4271 l/s
Formule africaine de LEMOINE et MICHEL	7456,2 l/s

En appliquant un coefficient correcteur de 1.34 pour récupérer les pertes, à peu près égales à 34 % de l'écoulement, le débit observé corrigé sera de **5306,4 l/s**. Il est supérieur aux valeurs ci-dessus calculées sauf à celle obtenue avec la formule africaine.

La conclusion que nous tirons est qu'en dehors de cette dernière formule dite africaine, les autres modèles confirment leur limite dans la recherche du débit de pointe sur les bassins ouest - africains.

S'ils sont encore utilisés, c'est parce que localement, donc pour un bassin jaugeé, on a su dégager les bons paramètres d'ajustement et ceci avec des observations. Ces paramètres doivent être modifiés dès lors qu'on cherche à transposer le modèle sur de nouvelles données d'observations. Cela signifie que pour chaque bassin nouvellement observé, il va falloir réviser les paramètres. *Où se situe alors la protection des individus et des infrastructures si les méthodes n'arrivent pas à approcher les volumes d'eau pouvant tomber sur le réceptacle bassin versant suite à une pluie importante ?*

En ne donnant que le débit de pointe, ces méthodes ne fournissent d'ailleurs aucune information sur la forme de l'hydrogramme et sur les volumes affectés à chaque sous-bassin élémentaire. Cela veut dire que l'aménagement sectoriel du bassin ne peut se faire avec les données fournies par ces modèles. Il y a aussi que le coût économique des ouvrages d'assainissement impose un aménagement autre que les grands canaux à ciel ouvert. Ils présentent des dangers certains et nécessitent un entretien permanent; en plus, ils deviennent vite inadéquats avec l'urbanisation galopante et les pratiques anarchiques dans les Pays en Développement où les ordures solides sont assez souvent rejetées dans ces canaux.

2.2 Les modèles de restitution de l'hydrogramme

Rappelons qu'ils sont testés à l'aide de la formulation de DESBORDES-BOUVIER, basée sur une partition du bassin en unités IMP, PER(nu), et PER(veg), associée à un modèle de transfert type réservoir linéaire. Il a été testé par SOW (1994) mais pour éviter les calculs longs et complexes, nous avons utilisé le modèle MERCEDES sous sa forme globale car c'est la formule de BOUVIER qui a été portée sur logiciel.

2.2.1 Les paramètres du modèle

Les pointes de près de 6000 l/s trouvées par SOW A. (1994) paraissaient raisonnables mais, plusieurs confusions ont été relevées dans l'utilisation des paramètres. Sans aucune justification, les débits obtenus par l'équation de convolution avaient été multipliés par 2,77 pour donner ceux qui ont été retenus.

Le paramètre IMP ne désigne pas la proportion d'urbanisé mais plutôt celle des surfaces réellement recouvertes en dur : nous avons trouvé 42.2 % pour T2+T3 qui représentent les surfaces urbanisées. On peut donc affecter à IMP% près de la moitié de cette valeur, soit 25%.

Les zones à végétation occupe 45.9% du bassin mais il faut remarquer que ces zones comprennent des espaces nus entre les arbres et aussi des champs nus au début de la saison des pluies. Ceci explique que nous n'affectons que 15% au paramètre PER(veg). Ainsi le paramètre PER(nu) prenant en compte les surfaces naturelles globales (11.9% du bassin), les petites surfaces nues incluses dans les maisons, mais aussi et surtout les multiples liaisons entre les édifices et les routes, sera de 60%.

Toute la difficulté réside à ce niveau où il est question de caractériser la production dans chaque unité de surface. On simplifie pour IMP et PER(veg) : tout ruisselle pour les surfaces imperméables, rien ne ruisselle pour la végétation. La difficulté est ainsi ramenée au niveau des sols nus. En ce qui concerne la crue du 13 août 1994, la reconstitution devrait de SOW A. (1994) devrait être acceptable en fixant pour la catégorie PER(nu), les paramètres STO et COEF à 16 mn et 0.25 et le paramètre de transfert K à 15 (exprimé en pas de temps de 5 mn). On a retenu sur d'autres bassins africains les valeurs du tableau suivant (Bouvier C. 1990). Le COEF pour Dakar est beaucoup plus faible car le bassin est moins ruisselant et cette crue se passe en début de saison des pluies. Le K est très exagéré, mais il traduit les rétentions dans la tranchée entre les deux mares.

Tableau 111 : Paramètres de calage du modèle de BOUVIER

Bassin	STO	COEF	K
Niamey (n°4)	14.4 mn	0.43	4.3
Ouagadougou (n°1 et 2)	8.5 mn	0.51	4 et 4.1
Lomé (n 1)	12.8 mn	0.36	5

Les intensités nettes sont déterminées à partir des intensités brutes, en appliquant la formule exposée plus haut. C'est donc une transformation de la pluie brute en une pluie nette en un pas de temps fixe, transformation dans laquelle interviennent particulièrement les paramètres d'occupation des sols. Les valeurs obtenues sont alors traduites en débits au moyen du paramètre de transfert K associé à l'équation de convolution de l'hydrogramme unitaire dont la formule est rappelée ci-dessous.

$$Q(t) = \frac{A}{K} \cdot \sum_{s=t_0}^{s=t} (I_n(s) \cdot \exp(-(t-s)/K))$$

t_0 désigne le début de l'averse, $Q(t)$ le débit à l'instant t

A superficie du bassin, $i_n(s)$ désigne l'intensité nette à l'instant s

K , paramètre de transfert du réservoir, homogène à un temps. Il a été relié au paramètre de pente p (m/m), d'imperméabilisation (IMP en rapport) et de superficie A (ha).

$$K = 0.45 \cdot A^{0.3} \cdot \text{IMP}^{-0.45} \cdot p^{-0.39}$$

Convenant avec BOUVIER, nous pensons que le paramètre de transfert K devrait tenir compte de la longueur du bassin ; Il est alors nécessaire d'y introduire L , longueur du plus long chemin hydraulique, comme l'avait proposé DESBORDES. La formule deviendrait alors:

$$K = 0.45 \cdot A^{0.3} \cdot \text{IMP}^{-0.45} \cdot p^{-0.39} \cdot L^{-x}, x \text{ étant à déterminer à la suite d'ajustements sur plusieurs observations.}$$

2.2.2 Utilisation du modèle MERCEDES

ATHYS permet un traitement automatique du modèle de Bouvier en version globale ou en version spatialisée sous MERCEDES. Il suffit d'entrer un certain nombre de paramètres et de lancer le modèle. Parmi ces paramètres, il y a la taille du pixel (pour déterminer la surface), le paramètre STO qui représente les pertes initiales, INF qui est l'infiltration, COEF qui est la prise en compte d'un coefficient de ruissellement et K le paramètre de transfert du modèle. Un listing de l'ensemble du traitement et des résultats est ensuite affiché.

Ainsi on peut faire plusieurs combinaisons pour mieux s'approcher des crues observées, en affectant différentes valeurs à chacun des paramètres. Cette démarche est utilisée lorsqu'on ne dispose d'aucune information sur la physiographie du bassin et qu'on cherche à restituer par calcul, les enregistrements de débits. Il s'agit alors d'une optimisation manuelle des paramètres. On peut aussi procéder à une optimisation automatique en rentrant une seule série de valeurs. Le modèle cherche alors les valeurs qui réduisent le plus l'écart entre les crues observées et celles qui ont été calculées.

Si par contre le bassin a été étudié, la détermination des paramètres ne se fait plus par « tâtonnements » car ils sont établis sur la base de plusieurs critères parmi lesquels les pentes et l'occupation des sols. Il s'agit ici plutôt d'une validation du modèle car si les paramètres estimés sont très proches de la réalité, le modèle performant est celui qui restitue au mieux les observations.

Le modèle MERCEDES est un modèle distribué qui fonctionne à partir d'un maillage régulier du bassin. A défaut d'observations de la pluie par plusieurs enregistreurs, nous considérons l'ensemble du bassin comme une maille et le modèle sera appliqué comme un modèle global.

2.2.3 Application du modèle

Pendant les deux campagnes de mesures hydropluviométriques, plusieurs événements pluie-débit ont été obtenues. Des essais de modélisation pouvaient porter sur 6 d'entre eux, jugés plus fiables et dépassant 500 l/s. En effet les crues dont le débit maximal est inférieur à cette valeur, restent incertaines car les pertes en dessous de ce seuil sont trop importantes. A mesure que le débit augmente, le volume des pertes est certes plus important mais leur proportion par rapport au débit mesuré est de plus en faible. Nous présentons dans les tableaux suivants ces 6 événements.

Tableau 112 - Épisodes enregistrés à la station 1

N°	Date début	Date fin	Vol ruiss $k.m^3$	Débit max	T_M	T_{max}
1	13 08	13 08	26,9	3,95 m^3	65	780
2	21 09	21 09	19,8	3,03	195	845
3	02 08	02 08	2,8	0,4	30	435
4	17 08	17 08	11	0,64	115	965
5	25 08	26 08	10,3	0,98	155	1380
6	30 08	30 08	7,2	0,67	40	700

Tableau 113 - Épisodes enregistrés à la station 2

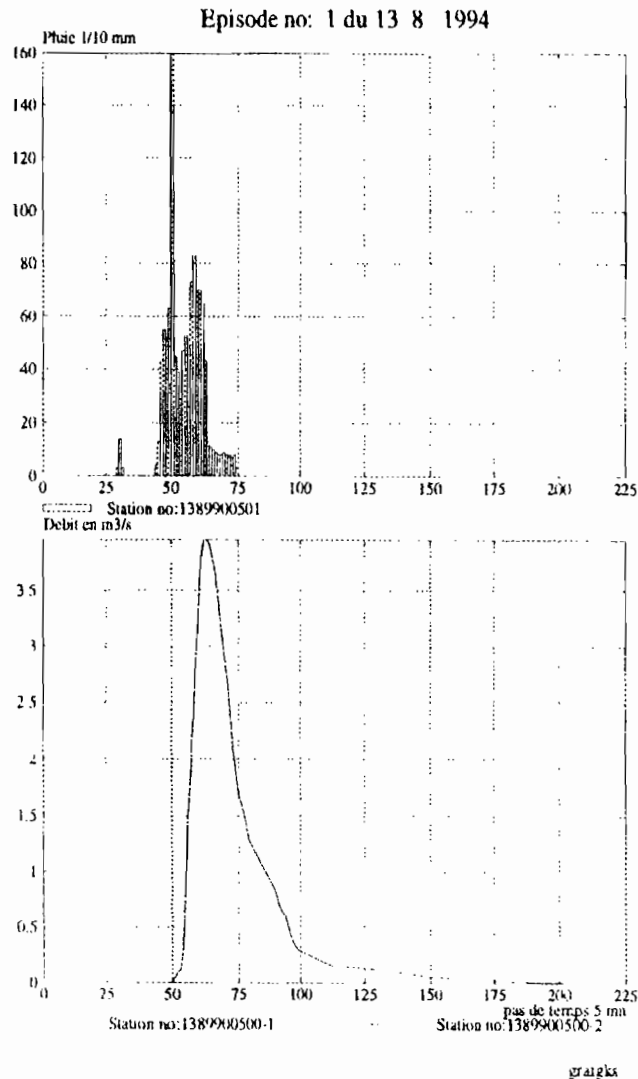
N°	Date début	Date fin	Vol ruiss(k.m ³)	Débit max	T _M	T _{ruiss}
1	13/08	13/08				
2	21/09	21/09				
3	02/08	02/08	4,9	0,52	70	600
4	17/08	17/08	7,2	1,7	175	1030
5	25/08	26/08	8,1	0,55	130	1255
6	30/08	30/08	5,1	0,6	40	720

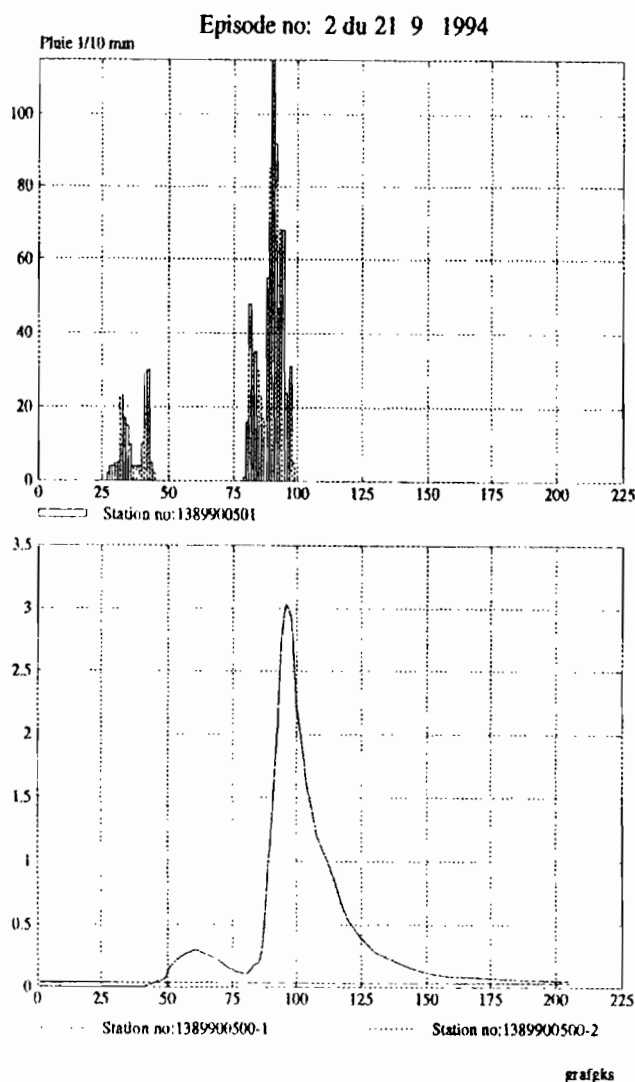
Tableau 114 - Caractérisation des pluies sur le bassin

N°	Date	Pmm T	Pl en 5 mm/h	Pluie en 10	Pluie en 20	Pluie en 30	Durée 5	I max
1	13/08	115	113,7	109	101	98,8	150	192
2	21/09	98,7	95,4	93,4	86,8	76,4	140	138
3	01/08	26,1	25,2	22,4	18,7	16,7	70	56,4
4	17/08	66,3	54,3	7,3	23,8	16	245	60
5	25/08	34,5	27,8	24,9	20,2	18	65	73,2
6	30/08	23	23	22	20	18,6	35	105

Notre reconstitution ne porte cependant que sur les deux crues principales de 1994, leur caractère exceptionnel présentant un intérêt pour l'aménagement urbain. Le test a concerné les données originales de pluie appliquées aux débits et surfaces corrigés. A partir des fichiers ASCII, ATIIYS donne les représentations suivantes des pluies et des débits observés, ramenés à un pas de temps de 5 minutes.

Figure XXVII - Séries de graphiques obtenus avec le modèle MERCEDES





Après cette transformation sous ATHYS, on passe à la modélisation avec MERCEDES en rentrant les paramètres comme nous l'avions expliqué plus haut. Voici les valeurs que nous avons choisies en définitive, pour reconstituer les deux événements.

Tableau 115 : Paramètres retenus pour la modélisation

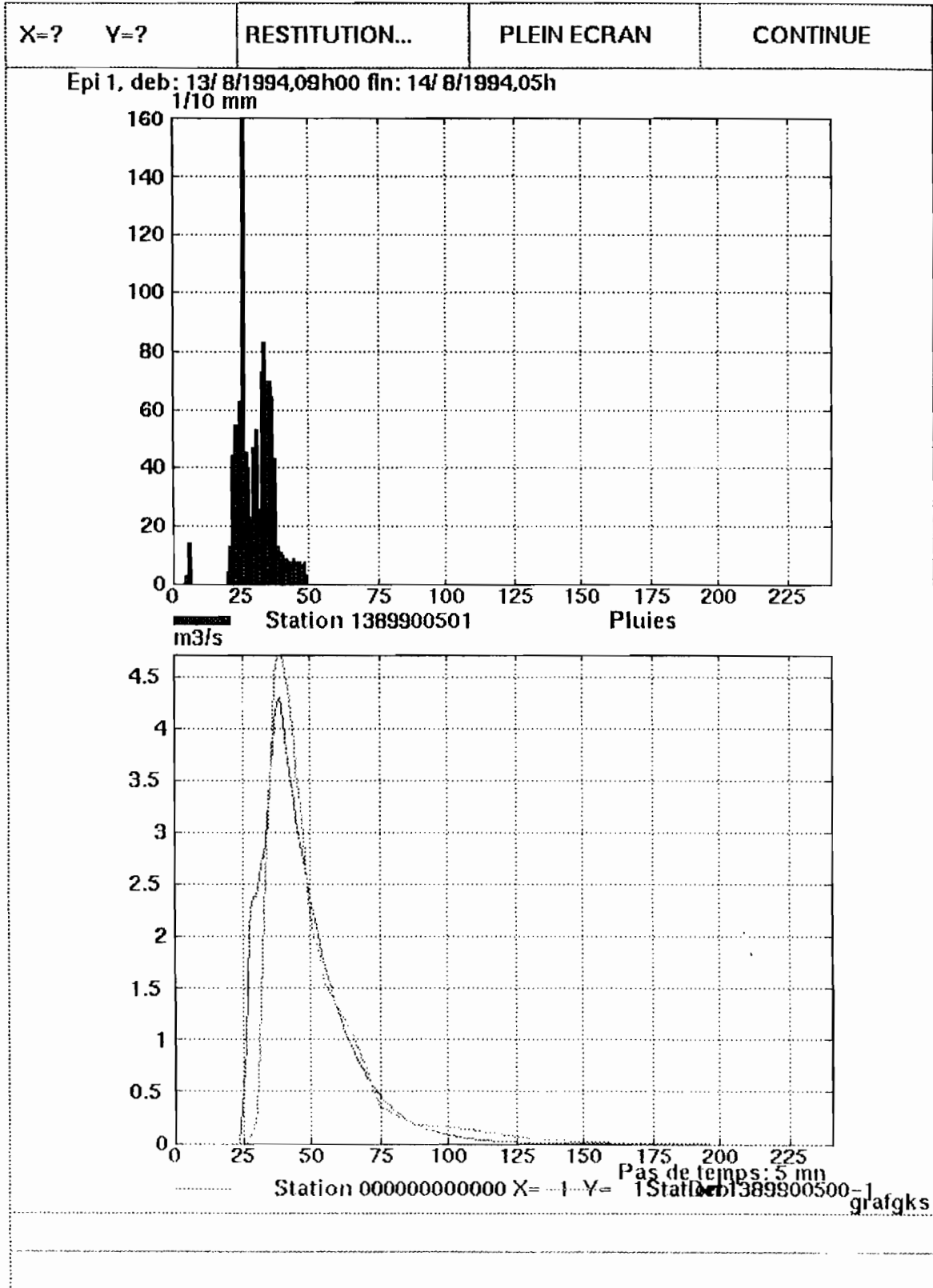
Superficie	88 ha
STO	10 mm
COEF	0.4
K	15

La superficie correspond donc au grand bassin diminué des zones non contributives, essentiellement situées en amont. La valeur de STO est supérieure à celle qui est considérée en général sur les autres bassins africains (7 à 8 mm), du fait des pertes initiales diverses et importantes. Le COEF, pris égal à 0.4 traduit la faiblesse du ruissellement par rapport à ailleurs où il est de 0.6 : ici les sols sont sableux et plus filtrants. Enfin, le paramètre K qui imprime la déformation de l'hydrogramme, est élevé à cause du stockage et de la rétention importante dans la tranchée entre les deux stations.

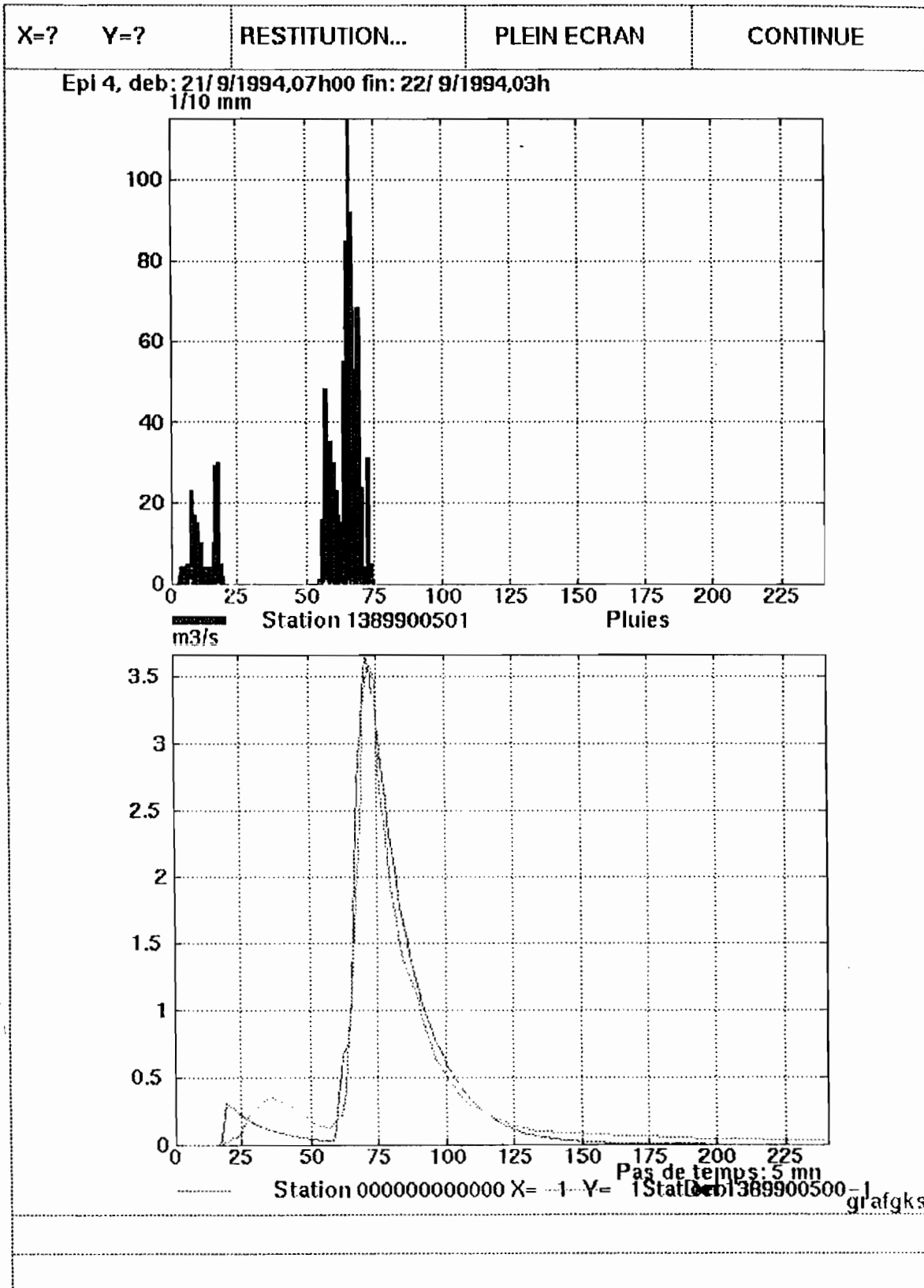
Avec ces valeurs, nous avons obtenu la reconstitution suivante: les formes des crues sont très proches de celles qui ont été observées.

Figure XXVIII - Reconstitution par MERCEDES des deux crues principales de 1994

a - : crue du 13 août 1994



b - : crue du 21 septembre 1994



3 DISCUSSION

Le bassin de Dakar semble donc moins ruisselant que ses homologues d'autres villes africaines (Niamey, Ouagadougou, Lomé). Cependant il convient de rester assez prudent compte tenu des incertitudes nombreuses, qui demandent à être levées par de nouvelles expérimentations. Des questions précises se posent : l'influence de la zone T3 n'a-t-elle pas été surestimée dans la reconstitution ? quelle est la précision de la détermination des différentes unités IMP, PERnu, PERveg... ? quelle est l'influence du stockage artificiel dans la tranchée ? La nature filtrante des sols très sableux de la Presqu'île participent cependant à l'explication des paramètres que nous avons retenus. Les résultats obtenus ne fournissent donc qu'une présomption sur les conditions de ruissellement en milieu urbain dakarois. De nouvelles expérimentations avec des moyens conséquents permettront de les confirmer.

L'étude comparative a permis cependant de comprendre que, certains modèles sont à écarter définitivement dans la mesure où ils sous-estiment considérablement les observations. D'autres campagnes sur ce bassin ou sur d'autres pourront aussi permettre de disposer d'événements beaucoup plus fiables sur la réaction des bassins versants dakarois sous l'impulsion de la pluie. La modélisation et surtout la validation correcte d'un modèle, nécessite des séries de données assez consistantes. Cependant, quelque soit leur qualité, ces données ont montré à la station 2 que l'essentiel du ruissellement est produit par deux types de surface: celles à bâti dense et celles non recouvertes. En effet, les espaces nus et notamment le quartier de Mermoz assez densément occupé, produisent des valeurs calculées très proches de celles qui ont été observées.

L'enseignement à tirer de ces résultats est une inquiétude car le double de ce qui est évacué en mer est en fin de compte retenu sur le bassin et est donc la cause d'inondation et de perturbations fréquentes de la circulation des automobiles et des personnes pendant plusieurs heures et parfois des jours dans certaines zones. **Quant aux fuites nombreuses et anarchiques, elles attestent de l'absence d'aménagement pour l'évacuation des eaux pluviales.** Les mares importantes et nombreuses sur le bassin causent d'autres désagréments beaucoup plus graves que sont les maladies liés aux eaux. Les enquêtes publiées dans la thèse de NIANG (1995) ont montré que les quartiers de Fann et Point E, au niveau de vie élevé, connaissent plus de cas de paludisme que certains quartiers déshérités, ce qui est paradoxal.

Les pertes importantes qui nous ont empêché ces deux campagnes durant, de mesurer avec plus d'exactitude le ruissellement produit par le bassin de Mermoz, s'écoulent vers le grand canal de Soubédioune. Malgré sa taille importante, celui-ci draine aujourd'hui un trop grand bassin versant du fait de l'urbanisation dense. Le MNT sur la Presqu'île laisse percevoir l'étendue de son réseau de drainage, tandis que la forte pluie du 13/08/1994 avait fini de démontrer qu'il est temps de penser à l'édification de canaux pour le désengorger et d'émissaires secondaires pour étaler ses « crues ».

Le MNT que nous avons réalisé sur la presqu'île de Dakar montre les bassins versants naturels qui, à l'occasion d'aménagement de voies d'eau artificielles, pourraient être le tracé principal des ouvrages. Il n'est pas question de refaire les voies des canaux même si le modèle de drainage montre qu'il existe quelques problèmes qui sont aujourd'hui à la base de la stagnation des eaux dans plusieurs zones notamment au rond-point "Prestations Familiales". Le MNT et la classification des pentes qui en découle, peut servir efficacement à la hiérarchisation des réseaux, à la localisation de tracés judicieux des canaux devant se déverser vers la mer ou vers une zone dépressionnaire aménageable en bassin de retenue.

Figure XXIX : Modèle numérique de terrain de la Commune de Dakar

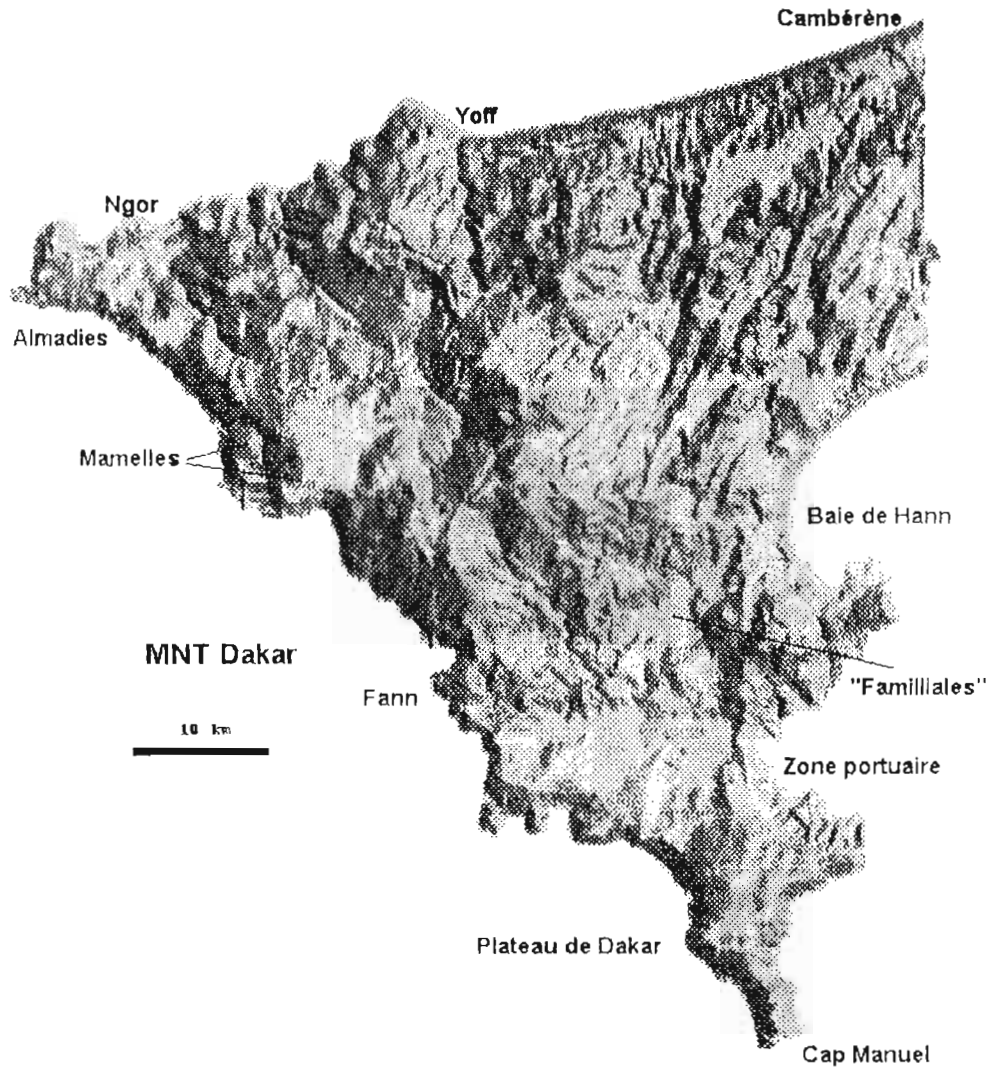
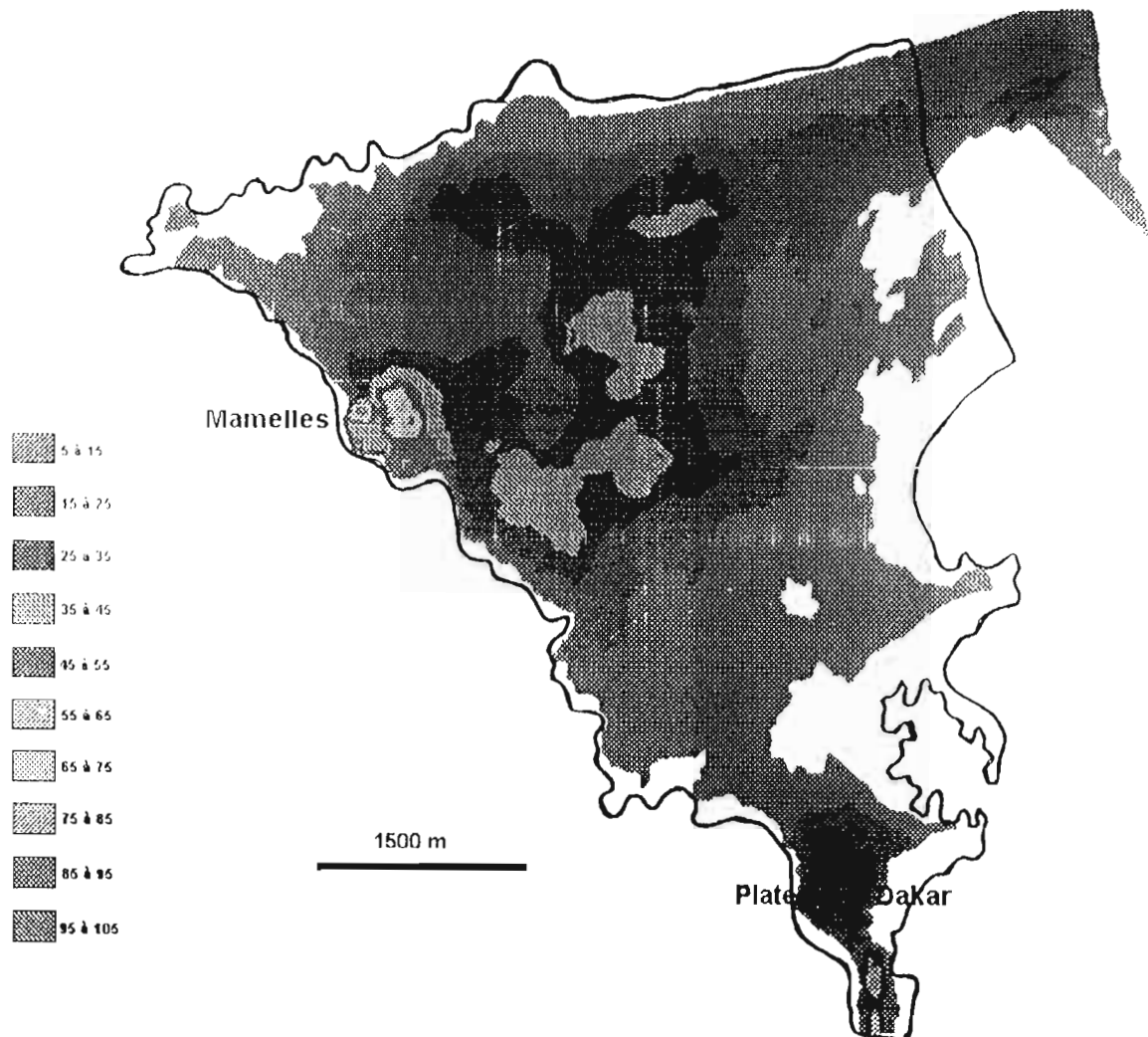


Figure XXX - Classes d'altitude dans la Commune de Dakar



Avant de passer à la conclusion de ce travail, nous voudrions souligner certains points relatifs à l'apport de la thèse. Elle nous a incontestablement donné l'occasion d'une formation théorique et pratique. En outre, une amélioration de l'évacuation et de la qualité chimique des eaux de ruissellement est possible grâce à une meilleure connaissance du risque pluviométrique, à la disponibilité de données sur l'écoulement urbain, l'imperméabilisation des sols et la connaissance de la qualité des eaux.

La thèse ouvre aussi de nombreuses perspectives :

- caractérisation de la variabilité spatiale des averses, à des pas de temps inférieurs à la journée en installant un dispositif dense de pluviographes.
- construction de pluies de projet à partir des chroniques longues de pluviographie.
- révision des formules rationnelles sur l'ensemble des observations disponibles en Afrique de l'Ouest.
- instrumentation de nouveaux bassins incluant des expériences de simulation de pluie et des études de l'érosion hydrique urbaine.
- campagnes de prélèvement pour un diagnostic complet de la qualité des eaux superficielles et souterraines.
- mise en place d'un SIG multi-usages sur la Presqu'île.

Ces perspectives justifient la nécessité de mettre en place un Programme "Eaux, Villes et Environnement" (E. V. E). En effet, celui-ci englobera toutes les zones urbaines du pays où se posent des problèmes d'évacuation et de détérioration de la qualité des eaux. La conjonction des compétences est cependant un credo à mettre en avant. Les problèmes d'inondation sont aujourd'hui réels au Sénégal ; la ville de Saint-Louis a connu des situations très difficiles en 1994, problèmes que connaissent depuis bien longtemps des quartiers de Dakar.

Concernant la zone d'étude, nous recommandons l'édification d'un système d'évacuation des eaux stagnantes dans l'École Normale Supérieure et le quartier de Fann du fait des multiples nuisances qu'elles causent aux populations et aux usagers des routes. Une amélioration peut et doit aussi être apportée au niveau des rejets dans le milieu marin, par implantation d'unités de traitement légères comme celle que propose NIANG S.

(1995). Dans l'urgence, il faut amoindrir les charges solides évacuées en installant un système de blocage des corps solides par grilles et un système de lagunage pour « épurer » même de manière sommaire les eaux rejetées.

Photo 14 : Inondation fréquente de la Rue Frobénius

(Photo M. BASSEL)

Photo 15 : Ravinement constant du terrain de l'École Normale Supérieure

(Photo M. BASSEL)



CONCLUSION

Les problèmes d'assainissement nécessitent l'adoption d'une attitude scientifique et des réponses à 3 niveaux: la mobilisation de moyens de plus en plus importants, une réflexion intellectuelle pour des projets fiables, durables et surtout une prise de conscience des populations pour une meilleure gestion des rejets.

En ce qui concerne le ruissellement, la détermination de débit de pluie associé à une fréquence de retour et la restitution de l'hydrogramme doivent être à la base des aménagements en milieu urbain. Quelque soit le niveau économique, des normes adéquates doivent être dégagées en tenant compte des mesures du ruissellement mais aussi de l'analyse statistique de la pluviométrie.

Grâce à l'UR 24 du DEC, les deux campagnes hydrologiques sur bassin versant urbain à Dakar ont été menées, un meilleur traitement des données a été réalisé au laboratoire d'hydrologie de Montpellier à la faveur d'un stage de 6 mois. Dans ce laboratoire, nous avons côtoyé des hommes expérimentés et à la pointe de la recherche en hydrologie. Ceci nous vaut des satisfactions et nous a donné l'envie de poursuivre la réflexion sur les problèmes d'assainissement que connaît notre capitale et d'autres villes du Sénégal. Les résultats obtenus devront, malgré leurs limites, impliquer la définition d'actions concrètes allant dans le sens de l'amélioration de l'environnement des populations mais aussi des milieux récepteurs.

A la suite de cette thèse, nous œuvrons pour la poursuite des recherches de terrain pour une meilleure détermination des conséquences des inondations dans le bassin versant. De ce point de vue, l'acquisition de moyens pour la mise en œuvre de la modélisation spatialisée est devenue une de nos préoccupations que nous espérons partager avec d'autres chercheurs en hydrologie urbaine.

Nous nous réjouissons d'ores et déjà de la décision du laboratoire de chimie de l'ORSTOM de s'équiper en instruments pour la détermination des paramètres généraux de pollution tels la DBO et la DCO. La collaboration du laboratoire de la Sénégalaise Des Eaux (S D E) qui possède les installations nécessaires est des plus souhaitables.

La problématique de l'eau dans les villes des pays sous-développés ne peut être bien cernée qu'avec la mise sur pied de programmes *l'Eau dans la ville*. L'ORSTOM pour avoir initié les premières recherches sur l'hydrologie urbaine à Dakar, doit jouer un rôle important pour la mise en place d'un tel programme, même s'il n'est encore point besoin de sensibiliser les autorités locales et les services compétents sur la nécessité de telles études et des retombées scientifiques qui intéressent directement les populations locales.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL J. (1988) : Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Thèse de doctorat. Paris VI. Editions Orstom Collection Etudes et Thèses.
- BNR (1988) : Recensement Général de la Population du Sénégal. Rapport définitif 1988. Bureau National du Recensement au Sénégal.
- BASSEL M. (1992) : Etude des pluies exceptionnelles d'un à vingt jours consécutifs sur le bassin de la Casamance. Mémoire de maîtrise. Département de Géographie UCAD 115 p.
- * BASSEL M. (1996) : Eaux et Environnement à Dakar. Pluies, ruissellement, pollution et évacuation des eaux. Contribution à l'étude des problèmes d'environnement liés aux eaux dans la région de Dakar. Thèse de doctorat 3ème cycle, Dép. Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, UCAD, Dakar, 244 p., *doc. multigr.*
- BCEOM-SONED Afrique (1986) : Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar 2001, Rapport justificatif. République du Sénégal. Ministère de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement, Direction de l'Urbanisme et de l'Architecture.
- BERTRAND-KRAJEWSKI J. L. (1992) : HYPOCRAS, un modèle conceptuel de transport solide en réseau d'assainissement par temps de pluie. la houille blanche n°1 et 2, 1994 p.85
- BOUTAYEB N. (1994) : Problématique de l'assainissement urbain en Afrique : Résultats de l'étude UADE/OIEau. 7ème congrès de l'UADE du 31 janvier au 4 février à Dakar.
- BOUVIER C. (1990) : Analyse et Modélisation des écoulements en milieu urbain africain. Thèse publiée aux Editions ORSTOM
- BOUVIER C. (1994) : Sur la pratique des modèles numériques de terrain (MNT) en Hydrologie. L'expérience des bassins de Chalco (Mexique). Cahier Hydrologie continentale Orstom Editions, vol. 9. n°1. 1994
- BOUVIER C. et al (1992) : logiciel SIGNE. Laboratoire d'hydrologie Centre Orstom Montpellier.
- BOUVIER C. (1993) : MERCEDES (Maillage Élémentaire Régulier Carré pour l'Étude des Écoulements) Laboratoire d'Hydrologie ORSTOM - MONTPELLIER
- BOUVIER C. (1994) : Sur la pratique des modèles numériques de terrain (MNT) en Hydrologie. L'expérience des bassins de Chalco (Mexique). Cahier Hydrologie continentale Orstom Editions, vol. 9. n°1. 1994
- BOUVIER C., DELCLAUX F. et CRESPIY A. (1996) : ATHYS (ATelier HYdrologique Spatialisé). HydroGis96. Vienne
- BOYER J. F. et al (1994) : PLUVIOM 2.1 Logiciel de gestion des données pluviométriques Laboratoire d'Hydrologie ORSTOM Montpellier
- BRUNET-MORET Y. (1968) : Etude des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. ORSTOM-CIEH. 15 p.
- BRUNET-MORET Y. (1969) : Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie. Cahiers ORSTOM Série Hydrologie, vol. 11. n°3.
- CHAOUI S. (1996) : Hydrogéologie et hydrochimie de la presqu'île du Cap Vert (nappe infrabasaltique et nappe de Thiaroye). Sénégal Rapport de stage ORSTOM Dakar.
- CHAPERON P. (1975) : Étude hydrologique dans la zone de Mbao (1973) ORSTOM Dakar
- CHUZEVILLE B. (1990) : Hydrologie Tropicale et appliquée en Afrique subsaharienne. Collection Maîtrise de l'eau Ministère de la Coopération et du Développement
- DACOSTA H. (1989) : Pluies et écoulements sur le bassin de la Casamance. Thèse de 3ème cycle. Département de Géographie. Université Cheikh Anta Diop de Dakar 278 p.
- DEMOULIN D. (1970) : Etude géomorphologique du massif de Ndiass et de ses bordures. Thèse 3ème cycle. Université de Dakar, 228 p.
- DESBORDES M. (1974) : Modélisations en hydrologie urbaine, Recherches et applications. Laboratoire d'hydrologie mathématique Université des Sciences et Techniques du Languedoc Montpellier.
- DIA B. (1992) : La fixation des dunes au Sénégal. In Actes de l'Atelier de Gorée (27-29 juillet).
- DIAGNE K. (1993) : Assainissement dans la région de Dakar : le cas de Grand Yoff. Mémoire de maîtrise Département de Géographie UCAD

- DIAW B. (1982) : Synthèse des résultats physiques des campagnes de prospection acoustique le long du Plateau continental ouest-africain (1973-82) Archives n° 122 CRODT
- DIENG A. (1994) : Approvisionnement en eau de Dakar. Communication à la Semaine de l'eau.
- DIOP M. A. (1983) : Impact de l'urbanisation sur la transformation des paysages de la grande niaye de Pikine. Mémoire de maîtrise Département de Géographie Université de Dakar 122 pages
- DUBEE G., PEPIN Y. (1994): notice complémentaire de PLUVIOM. Laboratoire Hydrologie ORSTOM Dakar
- DUBRESSON A. (1979) : L'espace Dakar -Rufisque en devenir, de l'héritage urbain à la croissance industrielle. Collection Travaux et Documents de l'ORSTOM n°106.
- EPEEC (1990) : Rapport d'étude sur l'état biologique des baies de Dakar. Projet d'étude, de réhabilitation, de protection et d'aménagement des baies de Dakar. EPEEC/Projet COMARAF (Unesco-Pnud) 48 p.
- FAYE A.(1990) : Réflexions sur les réseaux d'assainissement à Dakar. Thèse de 3^{ème} cycle. ENSUT-UCAD
- FOUQUET P, COSTE C. (sous la direction de) (1978) : Évacuation des eaux pluviales urbaines. Association amicale des Ingénieurs anciens élèves de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
- GUEYE C. (1979) : Contribution à une géographie de la pollution urbaine Le problème de l'évacuation des eaux usées à Dakar Mémoire de Maîtrise de Géographie Université de Dakar 150 p.
- HIEZ G. (1989) : Vecteur régional du MVR, ORSTOM Brasilia.
- HINGRAY B. (1995) : Modélisation spatialisée et hydrologie urbaine dans les pays en voie de développement. Application aux bassins expérimentaux de Ouagadougou. Mémoire de DEA, Université de Montpellier II, ENGREF- ORSTOM
- JANICOT S. (1990) : Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulations quasi-stationnaires durant une phase de transition climatique. Thèse de doctorat Université Paris VI, 178 p. + annexes.
- KANE A. B. (1995) : Répartition spatiale et temporelle des précipitations dans la région de Dakar de 1920 à 1993. Mémoire de maîtrise. Département de Géographie. UCAD 113 p.
- LAAROUBI H. (à paraître) : Les caractéristiques morphométriques des bassins urbains de Rufisque. Mémoire de D.E.A Département de Géographie UCAD.
- LABROUSSE 1969) : Statistiques. Exercices corrigés édition Jouve Paris 6è
- LAHAYE J. P. (1980) : Etude des pluies exceptionnelles consécutives sur la République de Haute Volta. La Météorologie 6^{ème} série n°20 - 21 Mars - Juin 1980.
- LARAQUE A. et al (1995) : SYSEAU (SYStématique des EAUX), logiciel de gestion et d'exploitation de données hydrogéochimiques. Version 1.0 novembre 1995.
- LE BARBE L. (1982) : Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou. Essai d'interprétation théorique. Cahiers ORSTOM Série Hydrologie, vol. 19, n°3, p. 135-204
- LEMOINE L., C. MICHEL (1972) : Essai d'adaptation à l'Afrique Tropicale des méthodes classiques de calcul du débit des ouvrages d'assainissement urbain. Publications du CIEH 35 p.
- LERIQUE J. (1975) : Etude hydrologique du Panthior. Laboratoire d'hydrologie ORSTOM Dakar.
- LEROUX (1983) : Le climat de l'Afrique Tropicale. édition H. Champion / Statkine, Paris - Genève Tome 1 : 636 p., Tome 2 : 250 cartes.
- LIOZOU A (1970) : Initiation à l'analyse statistique. Editions MASSON
- LUBES H. et al (1995) : SAFARHY, logiciel de calculs Statistiques et d'Analyse Fréquentielle Adapté à l'évaluation du Risque en Hydrologie. ORSTOM -Université de Montpellier II
- MADHIA A. (1994) : Stratégie de gestion des ressources en eau en Tunisie. 7^{ème} congrès de l'UADE du 31 janvier au 4 février à Dakar.
- MARTIN A. (1970) : Les nappes de la Presqu'île du Cap Vert. BRGM Dakar. 56 p.
- MBAYE C. (1991) : La variation spatio-temporelle de l'évapotranspiration au Sénégal. Mémoire de maîtrise Département de Géographie, UCAD.
- MEACC (1990) : Rapport de la Mission d'étude et d'aménagement du Canal du Cayor. Septembre 1990
- MICHEL P. SALL M. M. (1980) : Etude du Sénégal : Le Modelé et les sols. Collection Jeune Afrique

- MORIN S. (1973) : Les grès calcaires et grès ferrugineux de la tête de la presqu'île du Cap Vert. In Travaux et Documents de Géographie Tropicale. 28 p.
- MOUSSA A. B. (1988) : Cours sur la collecte des eaux. EIER Ouagadougou
- NDIAYE P. (1975) : La distribution végétale sur les terrains volcaniques de la Presqu'île du Cap Vert (étude biogéographique). Mémoire de maîtrise. Département de Géographie Université de Dakar. 142 p. (Publié dans les Bulletins de l'IFAN 1978).
- NIANG (1995) : Evacuation et traitement des eaux usées urbaines de Dakar - Bilan de la situation, comportements des populations et perspectives d'avenir: premières contributions pour le choix d'un système de traitement des eaux usées urbaines de Dakar par Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels. ISE Faculté des Sciences et Techniques, UCAD Dakar 109 p.
- NIANG F. et al (1992) : Deux problèmes de la région dakaroise : la surexploitation des nappes et l'évacuation des eaux usées. In Actes de l'Atelier de Gorée (27-29 juillet).
- OMS (1971) : Approvisionnement en eau et assainissements de Dakar et ses environs. Rapport Étude des eaux souterraines Tome I, Structure géologique de la presqu'île. (Rapport du Projet Sénégal 3201 Ex 22).
- PINSON J. C. (1964) : Rufisque. Etude de Géographie urbaine. DES Paris.
- RADOUX M. (1994) : Qualité et traitement des eaux. Institut des Sciences de l'Environnement Faculté des Sciences UCAD Dakar. Fondation Universitaire Luxembourgeoise. Arlon Belgique.
- REBERT J. P. (1979) : Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Sc. N°89 CRODT.
- RICHARD-MOLARD J. (1949) : L'Afrique Occidentale Française. Editions BERGER LEVRAULT Paris 1949.
- RODIER J. (1967) : Étude de ruissellement en zone urbaine, in Compte Rendu de la 4^{ème} réunion du Conseil du CIEH. Abidjan. 9 p.
- ROSSIGNOL M. (1973) : Contribution à l'étude du « complexe guinéen ». Centre ORSTOM Cayenne.
- ROY, ELOUARD (1965) : La géologie de la Presqu'île du Cap Vert.
- SAGNA P. (1986) : Etude des lignes de grains en Afrique de l'Ouest. Thèse de 3^{ème} cycle. Université de Dakar.
- SALL M. M. (1971) : Dynamique et morphogenèse actuelles. Contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal Occidental. Thèse de 3^{ème} cycle. Université de Dakar. 295 p. Doc. multigr.
- SALL M. M. (1983) : Dynamique et morphogenèse actuelles. Contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal Occidental. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 604 p.
- SAMB N. (1978) : L'approvisionnement en eau de Dakar. Mémoire de maîtrise de Géographie. Département de Géographie Université de Dakar
- SECK A. (1970). Dakar, métropole ouest-africaine. Mémoire de l'IFAN n°85, 516 p.
- SECK A. A. (1992): Contamination du peuplement benthique et pollution des baies de Dakar. In Actes de l'Atelier de Gorée (27-29 juillet).
- SECK M. (1992) : Dépôts anarchiques de déchets solides à Dakar: perception, aspects géographiques et conséquences environnementales. Mémoire de Maîtrise Département de Géographie UCAD 95 p.
- SIGHIOMNOU D. 1986) : Assainissement pluvial en zone urbaine en Afrique Tropicale. Cas de Yopougon (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Université des sciences Montpellier 254 p.
- VERNIERE M. (1973) : Volontarisme d'état et spontanéisme populaire dans l'urbanisation du Tiers Monde. Formations et évolutions des banlieues dakaroises : le cas de Dagoudane-Pikine. Thèse de 3^{ème} cycle. EPHE-CNRS.
- VERRIERE L. (1965) : La population du Sénégal (aspects quantitatifs). Thèse Faculté de Droit.

Rapports de campagne sur bassins urbains africains

Lomé

- MOYON Y. (1979) : Etude du ruissellement en zone urbaine à Lomé. Rapport des campagnes 1977 et 1978. CIEH- ORSTOM 108 p.
- CIEH-ORSTOM (1984) : Etude du ruissellement en zone urbaine à Lomé. Rapport des campagnes 1979 Ouvrage collectif. 54 p.
- LE BARBE L., WOME K. A. (1984) : Etude du ruissellement en zone urbaine à Lomé. Recueil des données de base. Années 1977, 1978, 1979. CIEH- ORSTOM.

Cotonou

- AFOUDA A. et al (1981) : Etude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Rapport de campagnes 1978. CIEH- ORSTOM. 12 p.
- MILLET B. (1980) : Etude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Rapport de campagnes 1979. CIEH- ORSTOM 120 p.
- LE BARBE L. et al (1985) : Etude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Recueil des données de base. Années 1978 et 1979. CIEH- ORSTOM. 296 p.

Yopougon

- CHEVALLIER P. et al (1983) : Mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). Installation et première campagne. BCEOM- ORSTOM. 60 p.
- CHEVALLIER P. et al (1984) : Mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). 3^{ème} campagne. BCEOM- ORSTOM. 51 p.
- CASENAVE A. et al (1983) : Mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). 2^{ème} campagne. BCEOM- ORSTOM. 32 p.
- CASENAVE A. et al (1984) : Mesures hydropluviométriques en zone urbaine à Yopougon (Côte d'Ivoire). 4^{ème} campagne. BCEOM- ORSTOM. 24 p.

Bamako

- DNHE-CIEH (1985) : Ruissellement - Bamako. 2 tomes 30 p.

Ouagadougou

- LE BARBE L. et al (1978) : Etude du ruissellement sur la ville de Ouagadougou. Rapport de campagne 1978. ORSTOM-CIEH 26 p.

Niamey

- GATHIELIER R. et al (1978) : Les bassins urbains de Niamey Campagne 1978. ORSTOM -CIEH 13 p
- GATHIELIER R. et al (1979) : Les bassins urbains de Niamey Campagne 1979. ORSTOM -CIEH 16 p
- GATHIELIER R. et al (1980) : Les bassins urbains de Niamey Campagne 1980. ORSTOM -CIEH 4 p
- BOUVIER C., GUIGUEN N., PEPIN Y. (1988) : Les bassins urbains de Niamey. Campagne 1987. ORSTOM -CIEH 25 p

Dakar

- BASSEL M., PEPIN Y., THIEBAUX J. P. (1994) : Rapport d'installation d'une station hydrologique de bassin urbain à Dakar. Programme RUES. DEC (ORSTOM) - UCAD 37 p. hors annexe
- BASSEL M. PEPIN Y. (1995) : Rapport de campagne hydrologique de bassin urbain à Dakar. Programme RUES. ORSTOM - UCAD. 59 p.

ILLUSTRATIONS

1 LISTE DES CARTES

Carte 1 - Présentation de la région	11
Carte 2- Les régions géologiques de la Presqu'île	13
Carte 3 - Les sols de la presqu'île de Dakar	19
Carte 4 - L'espace bâti en 1966	42
Carte 5 - L'espace bâti en 1995	43
Carte 6 - Gros collecteurs dans la commune de Dakar	54
Carte 7 - Réseau pluviométrique et zones d'influence des stations	64
Carte 8 - Isohyètes de pluies journalières de période de retour décennale	70
Carte 9 - Isohyètes des hauteurs de pluies annuelles de période de retour décennale	80
Carte 10 - Sites de prélèvement des eaux dans la région	94
Carte 11 - Hypsométrie du bassin versant	133

2 LISTE DES FIGURES

Figure I- Coupe géologique de la presqu'île	13
Figure II- Formation des Mamelles (ROY et ELOUARD 1965)	16
Figure III : Géologie de la presqu'île	18
Figure IV- Coupe structurale de la région de Sébikotane (ORSTOM 1962)	18
Figure V- Le bassin versant du Panethior	33
Figure VI- Bassin versant au pont routier et mare du marigot de Mbao	34
Figure VII- Espace bâti et zones vides en 1993 à Dakar	39
Figure VIII - Isohyètes de récurrence décennale du mois d'août	74
Figure IX - Isohyètes décennales des pluies de septembre	74
Figure X - Récurrences décennales des pluies maximales de 1 et 2 jours consécutifs	87
Figure XI - Isohyètes des moyennes maximales journalières	92
Figure XII - Les modèles de DESBORDES	120
Figure XIII - Description du modèle MERCEDES	124
Figure XIV - Modèle Numérique de Terrain du bassin de Mermoz-Fann	130
Figure XV - Surface drainée par la station amont	131
Figure XVI - Pentés et courbes de niveau	135
Figure XVII - Modèle de drainage naturel du bassin versant	136
Figure XVIII - Modèle de drainage et réseau routier du bassin versant de Mermoz	137
Figure XIX - Types d'occupation des sols dans les zones environnantes du bassin	140
Figure XX - Occupation des sols sur le bassin versant de Mermoz	141
Figure XXI - Bilan hydrologique d'un bassin versant	144
Figure XXII - Évolution du profil en travers durant la saison des pluies	153
Figure XXIII - Pourcentages des volumes moyens journaliers	161
Figure XXIV - Représentation schématique du réseau de drainage	166
Figure XXV - Dispersion des écoulements au niveau du Parc OMVS	167
Figure XXVI : Hyétogramme de la pluie du 13 août 1994	176
Figure XXVII - Séries de graphiques obtenus avec le modèle MERCEDES	181
Figure XXVIII - Reconstitution par MERCEDES des deux crues principales de 1994	183
Figure XXIX : Modèle numérique de terrain de la Commune de Dakar	186
Figure XXX - Classes d'altitude dans la Commune de Dakar	187

3 LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1- Différentes moyennes mensuelles des températures de 1980 à 1995	24
Graphique 2- Comparaison de l'évolution de la Tm mensuelle sur 2 périodes	24
Graphique 3- Évolution comparée de la température et de l'insolation	26
Graphique 4- Évolution annuelle de l'insolation, de l'HR et de la température	27
Graphique 5- Humidité relative et tension de vapeur	28
Graphique 6- Évolutions du type d'habitat à Dakar et à Pikine	40
Graphique 7- Evolution des productions des nappes de la presqu'île de Dakar	50

Graphique 8 - Mode d'évacuation des eaux usées selon les quartiers	58
Graphique 9 - Mode d'évacuation des eaux selon les quartiers	60
Graphique 10- Evolution des pluies cumulées, aux stations RUES.....	66
Graphique 11- Pluies moyennes mensuelles dans la région de Dakar.....	73
Graphique 12- Distribution statistique des pluies mensuelles de juillet à septembre.....	75
Graphique 13 - Variation interannuelle des pluies à Dakar.....	78
Graphique 14- Courbes IDF pour la station de Yoff.....	81
Graphique 15- Courbes HDF pour la station de Yoff.....	82
Graphique 16- Hyétoigrammes de pluies enregistrées aux Parcelles Assainies.....	83
Graphique 17- Ajustement de lois aux pluies maximales journalières de Rufisque.....	86
Graphique 18 - Récurrences décennales des pluies maximales d'1 à 20 jours consécutifs.....	88
Graphique 19 - Ajustement des valeurs réduites de pluies maximales journalières.....	91
Graphique 20- (pour les unités se référer au tableau ci-dessus).....	103
Graphique 21- Crue du 02 août 1995 aux stations 2 et 1.....	104
Graphique 22- Crue du 17 août 1995 aux stations 2 et 1.....	105
Graphique 23- Crue du 23 août 1995 à la station 2.....	106
Graphique 24 - représentation des averses du 13/8 et du 21/9/94 (Intensités en mm/h).....	148
Graphique 25 - Profil en long entre les 2 parois.....	152
Graphique 26 Évolution du profil en travers durant les deux campagnes.....	153
Graphique 27 - Contrôle de l'étalonnage de la station de référence.....	156
Graphique 28 - Courbe d'étalonnage de la station 2.....	156
Graphique 29 - Variation du débit selon les heures de la journée.....	161
Graphique 30 - Variation horaire du débit d'eaux usées à la station 2.....	162
Graphique 31 - Variation horaire et journalière des débits d'eaux usées à la station 1 (octobre 1994).....	162
Graphique 32 - Hydrogrammes des 2 principales crues.....	163
Graphique 33 - Crue du 17/08/1995 à la station 2.....	164
Graphique 34 - débit d'infiltration dans le lit entre S2, S1 et S3.....	165
Graphique 35 - Profil transversal du 25/08/1995 à 19h 39.....	168
Graphique 36 - Profil en travers de la section de jaugeage (02/09/1996).....	169
Graphique 37 - Profil en travers de la station 2 (26/10).....	169
Graphique 38 - Hydrogramme reconstitué par la méthode de BOUVIER (SOW 1994).....	176

4 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1- Informations sur le niveau de vie par quartier à Dakar (Source Nedeco).....	8
Tableau 2- Les formations de la tête rocheuse du Cap-Vert (Source : NDIAYE 1976).....	17
Tableau 3- Répartition des sols sur la tête de la Presqu'île.....	20
Tableau 4- Pluies enregistrées en début et fin de saison pluvieuse d'est en ouest.....	23
Tableau 5- Moyennes intermensuelles et mensuelles des températures à Yoff et à Cambéréne.....	23
Tableau 6- Paramètres thermiques à Dakar-Yoff (1980-1995).....	24
Tableau 7- Evaporation moyenne journalière à la station agroclimatique de Cambéréne.....	25
Tableau 8. Bilan climatique à la station de Dakar-Yoff (1951-80).....	25
Tableau 9- Évaporation moyenne décadaire et journalière en période sèche.....	25
Tableau 10- Évaporation moyenne décadaire et journalière en période humide.....	25
Tableau 11- Moyennes mensuelles d'évaporation piche à Dakar Yoff.....	25
Tableau 12- Moyennes intermensuelles de l'évaporation mesurée à Yoff.....	25
Tableau 13- Moyennes journalières décadaires d'ETPenman (1980-1989).....	26
Tableau 14- Insolation moyenne mensuelle à Dakar-Yoff.....	26
Tableau 15- Moyennes annuelles de l'HR % à Cambéréne.....	27
Tableau 16- Moyennes mensuelles et annuelles de l'HR % à Dakar-Yoff.....	27
Tableau 17- Humidité relative (période 1980 à 1995).....	27
Tableau 18- Tension de vapeur (TV) à la station de Dakar-Yoff.....	27
Tableau 19- Paramètres climatiques à Yoff de 1980 à 1995.....	28
Tableau 20- Estimations de la population de Dakar.....	36
Tableau 21. Populations de 1993 à 2015.....	37
Tableau 22- Projections de l'effectif de la population dakaroise.....	37
Tableau 23- Espaces vides en 1993 dans la commune de Dakar.....	38
Tableau 24- Répartition de l'occupation du sol (superficie en ha).....	39

Tableau 25- Nombre moyen de logements par type d'habitat en 1980 (Source PDU 1980).....	39
Tableau 26- Nombre moyen de logements par type d'habitat (1989).....	40
Tableau 27- Nombre moyen de logements par type d'habitat (en 2001).....	40
Tableau 28- Évolution probable de l'habitat selon le type.....	40
Tableau 29- Évolution de la population de la ville de Rufisque de 1943 à 1973.....	45
Tableau 30- Communes d'arrondissement et conseillers (réforme de novembre 1996).....	47
Tableau 31- Comparaison de données sur les nitrates de la nappe infrabasaltique.....	49
Tableau 32- Comparaison de données de nitrates mesurées sur la nappe des sables.....	49
Tableau 33- Productions des nappes de la Presqu'île de 1985 à 1995.....	49
Tableau 34- Évacuation des eaux usées ménagères selon les quartiers.....	58
Tableau 35- Évacuation des eaux vannes selon les quartiers.....	60
Tableau 36- Totaux pluviométriques annuels et nombre de jours de pluie à Dakar en 1995.....	65
Tableau 37- Station Pluviographique Parcelles Assainies 1389900501 Année 1995.....	66
Tableau 38- Station pluviométrique de Guédiawaye Année 1995.....	67
Tableau 39- Station pluviométrique de Dakar - ORSTOM - Hann Année 1995.....	67
Tableau 40- Hauteurs de période de retour des pluies journalières de l'origine à 1991.....	69
Tableau 41- Observation réelle des pluies de fréquence rare calculée.....	70
Tableau 42- Pluies maximales journalières observées à Dakar.....	71
Tableau 43- Moyennes mensuelles par station.....	72
Tableau 44- Récurrences humides au mois de juillet à Dakar.....	73
Tableau 45- Récurrences humides au mois d'août à Dakar.....	74
Tableau 46- Récurrences humides au mois de septembre à Dakar.....	75
Tableau 47- Pluies mensuelles aux stations expérimentales.....	76
Tableau 48- Pluies annuelles observées à Dakar à partir de 1916.....	76
Tableau 49- Fichier homogénéisé de la pluviométrie annuelle de Dakar.....	78
Tableau 50- Statistiques des pluies homogénéisées.....	79
Tableau 51- Hauteurs fréquentielles des pluies annuelles observées.....	80
Tableau 52- Hauteurs fréquentielles des pluies annuelles homogénéisées.....	80
Tableau 53- Hauteurs fréquentielles des averses sur la période 1974-1991 à Dakar -Yoff.....	81
Tableau 54- Hauteur maximale observée à divers pas de temps aux Parcelles Assainies.....	82
Tableau 55- Intensité maximale des averses tombées aux Parcelles à divers pas de temps.....	83
Tableau 56- Pluies maximales de 1 à 20 jours consécutifs à la station de Pikine.....	85
Tableau 57- Hauteurs récurrentielles de la pluie maximale journalière par année.....	86
Tableau 58- Hauteurs de pluie de 2 jours consécutifs pour différentes périodes de retour.....	87
Tableau 59- Pluies maximales de 1 à 20 jours consécutifs de période de retour décennale.....	87
Tableau 60- Lois adéquates pour les pluies maximales consécutives des stations.....	88
Tableau 61- Corrélations interpostes.....	89
Tableau 62- Valeurs de la station de Pikine.....	90
Tableau 63- Valeurs récurrentielles des valeurs réduites pour les durées de retour retenues.....	91
Tableau 64- Valeurs récurrentielles des données réduites.....	91
Tableau 65- moyennes des pluies maximales journalières de stations de la région de Dakar.....	91
Tableau 66- Composition chimique des eaux à différents points de la région de Dakar.....	98
Tableau 67- Résultats d'échantillonnages du Canal de la Gueule-Tapée.....	101
Tableau 68- MES du canal de Soubédioune.....	101
Tableau 69- Normes de rejets d'eaux usées.....	101
Tableau 70- Composition chimique des eaux du bassin versant le 26 septembre 1994.....	102
Tableau 71- Évolution de la composition chimique des eaux de la crue du 17/08/1995.....	107
Tableau 72- Superficie des états de surfaces représentés sur le bassin versant.....	112
Tableau 73- Débit décennal observé, estimé et calculé par la Formule de CAQUOT.....	117
Tableau 74- Estimation comparée par les formules rationnelle et de CAQUOT.....	117
Tableau 75- Coefficient de correction de l'allongement du bassin.....	118
Tableau 76- Récapitulation des différentes méthodes de calcul.....	125
Tableau 77- Paramètres morphométriques.....	130
Tableau 78- Coordonnées géographiques des sites d'étude.....	145
Tableau 79- Pluies journalières enregistrées à la station de Dakar-ENS.....	146
Tableau 80- Station Pluviographique Dakar-Ens (1389900501 Année 1995).....	147
Tableau 81- Pluies mensuelles à la station de l'ENS et moyennes mensuelles de Dakar Yoff.....	147
Tableau 82- Hauteurs des averses supérieures à 3 mm.....	148

Tableau 83- Intensités des averses supérieures à 3 mm	149
Tableau 84- récurrences des averses du 13/8 et 21/9/94	149
Tableau 85- Indices de Wischmeyer par averse à la station de l'ENS (1994)	149
Tableau 86- Hauteur maximale observée à divers pas de temps sur le bv (averses < 3,0 mm)	150
Tableau 87- Intensité maximale des averses tombées sur le bassin à divers pas de temps	150
Tableau 88- Les débits à la station principale	154
Tableau 89- bilan global de l'écoulement (1994)	158
Tableau 90- Bilan de l'écoulement à la station 1 (les débits sont en l/s)	159
Tableau 91- Bilan de l'écoulement à la station 2	159
Tableau 92- Bilan global sous HYDROM	160
Tableau 93- Les débits d'eaux usées à la station 2	160
Tableau 94- Caractéristiques d'une crue décennale	164
Tableau 95- Estimation de l'évaporation	165
Tableau 96- Superficies évaluées par le traitement numérique	170
Tableau 97- Mesures de pertes du 02/08/1995	171
Tableau 98- Mesures de pertes à la porte d'accès au Point E	171
Tableau 99- Débits observés et corrigés lors de la crue du 02/08/1995	172
Tableau 100- Paramètres d'évaluation des débits maximaux	172
Tableau 101- Temps de transfert des pointes de pluie en pointes de débit	172
Tableau 102- Classification des sols sur le bassin (surface totale = 88.3 ha)	173
Tableau 103- Résultats du test de BURKLI-ZIEGLER	174
Tableau 104- Résultats du test de la formule de CAQUOT	174
Tableau 105- Résultats de la méthode de Caquot corrigée	175
Tableau 106- Test de la méthode RODIER-AUVRAY	175
Tableau 107- Test de la méthode de BOUVIER	176
Tableau 108- Résultats des calculs de débits par différentes méthodes	177
Tableau 109- Détermination du débit de pointe par la formule initiale de Caquot	178
Tableau 110- Débits de pointe obtenus pour différents modèles	178
Tableau 111- Paramètres de calage du modèle de BOUVIER	179
Tableau 112- Épisodes enregistrés à la station 1	180
Tableau 113- Épisodes enregistrés à la station 2	181
Tableau 114- Caractérisation des pluies sur le bassin	181
Tableau 115- Paramètres retenus pour la modélisation	182

5 LISTE DES PHOTOS

Photo 1 (page 29) : Paysages d'une niaye à Guinaw Rail	(Photo Y. PÉPIN)
Photo 2 (page 95) : Canal de Soumbédioune	(Photo M. BASSEL)
Photo 3 (page 95) : Rejets d'eaux usées à Grand Yoff	(Photo K. DIAGNE)
Photo 4 (page 97) : Prélèvement d'eau de nappe sur céane	(Photo Y. PÉPIN)
Photo 5 (page 97) : Écoulement d'eau usée à la station 2	(Photo M. BASSEL)
Photo 6 (page 151) : L'installation de la station hydrologique principale	(Photo M. BASSEL)
Photo 7 (page 151) : La station principale vue du pont	(Photo M. BASSEL)
Photo 8 (page 155) : Dépôts de sable et de latérite devant le Place OMVS	(Photo M. BASSEL)
Photo 9 (page 155) : Ravinement des surfaces nues de l'École Normale Supérieure	(Photo M. BASSEL)
Photo 10 (page 157) : Crue à la station principale	(Photo M. BASSEL)
Photo 11 (page 157) : Jaugeages des eaux usées à la station principale	(Photo M. BASSEL)
Photo 12 (page 188) : Jaugeages des eaux usées à la station amont	(Photo M. BASSEL)
Photo 13 (page 188) : Mare de stockage en face de la station amont	(Photo M. BASSEL)
Photo 14 (page 198) : Inondation fréquente de la Rue Frobenius	(Photo M. BASSEL)
Photo 15 (page 198) : Ravinement constant du terrain de l'École Normale Supérieure	(Photo M. BASSEL)

TABLES DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	2
SOMMAIRE	4
INTRODUCTION GÉNÉRALE	5
APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE.....	7
PREMIÈRE PARTIE PRÉSENTATION DE LA RÉGION.....	10
CHAPITRE PREMIER :LE MILIEU PHYSIQUE	12
1 LES MODELÉS, LA GÉOLOGIE ET L'HYDROGÉOLOGIE	12
1.1 Modelés et Géologie.....	12
1.2 L'évolution géologique de la presqu'île	13
1.2.1 Au Secondaire.....	14
1.2.2 Au Tertiaire.....	14
1.2.3 Au Quaternaire.....	15
1.3 L'Hydrogéologie.....	17
1.3.1 Les grandes lignes structurales	17
1.3.2 Les principaux compartiments	18
1.4 Les sols	19
1.4.1 Les types de sols de la région.....	19
1.4.2 La classification des sols.....	20
2 CLIMAT ET VÉGÉTATION.....	20
2.1 Le climat	20
2.1.1 Les conditions aérologiques : flux et discontinuités.....	20
2.1.2 Les courants marins.....	21
2.1.3 Les unités climatiques	22
2.1.3.1 les conditions pluviogéniques	22
2.1.3.2 les paramètres climatiques.....	23
2.1.3.2.1 la température	23
2.1.3.2.2 l'évaporation	25
2.1.3.2.3 l'insolation	26
2.1.3.2.4 l'humidité relative.....	26
2.1.3.2.5 la tension de vapeur.....	27
2.2 La végétation.....	28
2.2.1 Le couvert végétal original.....	28
2.2.1.1 dans les zones périurbaines.....	29
2.2.1.2 sur la tête de la presqu'île.....	30
2.2.2 Une végétation profondément modifiée.....	31
3 LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE.....	32
3.1 Les conditions de l'écoulement.....	32
3.2 Un réseau hydrographique fossile	32
3.2.1 Le "château d'eau" du massif de Diass.....	32
3.2.2 Les bordures du massif de Diass.....	32
3.2.2.1 le marigot de Panthior	33
3.2.2.2 le marigot de Bargny-Mbott.....	34
3.2.2.3 la Somone	34
3.3 Le réseau à l'ouest de la presqu'île.....	34
3.3.1 Le marigot de Mbao	34
3.3.2 Une série de ruisseaux intermittents	35
CHAPITRE DEUXIÈME	36
OCCUPATION DE L'ESPACE ET APPROVISIONNEMENT EN EAU.....	36
1 L'OCCUPATION DE L'ESPACE.....	36
1.1 La ville de Dakar.....	36
1.1.1 L'effectif de la population dakaroise.....	36
1.1.2 L'évolution de l'espace bâti.....	37
1.1.2.1 estimation du bâti par planimétrie.....	37
1.1.2.2 estimation du bâti par la cartographie automatique.....	41
1.2 Pikine et ses extensions	44
1.3 Rufisque et sa périphérie	44

1.3.1 Le dénombrement de la population	44
1.3.2 Le site de Rufisque	45
1.3.3 L'espace bâti	46
1.4 La réforme de 1996	46
2 L'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET SES PROBLÈMES	48
2.1 Surveillance, traitement et problèmes de qualité de l'eau	48
2.2 Amélioration de l'alimentation en eau	50
CHAPITRE TROISIÈME : RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT	52
ET PROBLÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX	52
1 HISTORIQUE DE L'ASSAINISSEMENT	52
2 LE RÉSEAU ACTUEL D'ÉVACUATION DES EAUX	54
2.1 Les réalisations récentes	54
2.1.1 Le canal du Front de Terre	54
2.1.2 Les radiers submersibles	55
2.2 Le réseau non bâti	55
2.3 Les problèmes du réseau	56
3 PROBLÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX USÉES	56
3.1 Eaux ménagères	57
3.1.1 Les comportements dans les quartiers ciblés	57
3.1.2 Les dispositions législatives	58
3.2 Eaux vannes	59
3.2.1 La situation globale	59
3.2.2 La situation par quartier	60
3.3 L'entretien de l'équipement sanitaire	61
3.4 Impact des rejets d'eaux usées sur la population	61
3.4.1 L'impact sur la santé des populations	61
3.4.2 La perception de l'impact des eaux usées	62
DEUXIÈME PARTIE	63
PLUIES ET COMPOSITION CHIMIQUE	63
D'EAUX DANS LA RÉGION	63
CHAPITRE PREMIER: LES PLUIES DANS LA RÉGION	64
1 LA PLUVIOMÉTRIE	64
1.1 Le réseau pluviométrique	64
1.1.1 Les stations pluviométriques	64
1.1.2 Les aires d'influence	64
1.2 La répartition spatiale de la pluviométrie	65
1.2.1 La distribution des pluies annuelles	65
1.2.2 La distribution des pluies mensuelles	65
1.2.3 La distribution des pluies journalières	66
1.2.4 La densification du réseau	68
1.3 La répartition temporelle des pluies	69
1.3.1 Les pluies journalières	69
1.3.2 Les séries de pluies maximales journalières	70
1.3.3 Les pluies mensuelles	72
1.3.3.1 les séries régionales	72
1.3.3.2 les pluies mensuelles aux stations expérimentales	76
1.3.4 Les pluies annuelles	76
2 LA PLUVIOGRAPHIE	81
2.1 La pluviographie à Dakar Yoff	81
2.2 La pluviographie aux Parcelles Assainies	82
3 LES PLUIES EXCEPTIONNELLES CONSÉCUTIVES	84
3.1 Méthodologie	85
3.1.1 Ajustements des maxima annuels	85
3.1.2 Choix des lois	85
3.2 Résultats des ajustements	86
3.3 Recherche d'une loi à l'échelle régionale	88
3.3.1 Corrélations interpostes	89
3.3.1.1 méthodologie	89
3.3.1.2 résultats des corrélations interpostes	89
3.3.2 Les valeurs réduites	90

3.3.2.1 méthode de constitution des valeurs réduites.....	90
3.3.2.2 distribution statistique des valeurs réduites.....	90
3.3.2.2.1 ajustement par station isolée.....	90
3.3.2.2.2 ajustement des séries régionales de valeurs réduites.....	90
3.3.2.2.3 interprétation des résultats.....	91
3.4 Prédétermination des pluies exceptionnelles d'1 à 20 jours.....	91
3.4.1 Les valeurs récurrentielles.....	91
3.4.2 Les moyennes de pluies maximales journalières.....	91
3.4.3 La prédétermination des pluies exceptionnelles.....	92
CHAPITRE DEUXIÈME: COMPOSITION CHIMIQUE D'EAUX DANS LA RÉGION.....	94
1 MÉTHODOLOGIE.....	94
1.1 Hypothèses.....	94
1.2 Choix des sites.....	96
1.3 Méthodes.....	96
1.4 Les paramètres de caractérisation.....	96
1.4.1 Les paramètres physiques.....	96
1.4.2 Les paramètres chimiques organiques.....	96
1.4.3 Les paramètres chimiques minéraux.....	98
1.4.4 Les paramètres biologiques.....	98
2 INDICATIONS SUR LA QUALITÉ DES EAUX DANS LA RÉGION.....	98
2.1 Bilans chimiques.....	98
2.2 Résultats d'études antérieures.....	100
3 ÉTUDE DE LA POLLUTION SUR BASSIN REPRÉSENTATIF.....	102
3.1 Bilans de crue.....	102
3.2 Réflexions sur des perspectives d'étude de la qualité de l'eau.....	107
4 RISQUES ÉVENTUELS DE POLLUTION DES MILIEUX RÉCEPTEURS.....	108
4.1 Détérioration des eaux de baignade.....	108
4.2 Impact sur la faune marine.....	108
4.3 Pollution des nappes phréatiques.....	109
TROISIÈME PARTIE ÉTUDE DES ÉCOULEMENTS.....	110
CHAPITRE PREMIER : REVUE CRITIQUE DES MODÈLES.....	111
1 LES COMPOSANTES DES MODÈLES.....	111
1.1 Surface et pluie du bassin.....	111
1.2 La question du coefficient de ruissellement.....	111
1.3 Les paramètres de crue.....	112
2 LES MODÈLES DE RUISSÈLEMENT.....	113
2.1 Les formules empiriques.....	114
2.2 La formule rationnelle et ses dérivées.....	114
2.2.1 La forme initiale et les premiers réaménagements.....	115
2.2.2 Le modèle de CAQUOT.....	116
2.2.3 La formule de Lemoine et Michel.....	117
2.3 Test d'adéquation de la formule rationnelle par LE BARBE.....	119
2.4 Les modèles de reconstitution de l'hydrogramme.....	120
2.4.1 Les modèles de DESBORDES et les tests de SIGHOMNOU.....	120
2.4.2 Les travaux de BOUVIER (1990).....	122
3 LES RECHERCHES ACTUELLES.....	123
3.1 La modélisation spatialisée.....	123
3.2 Le modèle MERCEDES.....	123
CHAPITRE DEUXIÈME : PHYSIOGRAPHIE DU BASSIN EXPÉRIMENTAL.....	126
1 RECONNAISSANCE ET CHOIX DES SITES DE MESURE.....	126
1.1 Visites de bassins.....	126
1.1.1 Le bassin versant de la Foire de Dakar.....	126
1.1.2 Le bassin versant de l'aéroport.....	126
1.1.3 Le bassin versant de Ndiongorane-Ngor.....	127
1.1.4 Le marigot de Mbao.....	127
1.2 Les raisons du choix.....	127
2 LA DÉLIMITATION DE LA SURFACE.....	129
2.1 Cartes et reconnaissance de terrain.....	129
2.2 Examen du MNT.....	130
3 L'ÉTUDE DU RELIEF.....	131
3.1 La cartographie élémentaire.....	132
3.1.1 Le nivellement du bassin.....	132

3.1.2 Les cartes	132
3.1.2.1 altitudes et courbes de niveau	132
3.1.2.2 l'hypsométrie du bassin	132
3.2 La cartographie informatique	133
3.2.1 Les MNT	134
3.2.1.1 l'élaboration	134
3.2.1.2 l'utilité des MNT	134
3.2.2 Les cartes thématiques	134
4 L'OCCUPATION SPATIALE	139
4.1 Les quartiers installés	139
4.1.1 Fann Résidence	139
4.1.2 SICAP-Mermoz	139
4.1.3 SICAP Bourguiba	139
4.2 Les autres infrastructures	139
4.2.1 Le complexe scolaire de l'Ecole Normale	140
4.2.2 Le Parc OMVS et les commerces	140
4.2.3 Routes et espaces non bâtis	140
5 L'OCCUPATION DES SOLS DU BASSIN	140
CHAPITRE TROISIÈME LES MESURES HYDROPLUVIOMÉTRIQUES	142
1 OBJECTIFS, MOYENS ET PROBLÈMES DES CAMPAGNES	142
1.1 Objectifs	142
1.2 Moyens	142
1.3 Problèmes	143
2 BILAN DES CAMPAGNES	144
2.1 Les facteurs du bilan hydrologique	144
2.2 Les pluies	145
2.2.1 Le réseau de mesure	145
2.2.2 La pluviométrie	145
2.2.2.1 les pluies journalières	145
2.2.2.1.1 les pluies journalières en 1994	147
2.2.2.1.2 les pluies journalières de 1995	147
2.2.2.2 les pluies mensuelles	147
2.2.2.3 les pluies annuelles	148
2.2.3 La pluviographie	148
2.3 Les débits	152
2.3.1 Les stations de mesure	152
2.3.1.1 les caractéristiques de la station 1	152
2.3.1.1.1 les profils à la station 1	152
2.3.1.1.2 l'étalonnage de la station	153
2.3.1.2 la station amont	156
2.3.2 Le bilan global de l'écoulement	158
2.3.2.1 les eaux usées	160
2.3.2.1.1 les variations journalières du débit	160
2.3.2.1.2 les variations horaires du débit	161
2.3.2.2 les eaux pluviales	163
2.3.2.3 estimation de l'infiltration dans le canal	165
2.4 Observations du ruissellement dans le bassin	166
2.4.1 Le système de drainage	166
2.4.2 La dispersion des écoulements à partir du Parc OMVS	167
3 LES PARAMÈTRES DE LA MODÉLISATION	170
3.1 Évaluation de la surface	170
3.2 La correction des débits	171
3.3 Présentation des paramètres	172
CHAPITRE QUATRIÈME ESSAI DE MODÉLISATION	174
1 LES TESTS DE SOW (1994)	174
1.1 Méthode empirique de BURKEL-ZIEGLER	174
1.2 Méthode de CAQUOT	174
1.3 Méthode de CAQUOT réadaptée par LEMOINE et MICHEL	175
1.4 Méthode ORSTOM RODIER-AUVRAY	175
1.5 Méthode de BOUVIER	175
2 LES TESTS DE BOUVIER ET BASSEL	177
2.1 Modèles de débits de pointe	177
2.1.1 La formule rationnelle modifiée par LEMOINE et MICHEL	177

2.1.2 La formule de CAQUOT.....	177
2.1.3 La formule générale africaine de LEMOINE et MICHEL.....	178
2.2 Les modèles de restitution de l'hydrogramme.....	179
2.2.1 Les paramètres du modèle.....	179
2.2.2 Utilisation du modèle MERCEDES.....	180
2.2.3 Application du modèle.....	180
3 DISCUSSION.....	185
CONCLUSION.....	189
BIBLIOGRAPHIE.....	190
ILLUSTRATIONS.....	194
1 LISTE DES CARTES.....	194
2 LISTE DES FIGURES.....	194
3 LISTE DES GRAPHIQUES.....	194
4 LISTE DES TABLEAUX.....	195
5 LISTE DES TABLEAUX.....	197
TABLES DES MATIÈRES.....	198

ANNEXES

Annexe - I - Paramètres climatiques à Dakar-Yoff (données collectées en décembre 1995)

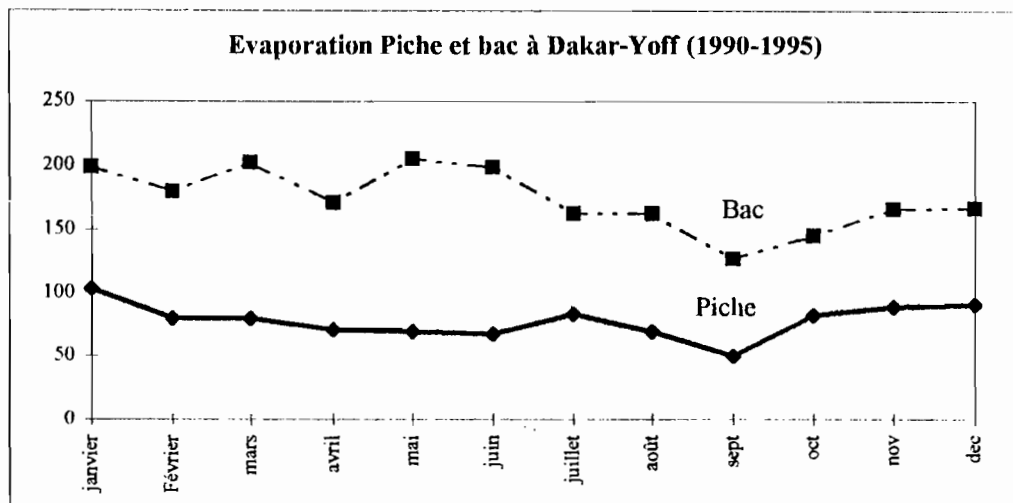
Annexe - I . I Températures de la station synoptique de Dakar-Yoff de 1990 à 1995

	1990	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septem	Octob	Novem	Décem
Moy mens des minima de T°		16,63	17,79	19,66	18,58	19,71	22,18	24,68	25,2	25,5	25,9	23,33	19,77
Moy mens des maxima de T°		21,74	26,2	27,48	24,29	25,16	27,3	29,33	30,39	31,3	31,59	29,25	25,52
Tn+Tx/2		19,19	21,99	23,57	21,44	22,44	24,74	27,01	27,29	28,4	28,75	26,29	22,65
Minimum absolu		15,4	16	17,7	16,5	18	20,3	23,1	22	21,5	21,5	20,1	15
Maximum absolu		26,2	36,3	38,3	27,9	28,2	31,2	31,1	32,8	32,6	33,7	33,1	33
1991													
Moy mens des minima de T°		18,62	17,68	17,1	17,9	18,71	21,82	23,98	24,8	24,89	24,89	23,53	21,27
Moy mens des maxima de T°		24,58	23,88	23,4	24,4	24,26	26,89	28,93	29,6	30,37	30,35	29,8	27,95
Tn+Tx/2		21,6	20,78	20,3	21,1	21,49	24,35	26,45	27,2	27,63	27,62	26,67	24,61
Minimum absolu		17,1	15,4	16,4	16,5	17,1	20,4	21,6	21,5	21	23	21,1	18,3
Maximum absolu		32,7	31	28,8	31,5	31,6	22,8	31	30,5	32,5	33,4	38,2	33,3
1992													
Moy mens des minima de T°		19,5	18,44	17,16	18,03	20,37	23,08	24,38	24,89	24,62	23,85	22,72	20,41
Moy mens des maxima de T°		27,2	23,84	25	23,32	25,94	27,96	28,97	29,97	30,4	30	29,96	26,25
Tn+Tx/2		23,3	21,14	21,08	20,68	23,16	25,52	26,68	27,43	27,51	26,93	26,34	23,29
Minimum absolu		17,5	16,2	15,4	16,6	19	21	21,4	20	21,8	21,4	19,6	18,3
Maximum absolu		35	26,6	30,8	27,5	30,7	30,6	31,5	32,9	32,6	34,4	36,2	33,8
1993													
Moy mens des minima de T°		18,1	17,18	17,9	19,44	20,27	28,84	24,54	24,86	24,48	24,55	20,57	19,03
Moy mens des maxima de T°		24,7	23,56	24,4	25,04	25,8	28,65	30,13	30,72	30,7	30,62	26,47	26,51
Tn+Tx/2		21,4	20,37	21,15	22,24	23,03	25,75	37,34	27,79	27,59	27,59	23,52	22,77
Minimum absolu		16,4	16,5	16,4	17,9	18,5	19,3	22	20,5	20,9	21,8	17,8	17,6
Maximum absolu		29,5	26,3	31,5	32,8	28,8	30,8	31,6	31,9	33	32,7	29,9	34,7
1994													
Moy mens des minima de T°		16,68	16,13	17,4	18,36	19,41	22,27	23,98	24,88	25,02	24,5	23,14	20,88
Moy mens des maxima de T°		24,63	24,81	24,11	25,43	25,53	27,8	29,56	29,62	29,9	30,5	29,61	29,56
Tn+Tx/2		20,65	20,47	20,57	21,89	22,47	25,03	26,77	27,25	27,46	27,5	26,38	25,22
Minimum absolu		14,6	14,4	15,6	16,6	18,2	20,09	22	22,4	23,5	23,5	19,4	18,5
Maximum absolu		31	31,9	27,9	34,4	28,4	29,9	32,8	31,5	31,1	35,5	36,9	35
1995													
Moy mens des minima de T°		17,98	18,16	17,65	18,56	20,79	21	25,68	24,99	24,84	24,9	22,15	20,11
Moy mens des maxima de T°		25,72	26,16	23,28	23,99	26,01	28,34	30,68	30,05	31,16	31,87	31,72	27,34
Tn+Tx/2		21,85	22,16	20,47	21,27	23,4	25,79	28,18	27,52	28	28,39	26,94	23,73
Minimum absolu		16	15,2	16,6	17,1	18,3	21	23	22,4	21,8	22	18,3	14,8
Maximum absolu		32,2	38	25,2	26,6	29,3	30,9	32,3	31,1	32,5	37	37,4	36

Annexe - I . 2 Évaporation moyenne (bac et piche) à Yoff

	1980-89	janvier	Février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	dec
1990	Piche	89,9	87,8	94,7	70,7	71,5	62,5	76,7	73,4	67,7	70,1	99,4	88,1
	Bac	207,5	193,3	233,8	235,9	237,9	206,2	195,8	178,9	155,1	126,8	189,1	207,5
1991	Piche	82,8	75,7	69,2	70,4	63,9	61,2	82,7	71,8	56,4	89,5	114,3	112,7
	Bac	173,9	197,3	206,9	206,7	200,5	206,7	198,8	176,3	168,6	191,3	217	165,8
1992	Piche	97,3	67,4	91,8	68,6	66,2	74,3	78,3	72,5	59	96,7	135,3	103,1
	Bac	173,8	149,9	174	184	173,6	200,4	185,2	167,5	159	187,6	223,2	179,2
1993	Piche	105,9	73,2	74,9	66,9	85,3	68,2	83,7	73,7		73,3	88,8	107,7
	Bac	197,8	169,2	205	194,5	214	190		161,1		171,1	184,6	195,1

1994	Piche	115	86,7	81,8	82	63,1	68,9	88,3	59,9	59,3	81,8	94,2	133,7
	Bac	205	176,9	196,1		191,5	180,5	192,6	137,3	158,6	190,6	179	248,3
1995	Piche	128,4	87,4	64,2	65,9	64,4	67,4	87,8	64,6	54,7	81,4	86	86
	Bac	232,4	186,1	194,4	201,3	213	205,3	197,1	149,8	118,2			173
Moy	Moy bac	198,4	178,8	201,7	170,4	205,1	198,2	161,6	161,8	151,9	173,5	198,6	194,8
	Moy Piche	103,2	79,7	79,4	70,8	69,1	67,1	82,9	69,3	59,4	82,1	103,0	105,2
	Moy bac	198,4	178,8	201,7	170,4	205,1	198,2	161,6	161,8	151,9	173,5	198,6	194,8
	Moy Piche	103,2	79,7	79,4	70,8	69,1	67,1	82,9	69,3	59,4	82,1	103,0	105,2



Annexe - I . 3 Insolation

	janvier	Février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	dec
1990	178	226	218	270	315	245	229	235	249	236	228	278
1991	152	234	297	296	260,4	200	192	216	189	249	230	180
1992	226	232,7	244	246,1	210	225	230	226,5	203,7	269	183,4	231,2
1993	174	226	278	269	267	236	212	239	219	236	240	234
1994	243	242	264	250	271	244	228	157	218	281	227	225
1995	248	213	303	317	313	272	237	210	217	263	264	215
	203,5	228,95	267,333	274,683	272,733	237	221,333	213,917	215,95	255,667	221,68	229,64

Annexe - II - Le marigot du Panthior

Annexe - II . 1 : Suivis de l'Orstom

Annexe - II . 1a Bilan hydrologique de 1962

Cours d'eau: Panthior. Station Principale: village de Panthior.

Superficie: 93,2 km², Pente moyenne: 1,9 %, Longueur: 17,2 km

Caractéristiques	Année décennale sèche	Année moyenne	Année décennale humide
Pluie moyenne	380 mm	640 mm	1000 mm
Lame d'eau écoulée	3,8 mm	32 mm	120 mm
Déficit d'écoulement	376,2 mm	608 mm	880 mm
Coefficient d'écoulement	1°	5%	12°
Pluie annuelle ponctuelle		80 mm	135 mm
Crue maximale		20 m ³ /s	60 m ³ /s-1
Volume écoulé	< 0.35.106 m ³	3.106 m ³	< 11.106 m ³

Annexe - II . 1b Pluies mensuelles et bilan hydrologique de 1975 (nouvelle station à Bounga Bambara).

juin	juillet	août	septembre	octobre	total
0	217,8	226,9	231	11,4	687,1

Cours d'eau PANTHIOR		Caractéristiques Année 1975	
Superficie du bassin versant	88.5 km ²	Pluie moyenne	687.1 mm
Périmètre	43.5 km	Lame d'eau écoulée	28 mm
coefficient de compacité	1.29	Déficit d'écoulement	659.1 mm
Pente moyenne	%	Coefficient d'écoulement	4,1 %
Station Principale	Bounga Bambara	Pluie annuelle ponctuelle	114 mm
Longitude 17°10'W	Latitude 14°45'N	Crue maximale	18.120 m ³
Altitude du zéro de l'échelle	6.249 m IGN	Volume écoulé	2.5 10 ⁶ m ³

(Source : LERIQUE J. 1975)

Annexe - II . 2 : Suivis de l'Hydraulique

Les informations suivantes sur le suivi de la station par l'Hydraulique ont été consignées dans les annuaires hydrologiques de l'ORSTOM. Le suivi comporte beaucoup de lacunes.

1975-76: non retrouvé

1976-77: 26 mesures de débit, courbe de tarage provisoire à contrôler surtout en basses eaux (à cause du rechargement des seuils). Le 19/09: un Q_{moyen} de $0,390 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ avec $H = 1,03 \text{ m}$. Le 26/09 un Q_{moyen} de $0,250 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ avec $H_{échelle} = 0,98 \text{ m}$.

1978-79: des enregistrements de mauvaise qualité finalement non pris en compte,

1979-80: Hauteur maximale enregistrée: 129 cm. Étiage à partir du 11/10/1979.

1980-81: Écoulement en Août et Septembre, 95 cm de hauteur maximale le 12/08, Actualisation de la courbe de tarage.

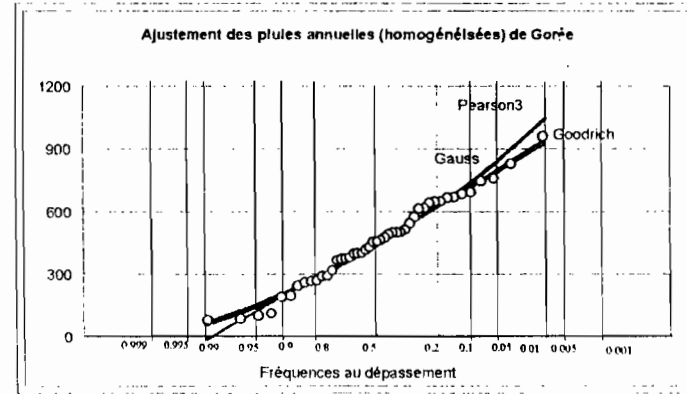
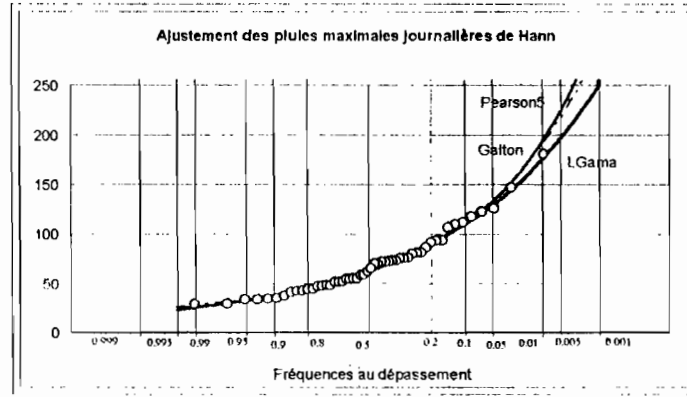
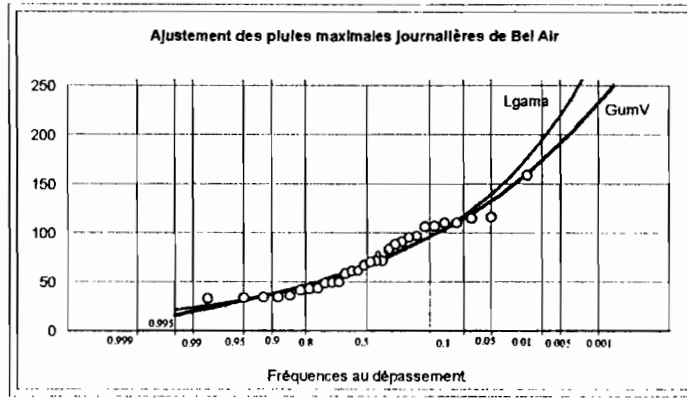
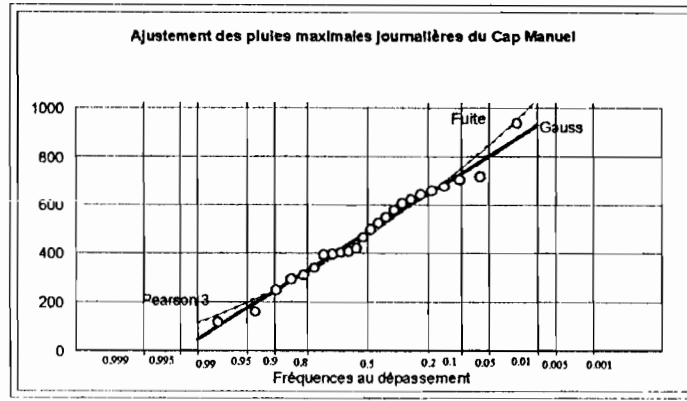
1981-82: appareil défectueux et écoulement épisodique non enregistré; H à 29 cm le 24 juillet.

1982-83: Écoulement épisodique en août et septembre (maximum 111 cm). Lit à sec le reste de l'année.

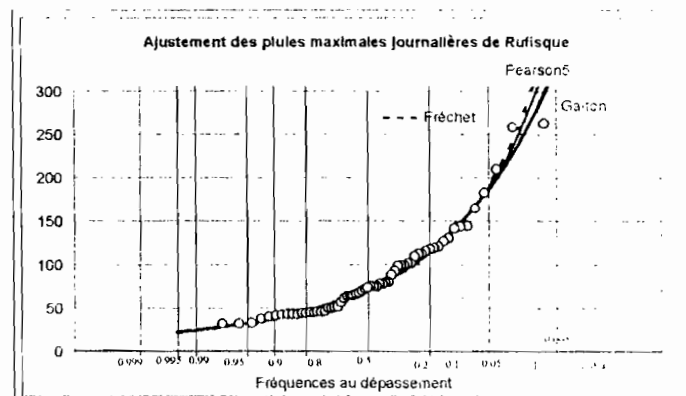
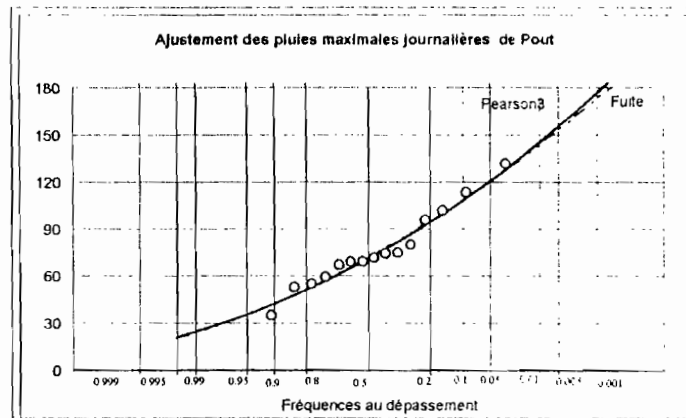
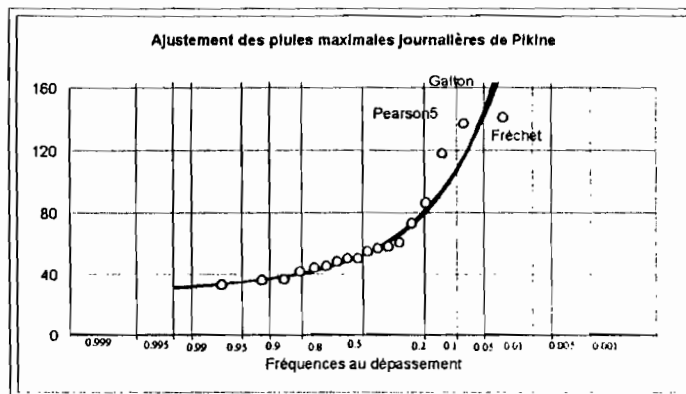
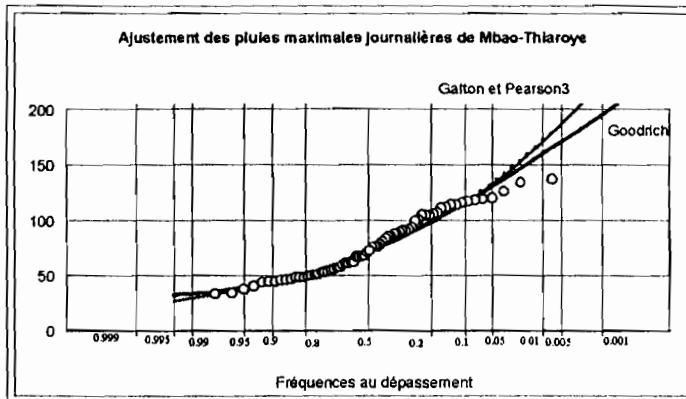
Quelques mesures de débit ont donné les résultats suivants: Module: $0,016 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $Q_{spécifique}$: $0,1811 \text{ l/s}$, Volume annuel écoulé: $0,0005 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, Lame d'eau: 5,7 mm

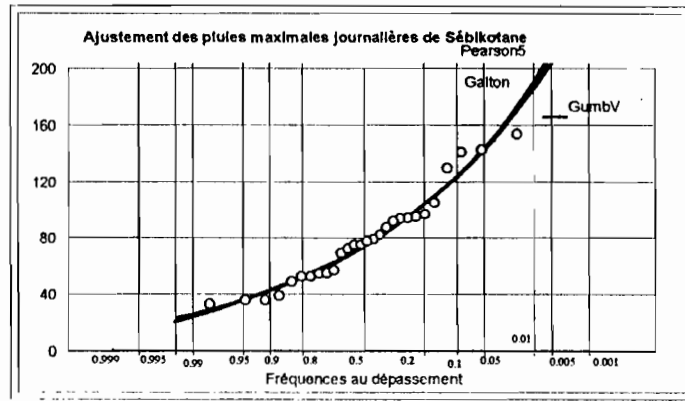
1984-85: Hauteur maximale observée le 15/09/1984 avec 154 cm à l'échelle pour un débit de $2,22 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Les relevés limnimétriques moyens journaliers indiquent une présence d'eau sur la rivière du 08 août au 1^{er} novembre.

Nous n'avons pas retrouvé de bilan sur la période de 1985 à aujourd'hui. Le Panthior fait cependant l'objet d'un mémoire de maîtrise qui apportera certainement plus d'informations.



Les données homogénéisées ont été tirées de KANE A. B. (1995)





Annexe - IV . 3 Tableaux des hauteurs récurrentielles de 3 à 20 jours consécutifs

Annexe - IV . 3a Pluies maximales de 3 jours consécutifs

Station	Lois adéq	Moy	EType	0,5	0,8	0,9	0,925	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
				2ans	5ans	10ans	15ans	20ans	25ans	30ans	50ans	100ans
Pikine	Pearson5	86,4	37,2	74,7	107,8	136,6	150,0	170,6	183,0	199,9	226,1	278,3
	Frechet			74,8	107,4	136,4	150,1	171,5	184,4	202,4	230,6	287,8
Pout	GumV	96,1	37,6	90,3	122,7	144,1	152,7	164,7	171,2	179,5	191,3	211,2
	Pearson5			90,2	122,2	143,2	151,6	163,3	169,7	178,0	189,6	209,7
Rufisq	Pearson3	113,6	59,3	100,7	156,1	193,3	208,2	228,6	239,7	253,8	273,4	306,4
	Galton			99,9	153,6	192,4	208,7	231,9	244,9	261,8	286,2	329,3
Sébik	Pearson3	103,4	41,4	99,0	136,3	158,5	166,8	178,1	184,1	191,6	204,7	218,5
	Fuite			99,2	136,5	158,3	166,5	177,5	183,3	190,6	200,4	216,5
Bel Air	Polya	100,6	43,7	94,0	134,6	158,0	167,0	180,0	187,0	196,0	196,0	196,0
Hann	Galton	93,7	39,8	86,2	122,1	146,4	156,3	170,1	177,7	187,4	201,3	225,1
Yoff	Good	99,0	49,8	86,5	133,5	169,2	182,2	200,0	209,6	221,6	238,3	265,9
MBath	Frechet	116,7	112,6	97,1	146,1	185,4	202,9	229,2	244,4	265,1	296,2	355,5

Annexe - IV . 3b Pluies maximales de 4 jours consécutifs

Station	Lois adéq	Moy	Ect T.	0,5	0,8	0,9	0,925	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
				2ans	5ans	10ans	15ans	20ans	25ans	30ans	50ans	100ans
Pikine	Frechet	93,4	45,1	78,7	115,1	149,6	166,5	193,4	210,1	233,6	271,5	351,3
	Pearson5			78,7	115,7	149,7	166,0	191,5	207,0	228,7	263,0	332,9
Pout	Galton	104,4	39,0	99,6	133,3	154,2	162,3	173,4	179,3	186,8	197,3	214,7
	Pearson3			99,4	133,9	154,9	162,9	173,8	179,6	187,0	197,0	213,5
Rufisq	Galton	123,5	62,0	113,4	170,6	205,4	219,8	239,7	250,5	264,4	283,8	316,8
	Pearson3			113,3	169,2	206,8	220,9	240,1	250,4	263,5	281,4	311,3
Sébik	Good	116,9	44,8	98,7	153,6	158,9	166,9	177,5	183,0	189,8	199,0	213,6
	Pearson3			121,3	152,6	186,4	195,4	207,5	213,8	221,8	232,6	250,2
Bel Air	fuite	109,9	48,0	104,9	147,6	172,9	182,4	195,2	201,9	210,4	221,9	240,7
Hann	Pearson5	100,6	45,1	90,9	129,9	158,1	169,9	187,0	196,6	209,2	227,6	260,6
Yoff	Good	109,9	54,2	96,1	147,5	187,1	201,4	221,0	231,5	244,8	263,2	293,6
MBath	Pearson3	113,8	43,8	107,1	147,9	173,4	183,3	196,7	203,9	212,9	225,4	246,1
	Galton			107,6	147,2	172,2	182,0	195,4	202,6	211,8	224,6	246,1

La récurrence de Mbao-Thiaroye pour 100 ans présente une situation d'anomalie: elle est plus élevée en 3 jours consécutifs qu'en 4 jours. On constate aussi que la loi d'ajustement n'est pas la même.

Annexe - IV . 3c Pluies maximales de 5 jours consécutifs

Station	Lois adéq	Moy	Ect T.	0,5		0,8		0,9		0,925		0,95		0,96		0,97		0,98		0,99	
				2ans	5ans	10ans	15ans	20ans	25ans	30ans	50ans	100ans									
Pikine	Galton	99,8	45,7	84,1	126,0	163,2	180,4	206,4	221,8	242,6	274,1	334,2									
	Pearson5			84,0	124,0	162,0	180,4	209,6	227,5	252,8	292,9	376,6									
Pout	Peasonr3	114,7	40,7	111,0	146,3	166,9	175,3	185,1	190,6	197,4	206,8	222,0									
Rufisq	Galton	138,8	65,3	127,8	187,0	225,7	241,2	262,7	274,4	289,4	310,5	346,4									
	GumV			128,0	186,5	225,3	240,9	262,5	274,3	289,4	310,7	346,7									
Sébik	Fuite	125,4	46,2	121,1	163,5	186,8	195,8	207,9	214,3	222,2	233,1	250,6									
	GumV			151,4	162,4	245,5	260,5	281,4	292,8	307,4	328,0	362,8									
Bel Air	galton	115,7	49,7	108,0	153,0	181,8	193,2	209,0	217,5	228,4	243,6	269,3									
Hann	Pearson5	109,1	48,3	97,0	139,0	171,3	185,4	206,1	218,0	233,8	257,4	301,0									
Yoff	Good	117,9	56,4	105,4	161,1	196,7	210,5	229,3	239,3	251,9	269,1	297,4									
MBath	Peasonr3	125,0	49,2	117,2	163,0	191,8	202,9	218,1	226,2	236,5	250,7	274,1									

Annexe - IV . 3d Pluies maximales de 10 jours consécutifs

Station	Lois adéq	Moy	Ect T.	0,5		0,8		0,9		0,925		0,95		0,96		0,97		0,98		0,99	
				2ans	5ans	10ans	15ans	20ans	25ans	30ans	50ans	100ans									
Pikine	Frechet	118,9	53,5	104,9	148,7	184,3	200,3	224,3	238,4	257,5	286,3	341,8									
	Pearson5			105,0	149,6	185,1	200,8	224,2	237,8	256,0	283,4	335,1									
Pout	Peasonr3	141,9	44,0	138,6	176,9	198,8	207,0	218,0	223,8	230,9	240,7	256,5									
Rufisq	Galton	182,1	84,0	169,8	244,9	292,6	311,4	337,2	351,1	368,9	393,7	435,5									
	Peasonr3			169,6	246,5	294,3	312,8	337,9	351,3	368,3	391,6	430,2									
Sébik	GumM	161,1	61,6	150,9	207,3	241,4	255,9	276,0	287,0	301,0	320,8	354,3									
	Galton			181,8	208,3	284,8	300,1	320,9	332,1	346,4	366,0	399,0									
Bel Air	Polya	153,3	62,0	147,2	202,2	234,4	246,5	262,7	271,3	281,9	296,5	320,1									
Hann	Peasonr3	142,0	59,8	129,5	187,3	225,4	240,5	261,3	272,5	286,7	306,5	339,6									
Yoff	Good	151,7	64,2	142,6	203,6	239,4	252,7	270,5	279,8	291,4	307,0	332,0									
MBath	Peasonr3	169,6	66,5	160,5	221,9	259,6	274,0	293,6	304,1	317,2	335,3	365,0									

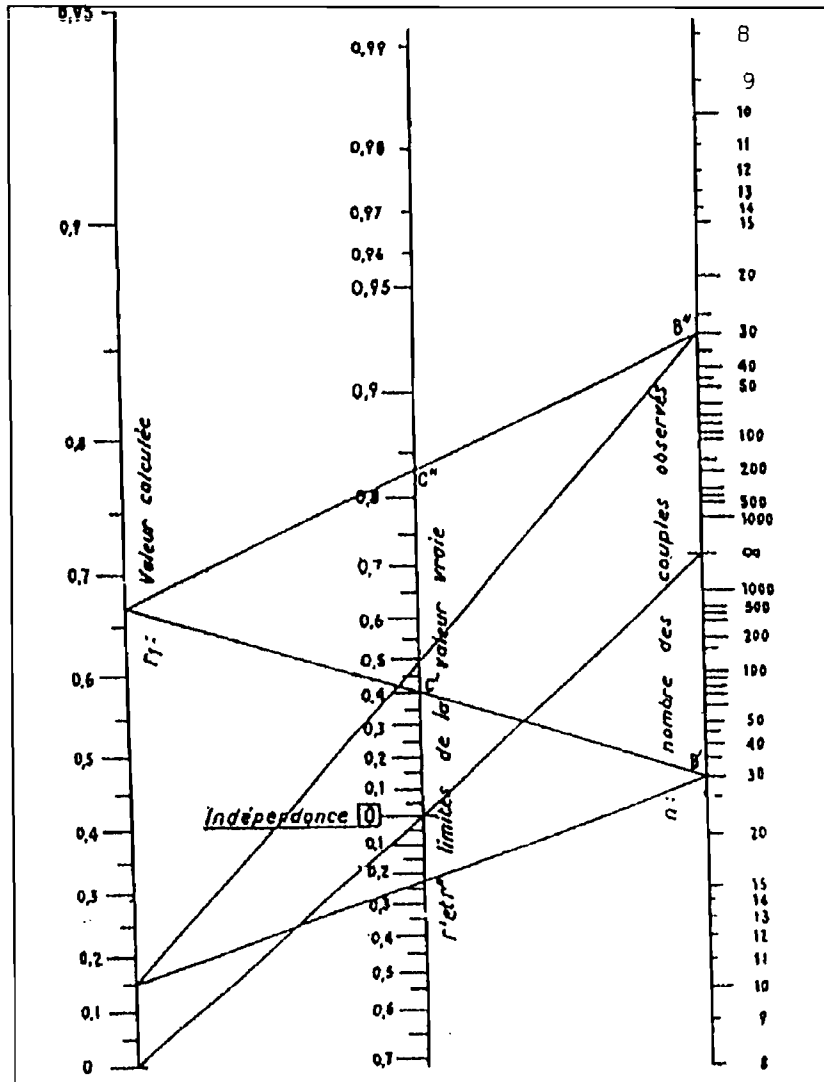
Annexe - IV . 3e Pluies maximales de 15 jours consécutifs

Station	Lois adéq	Moy	Ect T.	0,50		0,80		0,90		0,93		0,95		0,96		0,97		0,98		0,99	
				2ans	5ans	10ans	15ans	20ans	25ans	30ans	50ans	100ans									
Pikine	Galton	141,0	63,9	125,8	184,5	227,4	245,4	271,1	285,5	304,4	331,5	379,8									
	Pearson5			126,1	183,5	226,1	244,3	270,7	285,7	305,5	334,5	387,4									
Pout	Galton	175,8	66,7	167,7	225,8	261,7	275,7	294,7	304,9	317,8	335,7	365,7									
	Peasonr3			169,2	226,3	260,2	273,1	290,3	299,5	310,9	326,7	352,2									
Rufisq	Galton	212,8	92,6	199,7	282,9	335,5	356,1	384,4	399,6	419,1	446,1	491,7									
	Peasonr3			199,7	284,4	336,6	356,8	384,1	398,7	417,1	442,5	484,2									
Sébik	Peasonr3	190,8	71,5	182,5	245,4	284,4	299,0	318,6	329,1	342,2	360,2	389,7									
	Galton			203,5	246,1	319,8	337,2	360,8	373,6	389,8	412,2	449,7									
Bel Air	polya	184,8	72,2	175,0	240,6	280,0	295,0	316,0	316,0	316,0	316,0	316,0									
Hann	Good	173,6	70,4	158,7	228,7	272,8	289,8	312,8	325,0	340,3	361,2	395,4									
Yoff	Good	177,4	72,5	164,9	235,2	277,9	294,0	315,6	327,0	341,2	360,5	391,7									
MBath	Peasonr3	199,6	74,1	192,9	258,9	297,4	312,0	331,4	341,6	354,5	371,9	400,4									

Annexe - IV . 3f Pluies maximales de 20 jours consécutifs

Station	Lois adéq	Moy	Ect T.	0,5	0,8	0,9	0,925	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
				2ans	5ans	10ans	15ans	20ans	25ans	30ans	50ans	100ans
Pikine	GumM	168,1	62,9	157,8	213,4	250,3	265,0	285,6	296,8	311,2	331,3	365,6
	Pearson5			158,0	213,8	250,4	265,1	285,7	296,9	311,4	331,8	367,0
Pout	Pearson5	194,8	70,3	181,6	242,2	284,0	301,2	325,5	339,1	356,7	381,9	426,3
	GumV			183,2	241,1	279,9	295,4	316,9	328,7	343,7	364,8	400,7
Rufisq	Fuite	243,7	106,5	232,4	327,5	383,6	404,8	433,2	448,2	467,0	492,6	534,3
	Pearson3			228,0	326,8	388,0	411,7	443,7	460,9	482,5	512,2	561,3
	Galton			228,3	325,5	387,2	411,4	444,6	462,6	485,5	517,4	571,1
Sébik	Pearson3	214,0	80,9	203,9	277,1	320,4	337,3	360,1	372,2	387,4	408,3	442,7
Bel Air	Polya	209,5	83,3	201,3	275,8	319,3	335,7	357,7	369,2	383,7	403,5	435,5
Hann	Polya	201,9	80,1	191,0	263,0	308,0	325,0	348,0	360,0	375,0	397,0	431,0
	Galton			189,5	262,5	309,4	328,0	353,5	367,3	385,0	409,7	451,5
Yoff	Good	205,6	90,1	190,8	277,3	329,5	349,2	375,5	389,4	406,7	430,1	468,1
MBath	Pearson3	229,2	88,9	221,0	300,3	346,5	366,7	387,3	399,7	415,1	436,1	470,3

Annexe - IV . 4 L'abaque de LIORZOU 1966



L'utilisation est très simple et le résultat immédiat: on porte la valeur calculée de r sur l'échelle gauche (point A) et sur celle de droite les deux points B et B' correspondants à la valeur de n (nombre de couples). En

joignant AB et AB', on détermine sur l'échelle du milieu les points C et C' délimitant la zone dans laquelle se trouve la valeur vraie du coefficient de corrélation, avec une probabilité de 95%. Si le segment CC' n'englobe pas la valeur 0, qui caractérise l'indépendance des deux caractères, la corrélation est alors significative. Cependant si le 0 est compris dans le segment CC', les trois hypothèses possibles (corrélation négative, indépendance, corrélation positive) demeurent.

Annexe - V - Corrélations par EXCEL

Avec l'ordinateur, c'est la fonction DROITEREG qui permet d'obtenir aisément les différents paramètres. Il suffit de saisir sous EXCEL en deux colonnes les valeurs des années communes des deux stations, donc sans lacune. On sélectionne ensuite une plage de 8 à 10 carreaux selon le nombre de paramètres voulus. On tape alors l'équation suivante:

= (DROITEREG; B1-B20;A1-A20;VRAI;VRAI). On valide avec CTRL+SHIFT+ENTREE: les paramètres apparaissent sur les plages sélectionnées. Les deux premiers sont a et b, le cinquième représente R².

Il faut cependant remarquer que l'on mettra FAUX;VRAI si b = 0, c'est à dire dans le cas où la droite passe par l'origine. Ceci signifie en fait qu'à chaque fois qu'une pluie est enregistrée sur une station, elle le sera à l'autre station.

Annexe - VI - Dépouillement des pluviogrammes sous Pluviom

Les pluies sur le bassin versant sont enregistrées sur des pluviogrammes par un pluviographe. Après chaque pluie, il faut relever par le seau la quantité tombée et remettre un nouveau diagramme. Le pluviographe utilisé ici est de marque Précis Mécanique avec un tambour à rotation journalière, une bague de 400 cm², les augets basculent à 0.5mm de pluie. Le dépouillement se fait au laboratoire par le logiciel PLUVIOM. Un ensemble de procédures est suivi avant d'obtenir les résultats. Il faut d'abord créer un répertoire pour la station en introduisant l'Historique de l'appareillage.

Les champs de la grille à remplir sont dans l'ordre suivant:

Station	= numéro pluviographe 10 chiffres
Début	= jour mois année heure minute (début de validité)
Fin	= jour mois année heure minute (fin de validité)
Type d'appareil	= Précis mécanique oui SIAP
Superficie bague	= 400 cm ²
Système enregistrement pluie	= auget
Equivalence UC	= 5 (hauteur en 1/10 mm par basculement d'auget)
Système Enregistrement Temps	= tambour ou table
Durée d'enregistrement	= jour, hebdomadaire, mensuel
Unité mesure de Temps	= 155
Code Précision	= 4 (suivant la vitesse d'avancement du tambour)
Code cumul	= 1 (inscription continue)
Rayon	= 1800 (signe + si le centre du cercle se trouve en temps croissant; signe - si le centre du cercle se trouve en temps décroissant)
Longueur enregistrement	= 4000 (longueur de l'enregistrement du diagramme sur les pluviographes à tambour, cette valeur peut être sa circonférence. (Attention à la dilatation du papier et du recouvrement de la barrette)
Valeur UT	= 2329 en (1/10 mm) (voir exemple)
Amplitude	= 1100 en (1/10 mm) (largeur du graphique)
Comptage UC	= 100 (nombre de basculements sur une amplitude graphique)

Avec la table à digitaliser, on numérise la courbe d'enregistrement de la pluie après avoir rempli plusieurs cages: le numéro de la station, l'année, les jours et heures de départ et d'arrêt, la hauteur seau, ensuite lacune, arrêt, précis, qualité, hauteur, axe et enfin les points X et Y représentant le plus long segment sur la feuille. Ensuite, on saisit les différents basculements sur l'enregistrement avec le numériseur. Il faut noter que le clavier n'est pas utilisé pendant ces opérations, les chiffres sont introduits à l'aide d'un cadran collé sur la table. Le signe * signifie la fin de la saisie et affiche le tableau des données numérisées. Le OK permet

d'enregistrer la saisie. PLUVIOM donne les indices de Wischmeyer par averse ; ce sont des indications sur la capacité d'érosion des sols par les averses.

Annexe - VII - Définitions utiles sur les averses

On appelle *averse* "une période de forte pluie ininterrompue qui dure rarement plus de quelques heures. Pour les questions de drainage urbain, on s'intéresse plus à son intensité maximum calculé sur des intervalles allant de 20 minutes à une heure".

Le *hyétogramme* est une courbe qui donne par un graphique en échelons, l'intensité moyenne i de la pluie, en fonction du temps.

Le terme pluie renferme plusieurs notions dérivées parmi lesquelles on peut retenir:

- la *pluie effective* qui représente la tranche de hauteur d'eau qui touche directement le sol.
- la *pluie nette* qui est la hauteur de pluie nette assurant le ruissellement superficiel direct.
- la *pluie efficace* est quant à elle, la hauteur totale de la lame d'eau reçue par le bassin, pendant la seule durée de la pluie nette; elle est égale pour la période particulière considérée, à la hauteur de la pluie nette augmentée de celle afférente aux pertes de l'averse.
- les *pertes de l'averse* sont représentées par la hauteur d'eau absorbée par infiltration dans le sol et celle correspondant au stockage dans les dépressions superficielles.

Les ouvrages d'évacuation des eaux en milieu urbain sont dimensionnés par rapport à une "averse - type" de probabilité déterminée. La meilleure protection serait celle contre la précipitation la pluie intense possible pouvant survenir au cours d'une durée indéterminée. Elle coûterait économiquement trop chère. L'averse décennale est en général prise en compte, avec en prévision, des corrections car l'imperméabilisation par l'occupation de plus en plus importante participe à la baisse de la capacité d'évacuation des collecteurs. Il y a alors lieu de définir les données suivantes:

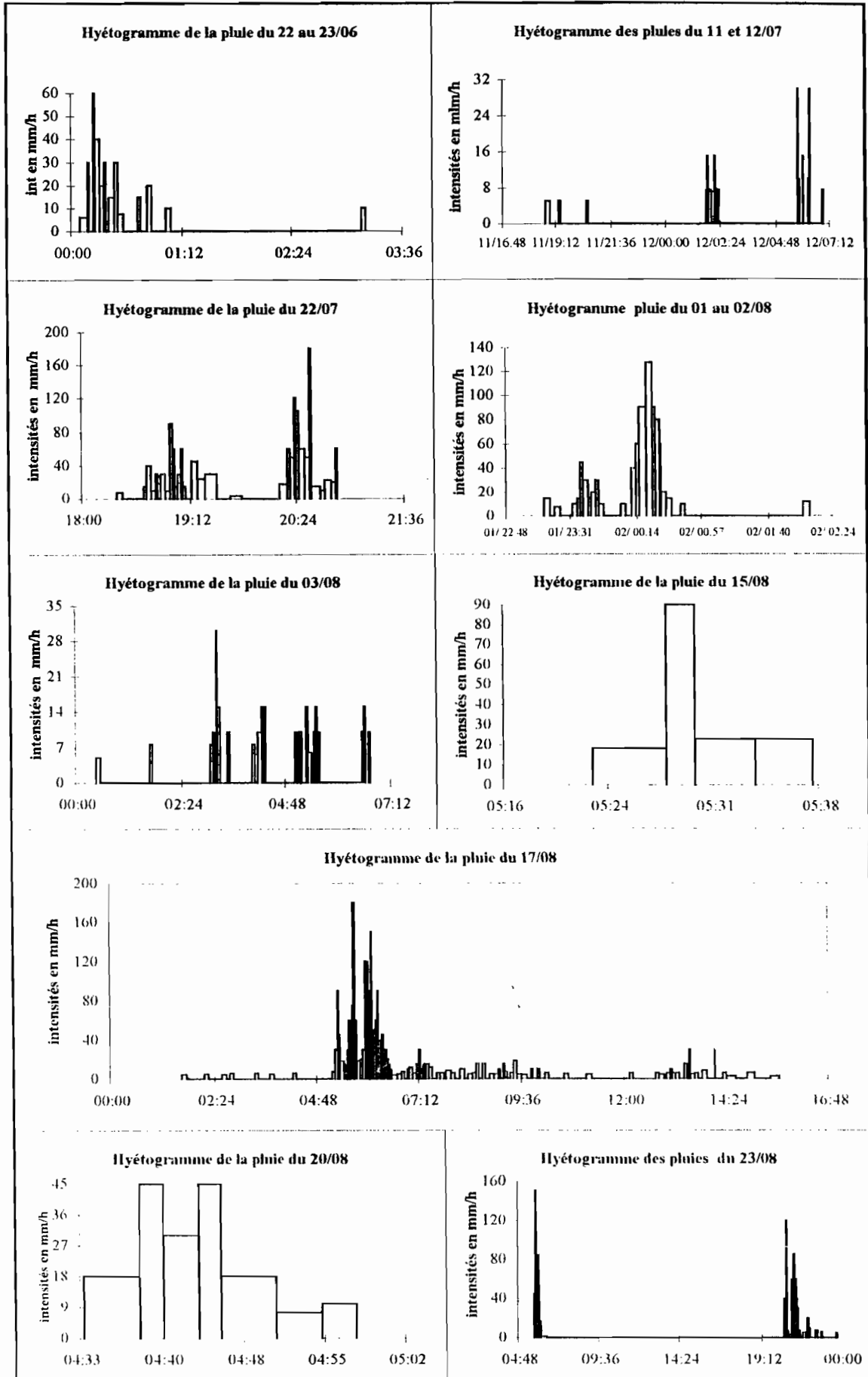
- l'*intervalle de référence* ou *pas de temps* t , est la durée prise en compte dans le cours d'une averse, pour le calcul de l'intensité.
- la *fréquence* F de l'averse d'étude est le rapport entre le nombre m de fois que l'on a enregistré cette averse sur le nombre d'années de la période d'observation n : $F = m / n$
- l'*intervalle de récurrence* ou *période de retour* T est le nombre d'années au cours duquel, en moyenne, l'averse - type surviendra une fois: $T = 1 / F = n / m$

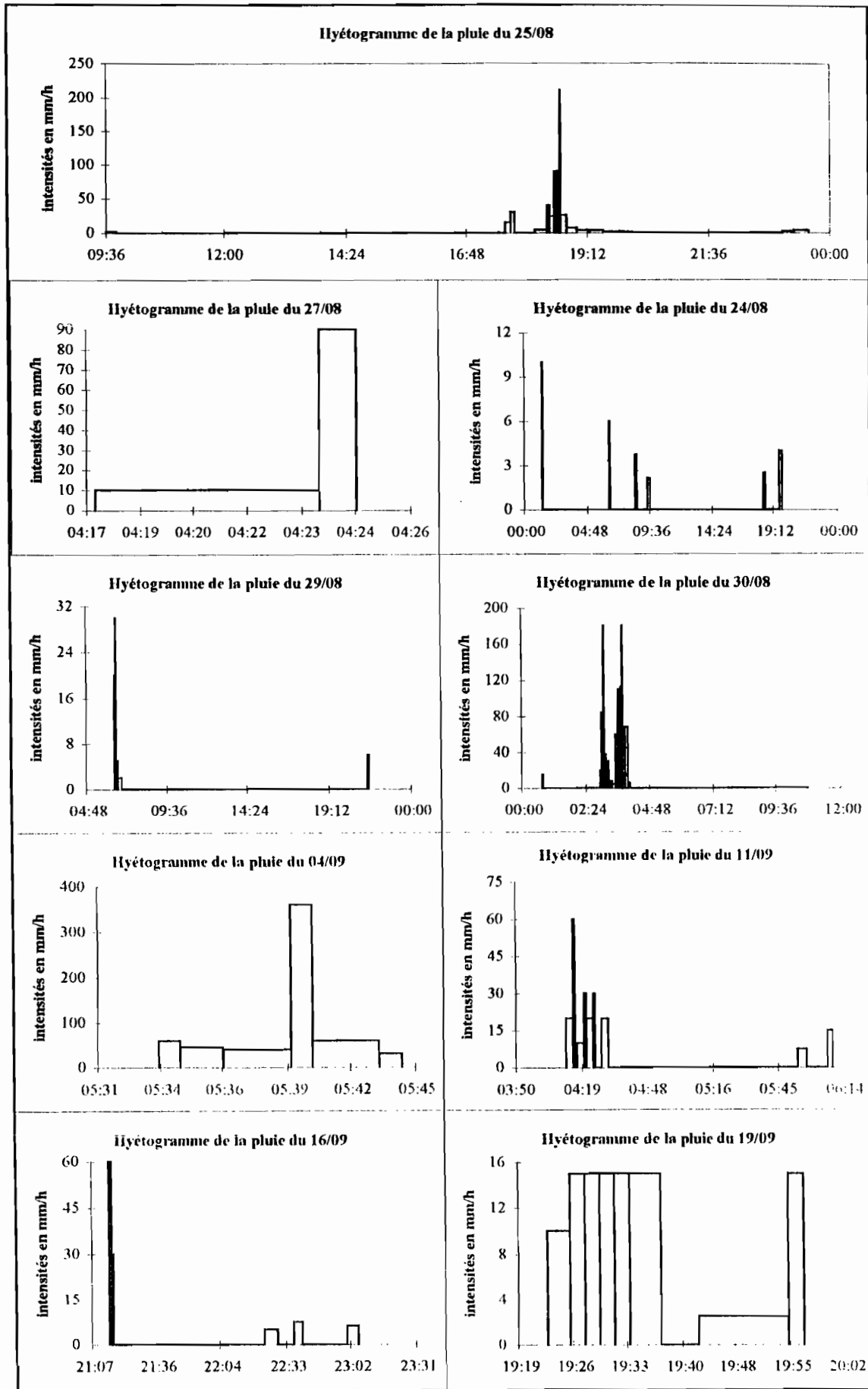
L'analyse des averses sur un bassin versant conduit à une famille de courbes donnant, pour un intervalle de récurrence T déterminé, l'intensité moyenne maximum i en fonction de l'intervalle de référence t . Ces courbes peuvent être représentées par des formules mathématiques de types ci-après:

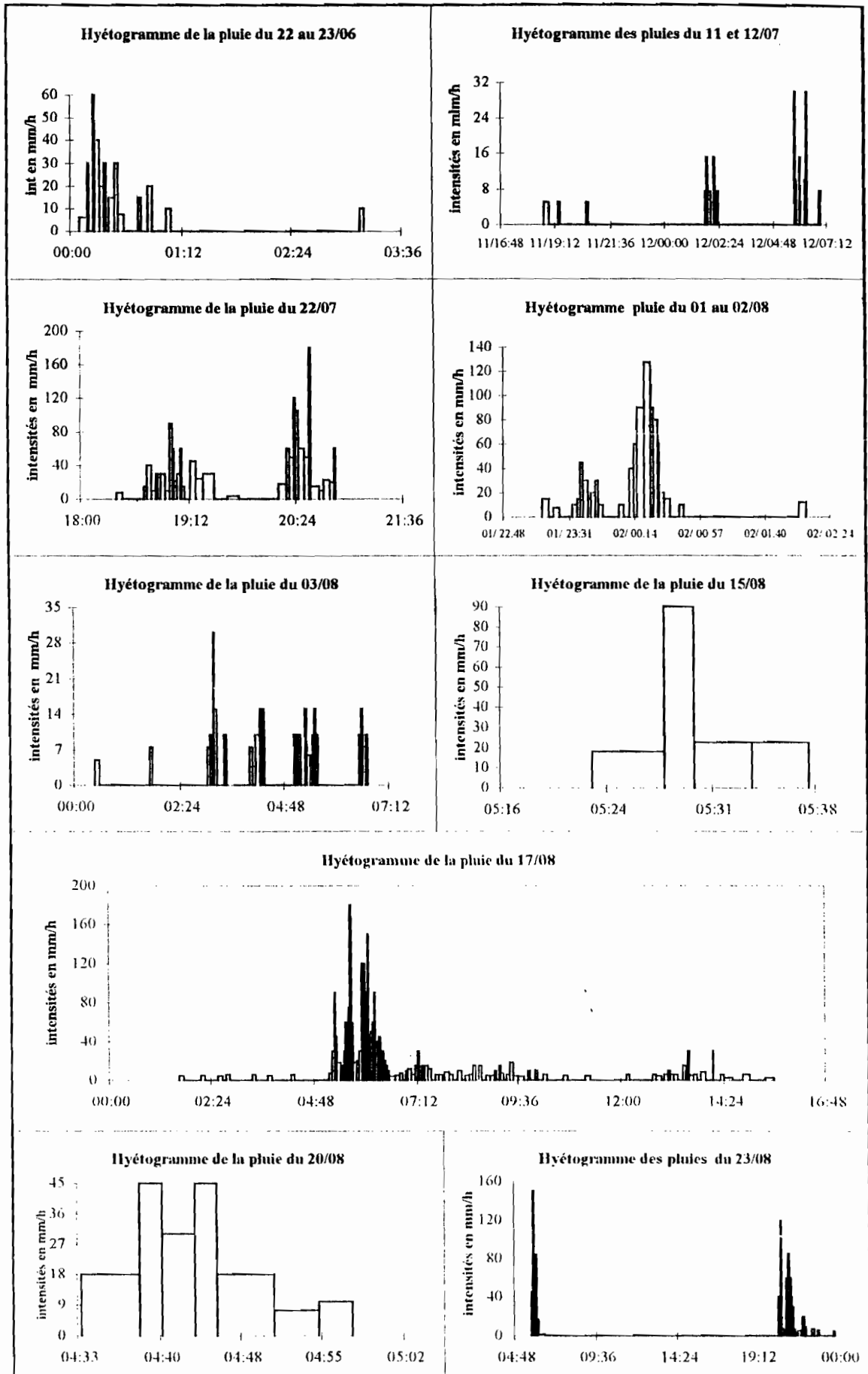
$$i = a / t + b \quad (\text{Formule de Talbot}) \quad i = a * t^{-b} \quad (\text{Formule de Montana})$$

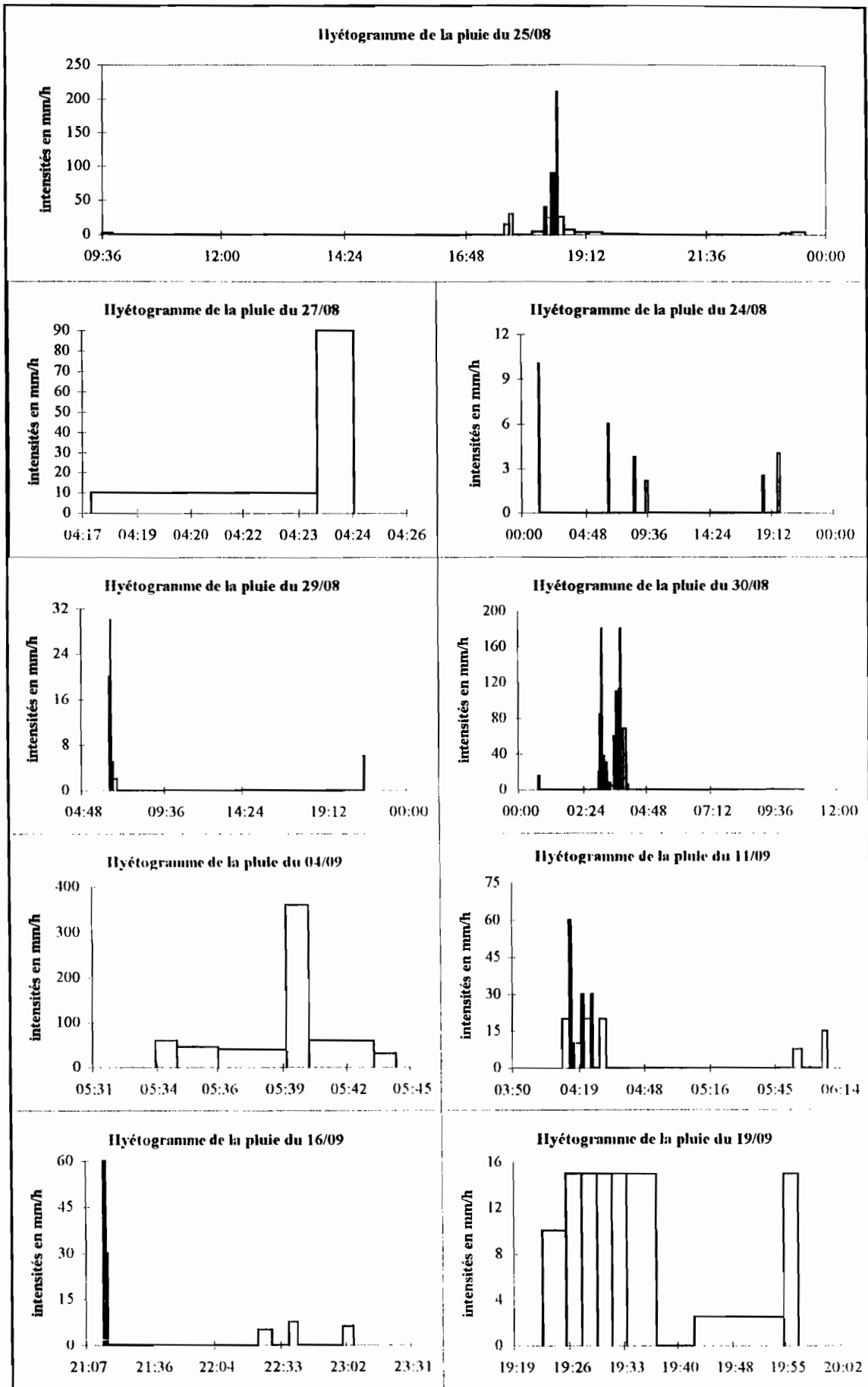
a et b sont des constantes locales fonction de T , t est l'intervalle de référence (durée de l'averse).

Annexe - VIII - Hyétogrammes obtenus aux stations de l'ENS et des Parcelles Assainies









Annexe - IX - Indices de Wischmeyer (1995)

Annexe - IX . 1 Station des Parcelles Assainies

N°	Date	H et mn	Energie cinétique	Energie max	Energie globale	R	RUSA
1	jun-23	00:06	27.97	52.8	242.7	3883.21	2.24
2	jun-23	03:09	21.04	10.52	10.52	10.52	0.01
3	07-nov	18:45	18.36	18.36	27.54	55.08	0.03
4	07-nov	20:32	18.36	9.18	9.18	9.18	0.01
5	07-déc	01:48	22.61	19.93	62.46	327.93	0.19
6	07-déc	05:47	25.29	25.29	92.88	402.48	0.23
7	jul-22	18:24	32.21	111.86	1312.1	61231.1	35.28
8	jul-29	00:20	21.04	10.52	29.23	58.47	0.03
9	08-jan	23:14	30.88	262.47	1096.37	65782.2	37.9
10	08-fév	02:04	21.74	21.74	21.74	43.49	0.03
11	08-fév	23:30	19.07	9.53	18.71	18.71	0.01
12	08-mar	01:42	19.93	9.96	9.96	9.96	0.01
13	08-mar	03:03	25.29	22.61	236.39	1418.36	0.82
14	aoû-14	05:45	19.93	9.96	9.96	9.96	0.01
15	aoû-15	05:23	29.53	88.6	196.09	2941.34	1.69
16	aoû-17	01:38	32.21	193.27	2403.77	146630	84.48
17	aoû-20	04:34	26.85	40.28	208.91	3551.47	2.05
18	aoû-23	05:49	31.51	216.21	742.96	38633.8	22.26
19	aoû-23	20:35	30.64	249.15	1148.16	55749.5	32.12
20	aoû-24	01:21	21.04	10.52	10.52	10.52	0.01
21	aoû-24	06:30	19.07	9.53	9.53	9.53	0.01
22	aoû-24	08:31	17.25	8.62	8.62	8.62	0
23	aoû-24	19:40	17.5	17.5	17.5	35	0.02
24	aoû-25	17:36	32.81	114.83	730.92	29784.9	17.16
25	aoû-25	23:19	18.82	28.22	45.24	135.72	0.08
26	aoû-26	17:11	19.93	9.96	9.96	9.96	0.01
27	aoû-27	04:18	29.53	44.3	65.34	326.7	0.19
28	aoû-29	06:28	25.29	23.72	56.85	284.23	0.16
29	aoû-29	21:29	19.07	9.53	9.53	9.53	0.01
30	aoû-30	00:45	22.61	22.61	22.61	45.21	0.03
31	aoû-30	02:57	32.21	227.96	1631.87	130876	75.41
32	09-avr	05:34	34.89	209.35	426.93	11954	6.89
33	09-avr	11:28	19.07	9.53	9.53	9.53	0.01
34	09-nov	04:12	27.97	27.97	134.93	1484.22	0.86
35	09-nov	05:54	22.61	11.3	21.27	42.54	0.02
36	09-déc	04:08	21.04	10.52	10.52	10.52	0.01
37	09-déc	07:55	19.93	9.96	9.96	9.96	0.01
38	sep-16	21:15	27.97	27.97	40.61	121.83	0.07
39	sep-16	22:24	19.93	9.96	28.68	57.35	0.03
40	sep-19	19:23	22.61	22.61	97.49	763.64	0.44
41	sep-20	11:17	22.61	11.3	31.79	95.36	0.05
42	sep-20	19:00	17.25	8.62	8.62	8.62	0
43	sep-21	14:02	19.93	9.96	9.96	9.96	0.01
44	sep-22	20:56	19.93	9.96	18.85	37.69	0.02
45	sep-22	22:20	27.97	55.93	138.62	1478.61	0.85
46	sep-23	07:42	25.29	25.29	142.44	1709.3	0.98
47	10-aoû	01:26	27.97	55.93	475.59	12080.1	6.96

SOMMATION DES VALEURS DE RUSA = 330.

Annexe - IX . 2 Station de Dakar-ENS

n°	m j h mn	Σ cinétique	Σ max	Σ globale	R	RUSA
1	6-23 19-25	29,08	124,01	507,16	19272,08	11,1
2	7-11 18-33	23,12	46,25	105,86	741	0,43
3	7-11 23-42	16,79	8,4	8,4	8,4	0
4	7-12 1-50	19,93	9,96	18,59	37,18	0,02
5	7-12 5-49	22,61	22,61	42,01	126,03	0,07
6	7-22 16- 2	20,44	20,44	29,62	59,25	0,03
7	7-22 20- 2	33,32	139,95	703,02	32865,96	18,94
8	7-29 14-15	22,61	22,61	51,84	259,2	0,15
9	7-29 17- 1	22,61	11,3	11,3	11,3	0,01
10	7-31 15-19	25,29	25,29	56,52	282,59	0,16
11	8- 1 23-32	29,53	167,79	659,66	21636,88	12,47
12	8- 2 14-35	18,36	9,18	9,18	9,18	0,01
13	8- 3 2-55	18,36	9,18	9,18	9,18	0,01
14	8- 3 4- 4	25,29	23,72	115,8	540,39	0,31
15	8-15 5-33	22,61	11,3	20,48	40,97	0,02
16	8-16 23-43	17,25	8,62	8,62	8,62	0
17	8-17 1-39	18,36	9,18	25,97	31,75	0,02
18	8-17 3-45	17,25	8,62	8,62	8,62	0
19	8-17 5-28	31,51	78,77	1441,1	57355,57	33,05
20	8-22 17- 4	18,36	9,18	9,18	9,18	0,01
21	8-23 5-28	31,51	78,77	384,76	10773,19	6,21
22	8-25 16-46	29,94	164,22	742,32	31919,71	18,39
23	8-26 0-36	23,72	47,44	63,82	382,95	0,22
24	8-29 6-36	19,93	9,96	39,86	159,42	0,09
25	8-29 8-23	19,07	9,53	9,53	9,53	0,01
26	8-29 17-40	19,07	9,53	9,53	9,53	0,01
27	8-30 3-29	31,51	315,07	660,74	29733,14	17,13
28	9- 2 21-13	21,04	10,52	29,66	88,99	0,05
29	9- 3 10-27	22,61	11,3	53,18	265,9	0,15
30	9- 3 16-21	17,77	8,88	8,88	8,88	0,01
31	9- 4 5-46	29,53	44,3	202,16	3032,39	1,75
32	9- 6 3- 1	25,29	12,64	78,9	552,28	0,32
33	9- 8 0-38	21,04	10,52	10,52	10,52	0,01
34	9- 8 7-41	21,04	10,52	10,52	10,52	0,01
35	9-11 4- 8	29,53	44,3	186,47	2610,54	1,5
36	9-16 21- 6	16,79	8,4	8,4	8,4	0
37	9-16 22-26	22,61	11,3	33,13	66,25	0,04
38	9-20 18-13	25,29	12,64	35,25	105,75	0,06
39	9-20 19-18	22,61	11,3	11,3	11,3	0,01
40	9-22 21- 1	22,61	11,3	83,98	503,88	0,29
41	9-23 7-50	32,21	96,64	324,8	7795,25	4,49
42	10- 8 1-21	27,97	27,97	356,67	6063,43	3,49

SOMMATION DES VALEURS DE RUSA S = 131.

Annexe - X - Dépouillement des limnigrammes

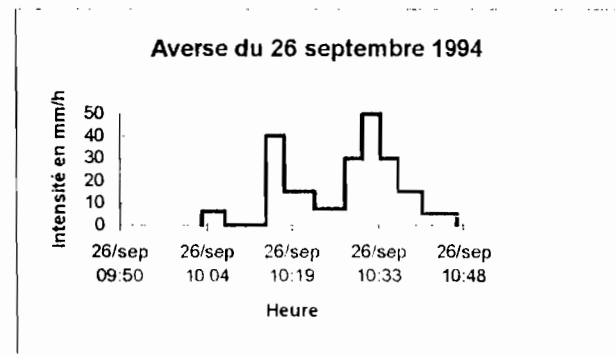
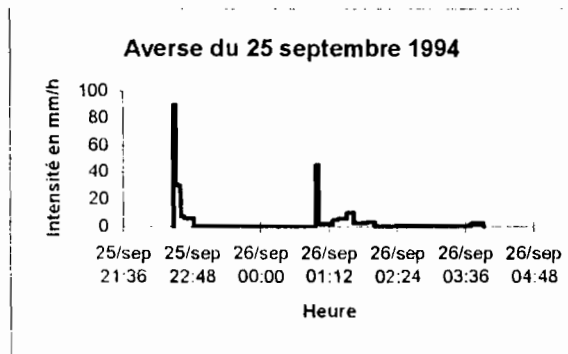
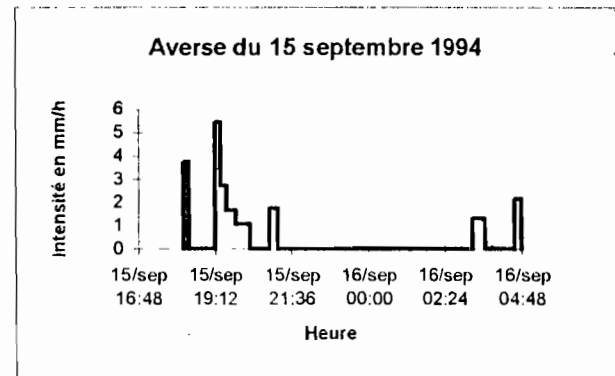
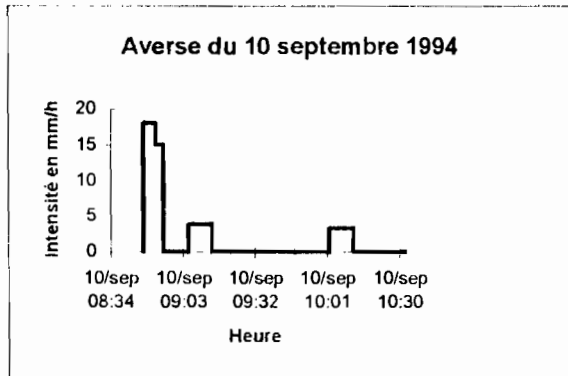
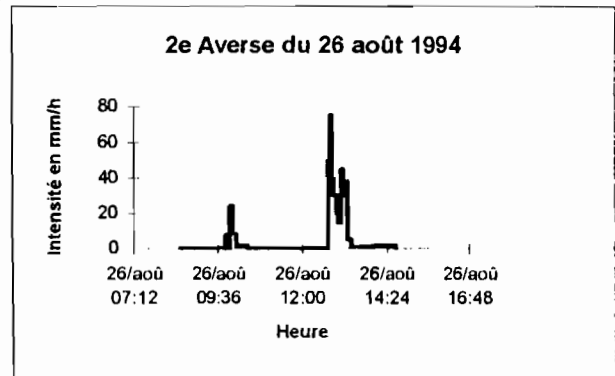
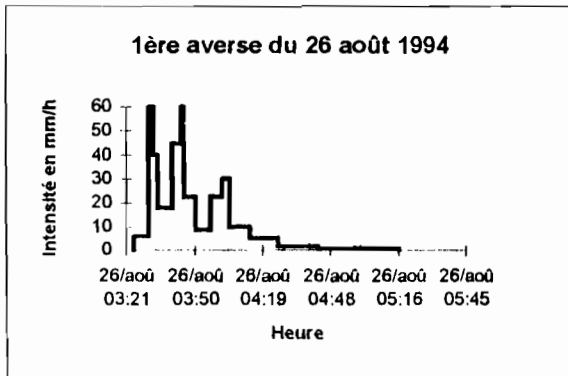
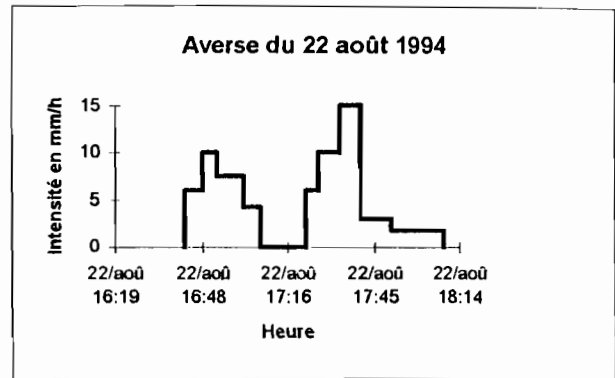
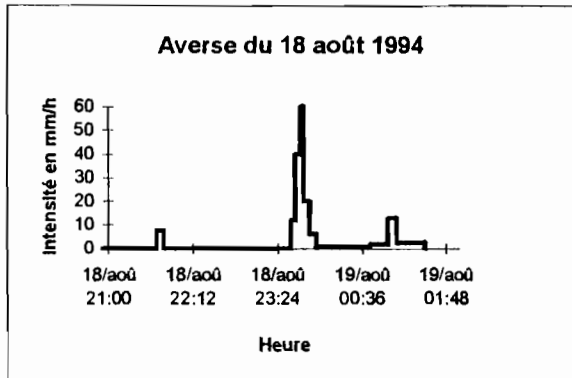
Le dépouillement à la table à digitaliser avec le logiciel, restitue les cotes instantanées, et établit la courbe d'étalonnage à partir des cotes et des jaugeages dépouillés. Chaque fois que les limnigrammes sont digitalisés, le logiciel calcule les débits instantanés à partir des cotes instantanées en se fondant sur l'étalonnage. HYDROM en déduit aussi le volume écoulé par crue et par conséquent le volume global pour la saison.

A partir d'HYDROM, on fait des exportations vers des logiciels comme EXCEL, qui donnent une meilleure présentation des résultats. Au laboratoire d'Hydrologie de Montpellier, une unité de travail (ATHYS) partant des extractions de fichiers HYDROM et PLUVIOM simplifie les procédures et traite simultanément la pluie et le débit en produisant directement une représentation combinée du hétérogramme et de l'hydrogramme.

Annexe - XI - le logiciel DIXLOI

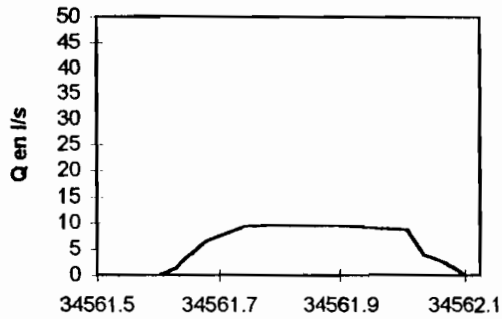
Les 8 échantillons de pluies maximales, font d'abord l'objet d'une première saisie sous DIXLOI. C'est un logiciel mis au point par l'ORSTOM. La saisie d'échantillons sous DIXLOI ne pose aucun problème sauf qu'il ne faut pas se tromper sur les commandes car la saisie est annulée automatiquement. Le canevas est indiqué et l'opérateur ne fait que le suivre. La première opération pour le traitement sous DIXLOI consiste à rentrer les valeurs par groupe de 10, après la réponse à un questionnaire de constitution des fichiers de saisie, présenté par l'ordinateur. Après la saisie, les fichiers sont traités avec la possibilité d'avoir un fichier « résultat » et un fichier « graphique ». Le premier permet de lire les résultats de l'ajustement en présentant les différents paramètres: moyenne, écart-type, différents coefficients, lois et valeurs de test, fréquences recherchées.

Le logiciel comprend 11 lois statistiques applicables à l'hydrologie: loi de Gauss ou loi normale, loi de Galton ou log-normale, loi de Gumbel par le maximum de vraisemblance, loi de Gumbel par les moments, loi de Goodrich, loi de Fréchet, lois de Pearson III et IV, loi log-gamma, loi des fuites et loi de Polya. L'ajustement que nous proposons porte sur des valeurs extrêmes, ce qui nous a incité à retenir d'emblée les lois qui s'ajusteraient les mieux aux échantillons constitués: ce sont la loi de Gauss, de Galton, de Gumbel par le maximum de vraisemblance, de Gumbel par les moments et celle de Goodrich. Pour des informations sur les lois, nous renvoyons le lecteur à BRUNET-MORET Y. (1969), LABORDE J. P. (1979), et BASSEL M. (1992). Nous avons fait une présentation des lois hydrologiques à partir d'une synthèse des travaux de ces auteurs.

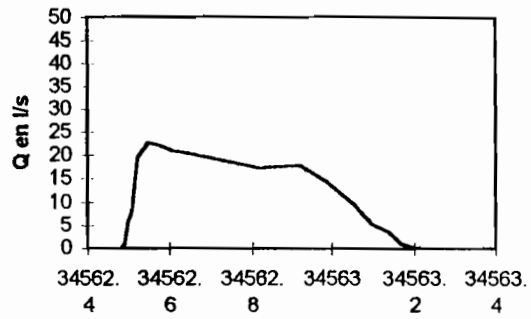


Annexe - XII . 2 Hydrogrammes de crue

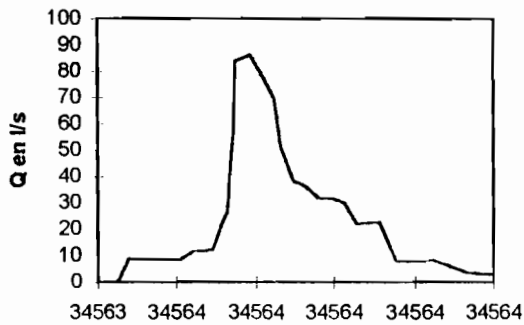
Hydrogramme du 15 août



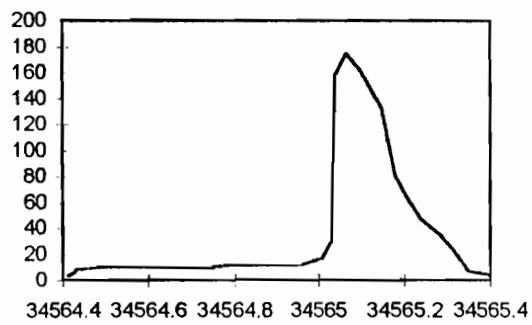
Hydrogramme du 16 août



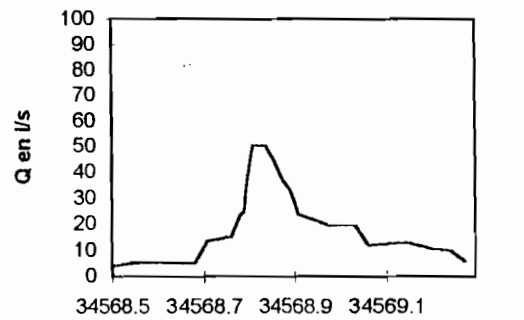
Hydrogramme du 17 août



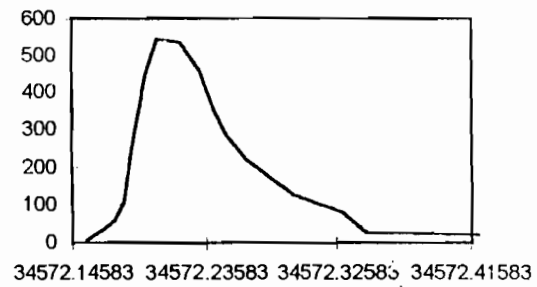
Hydrogramme du 18 au 19 août



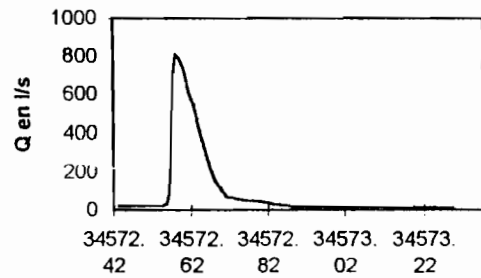
Hydrogramme du 22 au 23 août



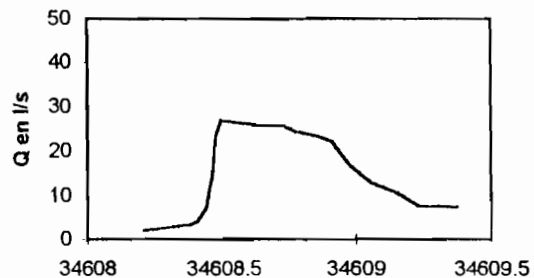
Hydrogramme de la 1ere crue du 26 août



Hydrogramme de la 2e crue du 26 août

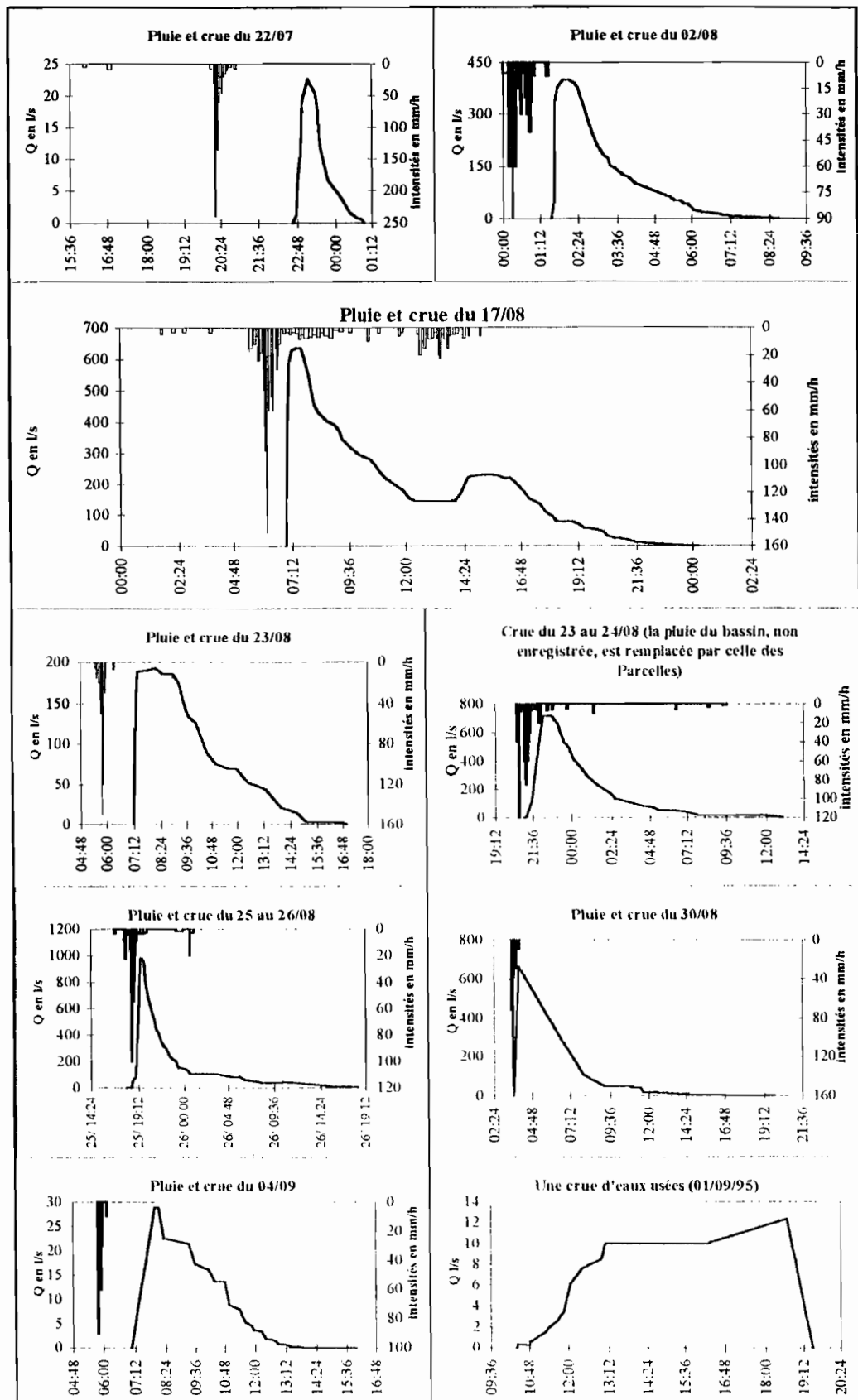


Hydrogramme d'eaux usées du 1er au 2 oct



Annexe - XIII - Crues 1995

Annexe - XIII . 1 Série d'hydrogrammes enregistrés à la station 1



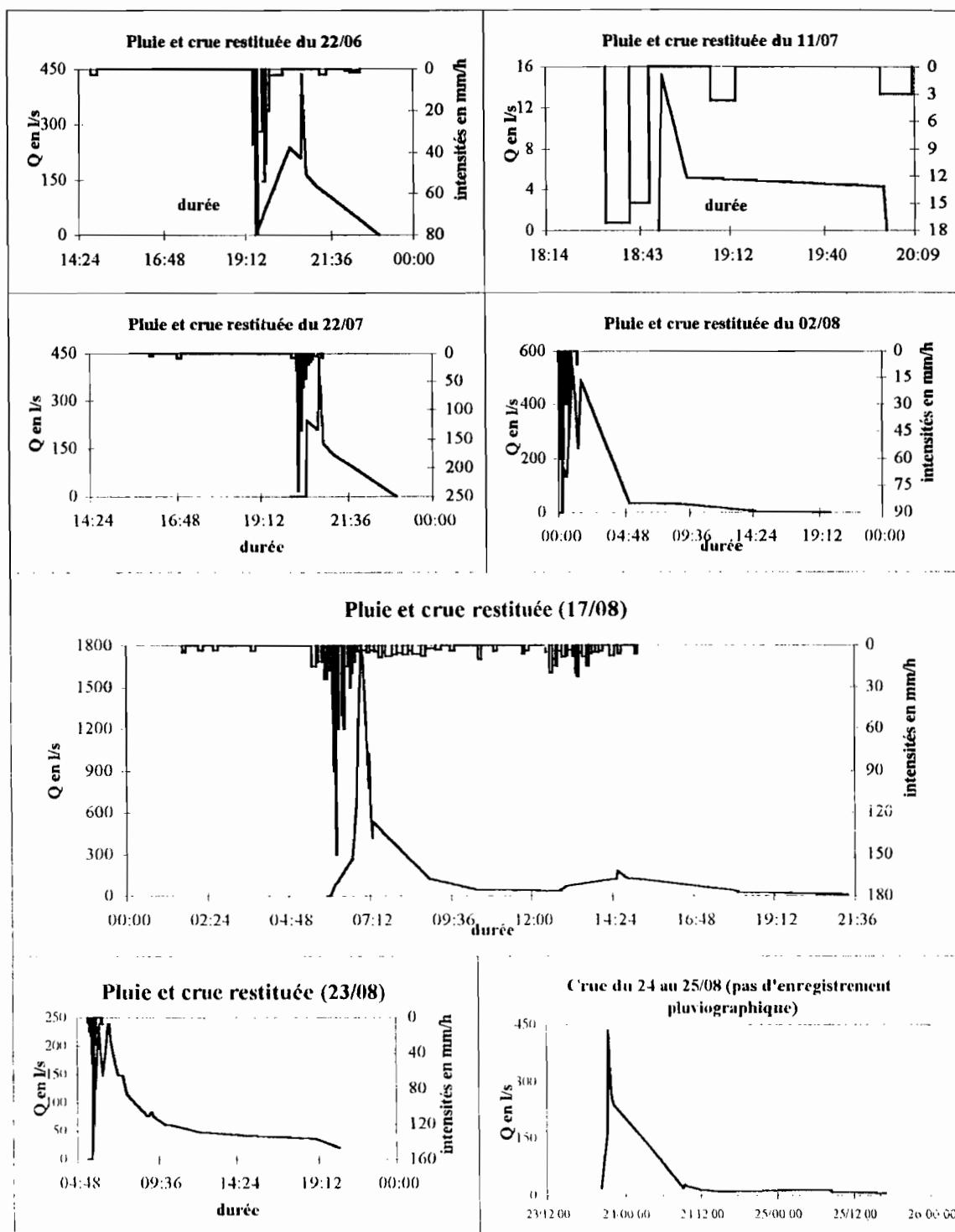
La figure qui représente la crue du 22/07 montre assez nettement l'écart de temps qui s'écoule entre la pluie et l'écoulement à la station 1. Sur celle de la crue du 02/08, le temps de réponse de la station 1 est toujours différé, mais on observe qu'il se raccourcit du fait de l'amélioration des conditions d'écoulement du bassin versant, suite à la pluie du 22/07. Le resserrement est de plus en plus important entre les deux événements (pluie et débit) surtout avec la crue importante du 17/08. A cette période de l'année, le bassin versant est en situation favorable pour l'écoulement, le temps de réponse est donc plus court.

Concernant la deuxième crue du 23/08, qui se poursuit au 24/08, l'enregistreur de la pluviographie s'étant bloqué, nous avons transposé la pluie des Parcelles (47.7 mm), station distante de 7 km. La hauteur seuil au bassin a été de 37.9 mm.

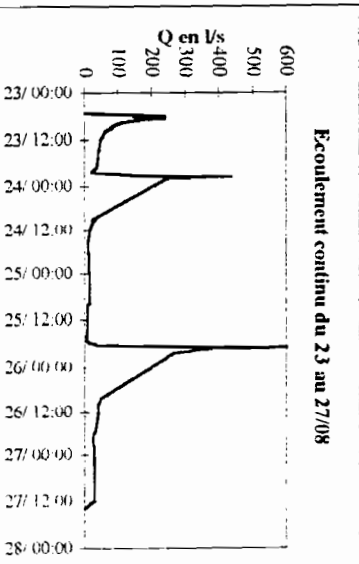
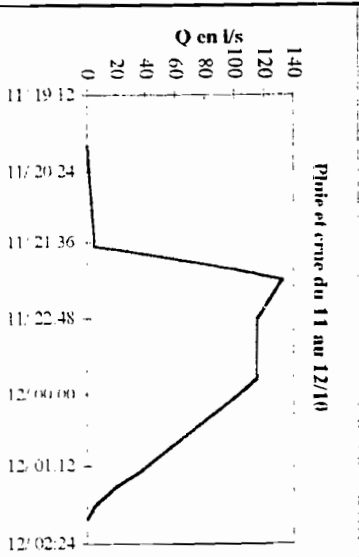
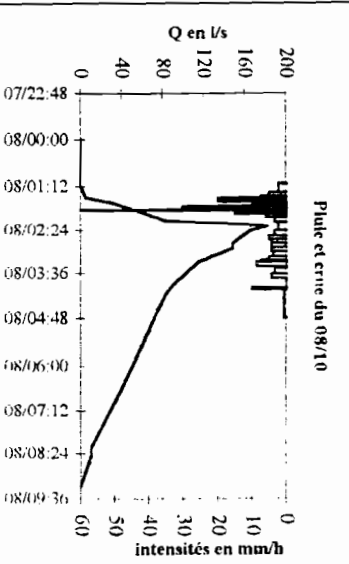
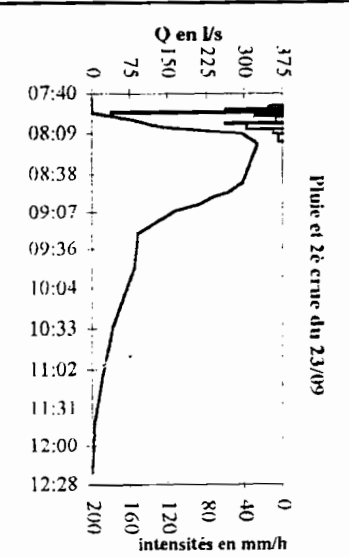
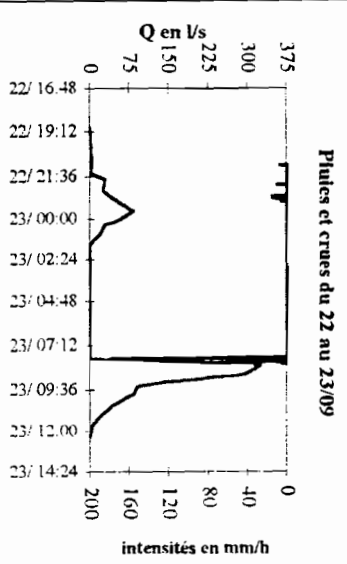
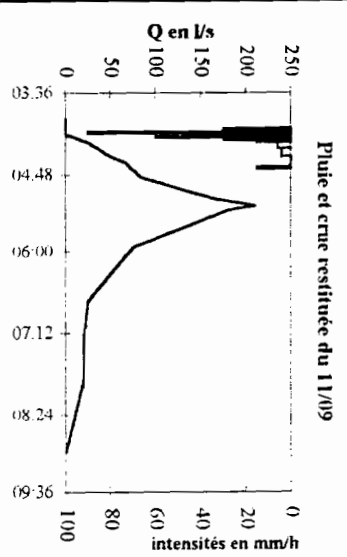
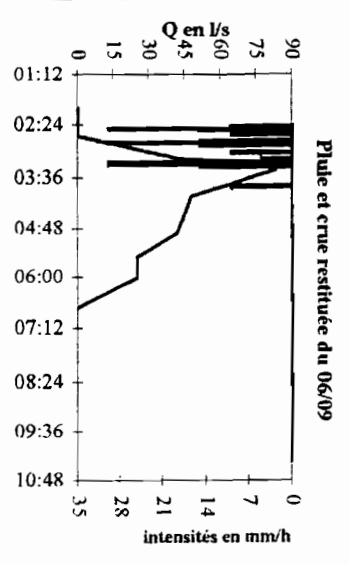
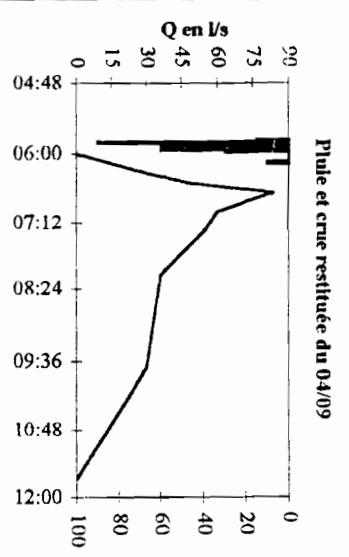
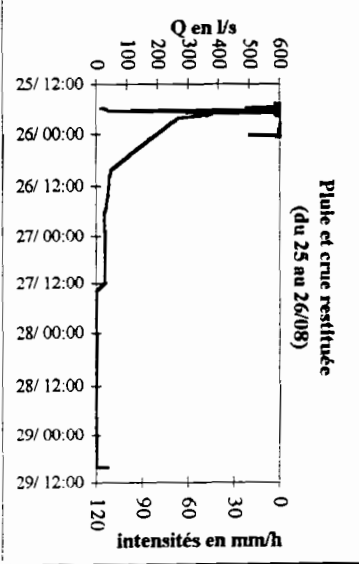
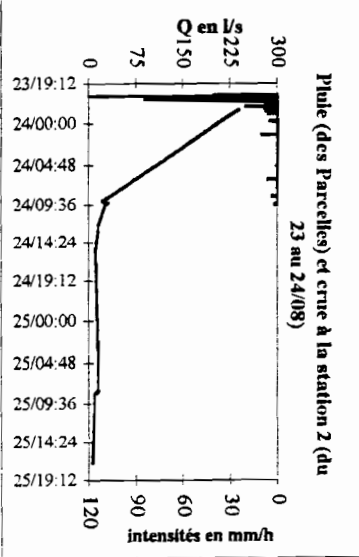
A la fin de la représentation des écoulements, nous avons présenté une crue survenue sans pluie et due uniquement aux eaux usées (01/09). Ces volumes ne dépassent pas le plus souvent la quinzaine de litres car les plaques du réseau envoient des quantités d'environ 20 litres par seconde.

A la station amont, ne disposant pas d'un enregistreur, nous avons procédé à des lectures d'échelle lors des crues. Ces lectures insérées dans le fichier « cotes instantanées » d'HYDROM, ont été traduites en débits instantanés par le logiciel. Après une extraction des données sous EXCEL, nous avons pu dessiner les hydrogrammes de crue à la station 2.

Annexe - XIII . 2 Série d'hydrogrammes restitués par lectures d'échelle (Station 2)



Les écoulements ont été continus du 23/08 au 27/08 à la station 2, comme on peut le constater à la fin de l'hydrogramme où l'écoulement n'est pas encore terminé. Cependant pour une meilleure représentation, nous avons séparé les événements majeurs pour les présenter avec les pluies qui les ont engendrés. Pendant dix-sept jours consécutifs (du 13 au 30/08) les pluies sont tombées tous les jours (sauf le 18) sur le bassin versant, ce qui a occasionné l'écoulement continu du 23 au 27 août (voir dernière représentation de la page suivante).



Annexe - XIV Crue du 13/08/1994

Annexe - XIV . 1 Intensités de pluie de l'averse du 13 août 1994

temps	int en mm/h
13 10:33	0
13 10:33	12
13 10:37	12
13 10:37	22.5
13 10:41	22.5
13 10:41	75
13 10:43	75
13 10:43	72
13 10:48	72
13 10:48	40
13 10:52	40
13 10:52	75
13 10:56	75
13 10:56	75
13 10:59	75
13 10:59	237
13 11:01	237
13 11:01	237
13 11:02	237
13 11:02	237
13 11:03	237
13 11:03	237
13 11:04	237
13 11:04	60
13 11:08	60
13 11:08	45
13 11:11	45
13 11:11	50
13 11:15	50
13 11:15	30
13 11:18	30
13 11:18	22.5
13 11:21	22.5
13 11:21	75
13 11:24	75
13 11:24	90
13 11:26	90
13 11:26	150
13 11:27	150

temps	int en mm/h
13 11:27	30
13 11:28	30
13 11:28	18
13 11:33	18
13 11:33	84
13 11:38	84
13 11:38	100
13 11:42	100
13 11:42	170
13 11:44	170
13 11:44	170
13 11:46	170
13 11:46	45
13 11:49	45
13 11:49	110
13 11:53	110
13 11:53	45
13 11:56	45
13 11:56	135
13 11:59	135
13 11:59	30
13 12:03	30
13 12:03	150
13 12:04	150
13 12:04	20
13 12:06	20
13 12:06	13.333
13 12:16	13.333
13 12:16	11.25
13 12:23	11.25
13 12:23	9
13 12:33	9
13 12:33	11.25
13 12:41	11.25
13 12:41	9
13 12:51	9
13 12:51	9
13 13:01	9
13 13:01	0

Annexe - XIV . 2 Débits instantanés lors de la crue du 13/08/1994

temps	Ql/s
13 10:58	0
13 11:05	1.3
13 11:12	88
13 11:20	123
13 11:25	622
13 11:27	1150
13 11:29	1590
13 11:39	2000
13 11:44	2360
13 11:50	2690
13 11:54	2920
13 12:01	3040
13 12:12	3020
13 12:18	2940
13 12:32	2740
13 12:43	2450
13 12:54	2180
13 13:04	1840
13 13:15	1600

temps	Ql/s
13 13:21	1430
13 13:41	1240
13 13:58	1080
13 14:21	844
13 14:39	637
13 15:07	370
13 16:15	190
13 17:02	165
13 17:57	135
13 18:24	108
13 18:57	77.5
13 19:34	54
13 20:17	38
13 20:49	29.3
13 21:51	19.5
13 22:56	7.25
13 23:47	2.05
14 00:27	0.15
14 01:02	0

Annexe - XV - Correction des débits pour récupérer les pertes

Annexe - XV . 1 Débits écoulés et débits corrigés à la station amont.

11/06/1995 18:49	0	11/06/1995 18:49	0
11/06/1995 18:50	15.2	11/06/1995 18:50	20,368
11/06/1995 18:50	5.25	11/06/1995 18:50	7.035
11/06/1995 20:00	4.3	11/06/1995 20:00	5.762
11/06/1995 20:01	0	11/06/1995 20:01	0
12/06/1995 06:19	0	12/06/1995 06:19	0
12/06/1995 06:20	20.1	12/06/1995 06:20	26,934
12/06/1995 08:00	0	12/06/1995 08:00	0
22/06/1995 19:20	0	22/06/1995 19:20	0
22/06/1995 20:27	239	22/06/1995 20:27	320.26
22/06/1995 20:45	210	22/06/1995 20:45	281.4
22/06/1995 20:47	435	22/06/1995 20:47	582.9
22/06/1995 20:54	165	22/06/1995 20:54	221.1
22/06/1995 21:11	132	22/06/1995 21:11	176.88
22/06/1995 23:00	0	22/06/1995 23:00	0
11/07/1995 18:49	0	11/07/1995 18:49	0
11/07/1995 18:50	15.2	11/07/1995 18:50	20,368
11/07/1995 18:58	5.25	11/07/1995 18:58	7.035
11/07/1995 20:00	4.3	11/07/1995 20:00	5.762
11/07/1995 20:01	0	11/07/1995 20:01	0
12/07/1995 06:19	0	12/07/1995 06:19	0
12/07/1995 06:20	20.1	12/07/1995 06:20	26,934
12/07/1995 08:00	0	12/07/1995 08:00	0
22/07/1995 20:00	0	22/07/1995 20:00	0
22/07/1995 20:27	239	22/07/1995 20:27	320.26
22/07/1995 20:45	210	22/07/1995 20:45	281.4

22/07/1995 20:47	435	22/07/1995 20:47	582,9
22/07/1995 20:54	165	22/07/1995 20:54	221,1
22/07/1995 21:11	132	22/07/1995 21:11	176,88
22/07/1995 23:00	0	22/07/1995 23:00	0
02/08/1995 00:03	0	02/08/1995 00:03	0
02/08/1995 00:25	165	02/08/1995 00:25	221,1
02/08/1995 00:39	132	02/08/1995 00:39	176,88
02/08/1995 01:07	545	02/08/1995 01:07	730,3
02/08/1995 01:12	490	02/08/1995 01:12	656,6
02/08/1995 01:27	296	02/08/1995 01:27	396,64
02/08/1995 01:31	239	02/08/1995 01:31	320,26
02/08/1995 01:44	490	02/08/1995 01:44	656,6
02/08/1995 05:07	36	02/08/1995 05:07	48,24
02/08/1995 09:18	30	02/08/1995 09:18	40,2
02/08/1995 14:48	4,3	02/08/1995 14:48	5,762
02/08/1995 23:00	0	02/08/1995 23:00	0
17/08/1995 05:54	0	17/08/1995 05:54	0
17/08/1995 06:08	80	17/08/1995 06:08	107,2
17/08/1995 06:11	94	17/08/1995 06:11	125,96
17/08/1995 06:34	240	17/08/1995 06:34	321,6
17/08/1995 06:40	270	17/08/1995 06:40	361,8
17/08/1995 06:47	660	17/08/1995 06:47	884,4
17/08/1995 06:57	1800	17/08/1995 06:57	2412
17/08/1995 07:00	1700	17/08/1995 07:00	2278
17/08/1995 07:08	1020	17/08/1995 07:08	1366,8
17/08/1995 07:10	780	17/08/1995 07:10	1045,2
17/08/1995 07:12	1020	17/08/1995 07:12	1366,8
17/08/1995 07:14	540	17/08/1995 07:14	723,6
17/08/1995 07:15	540	17/08/1995 07:15	723,6
17/08/1995 07:17	420	17/08/1995 07:17	562,8
17/08/1995 07:18	540	17/08/1995 07:18	723,6
17/08/1995 09:00	122	17/08/1995 09:00	163,48
17/08/1995 10:07	58	17/08/1995 10:07	77,72
17/08/1995 10:20	47	17/08/1995 10:20	62,98
17/08/1995 12:32	36	17/08/1995 12:32	48,24
17/08/1995 12:52	36	17/08/1995 12:52	48,24
17/08/1995 13:05	69	17/08/1995 13:05	92,46
17/08/1995 14:31	122	17/08/1995 14:31	163,48
17/08/1995 14:32	180	17/08/1995 14:32	241,2
17/08/1995 14:50	122	17/08/1995 14:50	163,48
17/08/1995 15:00	122	17/08/1995 15:00	163,48
17/08/1995 18:09	36	17/08/1995 18:09	48,24
17/08/1995 18:11	25	17/08/1995 18:11	33,5
17/08/1995 21:23	6	17/08/1995 21:23	8,04
18/08/1995 08:00	1,6	18/08/1995 08:00	2,144
18/08/1995 15:27	6	18/08/1995 15:27	8,04
18/08/1995 15:49	4,9	18/08/1995 15:49	6,566
19/08/1995 08:04	9,8	19/08/1995 08:04	13,132
19/08/1995 10:25	0,5	19/08/1995 10:25	0,67
19/08/1995 14:10	0	19/08/1995 14:10	0
20/08/1995 06:59	0	20/08/1995 06:59	0
20/08/1995 07:00	10,2	20/08/1995 07:00	13,668
20/08/1995 11:00	3,35	20/08/1995 11:00	4,489
20/08/1995 14:00	0	20/08/1995 14:00	0
23/08/1995 05:30	0	23/08/1995 05:30	0
23/08/1995 06:08	239	23/08/1995 06:08	320,26

23/08/1995 06:20	148	23/08/1995 06:20	198,32
23/08/1995 06:30	181	23/08/1995 06:30	242,54
23/08/1995 06:39	239	23/08/1995 06:39	320,26
23/08/1995 06:45	239	23/08/1995 06:45	320,26
23/08/1995 06:49	210	23/08/1995 06:49	281,4
23/08/1995 07:08	165	23/08/1995 07:08	221,1
23/08/1995 07:15	148	23/08/1995 07:15	198,32
23/08/1995 07:30	148	23/08/1995 07:30	198,32
23/08/1995 07:44	115	23/08/1995 07:44	154,1
23/08/1995 08:59	75,6	23/08/1995 08:59	101,304
23/08/1995 09:09	83,4	23/08/1995 09:09	111,756
23/08/1995 09:13	83,4	23/08/1995 09:13	111,756
23/08/1995 09:18	75,6	23/08/1995 09:18	101,304
23/08/1995 10:04	60	23/08/1995 10:04	80,4
23/08/1995 10:24	60	23/08/1995 10:24	80,4
23/08/1995 12:05	48	23/08/1995 12:05	64,32
23/08/1995 12:09	48	23/08/1995 12:09	64,32
23/08/1995 14:45	42	23/08/1995 14:45	56,28
23/08/1995 19:05	36	23/08/1995 19:05	48,24
23/08/1995 20:29	20,1	23/08/1995 20:29	26,934
23/08/1995 21:29	181	23/08/1995 21:29	242,54
23/08/1995 21:35	435	23/08/1995 21:35	582,9
23/08/1995 21:58	267	23/08/1995 21:58	357,78
23/08/1995 22:22	239	23/08/1995 22:22	320,26
24/08/1995 09:10	20,1	24/08/1995 09:10	26,934
24/08/1995 09:18	30	24/08/1995 09:18	40,2
24/08/1995 09:40	25,1	24/08/1995 09:40	33,634
24/08/1995 12:03	15,2	24/08/1995 12:03	20,368
24/08/1995 15:27	10,2	24/08/1995 15:27	13,668
25/08/1995 07:55	15,2	25/08/1995 07:55	20,368
25/08/1995 08:01	15,2	25/08/1995 08:01	20,368
25/08/1995 08:25	10,2	25/08/1995 08:25	13,668
25/08/1995 17:08	5,25	25/08/1995 17:08	7,035
25/08/1995 18:02	15,2	25/08/1995 18:02	20,368
25/08/1995 18:05	25,1	25/08/1995 18:05	33,634
25/08/1995 18:20	36	25/08/1995 18:20	48,24
25/08/1995 18:28	36	25/08/1995 18:28	48,24
25/08/1995 18:35	48	25/08/1995 18:35	64,32
25/08/1995 18:38	83,4	25/08/1995 18:38	111,756
25/08/1995 18:39	91,2	25/08/1995 18:39	122,208
25/08/1995 18:41	99	25/08/1995 18:41	132,66
25/08/1995 18:43	132	25/08/1995 18:43	176,88
25/08/1995 18:54	181	25/08/1995 18:54	242,54
25/08/1995 18:55	210	25/08/1995 18:55	281,4
25/08/1995 19:04	380	25/08/1995 19:04	509,2
25/08/1995 19:09	435	25/08/1995 19:09	582,9
25/08/1995 19:10	545	25/08/1995 19:10	730,3
25/08/1995 19:14	490	25/08/1995 19:14	656,6
25/08/1995 19:17	380	25/08/1995 19:17	509,2
25/08/1995 19:19	600	25/08/1995 19:19	804
25/08/1995 19:21	325	25/08/1995 19:21	435,5
25/08/1995 19:37	325	25/08/1995 19:37	435,5
25/08/1995 19:39	380	25/08/1995 19:39	509,2
25/08/1995 19:50	325	25/08/1995 19:50	435,5
25/08/1995 20:02	325	25/08/1995 20:02	435,5
25/08/1995 20:24	267	25/08/1995 20:24	357,78
26/08/1995 08:16	48	26/08/1995 08:16	64,32
26/08/1995 09:55	42	26/08/1995 09:55	56,28
26/08/1995 15:06	36	26/08/1995 15:06	48,24
26/08/1995 17:55	30	26/08/1995 17:55	40,2
26/08/1995 18:25	25,1	26/08/1995 18:25	33,634

27/08/1995 11:53	30	27/08/1995 11:53	40,2
27/08/1995 14:00	0	27/08/1995 14:00	0
29/08/1995 08:14	0	29/08/1995 08:14	0
29/08/1995 08:15	36	29/08/1995 08:15	48,24
29/08/1995 17:42	20,1	29/08/1995 17:42	26,934
30/08/1995 03:00	20,1	30/08/1995 03:00	26,934
30/08/1995 03:30	600	30/08/1995 03:30	804
30/08/1995 03:58	490	30/08/1995 03:58	656,6
30/08/1995 04:19	435	30/08/1995 04:19	582,9
30/08/1995 04:22	380	30/08/1995 04:22	509,2
30/08/1995 08:32	48	30/08/1995 08:32	64,32
30/08/1995 08:43	54	30/08/1995 08:43	72,36
30/08/1995 09:10	42	30/08/1995 09:10	56,28
30/08/1995 10:07	36	30/08/1995 10:07	48,24
30/08/1995 14:47	25,1	30/08/1995 14:47	33,634
30/08/1995 17:16	25,1	30/08/1995 17:16	33,634
30/08/1995 17:35	20,1	30/08/1995 17:35	26,934
30/08/1995 17:35	20,1	30/08/1995 17:35	26,934
30/08/1995 19:10	25,1	30/08/1995 19:10	33,634
31/08/1995 07:00	30	31/08/1995 07:00	40,2
31/08/1995 09:18	30	31/08/1995 09:18	40,2
31/08/1995 15:35	25,1	31/08/1995 15:35	33,634
31/08/1995 18:24	25,1	31/08/1995 18:24	33,634
01/09/1995 07:30	36	01/09/1995 07:30	48,24
01/09/1995 10:31	42	01/09/1995 10:31	56,28
01/09/1995 15:43	0	01/09/1995 15:43	0
03/09/1995 06:00	0	03/09/1995 06:00	0
03/09/1995 10:22	30	03/09/1995 10:22	40,2
03/09/1995 17:47	0	03/09/1995 17:47	0
04/09/1995 06:00	0	04/09/1995 06:00	0
04/09/1995 06:20	30	04/09/1995 06:20	40,2
04/09/1995 06:30	48	04/09/1995 06:30	64,32
04/09/1995 06:40	83,4	04/09/1995 06:40	111,756
04/09/1995 07:00	60	04/09/1995 07:00	80,4
04/09/1995 07:23	54	04/09/1995 07:23	72,36
04/09/1995 08:10	36	04/09/1995 08:10	48,24
04/09/1995 09:42	30	04/09/1995 09:42	40,2
04/09/1995 11:41	0	04/09/1995 11:41	0
06/09/1995 02:00	0	06/09/1995 02:00	0
06/09/1995 02:10	0,5	06/09/1995 02:10	0,67
06/09/1995 02:25	10,2	06/09/1995 02:25	13,668
06/09/1995 02:40	25,1	06/09/1995 02:40	33,634
06/09/1995 03:00	42	06/09/1995 03:00	56,28
06/09/1995 03:15	67,8	06/09/1995 03:15	90,852
06/09/1995 03:26	83,4	06/09/1995 03:26	111,756
06/09/1995 04:02	48	06/09/1995 04:02	64,32
06/09/1995 04:55	42	06/09/1995 04:55	56,28
06/09/1995 05:30	25,1	06/09/1995 05:30	33,634
06/09/1995 06:01	25,1	06/09/1995 06:01	33,634
06/09/1995 06:45	0	06/09/1995 06:45	0
11/09/1995 04:00	0	11/09/1995 04:00	0
11/09/1995 04:20	25,1	11/09/1995 04:20	33,634
11/09/1995 04:25	36	11/09/1995 04:25	48,24
11/09/1995 04:31	48	11/09/1995 04:31	64,32
11/09/1995 04:38	67,8	11/09/1995 04:38	90,852
11/09/1995 04:50	83,4	11/09/1995 04:50	111,756

11/09/1995 05:10	165	11/09/1995 05:10	221,1
11/09/1995 05:16	210	11/09/1995 05:16	281,4
11/09/1995 05:20	181	11/09/1995 05:20	242,54
11/09/1995 05:56	75,6	11/09/1995 05:56	101,304
11/09/1995 06:23	48	11/09/1995 06:23	64,32
11/09/1995 06:45	25,1	11/09/1995 06:45	33,634
11/09/1995 07:16	20,1	11/09/1995 07:16	26,934
11/09/1995 07:53	20,1	11/09/1995 07:53	26,934
11/09/1995 09:00	0	11/09/1995 09:00	0
22/09/1995 19:00	0	22/09/1995 19:00	0
22/09/1995 21:30	5,25	22/09/1995 21:30	7,035
22/09/1995 21:47	30	22/09/1995 21:47	40,2
22/09/1995 22:23	25,1	22/09/1995 22:23	33,634
22/09/1995 22:40	36	22/09/1995 22:40	48,24
22/09/1995 23:27	75,6	22/09/1995 23:27	101,304
22/09/1995 23:34	83,4	22/09/1995 23:34	111,756
22/09/1995 23:59	60	22/09/1995 23:59	80,4
23/09/1995 00:10	48	23/09/1995 00:10	64,32
23/09/1995 00:20	30	23/09/1995 00:20	40,2
23/09/1995 00:55	20,1	23/09/1995 00:55	26,934
23/09/1995 01:12	10,2	23/09/1995 01:12	13,668
23/09/1995 01:32	0	23/09/1995 01:32	0
23/09/1995 07:45	0	23/09/1995 07:45	0
23/09/1995 07:55	0,5	23/09/1995 07:55	0,67
23/09/1995 08:00	83,4	23/09/1995 08:00	111,756
23/09/1995 08:05	132	23/09/1995 08:05	176,88
23/09/1995 08:10	296	23/09/1995 08:10	396,64
23/09/1995 08:17	325	23/09/1995 08:17	435,5
23/09/1995 08:45	296	23/09/1995 08:45	396,64
23/09/1995 08:52	267	23/09/1995 08:52	357,78
23/09/1995 08:55	239	23/09/1995 08:55	320,26
23/09/1995 09:01	210	23/09/1995 09:01	281,4
23/09/1995 09:06	165	23/09/1995 09:06	221,1
23/09/1995 09:10	148	23/09/1995 09:10	198,32
23/09/1995 09:24	91,2	23/09/1995 09:24	122,208
23/09/1995 09:51	83,4	23/09/1995 09:51	111,756
23/09/1995 10:32	42	23/09/1995 10:32	56,28
23/09/1995 11:08	20,1	23/09/1995 11:08	26,934
23/09/1995 11:41	5,25	23/09/1995 11:41	7,035
23/09/1995 12:20	0	23/09/1995 12:20	0
07/10/1995 23:59	0	07/10/1995 23:59	0
08/10/1995 01:31	5,25	08/10/1995 01:31	7,035
08/10/1995 01:39	30	08/10/1995 01:39	40,2
08/10/1995 01:48	48	08/10/1995 01:48	64,32
08/10/1995 02:09	83,4	08/10/1995 02:09	111,756
08/10/1995 02:17	181	08/10/1995 02:17	242,54
08/10/1995 02:25	165	08/10/1995 02:25	221,1
08/10/1995 02:47	148	08/10/1995 02:47	198,32
08/10/1995 02:55	148	08/10/1995 02:55	198,32
08/10/1995 03:18	115	08/10/1995 03:18	154,1
08/10/1995 03:55	91,2	08/10/1995 03:55	122,208
08/10/1995 04:10	83,4	08/10/1995 04:10	111,756
08/10/1995 08:16	10,2	08/10/1995 08:16	13,668
08/10/1995 08:30	10,2	08/10/1995 08:30	13,668
08/10/1995 09:16	0	08/10/1995 09:16	0
11/10/1995 21:30	0	11/10/1995 21:30	0
11/10/1995 21:40	5,25	11/10/1995 21:40	7,035
11/10/1995 21:50	48	11/10/1995 21:50	64,32

11/10/1995 22:03	99	11/10/1995 22:03	132,66
11/10/1995 22:13	132	11/10/1995 22:13	176,88
11/10/1995 22:50	115	11/10/1995 22:50	154,1
11/10/1995 23:45	115	11/10/1995 23:45	154,1
12/10/1995 00:05	99	12/10/1995 00:05	132,66
12/10/1995 01:18	36	12/10/1995 01:18	48,24
12/10/1995 01:32	20,1	12/10/1995 01:32	26,934
12/10/1995 01:49	5,25	12/10/1995 01:49	7,035
12/10/1995 02:01	0	12/10/1995 02:01	0

Annexe - XV . 2 Débits écoulés et débits corrigés à al station principale (1389900500-1)

22/07/1995 22:38	0	22/07/1995 22:38	0
22/07/1995 22:46	1,3	22/07/1995 22:46	1,69
22/07/1995 22:48	6,7	22/07/1995 22:48	8,71
22/07/1995 22:54	11,2	22/07/1995 22:54	14,56
22/07/1995 22:56	19	22/07/1995 22:56	24,7
22/07/1995 23:08	22,6	22/07/1995 23:08	29,38
22/07/1995 23:23	20,2	22/07/1995 23:23	26,26
22/07/1995 23:31	11,8	22/07/1995 23:31	15,34
22/07/1995 23:38	9,4	22/07/1995 23:38	12,22
22/07/1995 23:46	6,7	22/07/1995 23:46	8,71
22/07/1995 23:59	5,2	22/07/1995 23:59	6,76
23/07/1995 00:10	4	23/07/1995 00:10	5,2
23/07/1995 00:28	1,6	23/07/1995 00:28	2,08
23/07/1995 00:43	0,76	23/07/1995 00:43	0,988
23/07/1995 00:53	0,56	23/07/1995 00:53	0,728
23/07/1995 00:56	0	23/07/1995 00:56	0
02/08/1995 01:34	0	02/08/1995 01:34	0
02/08/1995 01:39	54.8	02/08/1995 01:39	71,24
02/08/1995 01:40	338	02/08/1995 01:40	439.4
02/08/1995 01:43	348	02/08/1995 01:43	452.4
02/08/1995 01:46	380	02/08/1995 01:46	494
02/08/1995 01:56	401	02/08/1995 01:56	521.3
02/08/1995 02:08	401	02/08/1995 02:08	521.3
02/08/1995 02:18	390	02/08/1995 02:18	507
02/08/1995 02:24	380	02/08/1995 02:24	494
02/08/1995 02:29	348	02/08/1995 02:29	452.4
02/08/1995 02:43	280	02/08/1995 02:43	364
02/08/1995 03:00	209	02/08/1995 03:00	271,7
02/08/1995 03:12	183	02/08/1995 03:12	237,9
02/08/1995 03:19	173	02/08/1995 03:19	224,9
02/08/1995 03:23	153	02/08/1995 03:23	198,9
02/08/1995 03:31	145	02/08/1995 03:31	188,5
02/08/1995 03:45	126	02/08/1995 03:45	163,8
02/08/1995 03:58	117	02/08/1995 03:58	152,1
02/08/1995 04:09	101	02/08/1995 04:09	131,3
02/08/1995 04:43	81.3	02/08/1995 04:43	105,69
02/08/1995 05:10	66.3	02/08/1995 05:10	86,19
02/08/1995 05:19	61.3	02/08/1995 05:19	79,69
02/08/1995 05:27	50.2	02/08/1995 05:27	65,26
02/08/1995 05:39	50.2	02/08/1995 05:39	65,26
02/08/1995 05:46	42.8	02/08/1995 05:46	55,64
02/08/1995 05:54	41	02/08/1995 05:54	53,3
02/08/1995 06:00	32.6	02/08/1995 06:00	42,38
02/08/1995 06:04	23.8	02/08/1995 06:04	30,94
02/08/1995 06:21	17.8	02/08/1995 06:21	23,14
02/08/1995 06:41	14.8	02/08/1995 06:41	19,24
02/08/1995 06:58	9.4	02/08/1995 06:58	12,22
02/08/1995 07:13	6.4	02/08/1995 07:13	8,32

02/08/1995 07:37	4,3	02/08/1995 07:37	5,59
02/08/1995 07:54	3,55	02/08/1995 07:54	4,615
02/08/1995 08:10	1,45	02/08/1995 08:10	1,885
02/08/1995 08:27	0,8	02/08/1995 08:27	1,04
02/08/1995 08:35	0,24	02/08/1995 08:35	0,312
02/08/1995 08:42	0	02/08/1995 08:42	0
17/08/1995 06:57	0	17/08/1995 06:57	0
17/08/1995 06:58	3,55	17/08/1995 06:58	4,615
17/08/1995 06:58	83,8	17/08/1995 06:58	108,94
17/08/1995 06:59	245	17/08/1995 06:59	318,5
17/08/1995 06:59	325	17/08/1995 06:59	422,5
17/08/1995 07:01	404	17/08/1995 07:01	525,2
17/08/1995 07:04	517	17/08/1995 07:04	672,1
17/08/1995 07:06	582	17/08/1995 07:06	756,6
17/08/1995 07:12	627	17/08/1995 07:12	815,1
17/08/1995 07:22	635	17/08/1995 07:22	825,5
17/08/1995 07:35	635	17/08/1995 07:35	825,5
17/08/1995 07:42	608	17/08/1995 07:42	790,4
17/08/1995 07:52	555	17/08/1995 07:52	721,5
17/08/1995 08:06	460	17/08/1995 08:06	598
17/08/1995 08:17	432	17/08/1995 08:17	561,6
17/08/1995 08:39	404	17/08/1995 08:39	525,2
17/08/1995 08:59	390	17/08/1995 08:59	507
17/08/1995 09:11	374	17/08/1995 09:11	486,2
17/08/1995 09:19	345	17/08/1995 09:19	448,5
17/08/1995 09:36	322	17/08/1995 09:36	418,6
17/08/1995 10:04	296	17/08/1995 10:04	384,8
17/08/1995 10:33	280	17/08/1995 10:33	364
17/08/1995 10:48	257	17/08/1995 10:48	334,1
17/08/1995 10:57	239	17/08/1995 10:57	310,7
17/08/1995 11:09	221	17/08/1995 11:09	287,3
17/08/1995 11:28	206	17/08/1995 11:28	267,8
17/08/1995 11:56	180	17/08/1995 11:56	234
17/08/1995 12:11	155	17/08/1995 12:11	201,5
17/08/1995 12:26	145	17/08/1995 12:26	188,5
17/08/1995 13:23	145	17/08/1995 13:23	188,5
17/08/1995 13:49	145	17/08/1995 13:49	188,5
17/08/1995 14:02	148	17/08/1995 14:02	192,4
17/08/1995 14:16	173	17/08/1995 14:16	224,9
17/08/1995 14:22	195	17/08/1995 14:22	253,5
17/08/1995 14:33	224	17/08/1995 14:33	291,2
17/08/1995 15:08	230	17/08/1995 15:08	299
17/08/1995 15:38	230	17/08/1995 15:38	299
17/08/1995 15:54	227	17/08/1995 15:54	295,1
17/08/1995 16:09	218	17/08/1995 16:09	283,4
17/08/1995 16:22	221	17/08/1995 16:22	287,3
17/08/1995 16:37	203	17/08/1995 16:37	263,9
17/08/1995 16:56	178	17/08/1995 16:56	231,4
17/08/1995 17:11	153	17/08/1995 17:11	198,9
17/08/1995 17:25	145	17/08/1995 17:25	188,5
17/08/1995 17:40	133	17/08/1995 17:40	172,9
17/08/1995 17:51	111	17/08/1995 17:51	144,3
17/08/1995 18:09	96,3	17/08/1995 18:09	125,19
17/08/1995 18:18	80	17/08/1995 18:18	104
17/08/1995 18:57	78,8	17/08/1995 18:57	102,44
17/08/1995 19:13	71,3	17/08/1995 19:13	92,69
17/08/1995 19:26	59,5	17/08/1995 19:26	77,35
17/08/1995 19:48	55,8	17/08/1995 19:48	72,54
17/08/1995 20:12	46,5	17/08/1995 20:12	60,45
17/08/1995 20:23	31,7	17/08/1995 20:23	41,21

17/08/1995 20:38	26,8	17/08/1995 20:38	34,84
17/08/1995 21:00	23,8	17/08/1995 21:00	30,94
17/08/1995 21:17	17,8	17/08/1995 21:17	23,14
17/08/1995 21:30	12,4	17/08/1995 21:30	16,12
17/08/1995 21:57	9,4	17/08/1995 21:57	12,22
17/08/1995 22:21	8,5	17/08/1995 22:21	11,05
17/08/1995 22:44	6,7	17/08/1995 22:44	8,71
17/08/1995 23:05	4,3	17/08/1995 23:05	5,59
17/08/1995 23:33	2,95	17/08/1995 23:33	3,835
17/08/1995 23:44	0,96	17/08/1995 23:44	1,248
17/08/1995 23:53	0,48	17/08/1995 23:53	0,624
18/08/1995 00:03	0,08	18/08/1995 00:03	0,104
18/08/1995 00:13	0	18/08/1995 00:13	0
23/08/1995 07:10	0	23/08/1995 07:10	0
23/08/1995 07:11	19,6	23/08/1995 07:11	25,48
23/08/1995 07:13	97,5	23/08/1995 07:13	126,75
23/08/1995 07:21	188	23/08/1995 07:21	244,4
23/08/1995 07:49	190	23/08/1995 07:49	247
23/08/1995 08:10	193	23/08/1995 08:10	250,9
23/08/1995 08:32	185	23/08/1995 08:32	240,5
23/08/1995 08:58	185	23/08/1995 08:58	240,5
23/08/1995 09:16	175	23/08/1995 09:16	227,5
23/08/1995 09:28	153	23/08/1995 09:28	198,9
23/08/1995 09:42	134	23/08/1995 09:42	174,2
23/08/1995 10:02	126	23/08/1995 10:02	163,8
23/08/1995 10:34	90	23/08/1995 10:34	117
23/08/1995 11:01	75	23/08/1995 11:01	97,5
23/08/1995 11:37	70	23/08/1995 11:37	91
23/08/1995 11:59	70	23/08/1995 11:59	91
23/08/1995 12:32	52,1	23/08/1995 12:32	67,73
23/08/1995 13:18	-43,7	23/08/1995 13:18	56,81
23/08/1995 13:59	20,8	23/08/1995 13:59	27,04
23/08/1995 14:41	14,2	23/08/1995 14:41	18,46
23/08/1995 15:06	2,95	23/08/1995 15:06	3,835
23/08/1995 16:05	2,5	23/08/1995 16:05	3,25
23/08/1995 16:27	2,5	23/08/1995 16:27	3,25
23/08/1995 16:47	0,92	23/08/1995 16:47	1,196
23/08/1995 16:58	0	23/08/1995 16:58	0
23/08/1995 21:00	0	23/08/1995 21:00	0
23/08/1995 21:11	1,6	23/08/1995 21:11	2,08
23/08/1995 21:33	117	23/08/1995 21:33	152,1
23/08/1995 21:50	384	23/08/1995 21:50	499,2
23/08/1995 22:04	578	23/08/1995 22:04	751,4
23/08/1995 22:13	666	23/08/1995 22:13	865,8
23/08/1995 22:17	714	23/08/1995 22:17	928,2
23/08/1995 22:41	718	23/08/1995 22:41	933,4
23/08/1995 22:53	710	23/08/1995 22:53	923
23/08/1995 23:10	662	23/08/1995 23:10	860,6
23/08/1995 23:20	601	23/08/1995 23:20	781,3
23/08/1995 23:33	536	23/08/1995 23:33	696,8
23/08/1995 23:52	498	23/08/1995 23:52	647,4
24/08/1995 00:07	425	24/08/1995 00:07	552,5
24/08/1995 00:31	364	24/08/1995 00:31	473,2
24/08/1995 01:01	293	24/08/1995 01:01	380,9
24/08/1995 01:30	246	24/08/1995 01:30	306,8
24/08/1995 01:57	198	24/08/1995 01:57	257,4
24/08/1995 02:20	173	24/08/1995 02:20	224,9
24/08/1995 02:38	134	24/08/1995 02:38	174,2
24/08/1995 03:18	114	24/08/1995 03:18	148,2

24/08/1995 03:50	96,3	24/08/1995 03:50	125,19
24/08/1995 04:22	80	24/08/1995 04:22	104
24/08/1995 04:53	72,5	24/08/1995 04:53	94,25
24/08/1995 05:18	55,8	24/08/1995 05:18	72,54
24/08/1995 05:54	46,5	24/08/1995 05:54	60,45
24/08/1995 06:32	46,5	24/08/1995 06:32	60,45
24/08/1995 07:13	38,2	24/08/1995 07:13	49,66
24/08/1995 07:56	17,2	24/08/1995 07:56	22,36
24/08/1995 09:24	17,8	24/08/1995 09:24	23,14
24/08/1995 12:00	13	24/08/1995 12:00	16,9
24/08/1995 13:00	0	24/08/1995 13:00	0
25/08/1995 12:02	0	25/08/1995 12:02	0
25/08/1995 12:19	0,08	25/08/1995 12:19	0,104
25/08/1995 12:38	0,36	25/08/1995 12:38	0,468
25/08/1995 14:52	0,4	25/08/1995 14:52	0,52
25/08/1995 15:18	0,68	25/08/1995 15:18	0,884
25/08/1995 18:03	0,6	25/08/1995 18:03	0,78
25/08/1995 18:12	1,15	25/08/1995 18:12	1,495
25/08/1995 18:26	1,15	25/08/1995 18:26	1,495
25/08/1995 18:34	20,8	25/08/1995 18:34	27,04
25/08/1995 18:41	62,2	25/08/1995 18:41	80,86
25/08/1995 18:50	75	25/08/1995 18:50	97,5
25/08/1995 18:55	82,5	25/08/1995 18:55	107,25
25/08/1995 19:03	248	25/08/1995 19:03	322,4
25/08/1995 19:07	404	25/08/1995 19:07	525,2
25/08/1995 19:14	593	25/08/1995 19:14	770,9
25/08/1995 19:22	786	25/08/1995 19:22	1021,8
25/08/1995 19:24	970	25/08/1995 19:24	1261
25/08/1995 19:31	978	25/08/1995 19:31	1271,4
25/08/1995 19:46	954	25/08/1995 19:46	1240,2
25/08/1995 19:59	790	25/08/1995 19:59	1027
25/08/1995 20:08	706	25/08/1995 20:08	917,8
25/08/1995 20:24	631	25/08/1995 20:24	820,3
25/08/1995 20:37	563	25/08/1995 20:37	731,9
25/08/1995 20:50	513	25/08/1995 20:50	666,9
25/08/1995 21:00	453	25/08/1995 21:00	588,9
25/08/1995 21:17	411	25/08/1995 21:17	534,3
25/08/1995 21:35	345	25/08/1995 21:35	448,5
25/08/1995 22:05	293	25/08/1995 22:05	380,9
25/08/1995 22:25	239	25/08/1995 22:25	310,7
25/08/1995 22:47	212	25/08/1995 22:47	275,6
25/08/1995 23:03	206	25/08/1995 23:03	267,8
25/08/1995 23:20	155	25/08/1995 23:20	201,5
25/08/1995 23:47	147	25/08/1995 23:47	191,1
26/08/1995 00:18	134	26/08/1995 00:18	174,2
26/08/1995 00:35	110	26/08/1995 00:35	143
26/08/1995 01:20	103	26/08/1995 01:20	133,9
26/08/1995 03:32	103	26/08/1995 03:32	133,9
26/08/1995 04:04	93,8	26/08/1995 04:04	121,94
26/08/1995 04:38	87,5	26/08/1995 04:38	113,75
26/08/1995 05:14	81,3	26/08/1995 05:14	105,69
26/08/1995 06:01	82,5	26/08/1995 06:01	107,25
26/08/1995 06:33	56,7	26/08/1995 06:33	73,71
26/08/1995 08:25	34,5	26/08/1995 08:25	44,85
26/08/1995 08:31	34,5	26/08/1995 08:31	44,85
26/08/1995 10:20	34,5	26/08/1995 10:20	44,85
26/08/1995 10:30	43,7	26/08/1995 10:30	56,81
26/08/1995 15:11	12,4	26/08/1995 15:11	16,12
26/08/1995 18:21	3,25	26/08/1995 18:21	4,225
27/08/1995 16:19	1,15	27/08/1995 16:19	1,495

27/08/1995 16:24	1,15	27/08/1995 16:24	1,495
27/08/1995 16:54	1,15	27/08/1995 16:54	1,495
27/08/1995 17:30	0,84	27/08/1995 17:30	1,092
27/08/1995 17:30	0,76	27/08/1995 17:30	0,988
27/08/1995 18:00	0,44	27/08/1995 18:00	0,572
27/08/1995 19:00	0,04	27/08/1995 19:00	0,052
27/08/1995 19:30	0	27/08/1995 19:30	0
30/08/1995 03:20	0	30/08/1995 03:20	0
30/08/1995 04:00	666	30/08/1995 04:00	865,8
30/08/1995 08:00	108	30/08/1995 08:00	140,4
30/08/1995 09:17	48,4	30/08/1995 09:17	62,92
30/08/1995 10:50	48,4	30/08/1995 10:50	62,92
30/08/1995 11:00	42,8	30/08/1995 11:00	55,64
30/08/1995 11:30	41,9	30/08/1995 11:30	54,47
30/08/1995 11:40	20,2	30/08/1995 11:40	26,26
30/08/1995 14:53	5,5	30/08/1995 14:53	7,15
30/08/1995 17:22	1,15	30/08/1995 17:22	1,495
30/08/1995 17:29	1,15	30/08/1995 17:29	1,495
30/08/1995 18:41	0,92	30/08/1995 18:41	1,196
30/08/1995 19:12	0,52	30/08/1995 19:12	0,676
30/08/1995 19:47	0	30/08/1995 19:47	0
31/08/1995 11:01	0	31/08/1995 11:01	0
31/08/1995 11:16	0,68	31/08/1995 11:16	0,884
31/08/1995 11:28	1,6	31/08/1995 11:28	2,08
31/08/1995 12:03	5,5	31/08/1995 12:03	7,15
31/08/1995 12:26	7	31/08/1995 12:26	9,1
31/08/1995 15:27	7,9	31/08/1995 15:27	10,27
31/08/1995 15:41	4	31/08/1995 15:41	5,2
31/08/1995 15:52	3,25	31/08/1995 15:52	4,225
31/08/1995 18:57	3,1	31/08/1995 18:57	4,03
31/08/1995 19:16	1,15	31/08/1995 19:16	1,495
31/08/1995 19:47	0,92	31/08/1995 19:47	1,196
31/08/1995 20:04	0,88	31/08/1995 20:04	1,144
31/08/1995 20:15	0,44	31/08/1995 20:15	0,572
31/08/1995 21:32	0,36	31/08/1995 21:32	0,468
31/08/1995 21:45	0	31/08/1995 21:45	0
01/09/1995 10:25	0	01/09/1995 10:25	0
01/09/1995 10:26	0,32	01/09/1995 10:26	0,32
01/09/1995 10:50	0,24	01/09/1995 10:50	0,24
01/09/1995 10:50	0,56	01/09/1995 10:50	0,56
01/09/1995 11:17	1,45	01/09/1995 11:17	1,45
01/09/1995 11:25	1,9	01/09/1995 11:25	1,9
01/09/1995 11:41	2,65	01/09/1995 11:41	2,65
01/09/1995 11:52	3,4	01/09/1995 11:52	3,4
01/09/1995 12:05	6,1	01/09/1995 12:05	6,1
01/09/1995 12:25	7,6	01/09/1995 12:25	7,6
01/09/1995 13:00	8,5	01/09/1995 13:00	8,5
01/09/1995 13:06	10	01/09/1995 13:06	10
01/09/1995 16:16	10	01/09/1995 16:16	10
01/09/1995 18:41	12,4	01/09/1995 18:41	12,4
01/09/1995 19:30	0	01/09/1995 19:30	0
04/09/1995 07:05	0	04/09/1995 07:05	0
04/09/1995 07:58	28,9	04/09/1995 07:58	37,57
04/09/1995 08:07	28,9	04/09/1995 08:07	37,57
04/09/1995 08:20	22,6	04/09/1995 08:20	29,38
04/09/1995 09:21	21,4	04/09/1995 09:21	27,82
04/09/1995 09:35	17,2	04/09/1995 09:35	22,36
04/09/1995 10:09	16	04/09/1995 10:09	20,8
04/09/1995 10:26	13,6	04/09/1995 10:26	17,68
04/09/1995 10:50	13,6	04/09/1995 10:50	17,68
04/09/1995 11:00	8,8	04/09/1995 11:00	11,44
04/09/1995 11:26	7,9	04/09/1995 11:26	10,27
04/09/1995 11:38	5,2	04/09/1995 11:38	6,76
04/09/1995 11:53	4,6	04/09/1995 11:53	5,98
04/09/1995 11:57	3,7	04/09/1995 11:57	4,81
04/09/1995 12:16	3,4	04/09/1995 12:16	4,42

04/09/1995 12:27	1,9	04/09/1995 12:27	2,47
04/09/1995 12:47	1,45	04/09/1995 12:47	1,885
04/09/1995 12:54	0,8	04/09/1995 12:54	1,04
04/09/1995 13:15	0,6	04/09/1995 13:15	0,78
04/09/1995 13:23	0,28	04/09/1995 13:23	0,364
04/09/1995 13:50	0,12	04/09/1995 13:50	0,156
04/09/1995 16:00	0	04/09/1995 16:00	0

Annexe - XVI - Chimie des eaux

Annexe - XVI . 1 Composition chimique des eaux du bassin versant le 02 août 1995

	Durée	Débits	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	Ca	Mg	Na	K	Somme	Somme	MES
	Heure	Q en l/s		mS20§C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anions	cations	mg/l
Stati2 n°1	00:39	132	7.00	0.364	0.58	0.20	2.50	0.00	4.70	0.05	0.10	0.17	1.80	0.40	0.62	0.30	3.4	3.1	796
n°2	01:12	490	5.74	0.255	0.37	0.04	0.91	0.49	0.00	0.01	0.03	0.20	1.50	0.32	0.44	0.17	1.8	2.4	1408
n°3	01:31	239	6.62	0.211	0.43	0.21	1.30	0.33	4.20	0.00	0.30	0.04	1.30	0.27	0.47	0.11	2.3	2.2	1274
Stati1 n°1	01:39	54.8	6.28	0.292	0.62	0.27	1.60	0.37	7.50	0.05	0.52	0.01	1.10	0.43	0.63	0.27	3.0	2.4	1241
n°2	01:48	401	6.91	0.242	0.55	0.33	0.96	0.50	5.40	0.04	0.33	0.05	1.70	0.36	0.59	0.23	2.4	2.9	932
n°3	02:30	348	6.99	0.257	0.55	0.41	1.10	0.38	4.10	0.02	0.28	0.00	1.50	0.35	0.57	0.22	2.5	2.6	865
n°4	03:00	209	5.24	0.295	0.61	0.11	2.40	0.00	0.00	0.02	0.08	0.23	1.70	0.46	0.71	0.21	3.1	3.1	280

Annexe - XVI . 2 Composition chimique des eaux du bassin versant le 17 août 1995

	Durée	Débits	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	Ca	Mg	Na	K	Somme	Somme	MES
	heure	Q en l/s		mS20§C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anions	cations	mg/l
ST1 n°1	06:50	3.55	7.81	0.205	0.51	0.43	0.36	0.42	19.00	0.00	0.47	1.10	0.28	0.50	0.19	2.0	2.1	364
ST1 n°2	06:59	83.8	6.93	0.216	0.50	0.34	0.16	0.54	5.30	0.00	0.35	1.20	0.29	0.46	0.20	1.6	2.2	586
ST1 n°3	07:06	582	6.66	0.191	0.43	0.30	0.00	0.57	7.00	0.00	0.26	1.00	0.26	0.46	0.16	1.4	1.9	499
ST1 n°4	07:35	635	6.75	0.224	0.55	0.38	0.02	0.54	11.00	0.00	0.58	1.30	0.26	0.56	0.10	1.7	2.2	673
ST1 n°5	13:49	145	7.67	0.279	0.89	0.41	0.23	0.55	10.00	0.00	0.67	1.20	0.35	0.83	0.17	2.3	2.6	234
ST1 n°6	14:43	224	6.86	0.239	0.65	0.40	0.29	0.49	6.20	0.00	0.26	1.20	0.30	0.57	0.23	1.9	2.3	271
ST1 n°7	18:30	80	6.89	0.262	0.76	0.41	0.00	0.70	6.80	0.00	0.48	1.30	0.34	0.73	0.16	2.0	2.5	302
ST1 n°8	20:30	26	8.08	0.357	1.10	0.65	0.88	0.44	11.00	0.00	0.67	1.70	0.48	0.53	0.19	3.3	2.9	182
ST2 n°1	07:25	540	6.75	0.181	0.44	0.21	0.18	0.53	1.40	4.80	0.25	0.98	0.18	0.46	0.11	1.5	1.7	932
ST2 n°2	07:55	198	7.72	0.185	0.42	0.32	0.12	0.47	7.20	0.01	0.31	1.10	0.20	0.47	0.11	1.5	1.9	993
ST2 n°3	14:54	122	7.85	0.227	0.74	0.28	0.16	0.51	6.60	0.00	0.21	1.10	0.24	0.69	0.13	1.8	2.2	658

Annexe - XVI . 3 Composition chimique des eaux du bassin versant le 24 août 1995

	Durée	Q en l/s	pH	EC	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	NO2	PO4	NH4	Ca	Mg	Na	K	Somme	Somme	MES
	Heure	Q en l/s		mS20§C	még/l	még/l	még/l	még/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	még/l	még/l	még/l	még/l	anions	cations	mg/l
Sta2 n°1	0:29	20.1	7.94	0.199	0.46	0.12	0.72	0.29	10.00	0.00	0.72	0.00	1.10	0.22	0.48	0.15	1.8	2.0	3619
2	1:29	181	7.97	0.206	0.41	0.20	0.65	0.39	4.20	0.00	0.05	0.00	1.10	0.23	0.53	0.13	1.7	2.0	2442
3	1:35	435	7.05	0.222	0.44	0.28	0.48	0.45	10.00	0.01	0.24	0.00	1.20	0.25	0.53	0.15	1.8	2.1	939
4	1:28	267	8.08	0.457	1.30	0.27	1.70	0.18	63.00	0.01	3.20	0.04	2.00	0.65	1.60	0.27	4.6	4.5	723
5	2:22	239	7.00	0.325	0.79	0.33	0.80	0.33	46.00	0.01	2.20	0.01	1.60	0.30	0.90	0.19	3.1	3.1	819

Annexe - XVII - Définitions utiles en hydrologie

* *L'hydrogramme de crue* est la courbe de débit instantané d'un écoulement résultant d'une pluie en fonction du temps. Il comprend une première partie qui est une courbe de concentration pendant laquelle le débit augmente. Cette courbe dépend de la durée de la pluie, de la forme du bassin versant et du degré de saturation initial. Elle s'achève au point qui représente la pointe de l'hydrogramme, c'est à dire le débit maximal. La partie suivante constitue la courbe de décrue, généralement sans relation avec le hyétogramme de pluie, mais fonction essentiellement des caractéristiques du bassin versant et du volume d'eau stocké par rétention superficielle. Enfin la dernière partie représentée par une ligne presque horizontale, est la courbe de tarissement, due uniquement à la vidange des eaux souterraines.

* *L'hydrogramme unitaire*. C'est une théorie qui s'applique au ruissellement pur, développée par l'Américain SHERMAN en 1932 et qui repose, dans son aspect initial sur trois principes fondamentaux:

1^{er} - l'averse est homogène dans l'espace et dans le temps, de durée et d'intensité suffisante pour donner lieu à un ruissellement dans chaque point du bassin; il en résulte un hydrogramme à l'exutoire issue de cette averse dite unitaire.

2^e - L'averse unitaire engendre une crue de volume V_1 qui est définie comme étant la portion de l'averse qui ruisselle. L'hydrogramme unitaire est défini par une fonction de type: $V = \int k(t)dt$

3^e - Les hydrogrammes se déduisent les uns des autres par une opération linéaire.

Cette définition est de ROCHE M. A. (1964). BABA MOUSSA A. (1988), dans son *Cours sur la collecte des eaux* à l'École inter-états des Ingénieurs de l'Équipement Rural à Ouagadougou (EIER) écrit:

« La méthode de l'hydrogramme unitaire a pour objet, la détermination de l'hydrogramme du ruissellement superficiel à l'exutoire d'un bassin, à partir des hyétogrammes de l'averse correspondante reçue par ledit bassin. L'averse unitaire est une averse caractérisée par l'intensité de pluie nette supposée uniforme dans le temps et dans l'espace, dont la durée t_r est suffisamment inférieure au temps de concentration t_c du bassin. En pratique, on choisit une averse unitaire de durée t_{ru} inférieure ou égale à $t_c/(3 \text{ à } 5)$ et l'on établit expérimentalement l'hydrogramme correspondant pour un volume total ruisselé égal à l'unité (1mm d'eau uniformément réparti sur tout le bassin). Cet hydrogramme est appelé l'hydrogramme unitaire du bassin considéré pour l'averse unitaire de durée t_{ru} ».

L'hydrogramme en S est la courbe de montée de l'hydrogramme qui correspondrait à une averse uniforme d'une durée égale au temps de concentration t_c du bassin. Pour un bassin donné, il n'existe qu'un seul hydrogramme en S ne dépendant que des *caractéristiques de drainage* du bassin. A partir de l'hydrogramme en S, on peut obtenir l'hydrogramme unitaire correspondant à une durée d'averse quelconque.

La méthode de l'hydrogramme unitaire est basée sur les trois postulats suivants:

* sur un bassin versant déterminé, tous les hydrogrammes résultant d'averses unitaires de même durée t_r , ont le même temps de base t_b indépendant de l'intensité de l'averse: $t_b = t_r + t_c$

* les ordonnées homologues de divers hydrogrammes afférents à desaverses unitaires de même durée, sont proportionnelles aux intensités desaverses correspondantes

* l'hydrogramme de ruissellement d'une averse complexe de durée supérieure à celle de l'averse unitaire s'obtiendra en représentant celle-ci par une succession d'averses unitaires consécutives et composant (par addition des ordonnées) les hydrogrammes élémentaires relatifs à cesaverses unitaires, avec un décalage dans le temps de l'origine de ces derniers ».

Remarques: Les 3 postulats sur lesquels est basée la méthode de l'hydrogramme unitaire équivalent à admettre que l'on passe de la pluie nette au débit ruisselé par une transformation linéaire, ce qui n'est pas tout à fait exact mais acceptable en pratique. Il est recommandé d'établir l'hydrogramme unitaire pour des durées d'averses ne dépassant pas 24 heures (6 à 12 heures de préférence) et pour des bassins versants étendus mais inférieurs à 2 ou 3000 km² ».

Rappelons enfin dans le cadre de définitions des concepts, les notions de *fonction de production et de transfert*. Les modèles pluie-débit comprennent deux sous-modèles, dont le premier la fonction de production, transforme la pluie brute en pluie nette, après la soustraction des pertes. Le second sous-modèle, la fonction de transfert, est la transformation de la pluie nette en débit écoulé.

Annexe - XVIII - Nivellement du bassin versant

Le principe du nivellement est assez simple car on part d'une altitude connue (un point sur lequel on pose la mire) à un point suivant sur lequel sera ensuite posée la mire. Le niveau placé entre ces deux points, permettra de faire deux types de visée: une visée avant vers le point de départ et une visée arrière vers le point suivant. Après une visée avant, on peut effectuer plusieurs visées arrière (le niveau n'étant pas déplacé). Chaque visée comprend 3 lectures à travers l'oeil du niveau, orienté vers les graduations de la mire. On aperçoit donc 3 traits que sont le fil statimétrique haut (FSH), le fil statimétrique médian (FSM) et le fil statimétrique bas (FSB). Il s'agit de lire sur la mire les chiffres que recoupe chacun de ces fils et de les noter sur le carnet de nivellement selon le type de visée (arrière à gauche, avant à droite). Théoriquement la différence entre FSH et FSM doit être la différence entre FSM et FSB.

Le dépouillement est la phase suivante. Il est possible de le faire à la main, mais nous avons travaillé à l'ordinateur, en établissant 7 colonnes:

FSH	FSM	FSB	Vérification	Identification	Altitude	Distance
578	475	372	0	pont	8088	0
	1330			niveau	7233	20.6
1191	1075	958	0.5	I/II	7488	43.9
1645	1450	1254	0.5	I/II	7488	43.9
1425	1350	1275	0	II/III	7588	98
2167	2075	1983	0	II/III	7588	98

Extrait de dépouillement du nivellement du bassin de Fann Mermoz

Nivellement 12/8/94			FSH(B)=fil statimétrique Haut(Bas)				FM=fil statimétrique médian		
FSH	FM	FSB	verification	Remarque	altitude	distance	Hplan niveau	long	alti
578	475	372	0	échelle	8088	0	8563	0	7.13
	1330			niveau	7233	20.6	8563	20.6	7.23
1191	1075	958	0.5	I/II	7488	43.9	8563	43.9	7.49
1645	1450	1254	0.5	I/II	7488	43.9	8938	43.9	7.49
1425	1350	1275	0	II/III	7588	98	8938	98	7.59
2167	2075	1983	0	II/III	7588	98	9663	98	7.59
1760	1670	1580	0	Borne1	7993	98.4	9663	98.4	7.99
	1350			niveau	8313	116.4	9663	116.4	8.31
1461	1331	1201	0	III/IV	8332	124	9663	124	8.33
1216	1137	1058	0	III/IV	8332	124	9469	124	8.33
1242	1183	1124	0	IV/V	8286	151.6	9469	151.6	8.29
1695	1505	1315	0	IV/V	8286	151.6	9791	151.6	8.29
1337	1267	1197	0	V/VI	8524	203.6	9791	203.6	8.52
1456	1388	1320	0	V/VI	8524	203.6	9912	203.6	8.52
	1330			niveau	8582	217.2	9912	217.2	8.58

La Vérification est une opération qu'il vaut mieux faire sur le terrain à l'aide de la calculatrice: elle est confirmée par l'ordinateur en utilisant la formule suivante:

$$FSM - |(FSH + FSB) / 2| = 0.$$

Ceci signifie que la lecture du FSM doit être égale à la moyenne des deux autres.

La première altitude est celle du point de départ: elle est connue d'avance. Avec elle, on cherche d'abord l'altitude du point sur lequel est placé le niveau (après avoir mesuré la hauteur de son plan c'est à dire du sol au niveau). On pose:

8088 (altitude de départ) + 475 (FSM) - 1330 (Hauteur plan du niveau) = 7233 mm (altitude du point sur lequel est posé le niveau).

Ensuite, le niveau ne bouge pas et on déplace la mire sur un autre point: c'est une lecture avant et l'altitude de ce point sera de:

altitude de départ + FSM de la visée avant - FSM de la visée arrière

$$8088 + 475 - 1075$$

Altitude du point suivant = altitude précédent + FSM de la visée arrière - FSM de la visée avant

$$7488 + 1450 - 1350$$

Ainsi donc les altitudes sont déterminées en additionnant l'altitude du point précédent et sa lecture médiane, ensuite on retranche la lecture médiane du point dont on cherche l'altitude.

Le dépouillement permet aussi de retrouver la distance entre deux points successifs, et partant donc la distance entre deux points du bassin, notamment l'exutoire et les points les plus élevés. Ici on utilisera les lectures Haute et Basse.

Distance = (FSH - FSB)/10, FSH et FSB exprimés en mm et Distance est exprimée en m.

Annexe - XIX - Présentation des logiciels d'étude du relief

Annexe - XIX . 1 Mygale/PC

« Il fait partie du système Savane. C'est un programme de saisie graphique sur table à digitaliser de cartes thématiques zonales, linéaires, ponctuelles et de fonds cartographiques non thématiques. Conçu pour la saisie cartographique, ce n'est pas seulement un éditeur graphique pour saisir du dessin: toutes les données topologiques nécessaires à l'utilisation de documents dans le cadre d'un système d'information géographique sont également saisis et conservés. Les caractéristiques principales de ce programme sont:

- une saisie thématique correspondant à une structuration relationnelle des données graphiques: chaque niveau d'information est saisi séparément. Les données topologiques sont également saisies (labélisation des zones, centroïde, noeuds, repérages des arcs par rapport aux zones, sens des arcs, etc.)
- une saisie supervisée avec de multiples contrôles topologiques et graphiques permettant de produire des documents exempts d'erreurs.
- une comptabilité avec les principaux formats de données graphiques permettant une exportation des fichiers produits vers la plupart des logiciels utilisant des données cartographiques vectorisées. »

Extrait du Guide de l'utilisateur¹ du logiciel conçu par Marc Souris, Chargé de recherche et Ingénieur en informatique à l'Orstom.

Annexe - XIX . 2 Démiurge

Démiurge est l'abrégié de Digital Elevation Model In URGENCY. C'est un ensemble de logiciels qui permet d'obtenir puis de traiter un Modèle Numérique de Terrain. Son domaine d'application est donc essentiellement le relief. A partir d'une carte topographique, on saisit les courbes de niveau par le premier logiciel, TOPOLOG rebaptisé T2 dans la nouvelle version; ce premier traitement donne un fichier vecteur des courbes de niveau. Avec un second traitement sous OROLOG, ce fichier vecteur donne un MNT. Le Modèle Numérique de Terrain permet enfin d'obtenir avec le logiciel LAMONT (Logiciel d'Application des MODèles Numériques de Terrain) plusieurs fichiers et produits dérivés: pentes, modèle de drainage de la surface, orientations, surfaces drainées par les sous-bassins, longueur de drainage... Christian DEPRAETERE, Hydrologue à l'Orstom est l'auteur de Démiurge.

La différence fondamentale entre les programmes de saisie que sont Mygale/PC et Topolog réside dans le fait que le premier travaille sur un espace géoréférencé c'est à dire que le document à digitaliser doit avoir des coordonnées dans un repère orthonormé; et en fait ces coordonnées sont les coordonnées géographiques de l'espace à cartographier, converties dans le plan de la table. Il existe un petit programme appelé GLOBE qui permet cette conversion des coordonnées selon la projection utilisée pour la confection de la carte.

Par contre, l'avantage de T2 est la saisie continue, plus reposant pour la main.

Annexe - XIX . 3 Savane

SAVANE est un système d'information géographique (SIG): c'est un système logiciel qui permet la gestion et l'exploitation de bases de données géographiques. Le système SAVANE est construit sur le modèle relationnel mais les possibilités du modèle ont été étendues pour que la dimension spatiale de l'information géographique soit prise en compte. Cette extension du modèle relationnel à la localisation, par l'extension des opérateurs relationnels, l'introduction de type d'objets et de méthodes associées, est au coeur du système SAVANE et constitue sa principale caractéristique théorique.

"L'extension à la localisation d'un modèle de structuration et de gestion de données est une expression qu'on peut comprendre à travers l'exemple simple d'un point de l'espace qui peut être identifié et distingué des autres par des coordonnées x et y d'un repère particulier de l'espace. x et y sont deux valeurs numériques qui peuvent être saisies dans un tableur ou un système de gestion de base de données relationnel standard. Elles peuvent être alors gérées et manipulées par ce système comme n'importe qu'elles valeurs numériques, indépendamment de ce qu'elles représentent spatialement. Dans SAVANE, le couple (x,y) constitue une information "en soi" dont le système reconnaît la spécificité: c'est une des expressions possibles de la localisation d'un objet. La localisation c'est l'ensemble intégré des informations qui détaillent la position et la géométrie d'un objet sur l'espace terrestre. Ces informations permettent entre autres de représenter graphiquement un objet sur un écran d'ordinateur, ce qui rend son identification et l'identification de ses caractéristiques beaucoup plus confortables pour l'utilisateur. L'oeil communique en effet instantanément au cerveau le message que lui transmet une image; la réaction de l'intelligence à cette information est tout aussi rapide quand ce message est codé dans un

¹ Marc SOURIS et al (1993): MYGALE/PC, Guide de l'utilisateur ORSTOM

langage qu'elle peut interpréter: le langage des cartes. L'objectif de SAVANE est de maintenir dans la gestion et le traitement de l'ensemble des données (pas seulement des données graphiques) l'aisance que procure la visualisation des localisations. Pour cela le système prend simultanément en charge la gestion des données descriptives et des données graphiques de localisation.

Outil de gestion, SAVANE est également un formidable outil d'analyse et de découverte grâce à de très nombreuses possibilités d'exploitation des données. L'interface conviviale de SAVANE permet de se familiariser rapidement avec les plus courantes de ces possibilités: interroger des bases, discrétisation des valeurs et calcul de formules, représentation et édition cartographique, superposition visuelle de données de sources diverses. La même interface permet également d'accéder à des possibilités plus spécialisées qui ont été développées pour la recherche appliquée en sciences de la terre ou en sciences sociales: géo-jointures, interpolation, analyse géostatistique, analyse de voisinage, télédétection, calculs d'optimisation... Enfin grâce aux outils de personnalisation, d'interfaçage, de définition de méthodes et de développement en langage de macro - commandes, chacun peut mettre au point ses propres applications et définir des objets complexes.

Le système SAVANE comprend plusieurs programmes distincts: SAVATECA, SAVAC, SAVMOS sont des modules réservés à l'administrateur, et servent à des tâches de configuration du système, ainsi qu'à la gestion, la maintenance et l'actualisation des bases de données. Le module SAVANE contient l'ensemble des possibilités d'exploitation et de cartographie. Le module BABEL traite exclusivement de la visualisation des modèles numériques en perspective par illumination."

Ce texte est tiré du manuel de référence de SAVANE, système dont les auteurs (ingénieurs en informatique à l'Orstom) sont:

Marc Souris: conception, architecture, algorithmique et manuel

Marc Souris, Michel Lepage, Françoise Pelletier, Dominique Rény et Eric Dupérier: analyse et programmation.

Annexe - XIX . 4 Méthodes d'interpolation

La méthode utilisée dans OROLOG consiste à calculer la valeur moyenne pondérée de l'altitude interpolée à l'aide de fonctions splines cubiques le long de quatre axes. Une courbe spline cubique est donc une succession de polynômes du troisième degré, calés sur chaque intervalle défini par deux points de mesure consécutifs, et se raccordant les uns aux autres par une condition de continuité des courbures. La fonction polynomiale élémentaire est de la forme:

$$Y = f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

Chaque élément de courbe est donc caractérisé par quatre paramètres. La courbe spline cubique est un interpolateur exact car elle passe par les points de mesure. Ainsi un système de quatre axes est utilisé avec comme hypothèse de base la recherche de l'information dans 8 directions, ceci permettant d'obtenir une valeur locale de l'altitude, cohérente au regard des courbes de niveau environnantes. Le croquis suivant montre le principe (ORO 5). Ensuite on recherche les points d'intersection entre les axes et les courbes de niveau. L'altitude de chaque point du MNT sera obtenue en faisant la moyenne pondérée des altitudes calculées sur les axes. La pondération consiste à faire la somme des inverses des distances aux courbes de niveau.

$$*-----D_p-----+-----D_s-----*$$

D_p , distance à la courbe précédente et D_s distance à la courbe suivante. + est le point interpolé. La pondération est de la forme:

$$W = 1/D_p + 1/D_s$$

La valeur probable de l'altitude en un point est égale à la moyenne pondérée des valeurs interpolées.

L'interpolation barycentrique quant à elle, plus simple, consiste à rechercher l'altitude d'un point selon toujours 4 axes (voir schéma), en posant la formule suivante:

$$Z_{ij} = (Alt_i * i_1 + Alt_2 * i_2) / i_1 + i_2$$