



Mémoire
Présenté par :
Aliou SYLLA

Université Cheikh Anta Diop
FACULTÉ DES LETTRES ET DES
SCIENCES HUMAINES Département de
Géographie

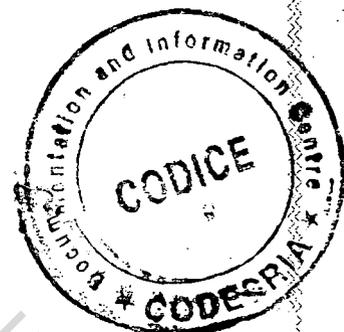
**Caractérisation physiographique et
estimation des écoulements de surface
du bassin versant urbain de Thiès**

Année Académique: 2004/2005

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTÉ DES LETTRES ET DES SCIENCES HUMAINES

Département de Géographie



MÉMOIRE de D.E.A

(Diplôme d'Etudes Approfondies)

Sujet:

**CARACTÉRISATION PHYSIOGRAPHIQUE
ET ESTIMATION DES ÉCOULEMENTS DE SURFACE
DU BASSIN VERSANT URBAIN DE THIÈS**

Présenté par :

Aliou SYLLA

Sous la direction scientifique de:

M. Amadou Tahirou Diaw

Maître de conférences

Avec l'encadrement de

M. Honoré DACOSTA

Maître-assistant

Année universitaire 2004 – 2005

170304
SYL
13119

Avant-propos :

Cette présente étude; entre dans le cadre du mémoire préparant mon Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A) en Géographie (mention Hydrologie urbaine), sera consacrée à la caractérisation morphométrique et à l'estimation de la crue décennale sur le bassin versant de la ville de Thiès. Elle est particulièrement orientée vers la connaissance des mécanismes hydrologiques nécessaires au dimensionnement adéquats des ouvrages d'assainissement pour l'amélioration du cadre et de la qualité de vie des populations. Ceci dans un contexte marqué par une évolution rapide de la ville où la gestion des eaux de pluie s'érige en une véritable équation.

Au delà de cette problématique de recherche, cette étude est déterminée par le contexte plus général de l'ensemble des problèmes du développement urbain. Le drainage des eaux y figurent au même titre que le traitement des eaux usées, l'alimentation en eau potable, la santé, le transport, la circulation, l'électricité, téléphone, etc..... Ce qui entre en directe ligne de la satisfaction de la demande sociale.

Je remercie en premier lieu les personnalités qui ont bien voulu suivre mon travail et qui l'ont fait progresser

Je tiens en premier lieu, à remercier M. Honoré DACOSTA, l'initiateur et l'encadreur.

Je tiens également à remercier M. Amadou Tahirou Diaw pour la confiance qu'il m'a accordée. Je ne saurais trouver les mots justes pour lui exprimer toute ma gratitude, mais qu'il trouve dans ces quelques lignes une marque de respect et l'expression de mon admiration.

Un mémoire est beaucoup plus que le fruit d'un travail personnel. À ce titre, je remercie toute l'équipe du « Laboratoire d'Hydrologie Honoré DACOSTA » au B.R.G.M U.C.A.D : Halima Laroubi, Joseph Sarr, Anastasie Mendy, René Ndimag Diouf, Abdou Khadre Diatta, Ousmane Ndiaye, Moustapha Niang, Dieynaba Ndiaye, Gaston Diémé, Khady Diop, Ansoumana Bodian, Marie Paul Sali Faye, Aminata Diagne, Adama Thiandoume. À tous, je dédie ce modeste travail.

Enfin, je remercie le CODESRIA, pour m'avoir octroyé une allocation de recherche dans le cadre de ce travail

SOMMAIRE

AVANT – PROPOS.....	1
INTRODUCTION GENERALE.....	3
<u>CHAPITRE PREMIER : CARACTÉRISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES DU BASSIN</u>	7
I. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT.....	8
II. CARACTÉRISTIQUES MORPHOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT	12
<u>CHAPITRE DEUXIEME CLIMATOLOGIE DU BASSIN.</u>	20
I. ANALYSE DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES	21
II ANALYSE DE LA PLUVIOMÉTRIE	24
<u>CHAPITRE TROISIEME : ESTIMATION DU DÉBIT DE CRUE DÉCENNALE</u>	37
I. LA MÉTHODE I.R.D (ex ORSTOM).....	38
II. LA MÉTHODE C.I.E.H (Comité Inter état d'Etude Hydraulique)	40
CONCLUSION GENERALE.....	41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	42
TABLE DES MATIERES	45
LISTE DES FIGURES	45
LISTE DES TABLEAUX.....	46

Introduction générale :

Ce mémoire, est la continuité de celui soutenu en année de maîtrise sur le sujet : « Analyse de la structure des averses à la station pluviographique de Thiès (1957-1999) ». Dans ce mémoire, j'ai étudié de manière très fine la forme des pluies (hyétogrammes), la durée des pluies et leurs intensités maximales sur des pas de temps allant de 5 minutes à trois heures. En effet, dans les centres urbains, l'étude du ruissellement requiert une connaissance fine de la répartition temporelle et spatiale de la pluie compte tenu des modifications des états de surface des sols induites par l'urbanisation, préoccupation dans laquelle s'inscrivait ce travail de recherche. Ces paramètres sont des éléments essentiels des études d'assainissement.

Les résultats de ce travail me permettent d'envisager, dans le cadre du D.E.A, l'étude détaillée des paramètres physiographiques du bassin versant urbain de Thiès d'une part, et d'autre part, la prédétermination de la crue décennale à l'aide des méthodes IRD (ex ORSTOM) et CIEH (FAO, 1996).

Cette étude contribue à une meilleure connaissance du ruissellement en milieu urbain Thiessois, encore peu étudié. Bâ (2003), s'est livré à cet essai. L'inconvénient majeur de son travail, reste que l'analyse de la pluviométrie est incomplète et porte sur des séries trop courtes (20 ans même pas à l'échelle d'une normale pluviométrique qui est de 30 ans). La distribution statistique des pluies annuelles n'a pas été abordée, ni celle des pluies journalières et à fortiori celles des épisodes pluvieux successifs. L'analyse de la pluviométrie a porté que sur les pluies annuelles et mensuelles.

Cette analyse pluviométrique aurait gagné à être complétée par celles des pluies maximales journalières et des cumuls sur plusieurs jours consécutifs qui créent au niveau du sol des conditions particulières plus favorables au ruissellement de surface. Et même une évaluation de l'écoulement potentiel basée uniquement sur les pluies maximales journalière, sous-estimera inmanquablement les volumes ruisselés par rapport à l'écoulement que génèreraient des événements pluvieux consécutifs. Sur deux à trois jours consécutifs les volumes précités peuvent générer une crue de fréquence supérieure à la décennale, la précipitation du premier jour ayant déjà réalisée la saturation des sols. Comme nous le verrons plus loin, la connaissance des précipitations de plusieurs jours consécutifs ainsi que leur probabilité, permet d'introduire un paramètre correctif dans le dimensionnement des ouvrages d'assainissement, de franchissement et des axes routiers. L'analyse de la pluie à l'échelle infra-horaire ; à travers la forme, les intensités maximales aux différents pas de

temps (allant de 5mn à 3 heures) pour obtenir les courbes Intensité-Durée-Fréquence (**I.D.F**) ; manque également à ce travail.

L'étude hydrologique la plus complète a été réalisée par Dacosta (2004), dans le cadre du « projet du Lac Artificiel de Thiès ». Mais, le Lac Artificiel projeté se situe en bordure du plateau (cuesta) de Thiès, à l'ouest de l'École Polytechnique. Les bassins versants de l'aménagement prévu pour le Lac Artificiel se trouvent dans une zone localisée à l'ouest de la ville, donc le bassin versant urbain n'est pas concerné.

Pour dimensionner les ouvrages hydrauliques (particulièrement le déversoir de crues), une analyse hydrologique a été considérée, afin de déterminer la valeur la plus probable de la crue de fréquence centenaire. « Dans ce sens, la crue décennale pour le bassin versant directement afférent au Lac Artificiel a été évaluée en utilisant plusieurs méthodes : la méthode graphique, la méthode ORSTOM, la méthode rationnelle et le logiciel OTTHYMO développé par l'Université d'Ottawa. Finalement, la méthode ORSTOM a été retenue comme étant la plus adaptée pour les conditions locales (morphologie du bassin et conditions hydrométéorologiques de la région de Thiès) » DACOSTA (2004). La crue de fréquence centenaire calculée est de 63,6 m³/s pour un bassin d'une superficie de 1,545 km².

Cette étude fine, de la situation hydro-climatologique et hydraulique du bassin versant urbain de Thiès, que nous envisageons, vise **les objectifs** suivants :

- ◆ une bonne connaissance des caractéristiques physiographiques du bassin,
- ◆ une estimation des caractéristiques de la crue décennale (débit de pointe, temps de montée, temps de base et coefficient de forme) de projet du bassin versant urbain de Thiès.

Au delà de ses objectifs spécifiques, ce travail d'études et de recherches fournit aux ingénieurs, aménageurs, administrateurs et / ou chercheurs un outil d'aide à la prise de décision dans les domaines des travaux publics et de l'aménagement du territoire. Il est particulièrement orienté vers la réalisation des ouvrages d'assainissement adéquat dans les centres urbains. Ceci, dans le cadre de la lutte contre les inondations, pour la protection des biens, des personnes et de l'environnement.

Pour atteindre ces résultats nous suivrons **la méthodologie** suivante :

La collecte de l'information

Il s'agira pour cette étape de collecter toutes les informations quantitatives et qualitatives se rapportant à l'étude.

La recherche documentaire qui constitue la première phase du travail portera sur les documents ayant trait aux inondations et aux divers travaux d'aménagement urbain (documents cartographiques d'évolution spatiale de la ville, photographies aériennes, images satellites de différentes dates de prise de vue...)

La collecte des paramètres climatiques : températures, évaporation, évapotranspiration, vitesse de vent, insolation, humidité relative et des données pluviométriques journalières de la station.

Le travail de terrain : la recherche documentaire sera complétée par le travail de terrain. Elle concerne les visites de terrain pour déterminer ses singularités : occupation de l'espace du bassin; ses caractéristiques physiques, identification des points bas et des zones inondées.

•Le traitement de l'information

Après le terrain, on procédera au traitement des données recueillies. Nous effectuerons un traitement statistique et un traitement cartographique des données avec différents logiciels adaptés au traitement de l'information :

- ◆ **ARCVIEW 3.2a, ATLAS DRAW** pour le géoréférencement, la numérisation des cartes topographiques, la délimitation du bassin versant. Cette dernière phase permettra l'élaboration du Modèle Numérique de Terrain (MNT) mettant en évidence la structure et la morphologie du bassin versant,

- ◆ **SURFER**, pour la réalisation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) en trois dimensions,

- ◆ **PLUVIO** pour la gestion de la base de données pluviométriques et pluviographiques,

- ◆ **HYDRACCES** pour le traitement des données hydrologiques,

- ◆ **EXCEL** pour les calculs statistiques et l'élaboration de tableaux et figures,

- ◆ **DIXLOIS, HYFRAN, SAFARHY** (conçus pour l'évaluation des risques en hydrologie) pour l'ajustement des lois statistiques aux données pluviométriques, leurs sorties graphiques et la détermination de leur récurrence,

- ◆ **SAHEL**, conçu et réalisé pour le calcul de la crue décennale

Toutes ces données ainsi traitées vont être analysées à partir du **plan** suivant :

La première partie sera consacrée à l'étude du **milieu physique**. Elle s'attachera à définir avec précision les paramètres géomorphologiques, pédologiques et morphométriques qui influencent les écoulements.

La deuxième partie portera sur l'étude de **la climatologie du bassin**.

La troisième partie mettra l'accent sur **une approche pratique, appliquée**, des résultats antérieurs, pour une prédétermination des écoulements : une mise en relation des écoulements avec les paramètres physiques et climatiques du bassin pour une estimation rationnelle des débits hydrologiques fiables, pour l'élaboration et la réalisation des infrastructures d'assainissement adéquats.

En fin une conclusion générale synthétise les résultats obtenus et propose des perspectives pour ce travail.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Chapitre 1

Caractéristiques physiographiques du bassin versant

Cette première partie du travail sera consacrée à l'étude des aspects morphologiques, lithologiques, morphométriques du bassin versant.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

I CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MORPHOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT

Ce chapitre inclut, hormis l'étude physique de la ville à savoir le relief, la géomorphologie, la géologie, les sols et l'hydrographie ; une étude détaillée des paramètres de forme de bassin.

1. Caractéristiques physiques et leur influence sur l'écoulement des eaux

Toute étude hydrologique nécessite au préalable une bonne connaissance du milieu physique (sols, géomorphologie, géologie, etc.).

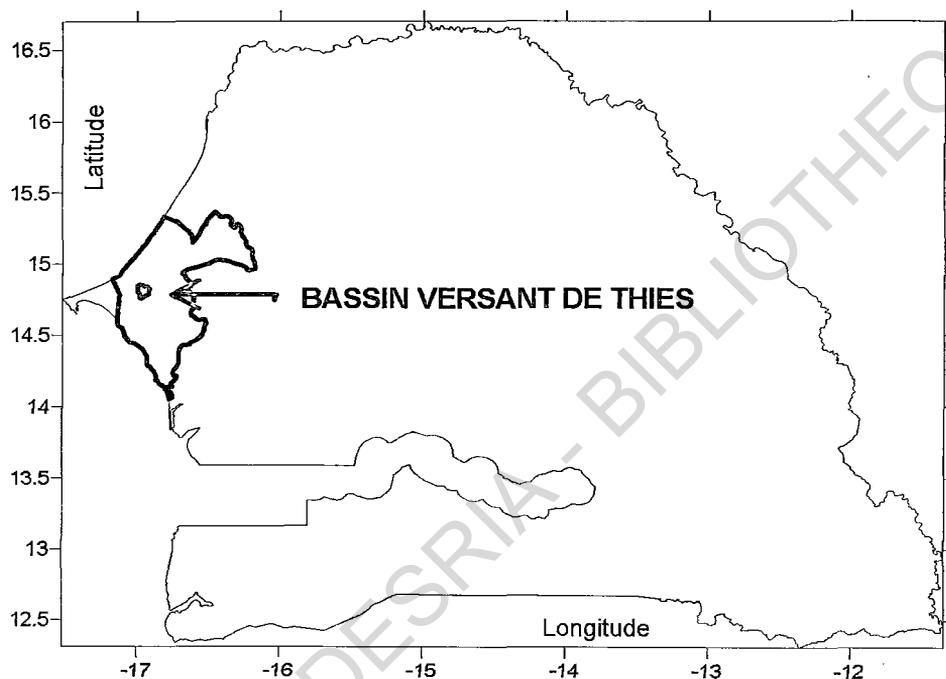


Figure1 : Situation du bassin versant urbain de Thiès.

✧ Géomorphologie :

Les Caractéristiques géomorphologiques du milieu constituent des éléments importants de l'écoulement des eaux.

La Ville de Thiès est bordée, dans sa partie ouest par une Falaise ou "Cuesta de Thiès" qui termine un plateau d'une altitude moyenne de 100 à 130 m qui présente une nette dissymétrie sur ses bordures, avec une descente rapide vers l'ouest (la dépression). La ville, quant à elle, est bâtie sur le revers de la cuesta (en aval pendage) caractérisé par une topographie plane mais inclinée dans le sens général du terrain naturel, orientée d'ouest en est. Ces conditions naturelles du terrain font de la ville un déversoir des eaux de pluies provenant du plateau (voir **figure4 MNT**).

❖ **Caractéristiques générales des sols**

Les caractéristiques pédologiques constituent des éléments importants de l'écoulement des eaux dans le milieu. Elles permettent de voir la capacité d'infiltration du sol et les risques d'érosion mais aussi et surtout l'état de la nappe pour l'absorption des eaux et la restitution des eaux.

Nous reprenons ici la typologie des sols faite par DESTHIEUX G (2000) et cité par BA, 2003.

- **les sols ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés** : Ces sols sont aussi appelés « sols diors ». Ils occupent la partie sud-ouest de la ville de Thiès. Formés sur des sables quaternaires (95 %) constitués par les apports de sédiments provenant de la dégradation des versants, ces sols redistribués sont très homogènes et présentent un horizon superficiel de couleur gris beige non structurée.
- **les sols ferrugineux tropicaux lessivés** : Ils sont localisés au nord et à l'ouest de la ville. Ils deviennent plus rares au sud où ils se limitent au niveau des crêtes du bassin versant. Ces sols sont sableux en surface et argilo sableux en profondeur. Ils sont caractérisés par la présence d'une cuirasse ferrallitique située entre 50 cm et 1 m de profondeur.
- **les sols squelettiques d'érosion** : Ce sont des sols sur cuirasse ferrugineuse. Ils se manifestent principalement sur les versants des collines de Thiès où la pente est d'intensité suffisante (4 à 7 %) pour provoquer une érosion en ravine et en nappe importante. Ces actions érosives sont des phénomènes récents dans la zone, et très inquiétants par la rapidité de leur expansion. Ces sols sont localisés à l'ouest de la ville de Thiès.

- **les sols hydromorphes « decks »**

Ces sols sont sablo limoneux et relativement plus profonds. On les appelle aussi sols « decks » car ils contiennent plus de 10 % d'argile. Ces sols sont constitués d'un horizon sableux épais vers un mètre de profondeur. En dessous de cette formation, on retrouve un sable de granulométrie uniforme renfermant la nappe aquifère.

- **les sols hydromorphes « decks-diors »** : On les appelle ainsi sols « decks-diors », car initialement ce sont des sols decks ayant été recouverts par un dépôt sableux et limoneux. On retrouve aussi ces sols dans les bas-fonds de l'affluent principal venant du sud.

❖ **Identification des réseaux d'écoulement sur la superficie du bassin versant**

Notre bassin versant est dépourvu de réseaux hydrographiques superficiels pérenns. Il existe qu'un réseau hydrographique qui passe par le nord de la ville pour rejoindre le marigot de Fandène. Ce cours d'eau sert d'exutoire pour les canaux qui drainent les eaux pluviales de la ville (BA, 2003).

Le réseau hydrographique est intermittent et beaucoup plus apparent dans la dépression (zone Pout-Mont-Rolland). Il s'agit de ruisseaux anaclinaux dont l'activité dépend des grosses averses qui provoquent un écoulement de type torrentiel très circonscrit dans le temps. Tous ces ruisseaux convergent vers les zones dépressionnaires des Niayes et alimentent les divers lacs coincés entre les dunes rouges ogoliennes des cordons dunaires littoraux (Mbeubeusse, Tamna). Le découpage du rebord du plateau est dû à l'activité de ces ruisseaux.

Sur la surface du plateau et en direction de l'est, le réseau hydrographique est peu marqué. En fait, il s'agit d'un plan incliné sur lequel on doit observer un écoulement en nappe en cas de fortes pluies.

❖ **Structure géologique du bassin**

La structure de la roche, sa forme, les failles, les plissements, forcent le courant à changer de direction.

La région de Thiès fait partie du bassin sédimentaire Sénégal-Mauritanien. Ce bassin côtier, ouvert sur l'Océan Atlantique, est constitué de plusieurs séries sédimentaires. Ces séries sont recouvertes par les formations du Continental Terminal et du Quaternaire. La partie Occidentale de ce bassin, qui comprend les régions de Dakar et de Thiès, a été le siège de manifestations tectoniques importantes, mettant en jeu un système de failles. Les Mamelles de Dakar et le Horst de Ndiass en constituent des témoignages éloquentes, avec des lignes de hauteur d'une centaine de mètres. À l'exception de la région du Sénégal Oriental, où les altitudes peuvent atteindre 400 m, la majeure partie du territoire est constituée de terrains dont l'altitude dépasse rarement les 50 m. L'âge des formations géologiques est le Yprésien. Les formations géologiques consistent en une formation marno-calcaire et calcaire. Une étude détaillée réalisée par l'ONAS, SCANDIACONSULT donne la lithologie suivante de la surface vers le bas :

Tableau 1 : Lithologie du bassin versant

Profondeur (m)	Constitution	Description
0-2	Terre de surface	
2-4	Argile Latéritique	La couche superficielle est constituée essentiellement de sable limoneux à légèrement argileux. La couche latéritique se présente sous pulvérulente ou rocheuse.
4-12	Latérite	
12-16	Grès + ou - induré	La couche est ferrugineuse par endroit.
16-20	Argile calcaire	
20-40	Marne	
40-60	Marne à marno-calcaire	

Source: ONAS, SCANDIACONSULT ; 1999

❖ Conditions hydrogéologiques

Selon les prospections effectuées dans le cadre du projet d'étude et de réalisation du canal du Cayor le niveau de l'eau souterraine se trouverait à 40 m. L'écoulement général de l'eau souterraine se fait d'ouest en est, conformément à la pente du terrain naturel.

2- Les caractéristiques morphométriques des bassins :

Cette étude permet de déterminer la forme du bassin versant, les pentes et l'analyse des courbes hypsométriques. La première tâche est de délimiter le bassin. Les cartes topographiques à l'échelle 1/50 000 de la région de Thiès ont servi de base cartographique à notre travail. Les cartes suivantes ont été utilisées : carte Thiès 3a et 3c NDX, JICA 1991.

❖ Limite du bassin versant de Thiès

La délimitation du bassin versant, a été faite après digitalisation des cartes topographiques indiquées ci-dessus avec le logiciel **ATLAS DRAW**. Les données **ASCCI** obtenues ont servi à la réalisation de la **figure 2** sous **SURFER**. La représentation du sens de la pente qui indique celui de l'écoulement a permis de confirmer la délimitation du bassin versant réalisée sur les cartes topographiques.

Cette délimitation présente un double avantage, d'une part, elle tient en compte la zone du plateau communément appelée le nouveau Thiès où la ville est entrain de s'installer, et d'autre part elle inclut les extensions de la ville vers le sud. Aujourd'hui, la ville de Thiès s'étend jusqu'au village de Ngoundiane.

CODESRIA - BIBLIOTHÈQUE

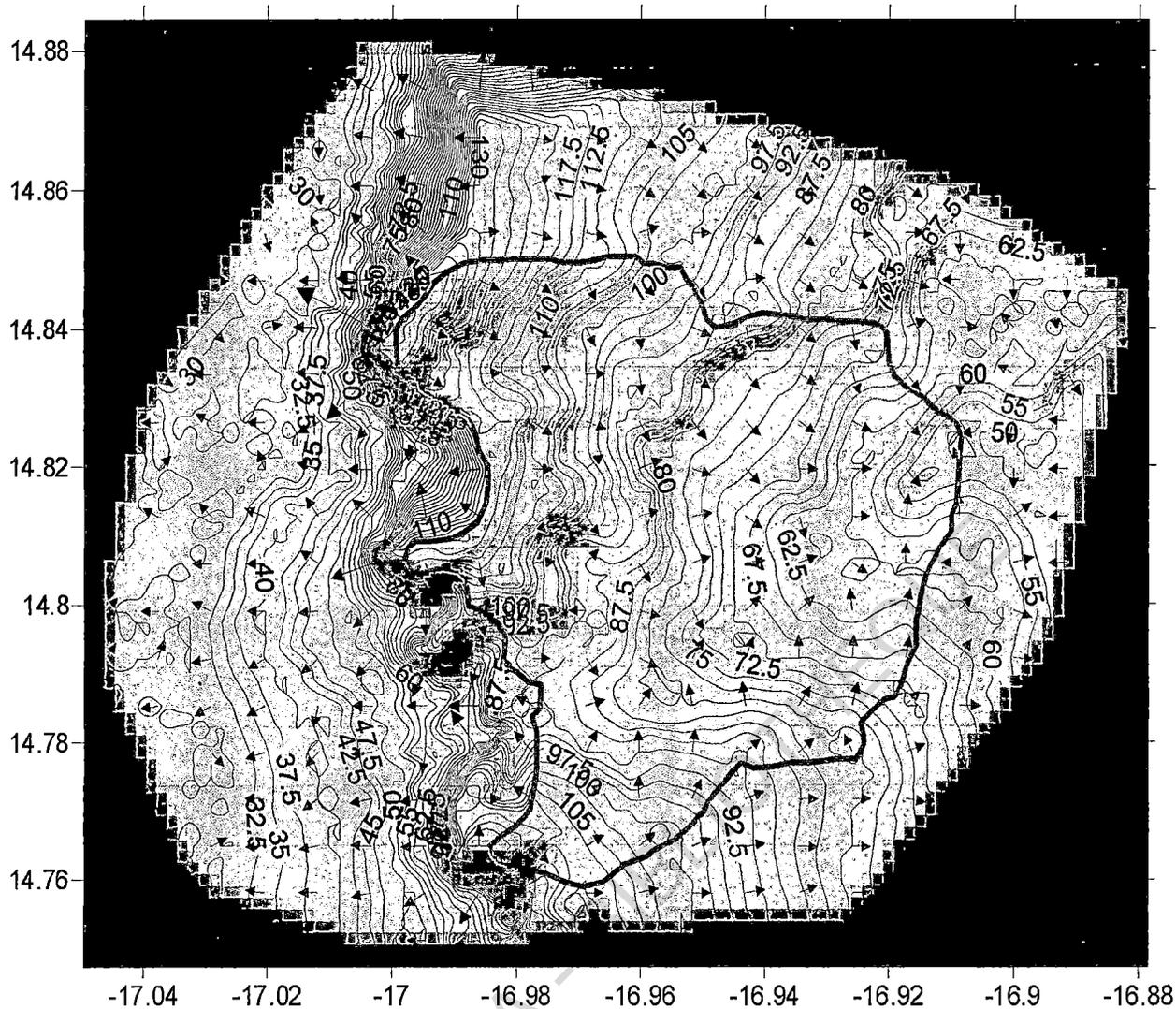


Fig.2- Limite du bassin versant de Thiès

Les flèches indiquent le sens de la pente qui correspond au sens de l'écoulement. La limite sud du bassin se situe au niveau de la ligne de partage des eaux avec les bassins de Notto et Tasset, conformément aux lignes de crête. L'exutoire du bassin se situe sous le pont de la route de Tivaouane à la sortie de Thiès. Le barycentre du bassin est localisé à $16^{\circ}57'22.2W$ et à $14^{\circ}48'38.2N$.

✧ La surface et le périmètre

Ces paramètres ont été calculés directement par le logiciel Arcview après digitalisation des cartes topographiques. Dans le tableau, ci-dessous sont consignées les superficies couvertes par chaque tranche d'altitude.

Tableau 2 : Les surfaces partielles du bassin

Courbes de Niveau (m)	Surfaces partielles (Km2)
40-50	0.25
50-60	4.21
60-70	9.87
70-80	12.28
80-90	10.48
90-100	10.46
100-110	7.73
110-120	6.45
120-130	5.41
130-140	1.26

A : superficie totale du bassin est de **68 Km²** et **P** : périmètre du bassin est de **37.5 Km**

✧ La forme

La forme d'un bassin peut se caractériser par le coefficient de Gravelius ou indice de compacité (K_c). Cet indice donne une idée de la forme plus ou moins allongée du bassin. Il est égal à 1 pour les bassins de forme circulaire et 1.12 pour ceux de forme carré. Une valeur proche de l'unité indique une capacité à concentrer rapidement ses écoulements vers l'exutoire.

Cet indice est obtenu à l'aide de la formule suivante

$$K_c = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

avec :

K_c est l'indice de compacité de Gravelius,

A : surface du bassin versant [km²],

P : périmètre du bassin [km].

Cet indice est de **1,278** pour le bassin de Thiès, donc nous sommes en présence d'un bassin allongé. Cet allongement du bassin est vérifié par le fait que ce dernier a un périmètre (**P**) de 37.5 km, la longueur (**L**) du rectangle équivalent est de **13.684 Km** pour seulement une largeur (**l**) de **4,983 km**.

Ces dimensions du rectangle équivalent de même surface et de même périmètre que le bassin sont déterminées à l'aide des formules ci-dessous :

✧ Longueur et largeur

$$L = \frac{Kc * \sqrt{A}}{1.128} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{Kc * \sqrt{A}}{1.128} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right]$$

Le rectangle équivalent permet de comparer des bassins entre eux du point de vue de leur forme. On suppose que l'écoulement sur un bassin donné est à peu près le même, à conditions climatologiques égales, que sur un bassin rectangulaire de même superficie, ayant le même coefficient de compacité et de même répartition hypsométrique (Roche M, 1963).

✧ Le relief

Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

-- Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique donne la relation altitude-surface du bassin versant, donc une vue sur le relief (**figure 3**). Pour tracer cette courbe hypsométrique, on met en abscisse les superficies partielles cumulées du bassin (en pourcentage) et en ordonnée les altitudes correspondantes (**tableau 3**).

Tableau 3: hypsométrie du bassin versant

altitudes (m)	surface (Km2)	%	surfaces cumulées en %
>140	0,23	0,34	0,34
140	1,03	1,51	1,84
130	5,41	7,91	9,75
120	6,45	9,43	19,18
110	7,73	11,30	30,48
100	10,46	15,29	45,77
90	10,48	15,32	61,1
80	12,28	17,95	79,05
70	9,87	14,43	93,48
60	4,21	6,15	99,63
50	0,25	0,37	100

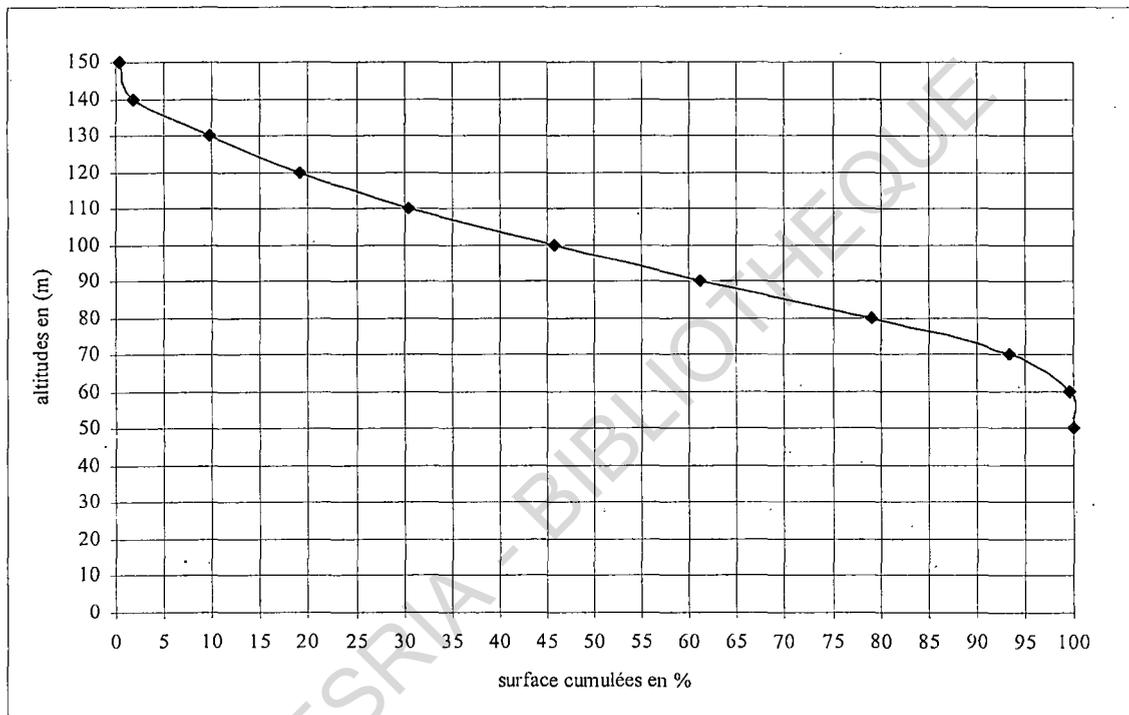


Figure 3 : Courbe hypsométrique du bassin versant

Le profil de la courbe hypsométrique épouse l'allure du revers de la cuesta.

-- Indice de pente globale I_G

Avec L : Longueur du rectangle équivalent

$$I_G = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Pour le bassin de Thiès, cette valeur est de 4.896 m / Km. Cet indice ne donne qu'une valeur moyenne de la pente. Elle ne tient pas compte de la forme de la courbe hypsométrique, donnée pourtant capitale pour l'écoulement et surtout pour le ruissellement. C'est pour mieux tenir compte de ce dernier facteur que nous avons calculé l'indice de pente de ROCHE I_p , rendant mieux compte, de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin (Roche M, 1963).

-- Indice de pente I_p

Cet indice tient compte des ruptures de pentes dans le profil et indique la contribution de chaque portion de surface. Il est obtenu à partir de l'expression suivante :

$$i_p = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^n \left(x_i \cdot \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right)$$

où

i_p : indice de pente [%],

L : longueur du rectangle [m],

x_i : distance qui sépare deux courbes sur la rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante, cette distance est égale au facteur de pondération),

d : distance entre 2 courbes de niveau successives (peut être variable) [m],

d/x_i : pente moyenne d'un élément [%].

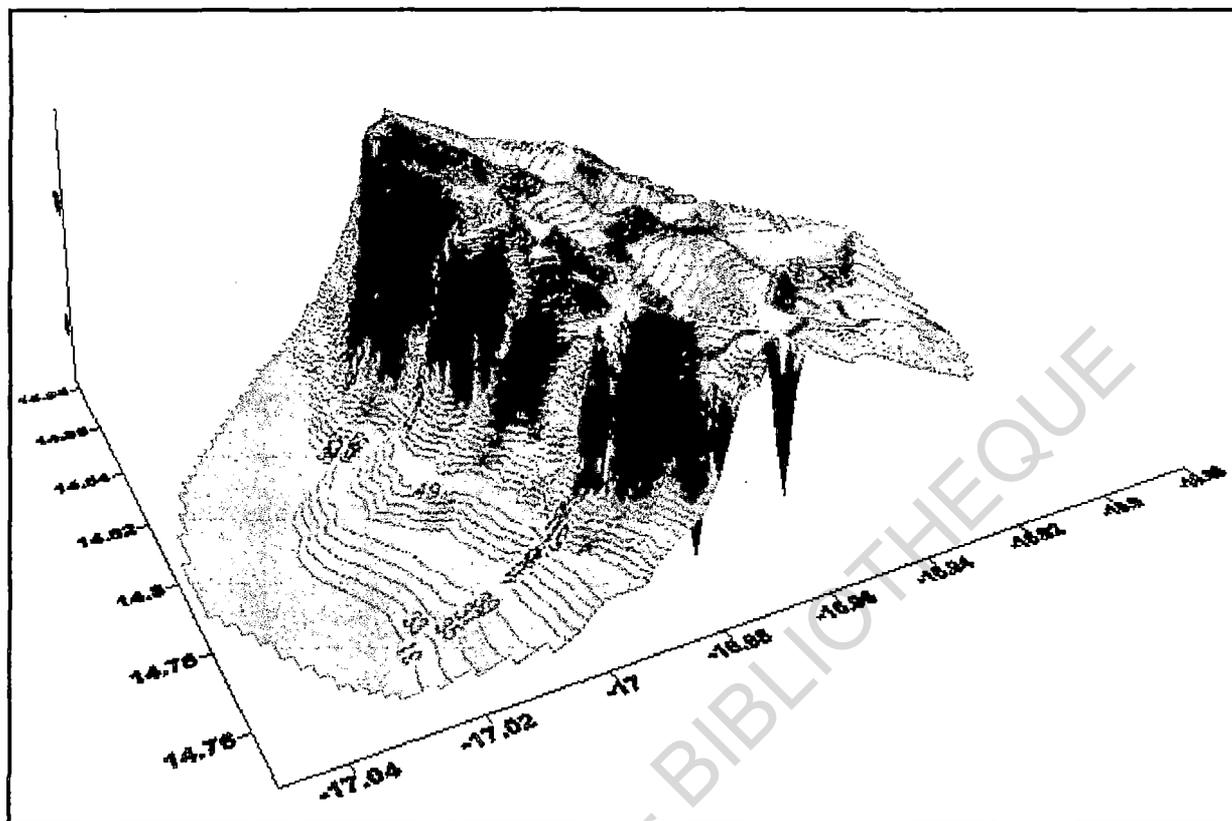
Tableau 4 : Valeur des Indice de pente I_p partiels

Tranche d'altitude (m)	% de surface par tranche d'altitude	I_p partiel %
>140	0.003	0.0058
140	0.015	0.0124
130	0.080	0.0283
120	0.096	0.0309
110	0.115	0.0338
100	0.155	0.0394
90	0.155	0.0394
80	0.182	0.0427
70	0.146	0.0382
60	0.062	0.0250
50	0.004	0.0061

La valeur est de **0.302**

-- Le Modèle Numérique de Terrain de Thiès (Figure : 4)

Il a été réalisé sous le logiciel SURFER après importation des données d'ARCVIEW 3.2. Cette information numérique renseigne sur le relief de la surface topographique.



Le tableau 5 : Résumé des principaux paramètres pouvant influencer l'écoulement

Caractéristiques morphométriques	Bassins versants
S (km ²) : Superficie	67.5 Km ²
P (Km) : Périmètre	37.3 Km
K : Indice de compacité	1.278
L (Km) : longueur du rectangle équivalent	13.684
l (Km) : largeur du rectangle équivalent	4.933
Ig (m/Km) : indice global de pente	4.896
Altitude maximale du bassin (m)	140
Altitude minimale du bassin (m)	50
Indice de pente de Roche	0.3020
Géologie	Continental terminal et quaternaire
Sols	Ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés

Ces paramètres physiques et morphométriques conditionneront l'écoulement et le comportement hydrologique du bassin versant.

Chapitre 2

Climatologie du bassin versant

Ce chapitre s'attachera à définir les caractéristiques générales du climat du bassin.

Si toute étude hydrologique nécessite au préalable une connaissance du milieu physique, il apparaît cependant évident que le climat constitue le facteur dominant des régimes hydrologiques surtout dans la zone tropicale (à laquelle appartient notre bassin) où la pluie est le facteur de genèse des écoulements.

1 - ANALYSE DES PARAMETRES CLIMATIQUES

La zone d'étude appartient au domaine sahélien avec une position sur le revers d'une cuesta dont le front culmine à près de 140 m surplombant une dépression au relief peu marqué. Sur le plan climatique, on a deux saisons assez tranchées : une saison des pluies de juin à octobre et une saison sèche, de novembre à mai. L'étude des données climatiques, portera, sur sept paramètres, interdépendants dont l'influence est déterminante dans le bilan de l'eau : vent, températures, insolation, humidité relative, tension de vapeur, évaporation Piche et évapotranspiration potentielle. Ces paramètres climatologiques ont été étudiés en détail par SYLLA (2004). Les résultats sont consignés dans le tableau suivant

Tableau 6 : Moyennes mensuelles des paramètres climatiques de la station de Thiès(1951-2004)

	jan	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil	août	sept	oct.	nov.	déc.
T° moy mensuelles (C°)	23.4	24.7	25.5	26	27.6	28	27.5	27.4	27.5	27.7	26.6	24.6
Moy. T° minimales (C°)	15.8	16.8	17.6	18.3	20.8	22.4	23.3	23	22.7	21.4	19.4	16.8
Moy. T° maximales (C°)	31	32.6	33.4	33.7	34.4	33.6	31.7	31.8	32.2	34	33.7	32.3
Vent dominant	N	N	N	N	N	NW	NW	W	NW	N	N	N
Moy. mens. humidités relatives (%)	49.9	50.2	53.9	64.3	63.4	68.0	73.1	78.0	79.2	71.4	59.7	58.2
Moy. mens. humidités relatives minimales	21.0	21.9	25.4	41.1	37.7	44.1	54.0	60.9	62.0	46.4	28.1	34.0
Moy. mens. Humidités relatives maximales	78.7	78.6	82.4	87.5	89.2	91.9	92.3	95.1	96.4	96.3	91.2	82.5
Moy. mens. évaporation Piche (mm)	199	197	215	184	156	119	97	67	57.6	98.4	152	185
Evapotranspiration Penman (mm)	179	192	229	211	206	182	164	146	140	161	158	171
Moy. mens. vitesses vents (m/s)	3.0	3.4	3.8	3.9	3.4	2.8	2.4	2.0	1.7	2.1	2.1	2.6
Moy. mens. insolation de (hrs/jour)	253	255	302	310	300	267	243	219	226	269	264	248
Moy. mens. tension vapeur	12	13	14	17	20	24	27	29	30	27	19	13

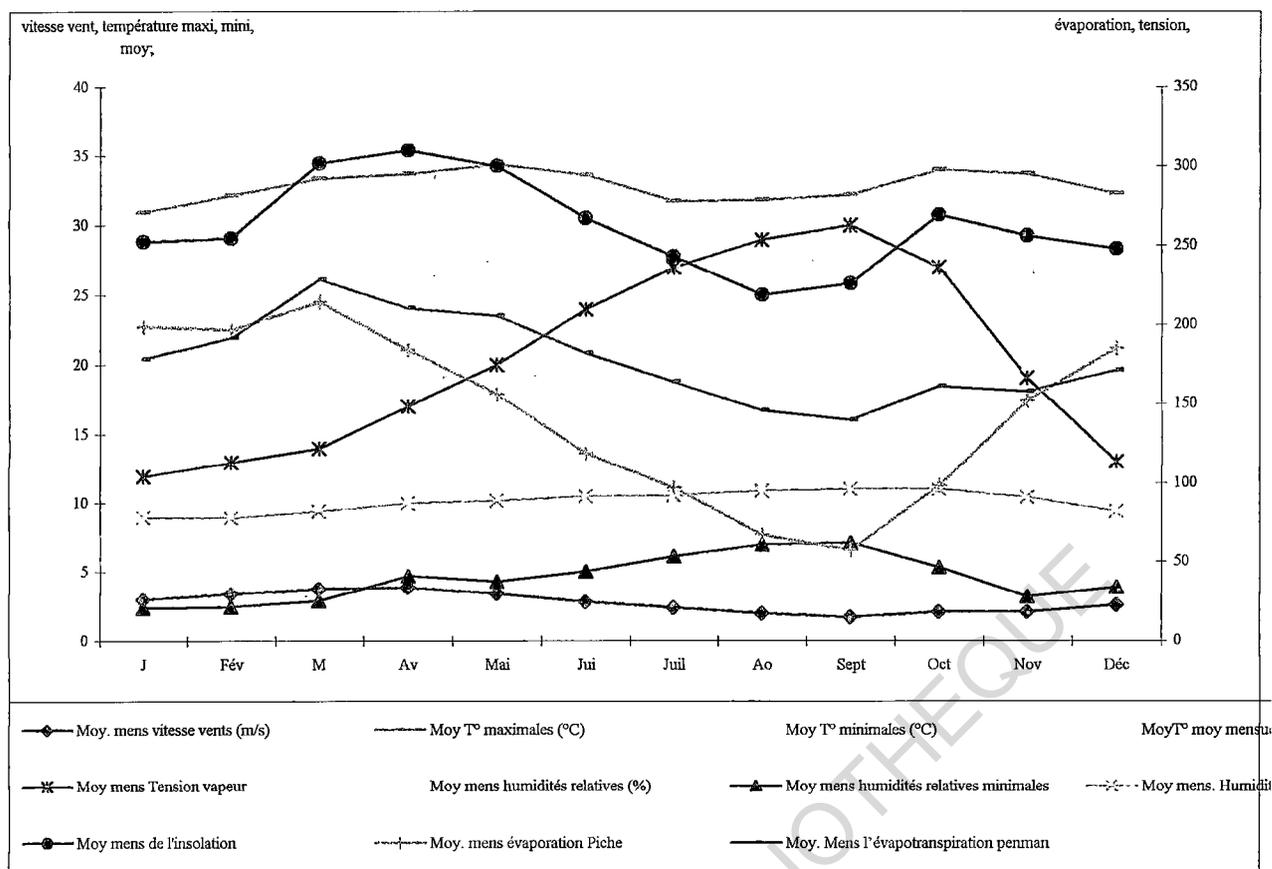


Figure 5 : Variation mensuelle des paramètres climatiques à la station de Thiès

Tel que montré dans ce graphique les paramètres climatiques sont interdépendants. Les périodes de fortes insolation sont également celles des fortes températures, de fortes évaporations et des faibles taux d'humidité relative ; elles surviennent en saison sèche. Et inversement, la circulation de mousson ; la chute de l'évaporation, des températures, de l'insolation et un accroissement des taux hygrométriques sont observées aux mêmes moments, durant la saison des pluies.

Vents : vitesses et directions

La circulation de l'atmosphère dans la zone de Thiès obéit à deux flux dominants : la mousson en saison des pluies et l'harmattan qui est un flux de nord-est à est, en saison sèche. La direction des vents sera donc de dominante est en saison sèche et ouest à sud-ouest en saison des pluies. Dès le mois d'octobre les vents d'est reprennent le dessus. Le recul « des circulations d'alizés » et leur remplacement par la « circulation de mousson » découpent l'année en deux saisons principales : la saison sèche et la saison des pluies.

--Vitesses des vents (m/s)

La vitesse des vents est fonction des saisons. D'une manière générale, elle est plus forte en saison sèche, sous l'impulsion des vents d'est. Elle est maximale en avril avec 3,9 m/s et minimale en septembre (1,7 m/s).

Les températures

Les températures moyennes annuelles sont de 26,4°C avec des maxima qui peuvent atteindre 34°C. L'évolution saisonnière montre une baisse des températures en saison des pluies alors qu'en saison sèche la ville est balayée par l'Harmattan, vent d'est chaud et sec. En moyenne les températures maximales se situent en mai et les températures minimales en janvier.

Insolation

Les valeurs maximales de l'insolation sont observées en avril avec près de 10,33 heures (soit 310 heures mensuelle). Le minimum survient en saison des pluies, la nébulosité et l'humidité étant maximales. Le minimum est observé en août 7,06 heures (soit 219 valeur mensuelle). On note une faible amplitude de ce paramètre.

Évaporation et évapotranspiration potentielle (Penman)

Les prélèvements par l'atmosphère dépendent de plusieurs facteurs souvent interdépendants dont la durée de l'insolation, les températures, la circulation atmosphérique, la continentalité ou la proximité du littoral. L'évolution saisonnière de l'évaporation Piche (mesurée) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est similaire. Les valeurs maximales de l'évaporation se situent en mars aussi bien pour l'évaporation Piche que l'évapotranspiration potentielle Penman-Montieth. Les valeurs atteintes par ce dernier s'élève à 229 mm. Pour l'évaporation piche, qui surestime toujours la lame d'eau prélevée par l'atmosphère, la valeur est de 215 mm.

Humidité relative

L'évolution mensuelle de l'humidité relative est conforme au partage de l'année en deux saisons. Elle est minimale en saison sèche, est maximale avec la saison des pluies et le flux de

mousson sous l'impulsion de l'anticyclone de Sainte Hélène. Elle est entretenue aussi par l'importance de l'évaporation renvoyant dans l'atmosphère l'eau évaporée. Le mois de janvier enregistre les plus faibles taux hygrométriques.

2- ANALYSE DE LA PLUVIOMÉTRIE

Le premier facteur des mécanismes hydrologiques est la pluie. Celle-ci va être analysée à plusieurs échelles de temps : annuelle, mensuelle, journalières et infra horaire. L'étude statistique de la pluviométrie est faite sur la base des stations pluviométriques les plus proches du site pour cerner la répartition des précipitations à l'intérieur et sur les pourtours du bassin contrôlé.

1-La pluviométrie annuelle

La pluviométrie annuelle est analysée à l'échelle régionale ce qui permet de replacer le bassin dans son contexte pluviométrique sous forme de cartes d'isohyètes.

- Stations pluviométriques de référence

La ville de Thiès est entourés par cinq stations pluviométriques principales : Thiès (centre), Pout (sud-ouest), Mont-Rolland (nord-ouest), Tivaouane (nord-est) et Notto (sud-est). Ces stations ne sont pas égales en importance car Thiès est une station climatologique alors que les autres sont de simples postes pluviométriques. Les périodes d'observation sont également très variables d'une station à une autre. **Le tableau 6** présente l'état des données de base.

Tableau 6 : L'état des données de base des stations de références

Stations	Coordonnées		Période de suivi	Lacunes
	latitude	longitude		
Thiès	14°48'N	16°57'W	1918-2004	Complet
Mont-Rolland	14°56'N	17°01'W	1950-1987	1958, 1962, 1969
Pout	14°45'N	17°05'W	1975-2002	1980,1981
Tivaouane	14°57'N	16°49'W	1918-2002	Complet
Notto	14°42'N	16°51'W	1975-2002	1984,1988

- Critique des données de base

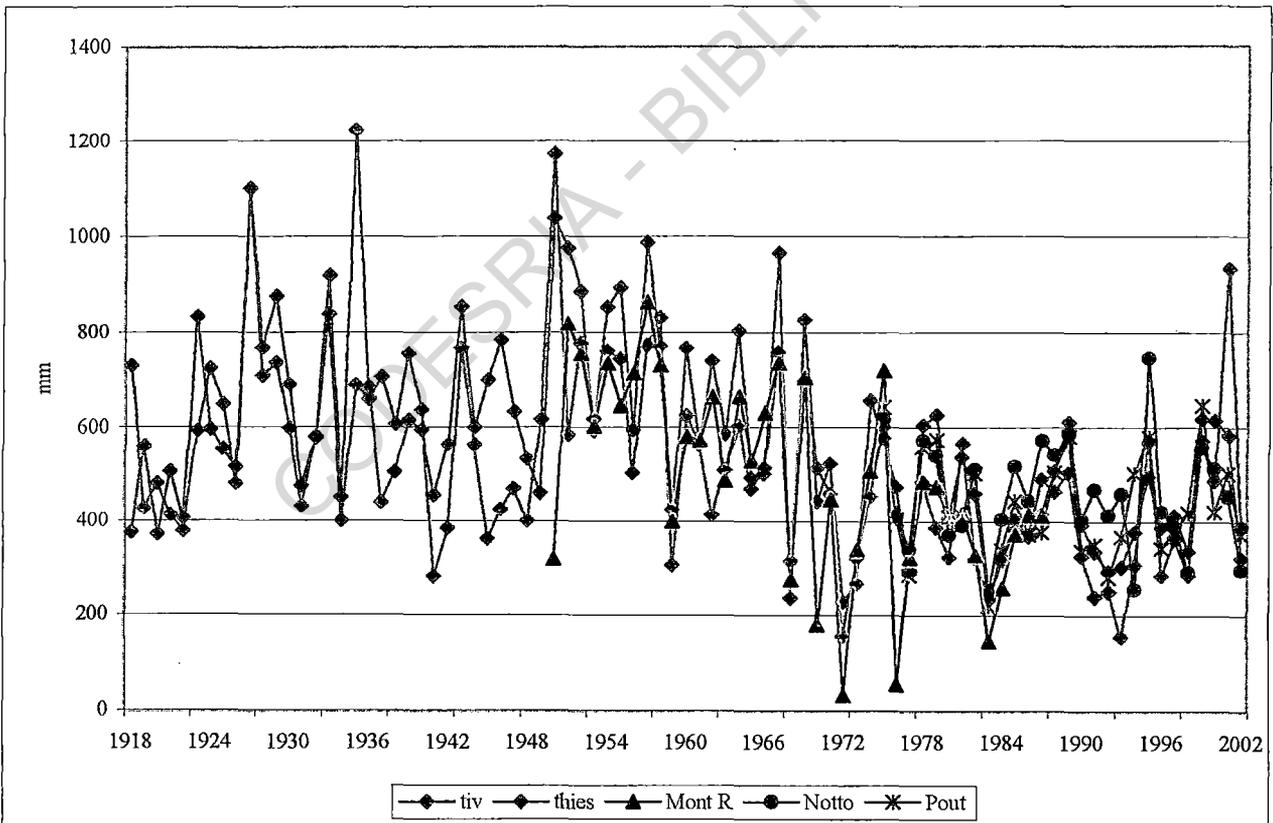
Ces données ont été critiquées par la méthode du vecteur régional (Hiez G. 1969; Brunet-Moret Y. 1980; Dacosta H, Konaté Y. K, Malou R. 2002) permettant de combler les lacunes et de corriger les éventuelles valeurs erronées.

La méthode du double cumul présente l'inconvénient de considérer avec à priori, que la station de plus longue durée d'observations est fiable et doit servir de référence pour vérifier la qualité des données des autres stations ce qui n'est pas toujours vrai. La **figure6** montre les variations annuelles de la pluviométrie pour les cinq stations. Deux périodes apparaissent nettement :

◇.1918-1967 : phase assez pluvieuse où la région reçoit en moyenne près de 600 mm/an ;

◇.1968-2002 : période durant laquelle la moyenne se situe autour de 400 mm/an.

Fig.6 Variations des pluies annuelles à Thiès, Mont Roland, Notto, Pout et Tivaouane



- Pluviométrie moyenne interannuelle

Les caractéristiques moyennes de la pluviométrie interannuelle sont consignées dans le tableau ci-dessous. Ce tableau présente les moyennes sur la période totale de suivi et les caractéristiques avant et après la période plus sèche.

Tableau 7 : Moyennes interannuelles de la pluviométrie

	Tivaouane	Thiès	Mont Roland	Noto	Pout
Moy. (1921-2002)	523,6	582,0	521,3	580,9	537,6
Moy. (1921-1967)	610,4	685,5	619,3	667,2	610,6
Moy. (1968-2002)	407,0	443,1	389,6	465,0	439,6
Moy. (1921-1950)	611,0	660,2	599,7	649,7	594,7
Moy. (1931-1960)	609,6	696,1	629,3	669,6	612,9
Moy. (1941-1970)	577,7	684,9	604,7	664,8	608,4
Moy. (1951-1980)	526,1	619,1	547,2	608,1	565,6
Moy. (1961-1990)	441,1	502,5	442,6	527,4	487,4
Moy. (1971-2000)	379,9	436,5	388,5	460,0	431,1

La pluviométrie annuelle est assez fluctuante dans la zone d'étude. Notons le faible écart entre les moyennes 1921-2002 et 1951-1980 dont le plus fort écart est de l'ordre de seulement 6%. Par contre, pour les périodes 1921-1967 et 1968-2002, les écarts vont de 28 à 35%. La normale 1971-2000 est la plus indigente. Son déficit par rapport à l'ensemble de la période de suivi oscille entre 20 et 27%. Les figures ci-dessous présentent les isohyètes de quelques normales (1921-1950; 1951-1980; 1971-2000).

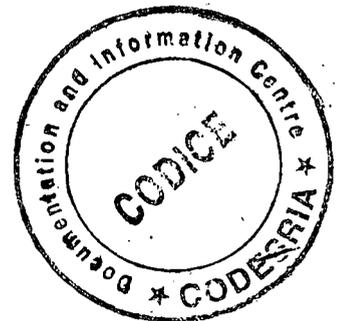
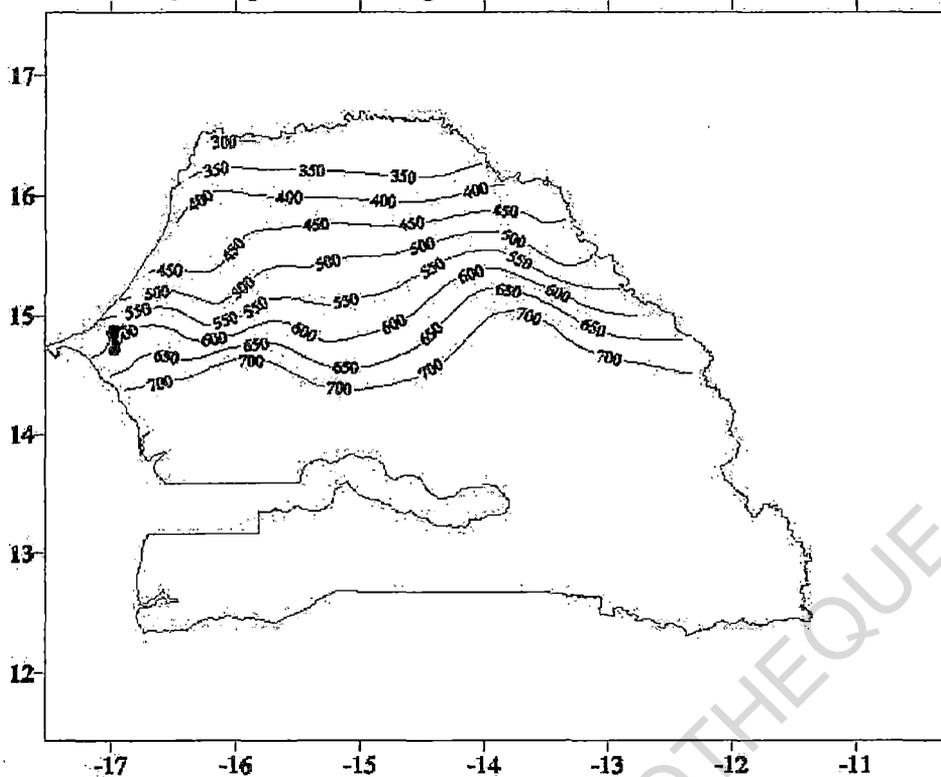
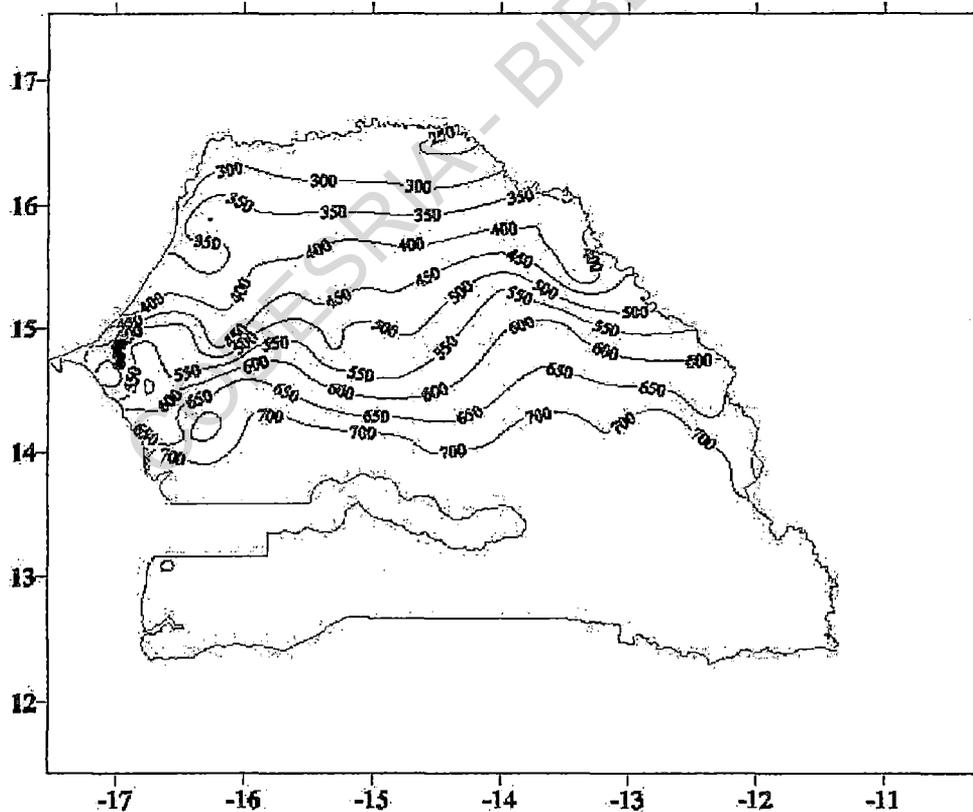


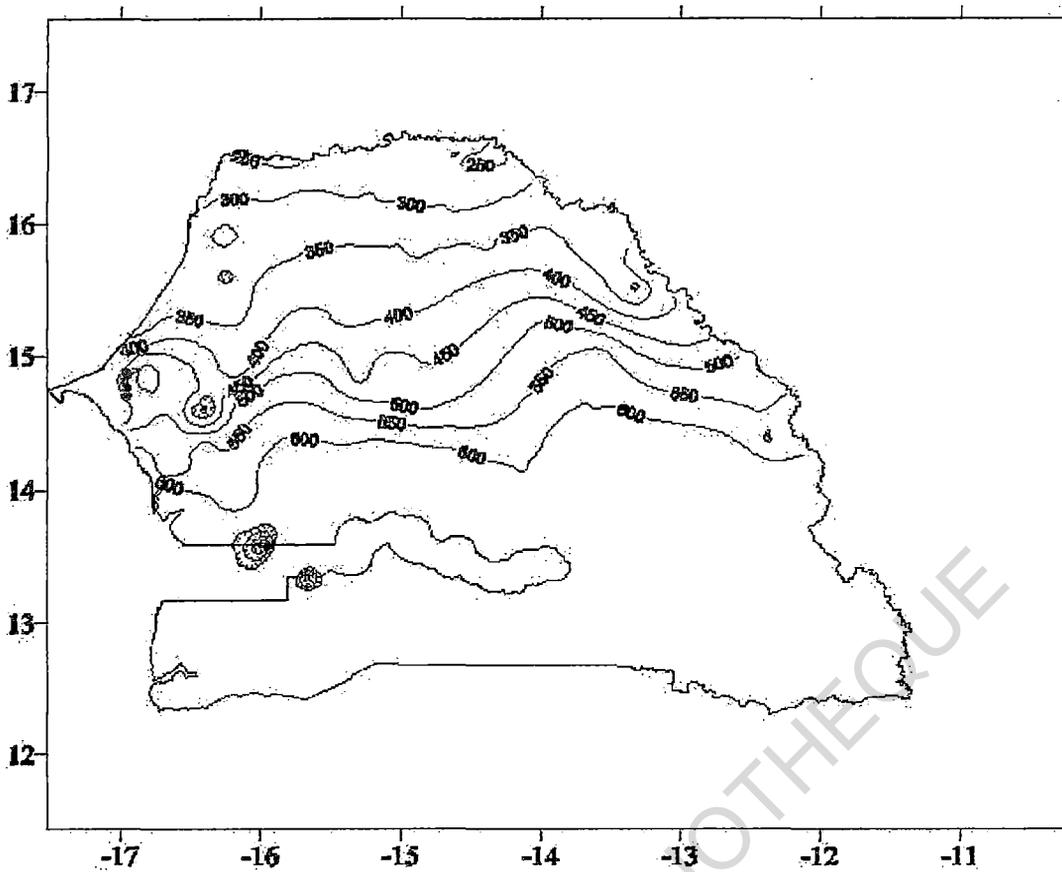
Figure 7: Cartes des isohyètes pour le Sénégal



Carte des isohyètes 1950-1980



Carte des isohyètes 1961-1990



Carte des isohyètes 1971-2000.

- Distribution statistique des pluies annuelles

La station de Thiès, est la station de référence pour l'analyse statistique des pluies annuelles même si les cinq stations sont traitées. Plusieurs lois ont été ajustées à ces échantillons de pluies annuelles. La loi Gamma s'ajuste le mieux à l'ensemble de ces séries sauf celle de Mont Roland pour laquelle on a retenu la loi normale. L'expression générale de la loi Gamma est la suivante :

$$F(x) = \frac{\alpha^\lambda}{\Gamma(\lambda)} x^{\lambda-1} e^{-\alpha x}$$

Nous regroupons dans le **tableau 8** les valeurs fréquentielles des pluies annuelles de chacune des stations. On constate que les valeurs sont assez proches les unes des autres compte tenu de l'homogénéité climatique de la zone.

Tableau 8 : Pluies annuelles fréquentielles (mm) des stations de Thiès, Tivaouane, Pout, Noto et Mont Roland.

Station	Récurrences sèches					Méd.	Récurrences humides				
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Thiès	205	233	281	330	396	547	732	844	943	1060	1150
Tivaouane	176	201	245	290	351	492	667	772	867	983	1060
Pout	245	270	311	352	406	523	661	742	813	899	959
Mont Roland	107	156	229	293	372	521	671	749	814	887	935
Noto	257	284	330	374	434	564	718	809	889	985	1050

2 Pluviométrie mensuelle.

Les pluies dans la zone de Thiès sont concentrées entre les mois de juin et octobre. De plus en plus ces deux mois extrêmes sont peu arrosés, voire même secs. D'une manière générale, le mois d'août est le plus pluvieux bien qu'il soit possible de voir le maximum décalé en septembre. La **figure.8** montre que les pluies du mois d'août peuvent être abondantes, le maximum à Thiès et Tivaouane atteint presque 600 mm. Mais la médiane reste autour de 200 mm. Les pluies des mois de janvier à mai restent insignifiantes dans le bilan pluviométrique annuel. Il n'est cependant pas exclu que les pluies hors saison (heug ou pluies des mangues) apportent des pluies significatives certaines années. La variabilité mensuelle est assez forte comme on peut le constater à la lecture **du tableau 7** qui présente les statistiques des pluies mensuelles des cinq stations.

Tableau 9 : Statistique des pluies mensuelles (mm).

Pout	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Moyenne	0	0.2	0	0	0	14.0	62.6	184.1	130.0	32.2	1.4	0.2	425.7
Ecart-type	0	1.0	0	0	0	36.3	52.1	79.0	60.5	40.2	5.0	0.8	124.1
Coef. Variation	-	4.85	-	-	-	2.59	0.83	0.43	0.47	1.25	3.48	4.36	0.29
Maximum	0	5.5	0	0	0	189.0	181.7	377.7	228.7	136.7	20.0	4.0	646.1
75%	0	0	0	0	0	13.0	96.4	226.9	171.0	51.7	0	0	504.3
Médiane	0	0	0	0	0	0.6	52.7	177.3	146.7	21.6	0	0	408.0
25%	0	0	0	0	0	0	16.8	125.6	100.8	0	0	0	347.6
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	70.2	0	0	0	0	163.6
Mont Roland													
Moyenne	1.0	0.9	0.0	0.1	1.8	11.3	84.8	209.2	166.7	52.5	1.3	2.1	399.2
Ecart-type	3.7	3.9	0.0	0.6	7.6	16.0	54.5	106.7	76.5	76.3	4.2	8.4	261.7
Coef. Variation	3.8	4.2		5.4	4.2	1.4	0.6	0.5	0.5	1.5	3.3	3.9	0.7
Maximum	20.7	20.8	0.0	3.0	42.2	68.8	188.8	528.7	365.1	330.3	21.7	45.0	863.5
75%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.8	104.9	248.6	206.1	66.1	0.0	0.0	623.3
Médiane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	73.1	183.6	166.9	19.8	0.0	0.0	413.8
25%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.9	139.5	128.7	5.0	0.0	0.0	199.6
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	40.8	30.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Noto													
Moyenne	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.2	66.4	178.3	145.0	34.5	1.1	0.0	437.3
Ecart-type	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.0	53.8	63.6	69.6	44.9	4.9	0.0	135.9
Coef. Variation						2.3	0.8	0.4	0.5	1.3	4.6		0.3
Maximum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	267.5	198.4	323.0	286.4	179.8	22.5	0.0	746.0
75%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.7	98.3	203.4	200.6	41.1	0.0	0.0	539.5
Médiane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	54.2	162.6	143.3	16.4	0.0	0.0	421.8
25%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	145.4	90.9	5.8	0.0	0.0	372.0
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	61.7	28.5	0.0	0.0	0.0	126.4
Tivaouane													
Moyenne	0.4	0.8	0.0	0.0	1.7	18.0	88.9	208.4	156.0	42.2	1.7	2.2	519.3
Ecart-type	1.4	3.2	0.3	0.3	7.1	20.7	58.6	113.4	76.4	47.7	5.4	10.6	198.3
Coef. Variation	3.8	4.2	8.8	8.8	4.2	1.2	0.7	0.5	0.5	1.1	3.1	4.8	0.4
Maximum	10.0	24.1	2.6	2.8	46.3	106.2	299.0	564.4	468.5	241.9	32.1	84.0	1173.7
75%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.6	128.0	262.1	201.4	65.0	0.0	0.0	617.5
Médiane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	77.6	197.4	151.0	24.1	0.0	0.0	503.2
25%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	45.6	128.8	94.4	6.2	0.0	0.0	375.5
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	15.5	25.0	0.0	0.0	0.0	156.0
Thiès													
Moyenne	0.6	0.8	0.1	0.1	0.6	22.4	97.5	230.8	171.4	41.5	2.5	3.4	571.3
Ecart-type	2.7	3.4	0.3	0.3	2.2	30.2	62.6	124.2	78.4	46.1	8.5	15.0	204.3
Coef. Variation	4.4	4.2	6.0	4.4	3.8	1.3	0.6	0.5	0.5	1.1	3.4	4.4	0.4
Maximum	23.1	27.8	2.0	2.7	14.4	193.4	280.5	583.5	510.7	298.6	51.0	101.7	1224.5
75%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.7	129.7	296.7	205.5	55.3	0.0	0.0	688.9
Médiane	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	81.9	204.9	164.0	32.0	0.0	0.0	564.8
25%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	45.7	144.1	118.5	9.1	0.0	0.0	419.1
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	48.1	0.0	0.0	0.0	228.0

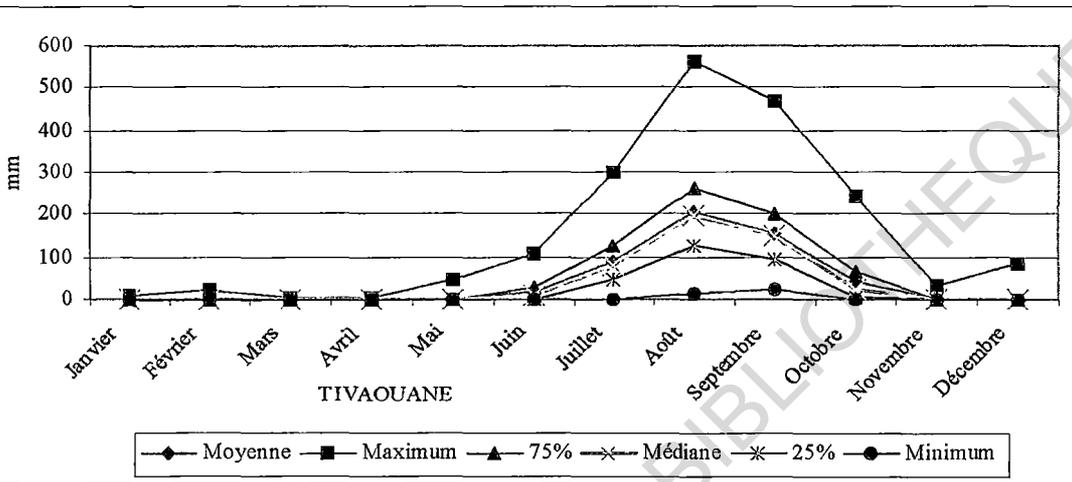
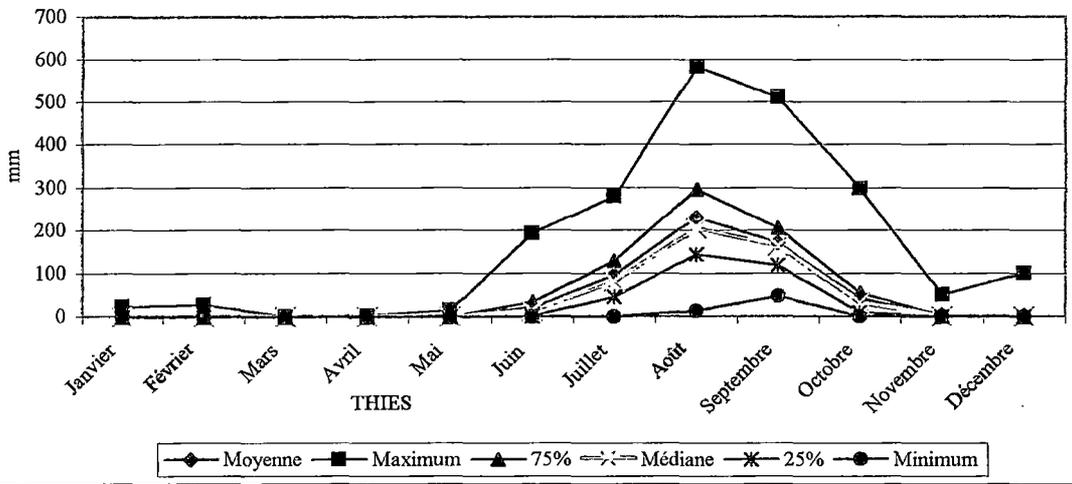


Figure 8 : Répartition mensuelle des précipitations à Thiès et Tivaouane.

La distribution statistique des pluies mensuelles a porté uniquement sur les stations de Thiès et Tivaouane, les chroniques des autres stations étant trop courtes : les données de Mont Roland s'arrêtent en 1987 avec beaucoup de mois lacunaires (les dernières n'étant pas prises en compte); celles de Pout et Noto commencent uniquement en 1975. Le maximum atteint au mois d'août aurait une récurrence de cent ans. En décennale humide Thiès peut recevoir 400 mm; la station de Tivaouane avoisine la même valeur.

Tableau 10 : Pluies mensuelles fréquentielles (mm) pour les stations de Thiès et Tivaouane

Thiès	Récurrences sèches					Méd.	Récurrences humides				
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Juin	0.1	0.2	0.8	2.0	4.9	18	46	67	89	118	141
Juillet	2	5.18	17.9	30.4	47.5	87.6	142	177	212	256	289
Août	21.3	37.5	64.1	90.4	126	210	323	398	470	563	632
Septembre	43.8	53.8	70.2	86.3	108	160	229	275	319	376	419
Octobre	0.3	0.72	2.1	4.5	9.76	31.1	73.5	106	138	181	213
Tivaouane											
Juin	0.4	0.5	0.7	1.9	4.8	16	37	51	64	81	92
Juillet	0.1	0.2	12.4	24.4	40.8	79.3	131	165	198	241	273
Août	22.3	36.7	60.3	83.6	115	190	290	356	420	502	564
Septembre	30.7	40.4	56.3	71.9	93.3	143	211	256	298	354	396
Octobre	0.6	1.11	2.6	5.19	10.8	33.3	72.2	110	144	187	221

3-Pluviométrie journalière.

La pluie journalière peut être le cumul de plusieurs averses survenant dans une journée météorologique définie commençant à 8 heures et se terminant à 8 heures le lendemain. Elles dépendent, du point de vue, du type de situation météorologique générant ces averses, selon qu'il s'agisse de lignes de grains ou de pluies continues résultant de la structure active de l'Equateur Météorologique. Dans la région de Thiès, les lignes de grains sont les plus actives donnant des pluies souvent brèves et à fortes intensités (SYLLA, 2004).

-Précipitations maximales journalières

Les précipitations maximales journalières sont variables d'une année à une autre mais elles semblent dépendre de la configuration générale de l'hivernage. La **figure 9** montre pour Thiès et Tivaouane les variations des pluies maximales journalières de 1918 à 2002. Ce graphique appelle deux remarques concernant la diminution des fortes pluies :

1. **avant 1968** : les pluies maximales journalières sont rarement inférieures à 50 mm et dépassent fréquemment 100 mm (moyenne 94 mm à Thiès).
2. **après 1968**, rares sont les années (1975, 1978) où les pluies maximales journalières ont dépassé 100 mm (moyenne : 62 mm à Thiès).
3. **à partir de 1978**, elles n'ont plus atteint 100 mm à Thiès.

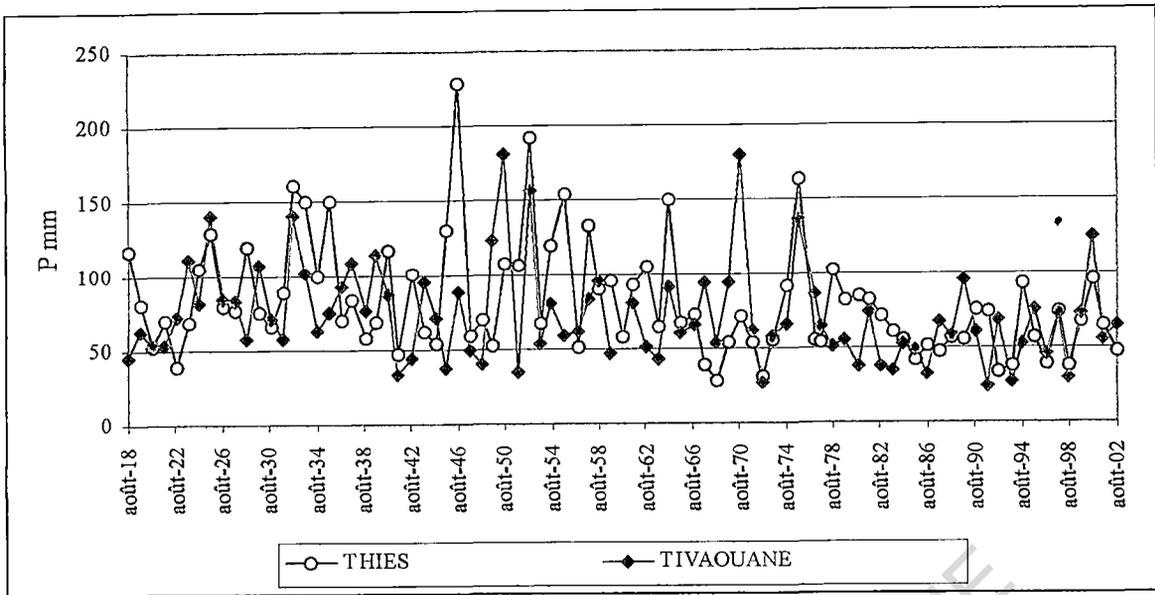


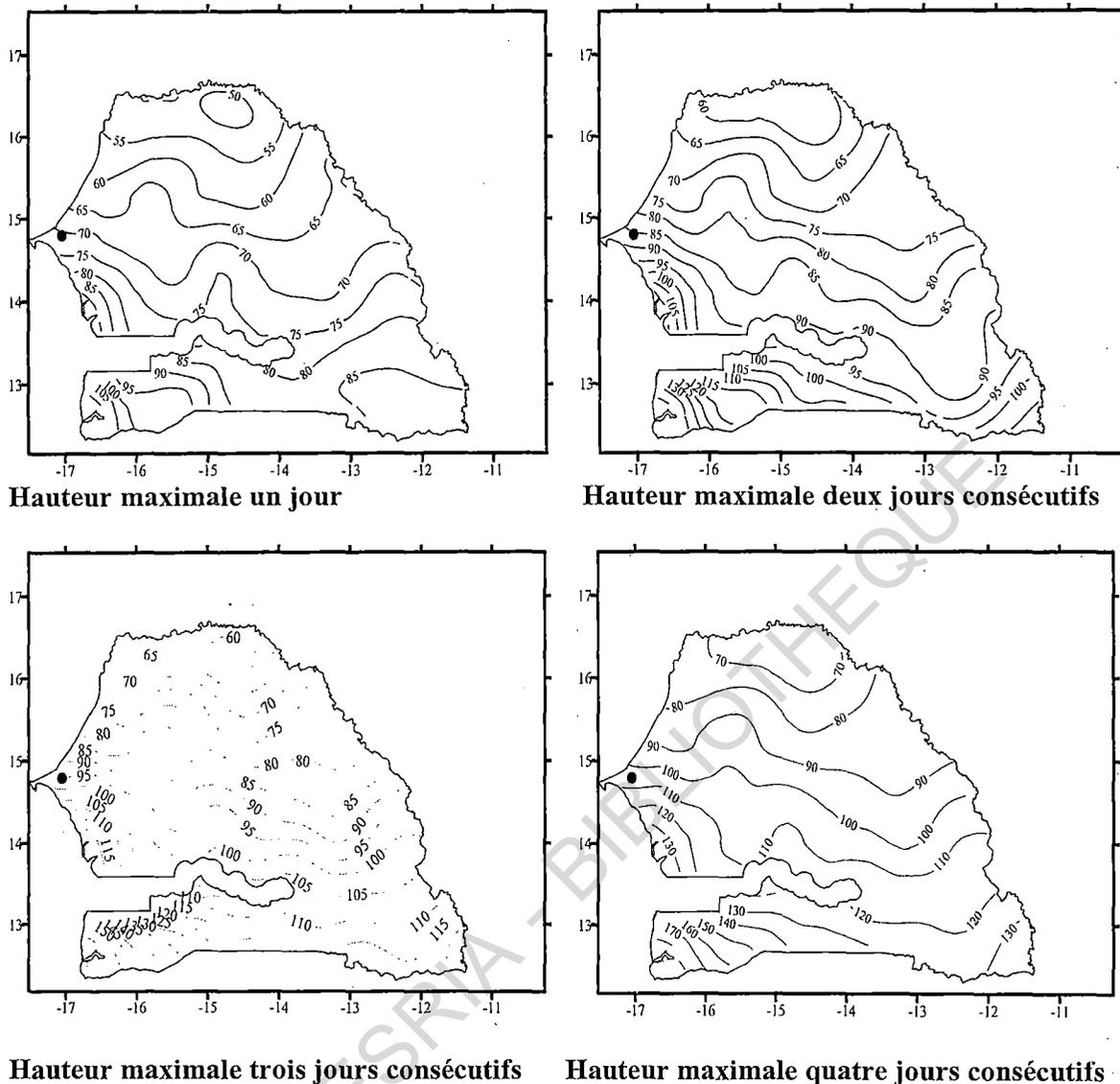
Figure 9 : Variations des pluies maximales journalières (mm) à Thiès et Tivaouane.

On a constitué des cumuls de pluies maximales d'un jour à dix jours consécutifs pour les stations de Thiès et Tivaouane (**Tab.11**). En moyenne, sur la période 1918-2002, la pluie maximale journalière est de 82 mm. Pour les autres pas de temps, elle croît jusqu'à 175 mm en dix jours. Il me semble important de tenir compte de ces épisodes pluvieux dont le cumul des hauteurs précipitées peut générer des écoulements importants.

Tableau 11 : Pluies maximales cumulées (mm) de 1 à 10 jours consécutifs (DIOUF, 2001).

	Pmax1	Pmax2	Pmax3	Pmax4	Pmax5	Pmax6	Pmax7	Pmax8	Pmax9	Pmax10
Thiès	82	98	109	121	131	140	148	155	167	175
Tivaouane	74	88	100	108	116	126	134	141	148	156

Figure 10 Cartographie des hauteurs maximales de pluie d'un à quatre jours consécutifs



-- Distribution statistique des pluies journalières.

La loi de Pearson III tronquée a été ajustée aux pluies journalières de Thiès et Tivaouane qui disposent de chroniques journalières assez longues pour la fiabilité des données statistiques résultantes. Nous donnons, à titre indicatif, les statistiques des autres stations dont les chroniques ont moins de trente ans (**tab. 11**). Nous retiendrons pour la suite de l'étude que les récurrences de la station de Thiès qui concerne notre bassin.

Tableau 11 : Pluies journalières fréquentielles (mm) de Thiès, Tivaouane, Pout, Noto et Mont-Rolland.

Station	Paramètres statistiques				Pluies journalières récurrentielles (mm)					
	X_0	g	s	F_0	0.5 2 ans	0.2 5 ans	0.1 10 ans	0.05 20 ans	0.02 50 ans	0.01 100 ans
Thiès	0.5	0.247	31.5	0.807	85.6	109.7	128.4	147.5	173.1	192.9
Tivaouane	0.5	0.420	26.1	0.874	78.7	99.6	115.8	132.2	154.1	170.8
Mont Rolland	0.5	0.369	29.2	0.8992	77.5	100.4	118.2	136.2	160.4	178.9
Notto	0.5	0.63	23.3	0.91717	75.9	95.6	110.7	125.9	146.2	161.7
Pout	0.5	0.779	20.6	0.92968	71.6	89.6	103.4	117.2	135.5	149.4

La valeur décennale de la pluie journalière est de 128.4 mm. C'est-à-dire la valeur de la pluie en un jour qui est égale ou dépassée une fois tous les dix ans en moyenne. Nous utiliserons ce résultat pour le calcul de la crue décennale sous SAHEL.

-- Formes et intensités des précipitations

Le dépouillement des enregistrements pluviographiques de la station de Thiès a permis de déterminer les caractéristiques des averses dans la zone d'étude. En moyenne, elles durent moins d'une heure (51 minutes). Seulement 10 % des averses atteignent ou dépassent 105 minutes (SYLLA, 2004).

Les intensités sont très variables et dépendent du type de perturbation qui génère la précipitation. Mais d'une manière générale, en début de saison de pluies, les averses sont brèves avec des intensités très fortes dépassant 100 mm/heure. La figure ci-après présente les courbes Hauteur-Durée-Fréquence afférentes à la station de Thiès. Pour des explications et des descriptions plus complètes sur la pluviographie, le lecteur pourra se référer aux travaux de SYLLA (2004)

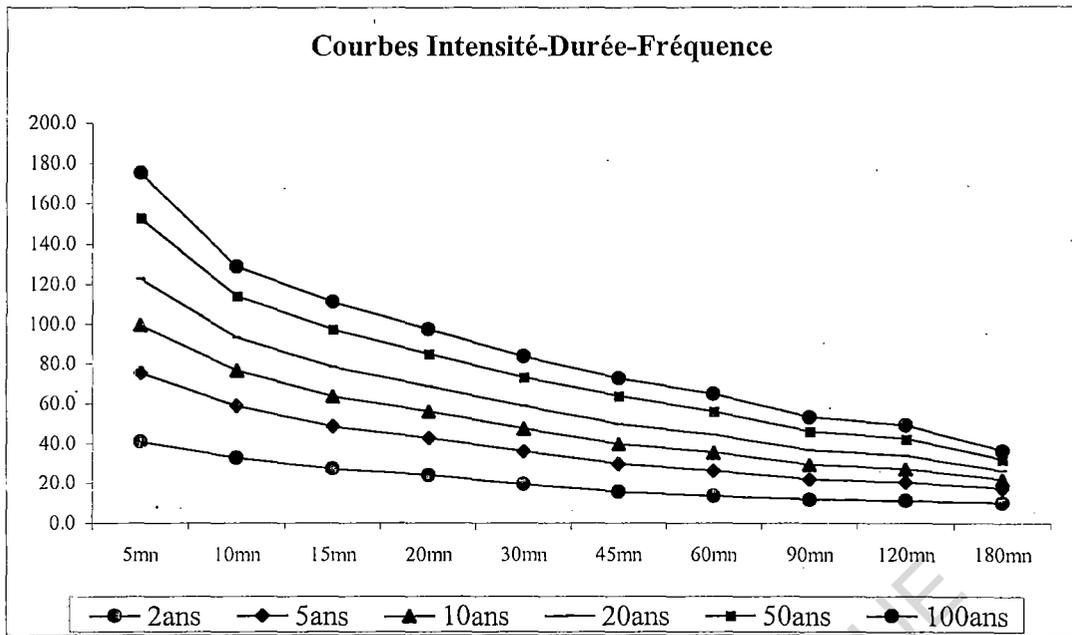


Figure 11 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence des pluies à Thiers de 1957-1999

Les précipitations et les facteurs climatiques sont des variables aléatoires, dans le temps et dans l'espace. La pluie est le facteur de genèse des écoulements. Les autres paramètres (température, insolation, humidité relative, tension de vapeur, vent et l'évapotranspiration) sont des facteurs de déficit.

Chapitre 3

Estimation du débit de crue décennale

Ce présent chapitre est consacré à une application concrète des données physiques et climatiques du bassin, sous le logiciel SAHEL, pour l'estimation de la crue de projet du bassin versant à l'aide de deux méthodes : la méthode IRD et la méthode CIEH.

La prédétermination des crues se fera à partir du logiciel **SAHEL**, conçu par l'I.R.D Montpellier (Département des eaux continentales). Il est utilisé pour les modes de calcul des crues décennales dans le sahel africain. Il propose deux méthodes pour l'estimation de la crue : la méthode CIEH (Comité Inter-africain d'Etude Hydrologique) et la méthode IRD.

La méthode IRD requiert une bonne caractérisation physique, climatique et une bonne pratique du terrain. Elle tient compte de certaines particularités spécifiques du bassin. La méthode CIEH présente l'avantage d'utiliser des paramètres faciles à estimer, sans connaissances hydrologiques particulières, et même sans visite de terrain. L'une ou les deux méthodes sont applicable à un même bassin versant.

Le choix de la méthode à utiliser est guidé par une check-list. (cf. FAO, 1996), en répondant aux questions sur le type d'averse dominant, la superficie, la forme du bassin, la forme du réseau hydrographique, son degré de dégradation etc. La réponse à ces questions de la check list vous conduit vers le ou les groupements qui peuvent correspondre au bassin versant étudié.

Vous introduisez selon la méthode proposée les données climatiques et physiques du bassin sous le logiciel Sahel pour l'estimation de la crue et de ses caractéristiques qui sont directement données par le logiciel.

Après consultation de la check-list, elle nous a proposée la méthode IRD mais peut également être utilisée avec profit pour la méthode CIEH.

I. Méthode IRD (ex ORSTOM)

Cette méthode a fait l'objet de maints exposés (Rodier J., Auvray C. 1965; Rodier J.A., 1973; Rodier J. A., 1975; Rodier J.A., 1976; Ribstein P., Rodier J.A. 1988; Rodier J, Ribstein P., 1988; FAO, 1996). Elle requiert une bonne description des caractéristiques physiques et de l'environnement climatique du bassin versant et une bonne pratique du terrain. La crue décennale est calculée sur la base d'un jeu d'abaques donnant les valeurs paramètres en fonction des facteurs physiques et climatiques. Nous regroupons dans le tableau 16 les caractéristiques de la crue décennale selon la méthode IRD. Le débit de pointe est défini par la formule suivante :

* * * *

$$Q_{10} = T_b * S * K_{r10} * P_{10} * A * \alpha_{10} / T_{b10}$$

Où

A : coefficient d'abattement

P_{10} : pluie journalière décennale

K_{r10} : coefficient de ruissellement de la crue décennale

α_{10} : coefficient de pointe de la crue décennale

S : surface du bassin versant

T_{b10} : temps de base de la crue décennale.

La valeur de ces paramètres est directement donnée par le logiciel SAHEL.

Longueur du thalweg le plus long (L_g) est de **14 Km**

La pluie décennale ponctuelle (P_{10}) : c'est la valeur de la pluie journalière de fréquence décennale

P_{10} est égale à **128.4 mm**

Le coefficient d'abattement A est de **0.746%**

La pluie journalière décennale moyenne sur le bassin (P_{m10}) est calculée en appliquant à P_{10} le coefficient d'abattement. P_{m10} est égale à **95.87 mm**

Le coefficient de ruissellement (K_r) est calculé par interpolation et est égal à **18.3%**.

Volume total de crue V_{c10} est la somme du volume ruisselé V_{r10} et du volume d'écoulement retardé

V_{ret10} $V_{c10} = 1323203 \text{ m}^3/\text{s}$

Temps de base T_{b10} ou temps compris entre le début et la fin du ruissellement est également calculé par interpolation et est égale à **17h 11 mn**

Volume ruisselé V_{r10} est donné par l'expression $V_{r10} = P_{10} * K_r * A * K * 0.01$ et égale à **1184605 m³/s**

Coefficient de forme de la crue est de **2.6**

Débit maximum de ruissellement Q_{r10} est donné par l'expression $Q_{r10} = \alpha_{10} * Q_{mr10}$ est de **71.4 m³/s**

Débit de pointe ou débit maximal Q_{10} de la crue totale est **74.6 m³/s**

Temps de montée T_{m10} est estimé suivant un processus proche de celui employé pour le calcul du temps de base : est de **5h 40 mn**

Lame d'eau ruisselé est de **17.55 mm**

Constante de correction est de **0.7**

Temps de montée corrigé est de **3 heures**

Le débit de pointe décennal est égal à 74.6 m³/s avec un débit moyen de 71.4 m³/s et un temps de base de 17h 11mn. Ceci suppose des crues assez pointues ce qui est conforme à la morphologie du bassin versant qui a une pente forte. Le coefficient de ruissellement est égal à (18.3%).

Tableau 12 : Paramètres et valeurs de la crue de fréquence décennale du bassin

Averse décennale	K (%)	Pm ₁₀ (mm)	Kr ₁₀	Surf (Km ²)	Tm ₁₀ (min)	Tb ₁₀ (min)	Lr ₁₀ (mm)	Vr ₁₀ (m ³)	Qmoy ₁₀ (m ³ /s)	Alpha	Qpointe ₁₀ (m ³ /s)
128.4	0.75	95.87		67.5	340	1026.8	17.55	1184605	71.4	2.6	74.6

Si on applique la constante de correction qui est de 0.7 (le réseau hydrographique étant radial), le temps de base passe à 12 heures, le temps de montée à 4 heures, le débit de pointe de la crue décennale à 67.7 m³/s (méthode CIEH).

I- La méthode CIEH

Cette méthode est purement statistique : On utilise que les résultats de 172 bassins expérimentaux Ouest africain. Sa formule de base est :

$$Q_{10} = a \cdot S \cdot P_n \cdot I_g \cdot Kr_{10} \cdot Dd \dots \dots \dots$$

Où Q₁₀ débit de pointe (m³/s)

a, s, p, i, d,sont des coefficients à déterminer et

I_g est l'indice global de pente (m/km)

Kr₁₀ : coefficient de ruissellement décennal (%)

Dd est la densité de drainage

S : surface du bassin versant (Km²)

P_{an} est la pluie annuelle moyenne

La première démarche :

— notre bassin est compris appartient à l'isohyète 0-400 mm, dans ce cas le débit de pointe est de

$$Q_{10} = 34 \text{ m}^3/\text{s}$$

— notre bassin versant est compris entre - 10° à + 10° dans ce cas Q₁₀ = 54.9 m³/s

La deuxième démarche consiste à appliquer :

--le coefficient de ruissellement de la méthode IRD, ce coefficient est de 18.3%, on obtient un débit de pointe de 62.7 m³/s.

-- le découpage par longueur

$$Q_{10} = 67.7 \text{ m}^3/\text{s} \text{ assez voisin des résultats précédents}$$

La différence dans les résultats finaux réside dans l'application du coefficient de pointe de la crue décennale.²

CONCLUSION GÉNÉRALE :

L'estimation de la crue décennale nécessite une caractérisation détaillée des paramètres physiques, morphométriques et climatiques du bassin. Ces derniers influent sur la forme de l'hydrogramme de crue. Pour des questions économiques, le choix de la crue décennale comme de projet ou d'une crue de fréquence voisine est très fréquent. Cette crue est calculée que pour connaître trois paramètres caractéristiques : le débit de pointe, le temps de base de la crue et le temps de montée. On peut y ajouter un quatrième paramètre : le coefficient de forme de la crue.

Au cours de cette étude à caractère pratique nous sommes arrivés à certains résultats qui ne sont pas dépourvus d'intérêt pour les chercheurs et /ou les aménageurs. La méthode IRD donne un débit maximum ou de pointe décennal est égal à **74.6 m³/s**. Comparé à la méthode CIEH, elle donne un débit de pointe décennal est égal à **67.7m³/s** soit une différence de **7m³/s** entre les deux. Donc on arrive à quelque chose de cohérent avec les deux méthodes. Mais la méthode IRD est plus rigoureuse par le nombre de paramètres influant l'écoulement qu'elle inclut. Cette crue n'est qu'un indicateur.

Comme tout travail de recherche, ce dernier présente des limites liées au non levée topographique qui aurait permis de connaître les pentes maximales parcourues par le cours d'eau. Une autre limite de ce travail est la non utilisation des superficies imperméabilisées faute de pouvoir les évaluer. Il n'existe pas de cartes à haute résolution, qui couvre notre bassin, pouvant restituer la trame urbaine actuelle. Ces deux paramètres sont des indicateurs importants qui influent sur l'hydrogramme de crue.

Nous envisageons dans nos études futures de nous intéresser à ces aspects par acquisition d'imagerie satellitaire et de photographie aérienne. Elle concernera également l'installation d'appareil de mesure : pluviomètres, pluviographes et thalimèdes permettra de faire des mesures de débit pendant l'hivernage. Car la crue de projet n'est pas une norme, mais un indicateur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Albergel J., Bernard A., Dacosta H., Gac J.Y., Ruelle P. (1989). Bassins versants de Thyssé-Kaymor: Campagne hydrologique 1988. Dakar, ORSTOM-ISRA-CIRAD, 64p.

Albergel J., Bernard A., Dacosta H., P. Y. (1990). Bassins versants de Thyssé-Kaymor: Campagne hydrologique 1989. Dakar, ORSTOM-ISRA-CIRAD: 49p.

Albergel J., Bernard A., Dacosta H., P. Y. (1991). Bassins versants de Thyssé-Kaymor: Campagne hydrologique 1990. Dakar, ORSTOM-ISRA-CIRAD, : 32p.

Ba

Brunet-Moret Y. (1980). "Retour sur l'homogénéisation des pluies annuelles par vecteur régional." Météorologie VI^{ème} série, n^{os} 20-21: 61-65.

Dacosta H. (1992). Économie de l'eau. DRS sur les bassins versants de Thyssé-Kaymor. Synthèse hydrologique 1983-1988. Dakar, ORSTOM-ISRA-CIRAD: 126.

Dacosta H, 1992 - Synthèse hydrologique des bassins versants de Thyssé-Kaymor. Rapport ORSTOM – CIRAD – ISRA, 105 p.

Dacosta H., Konaté Y. K., Malou R. (2002). La variabilité spatio-temporelle des précipitations au Sénégal depuis un siècle. Friend 2002 - Regional hydrology :Bringing the Gap between Reseach and Praticce, Cape Town, South Africa, Publ. IAHS.

Desbordes M et Raous P, 1980 - Fondement de l'élaboration d'une pluie de projet urbain Méthode d'analyse et d'application à la station de Montpellier Bel Air. In la météorologie. VI^{ème} série n^o20 – 21, Mars – juin, 1980, p 317 – 326.

Desthieux G (2000) : Gestion durable des ressources naturelles et aménagement périurbain : conception et utilisation d'un SIG pour les collectivités locales de Thiès et Fandène, EPFL, 62 pages

Diouf ND R, 2001 - Etudes des précipitations exceptionnelles d'un à dix jours consécutifs au Sénégal. Mémoire de maîtrise, Département de Géographie, FLSH, UCAD, 87 p.

Laaroubi H (1997): Les bassins versants urbains de Rufisque : caractéristiques morphométriques et prédétermination des écoulements de surface, UCAD, Dakar, 51 pages

ONAS, SCANDIACONSULT INTERNATIONAL (1999) : Ville de Thiès : étude d'assainissement et de réutilisation des eaux usées : volet A : diagnostic et avant-projet sommaire, Version Finale, MMEH, 90 pages

FAO (1996). Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Rome.

Grésillon J., Herter M., Lahaye J. P. (1977). Note sur le dimensionnement des ouvrages évacuateurs de crues en Afrique de l'Ouest Sahélienne ou Tropicale. Bulletin de liaison du CIEH: pp. 1-34.

Hiez G. (1969). Homogénéisation des données pluviométriques. Instruction de calculs pour la programmation. Sudene. Paris, UNESCO: 19 + Annexes.

Jordan J. P., Wiener P. (1987). Description du modèle OTTHYMO. EPFL-Université Ottawa, Lausanne.

Lérique J. (1977). Étude hydrologique de deux petits bassins de la région de Thiès. Dakar, ORSTOM: 34 pages.

Masson J M et Cormary Y, 1964 - Etude de CES au centre de recherche du génie rural en Tunisie. Cah. Orstom sér. pédol; 2 : 3-26.

Olivry J.C., Dacosta H., F. J. (1983). Études hydrologiques dans la région de Thyssé-Kaymor (Sine Saloum): Résultats de la campagne 1983. Rapport provisoire. Dakar, ORSTOM-ISRA-IRAT: 32.

(Roche M, 1963).

Ribstein P., Rodier J.A. (1988). Estimation des caractéristiques de la crue décennale pour les petits bassins versants du Sahel couvrant 1 à 10 km². La maîtrise des crues dans les bas-fonds: petits et micro barrages en Afrique de l'Ouest. GRET-AFVP-CF-ACCT. Paris:

Rodier J., Auvray C.(1965). Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale. Paris, CIEH- ORSTOM 46.

Rodier J., Ribstein P. (1988). Estimation des caractéristiques de la crue décennale pour les petits bassins versants du Sahel couvrant 1 à 10 km². Lab. Hydrol., Montpellier, ORSTOM: 133.

Rodier J. A. (1975). Évaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel Tropical Africain. Paris, ORSTOM.

Rodier J.A. (1973). Méthodes utilisées pour l'évaluation des débits de crues des petits cours d'eau en régions tropicales. Coll. sur l'élaboration des projets d'utilisation des ressources en eau sans données suffisantes. Madrid.

Rodier J.A. (1976). "Estimation des débits de crues décennales pour les petits bassins forestiers en Afrique Tropicale." Cah. ORSTOM, Hydrol XIII, n° 4.

Sylla A, 2004 – analyse de la structure des pluies à la station pluviographique de Thiès de 1957 à 1999. Mémoire de maîtrise, Département de Géographie, FLSH, UCAD, 127 p.

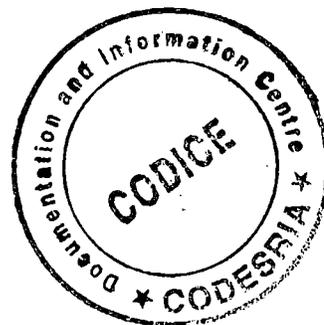
TABLE DES MATIERES

AVANT – PROPOS	1
SOMMAIRE	2
INTRODUCTION GENERALE.....	3
<u>CHAPITRE PREMIER : CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES DES</u>	
<u>BASSINS VERSANTS</u>	<u>7</u>
I. Caractéristiques physiques du bassin versant	8
I.1 – Caractéristiques physiques et leur influence sur l'écoulement des eaux	8
-Géomorphologie	8
-Caractéristiques générales des sols	9
-Identification des réseaux d'écoulement sur la superficie des bassins	10
-Structure géologique du bassin	10
-Conditions hydrogéologiques	11
I.2 – Les caractéristiques morphométriques du bassin	12
-Limite du bassin versant	12
-La surface et le périmètre	13
-La forme	14
-Longueur et largeur	15
-Le relief	15
- Le Modèle Numérique de Terrain	18
<u>CHAPITRE DEUXIEME : Climatologie du bassin versant</u>	<u>20</u>
II.1.-Analyse des paramètres climatiques	21
-Vents : vitesse et direction	23
-Les températures	23
-L'insolation	23
-L'évaporation et l'évapotranspiration potentielle (Penman)	23
-L'humidité relative	23
II 2-Analyse de la pluviométrie	24
-Pluviométrie annuelle	24
-Pluviométrie mensuelle	29
Pluviométrie journalière	32
Précipitations maximales journalières	33
Forme et intensité des pluies	35
<u>CHAPITRE TROISIEME : ESTIMATION DES CRUES</u>	<u>37</u>
I. Méthode ORSTOM	38
II. Méthode CIEH	40
CONCLUSION GENERALE	41

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

TABLES DES MATIERES



LISTE DES FIGURES

Figure 1: Situation du bassin versant urbain de Thiès.....	8
Figure 2 : Limite du bassin versant de Thiès.....	13
Figure 3 : Courbe hypsométrique du bassin versant.....	16
Figure 4 : Le modèle numérique de terrain	18
Figure 5: Variation mensuelle des paramètres climatiques à la station de Thiès.....	22
Figure 6: variation des pluies mensuelles à Thiès, Mont Rolland, Notto, Pout et Tivaouane	25
Figure 7: Cartes des isohyètes pour le Sénégal	27
Figure 8: Répartition mensuelle des précipitations à Thiès et Tivaouane.....	31
Figure 9: Variation des pluies maximales journalières à Thiès et Tivaouane.....	33
Figure 10: Cartographie des hauteurs maximales de pluies d'un à quatre jours consécutifs	34
Figure 11: Courbes IDF des pluies à Thiès de 1957 à 1999.....	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Lithologie du bassin versant	11
Tableau 2 : Les surfaces partielles du bassin.....	14
Tableau 3 : Hypsométrie du bassin versant.....	16
Tableau 4 Valeur des Indice de pente Ip partiels	17
Tableau 5 : Résumé des principaux paramètres pouvant influencer sur l'écoulement	19
Tableau 6 : Moyennes mensuelles des paramètres climatiques de la station de Thiès	21
Tableau 7 : Moyenne interannuelles de la pluviométrie.....	26
Tableau 8 : Pluies annuelles fréquentielles des stations Thiès, Mont Rolland, Notto, Pout et Tivaouane.....	29
Tableau 9 Statistique des pluies mensuelles	30
Tableau 10 : Pluies mensuelles fréquentielles pour les stations de Thiès et Tivaouane	32
Tableau 11 : Pluies maximales cumulées de 1 à 10 jours consécutifs	33
Tableau 12 : pluie journalières fréquentielles de Thiès, Mont Rolland, Notto, Pout et Tivaouane	35
Tableau 13 : Paramètres et valeurs de la crue de fréquence décennale du bassin.	40