

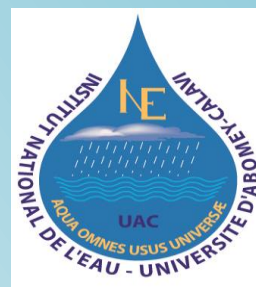


UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=====

INSTITUT NATIONAL DE
L'EAU

=====



DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET DE GESTION DES
RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

AHOTON Ayéwa Amour Claire

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : HYDROLOGIE-QUANTITATIVE

=====

**ETUDE COMPARATIVE DU VOLUME DE STOCKAGE
DU BASSIN DE RETENTION PA3 DU PROGRAMME
D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL DE COTONOU (PAPC)**

=====

Maître de Mémoire

Dr. Ir. Djigbo Félicien BADOU

Maître de Stage

Ir. Moudachirou ADJIBOICHA

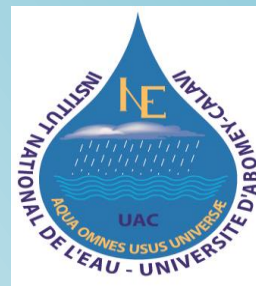


ANNEE ACADEMIQUE : 2022-2023

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI



=====
INSTITUT NATIONAL DE
L'EAU
=====



DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET DE GESTION DES
RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

AHOTON Ayéwa Amour Claire

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : HYDROLOGIE-QUANTITATIVE

=====

**ETUDE COMPARATIVE DU VOLUME DE STOCKAGE
DU BASSIN DE RETENTION PA3 DU PROGRAMME
D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL DE COTONOU (PAPC)**

=====

Mention : *Excellente*

Jury

Président : Dr. Mathieu HOUNSOU

Examineur : Ir. Sylvain BOKOVE

Rapporteur : Dr. Ir. Félicien BADOU

ANNEE ACADEMIQUE : 2022 - 2023

Dédicace

A

Mon père AHOTON Barthélémy et ma mère ONIKPO Bernadette.

Merci pour l'amour et le soutien inconditionnel reçus de chacun de vous.

Remerciements

Ce mémoire est le fruit d'un long et passionnant travail de recherche, qui n'aurait été possible sans le soutien de nombreuses personnes. Ainsi, à travers ces quelques lignes, j'exprime toute ma reconnaissance :

- Au Seigneur Dieu pour la vie, la santé, la protection et le courage qu'il m'a donné durant mon stage et pendant la rédaction de ce mémoire ;
- Au Docteur Djigbo Félicien BADOU, mon Maître de mémoire qui malgré ses occupations a accepté l'encadrement du travail et pour ses conseils scientifiques ;
- A l'Ingénieur Moudachirou ADJIBOICHA, Directeur Technique du bureau d'étude ACEP, mon Maître de stage pour avoir accepté de superviser ce travail malgré ses multiples occupations et, pour avoir mis à ma disposition les documents techniques nécessaires ;
- A Monsieur, Barthélémy AHOUCANDJINOU, Contrôleur Technique à ACEP, pour l'accueil et le partage de connaissances durant la période de mon stage ;
- Au Docteur Flavien DOVONOU, Maître de Conférences des Universités du CAMES, Chef du Département d'Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau de l'INE pour ses efforts consentis dans la formation des étudiants ;
- A tout le corps professoral et administratif de l'Institut National de l'Eau, plus particulièrement tous ceux qui ont été mes enseignants pour avoir su me donner le nécessaire pendant ces trois années de formation ; recevez ma profonde reconnaissance et ma grande satisfaction ;
- Aux Honorables membres du jury qui contribueront à l'amélioration de ce travail, merci pour le temps que vous sacrifierez pour l'analyse et l'amélioration de ce document ;
- A tous mes camarades de la Licence Professionnelle en Hydrologie pour l'atmosphère conviviale qui a régné tout au long de cette formation ;
- A tous mes aînés de la Licence Professionnelle en Hydrologie en particulier, à Fructueux EHOUCINSOU et Dine BOKO.
- Aux personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail ;

Résumé

Pendant la saison des pluies, la ville de Cotonou est souvent exposée à des inondations occasionnant des dommages pour les populations. Ces risques d'inondations seraient dus au sous-dimensionnement du réseau d'assainissement pluvial existant et à l'occupation des chemins de l'eau. Pour y faire face dans le dixième arrondissement de Cotonou, le Gouvernement béninois a prévu la construction du bassin de rétention Pa3 afin de recueillir les eaux pluviales excédentaires et les drainer vers le lac NOKOUE à travers l'ouvrage de contrôle de type déversoir. L'objectif de ce travail est de vérifier que le volume de stockage du bassin de rétention Pa3 prévu dans le cadre du Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou a été convenablement déterminé. A cette fin, les données de précipitations maximales journalières annuelles de la station synoptique de Cotonou-Aéroport sur la période de 1961 à 2020 ont été utilisées. L'approche méthodologique a consisté en l'analyse fréquentielle des précipitations extrêmes de la zone d'étude, la construction de la courbe Intensité-Durée-Fréquence (IDF) à partir du modèle de Talbot et en la simulation du laminage de la crue d'entrée dans le bassin de rétention Pa3. Les résultats ont montré que la capacité de stockage du bassin Pa3 est de 88878 m³ pour une profondeur minimale de 1,14 m contre une capacité de stockage de 104771 m³ pour une profondeur minimale de 1,35 m retenue par le bureau d'études ACEP. Ces chiffres indiquent un écart de -16% entre les résultats de cette étude et ceux du bureau d'études et suggèrent qu'un coefficient de majoration du même ordre a été utilisé par ACEP. Ainsi, il peut être conclu que le bassin Pa3 a été bien dimensionné. En outre, cette étude confirme que le modèle de Talbot utilisé pour la construction des courbes IDF est bien adapté pour la ville de Cotonou.

Mots clés : Inondation pluviale, Analyse fréquentielle, Modèle de Talbot, Bassin de rétention.

Abstract

During the rainy season, the city of Cotonou is often exposed to flooding, causing damage to the population. These flood risks are thought to be due to the undersizing of the existing storm drainage network and the occupation of waterways. To tackle this problem in Cotonou's tenth arrondissement, the Beninese government has planned to build the Pa3 retention basin to collect excess rainwater and drain them into Lake Nokoue through the weir-type control structure. The aim of this work is to verify that the storage volume of the Pa3 retention basin planned as part of the Cotonou Rainwater Sanitation Program has been properly determined. To this end, annual maximum daily rainfall data from the Cotonou-Airport synoptic station over the period 1961 to 2020 were used. The methodological approach consisted of a frequency analysis of extreme rainfall in the study area, construction of the Intensity-Duration-Frequency (IDF) curve using the Talbot model, and simulation of the lamination of the inlet flood in the Pa3 retention basin. The results showed that the storage capacity of the Pa3 retention basin is 88878 m³ for a minimum depth of 1.14 m, compared with a storage capacity of 104771 m³ for a minimum depth of 1.35 m retained by the ACEP engineering firm. These figures show a discrepancy of -16% between the results of this study and those of the design office, and suggest that a mark-up coefficient of the same order was used by ACEP. It can therefore be concluded that the Pa3 basin has been correctly sized. In addition, this study confirms that the Talbot model used to construct the IDF curves is well suited to the city of Cotonou.

Key words: Rainfall flooding, Frequency analysis, Talbot model, Retention basin.

Liste des sigles et acronymes

ACEP	: Afrique Conception et Étude de Projets
AIC	: Akaike Information Criterion (Critère d'Information d'Akaike)
APD	: Avant-Projet-Détaillé
BIC	: Bayesian Information Criterion (Critère d'Information Bayésien)
CEB	: Communauté Électrique du Bénin
CIEH	: Comité Interafricain d'Études Hydrauliques
HYFRAN	: HYdrological FREquency Analysis
IDF	: Intensité-Durée-Fréquence
PAPC	: Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou
PDA	: Plan Directeur d'Assainissement

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des sigles et acronymes	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	viii
Liste des photos	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. Contexte et justification	1
2. Revue de littérature	2
2.1. Clarification des concepts	2
2.2. Etat des connaissances	3
3. But de la recherche	5
4. Problème et question de recherche	6
5. Objectifs de l'étude	6
5.1. Objectif général.....	6
5.2. Objectifs Spécifiques	6
CHAPITRE 1 : DONNEES, MATERIELS ET METHODES	7
1.1. Milieu d'étude.....	8
1.1.1. Situation géographique de la ville de Cotonou	8
1.1.2. Bassins versants de la ville de Cotonou	8
1.1.3. Présentation du bassin Pa3	8
1.1.4. Climat, Sol, Végétation	9
1.2. Données utilisées	11

1.3. Matériels utilisés.....	11
1.4. Méthodes	11
1.4.1. Construction de la courbe IDF de la station de Cotonou-Aéroport.....	11
1.4.2. Détermination du volume de stockage du bassin de rétention Pa3	17
CHAPITRE 2 : RESULTATS ET DISCUSSION	21
2.1. RESULTATS	22
2.1.1. Ajustement d'un modèle statistique aux maxima de pluies journalières de la station de Cotonou-Aéroport.....	22
2.1.2. Construction de la courbe IDF à partir du modèle de Talbot.....	24
2.1.3. Détermination du volume de stockage du bassin de rétention	26
Photo 1 : Aménagement du bras du bassin de rétention Pa3	30
2.2. Discussion.....	30
CONCLUSION	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34
ANNEXES	I

Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation du bassin Pa3	9
Figure 2 : Diagramme climatique de Cotonou	10
Figure 3 : Vue d'ensemble des aménagements projetés dans le bassin Pa3	18
Figure 4: Organigramme de la méthodologie	20
Figure 5 : Ajustement des lois de Gumbel et Log normale sur la station de Cotonou-Aéroport	23
Figure 6 : Courbes Intensités-Durées-Fréquences de la station de Cotonou-Aéroport.....	26
Figure 7 : Simulation du laminage de la crue d'entrée dans le bassin Pa3	27

Liste des tableaux

Tableau 1 : Informations sur la station synoptique de Cotonou-Aéroport.....	11
Tableau 2 : Lois statistiques et fonction de densité de probabilité.....	13
Tableau 3 : Exposant climatique de la station de Cotonou-Aéroport	16
Tableau 4 : Tests d'hypothèses	22
Tableau 5 : Valeurs des critères BIC et AIC	23
Tableau 6 : Quantiles estimés en fonction des périodes de retour	24
Tableau 7 : Hauteurs de pluies de courtes durées et leurs intensités.....	25
Tableau 8 : Coefficients de Talbot pour la station de Cotonou-Aéroport.....	25
Tableau 9 : Volume de stockage et profondeur moyenne du bassin de rétention Pa3	28
Tableau 10 : Statistique descriptive de la série de pluie journalière maximale annuelle	I
Tableau 11 : Pluie de projet et simulation du laminage de la crue d'entrée.....	II

Liste des photos

Photo 1 : Aménagement du bras du bassin de rétention Pa3	30
Photo 2 : Rigoles connectées au collecteur de drainage des eaux pluviales.....	29

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte et justification

L'eau, élément vital de toute société peut également être source de dévastation lorsqu'elle n'est pas bien maîtrisée. Dans le contexte de l'urbanisation rapide et des changements climatiques qui caractérisent notre époque, les villes du monde entier sont confrontées à un défi majeur : la gestion des eaux pluviales. L'urbanisation rapide couplée au changement climatique a entraîné une augmentation des précipitations extrêmes dans de nombreuses régions urbaines un peu partout dans le monde. Les changements climatiques constituent une menace pour le développement durable dans les pays de l'Afrique de l'Ouest particulièrement ceux touchés par les événements météorologiques extrêmes de ces dernières décennies. Selon les prévisions du Groupe Intergouvernemental d'Expert sur l'Evolution du Climat (GIEC), certains phénomènes extrêmes augmenteront de fréquence et/ou d'intensité au XXI^e siècle en raison de l'évolution des moyennes climatiques et/ou de la variabilité du climat, et l'on peut donc s'attendre à ce que leurs incidences gagnent en ampleur avec le réchauffement de la planète. Ce réchauffement est à l'origine de bons nombres de catastrophes naturelles dont l'inondation résultant des pluies extrêmes.

A l'instar de nombreux pays de l'Afrique de l'Ouest, le Bénin connaît les affres du changement climatique dont la maîtrise et l'évaluation des risques passent en partie par la connaissance des pluies extrêmes comme les hauteurs maximales annuelles des pluies journalières (Agué & Afouda, 2015). La ville de Cotonou située au Sud du Bénin, est souvent exposée pendant les saisons de pluies à des risques d'inondation. L'année 2010 reste encore vive dans la mémoire des populations, pour avoir connu des inondations historiques qui ont plongé la quasi-totalité des communes du Bénin sous l'eau avec son lot de dégâts matériels et humains. Selon le Rapport d'évaluation des besoins post-catastrophique, plus de 600000 personnes ont été touchées dans 55 des 77 communes que compte le pays avec à la clé 46 morts, 50000 maisons détruites et 100000 personnes devenues sans abri. Ces inondations seraient dues au sous-dimensionnement des anciens canaux de drainage des eaux pluviales, au changement climatique et à l'habitation de la population riveraine dans les marécages devant normalement accueillir ces eaux. Préoccupé par le bien-être et l'assainissement du cadre de vie des populations de Cotonou, particulièrement touchées par le phénomène d'inondation, le Gouvernement du Bénin a initié le Programme

d'Assainissement Pluvial de Cotonou (PAPC) qui vise à réduire de façon considérable la vulnérabilité de la ville de Cotonou face aux inondations et favoriser la réalisation d'infrastructures socioéconomiques durables. Au cœur de ce programme se trouve le bassin de rétention Pa3 conçu pour stocker les eaux pluviales excédentaires au niveau du 10ème arrondissement de Cotonou. L'efficacité du système actuel de gestion des eaux pluviales, notamment du bassin de rétention Pa3 doit être rigoureusement évaluée afin de limiter le risque d'inondation dans la ville. Cependant, la gestion de ce risque nécessite une compréhension globale des périodes de récurrences et des paramètres hydro-climatiques tels que les courbes Intensités-Durées-Fréquences (IDF) (Badou et *al.*, 2023). Les courbes IDF les plus utilisées par les ingénieurs pour dimensionner les ouvrages hydrauliques sont celles élaborées par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH). La présente étude se propose de construire une courbe IDF pour la station synoptique de Cotonou-Aéroport, de calculer la pluie de projet pour le dimensionnement du bassin de rétention Pa3 et d'évaluer le volume de stockage de ce bassin.

2. Revue de littérature

2.1. Clarification des concepts

En vue de mieux maîtriser le sujet, certains termes ou mots doivent être clarifiés :

Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou (PAPC) : C'est l'un des projets phares porté par le gouvernement béninois et soutenu par six (06) bailleurs de fonds dont la Banque Mondiale. L'objectif de ce programme est de réduire de façon significative la vulnérabilité de la ville de Cotonou face aux inondations. Il vise à assurer une évacuation des eaux permettant une amélioration des conditions sanitaires et de la qualité de vie des habitants de plusieurs quartiers défavorisés riverains par des aménagements urbains connexes. Dans la mise en œuvre de ce programme, le bassin Pa3 bénéficie des travaux d'enlèvement des boues, de protection de talus des berges par des matelas de type Reno, d'engazonnement et de plantation d'arbustes.

Bassin de rétention : C'est une zone de stockage des eaux pluviales enterrée ou à ciel ouvert. Un bassin de rétention est une structure conçue pour recueillir et stocker temporairement les eaux de pluie afin de prévenir les inondations et l'érosion. Il permet de contrôler le débit d'eau en retenant l'eau pendant les périodes de fortes précipitations et en la libérant

lentement. Cela aide à minimiser l'impact sur les systèmes de drainage locaux et à améliorer la qualité de l'eau en permettant aux sédiments et autres polluants de se déposer avant que l'eau ne soit libérée. Le bassin de rétention de notre étude est à ciel ouvert.

Extrêmes pluviométriques : Selon (Beniston & Stephenson, 2004), les extrêmes pluviométriques sont quantifiés suivant leur rareté (fréquence d'occurrence), leur intensité (dépassement de seuil) et les impacts qu'ils exercent sur les secteurs environnementaux ou économiques, en termes de coûts. Pour (Bobée, 1992), ils peuvent être considérés comme des maximums observés parmi un ensemble assez large d'événements indépendants. La présente étude prend en compte les données de pluies maximales annuelles. En effet, pour (Agué & Afouda, 2015), la maîtrise et l'évaluation des risques d'inondation et de sécheresse passent en partie par la connaissance des pluies extrêmes comme les hauteurs maximales annuelles des pluies journalières.

Inondation pluviale : C'est une inondation provenant des précipitations locales ou d'apports locaux par ruissellement que le réseau hydrographique ou le réseau de drainage ne parviennent pas à évacuer. Elle survient suite à de fortes précipitations concentrées dans une zone particulière. La gestion des risques d'inondation pluviale nécessite une compréhension précise des modèles de précipitation.

Quantile : hauteur de pluie journalière pour une fréquence de non dépassement donnée.

Pluie de projet : Selon (Astee, 2017) on appelle « pluie de projet », une pluie synthétique définie par un hyétoگرامme type, non observé et de forme simplifiée. Cet hyétoگرامme est construit à partir des caractéristiques statistiques des pluies, en général décrites par les courbes Intensités-Durées-Fréquences.

2.2. Etat des connaissances

La présente revue a pour objectif de situer l'état des connaissances sur la notion de la pluie de projet et la construction des courbes IDF.

Les méthodes de dimensionnement des ouvrages hydrauliques ont évolué au fil des décennies en passant par différentes approches telles que l'utilisation des méthodes des pluies et de volumes. Les travaux de (Gaume & Rakem, 2000) sur l'analyse des caractéristiques dimensionnantes des pluies révèlent que les deux méthodes précitées (méthode des pluies et

de volumes) ne donnent pas entièrement satisfaction. Pour ces auteurs, ces deux méthodes ont tendance à sous-dimensionner ou surdimensionner les ouvrages hydrauliques. Pour résoudre ce problème (Abessolo, 2011) s'est proposé d'intégrer la notion de la pluie de projet développée par (Xia, 2005) au dimensionnement desdits ouvrages. La pluie de projet est construite à partir des courbes IDF de la région d'étude. Il en existe plusieurs types : la pluie de projet simple triangle, double triangle, de forme quelconque ; etc. Le choix du type de pluie de projet à utiliser se fait en fonction des caractéristiques des bassins versants étudiés. Selon le manuel d'analyse hydrologique, la pluie de projet simple triangle par exemple est utilisée sur des bassins versants à réponse rapide, inférieure à 30 minutes. L'importance des courbes IDF dans la détermination des paramètres de bases de conception des ouvrages hydrauliques a amené beaucoup de chercheurs à remettre en cause certaines considérations faites lors de l'établissement desdites courbes, notamment dans le choix de la loi d'ajustement statistique et du modèle empirique pour leur construction (Bacharou & Adjiboicha, 2011). Le choix de la loi d'ajustement se fait par une analyse fréquentielle des extrêmes. Elle est une méthode très connue à travers le monde et s'applique à des événements historiques pour caractériser et suivre l'évolution d'un processus donné. Plusieurs études dans le monde comme en Afrique tropicale ont montré la prédominance de la loi de Gumbel. En effet, les résultats des travaux d'analyse fréquentielle réalisés par (Kouassi et al., 2018) sur les pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan révèlent que la loi de Gumbel s'ajuste le mieux aux pluies journalières de la station de Port-Bouët. Il est donc recommandé de travailler avec la distribution de Gumbel dans toute étude de dimensionnement d'ouvrages hydrauliques en général et dans le domaine des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales en particulier dans le district d'Abidjan. Au Bénin, (Agué & Afouda, 2015) ont réalisé une étude statistique des maxima de pluies journalières en utilisant les données de 35 stations couvrant la période de 1921 à 2001. Il ressort de leurs travaux que la loi Log normale s'ajuste le mieux aux données pluviométriques de la station de Cotonou-Aéroport et celle de Gumbel est adaptée aux quantiles de Cotonou Ville. Dans le but d'établir une relation entre les événements hydro-pluviométriques extrêmes et les inondations dans la ville de Cotonou, (Afouda & Ahopkossi, 2012) ont réalisé une analyse fréquentielle de la pluviométrie de la ville sur la période de 1953 à 2010. Cette étude révèle que la loi de Gumbel s'ajuste le mieux aux données de la station de Cotonou.

Les courbes IDF construites par le CIEH et modélisées à l'aide de la formule empirique de Montana pour la station de Cotonou sont les plus souvent utilisées par les ingénieurs pour dimensionner les ouvrages hydrauliques dans la ville. Cependant, la période d'observation des données utilisées pour construire ces courbes est de 1966-1980, il se pose alors un problème d'actualisation des paramètres hydro-climatiques avec des données récentes. Dans le but d'actualiser les courbes IDF utilisées pour dimensionner les ouvrages hydrauliques à Cotonou, Bacharou et *al.* (2011) ont établi des courbes IDF pour les stations du bassin de l'Ouémé et donc pour la Station de Cotonou-Aéroport à partir des données de 37 postes pluviométriques du Bénin sur la période de 1971 à 2010. De plus, les travaux de (Badou et *al.*, 2023) se sont basées sur des séries annuelles d'intensités maximales de 1, 2, 3, 6, 12 et 24 h sur une durée de 20 ans (1999-2018) pour proposer des courbes IDF de la même station. L'utilisation du modèle empirique de Montana pour l'ajustement des quantiles estimées ne paraît pas adéquate puisque plusieurs études comme celles de (Bacharou & Adjiboicha, 2011; Badou et *al.*, 2023) ont montré que le modèle de Talbot présente des erreurs quadratiques faibles par rapport au modèle de Montana.

Le dimensionnement hydraulique des petits bassins urbains requiert la disponibilité des données de pluies de courtes durées. Cependant, l'absence de ces données du fait du manque de pluviographe dans les pays en voie de développement complique la construction des courbes IDF en fonction des pluies de courtes durées. A cet effet, (Dagnellie, 1992) a proposé une méthode d'estimation des hauteurs de pluie de courtes durées d et de période de retour T à partir des hauteurs maximales journalières annuelles de pluie sur une station et ce en utilisant l'exposant climatique de Body de la station considérée (Bacharou et *al.*, 2011)

Au terme de cette revue de littérature, il ressort que l'ajustement de la série de valeurs extrêmes de la zone d'étude se fera par les lois Log normale et Gumbel sur la période de 1961 à 2020. De plus, la formule empirique de Montana ne paraîtrait pas adéquate pour la modélisation des courbes IDF et il conviendrait d'utiliser le modèle de Talbot et l'exposant climatique de Body pour construire la courbe IDF de la station de Cotonou-Aéroport.

3. But de la recherche

Cette étude a pour but de contribuer à une meilleure gestion des eaux pluviales en vue de limiter les risques d'inondation dans la ville de Cotonou et de mettre à la disposition des ingénieurs, des courbes Intensités-Durées-Fréquences (IDF).

4. Problème et question de recherche

Les inondations pluviales menacent la quiétude des populations de Cotonou. Pour pallier à ce problème, le PAPC prévoit l'aménagement des bassins de rétention capables de stocker les eaux pluviales excédentaires du dixième arrondissement de la ville. Cependant, des études antérieures ont mis en relief la possibilité de sous dimensionnement ou de surdimensionnement des réseaux d'assainissement pluvial par les ingénieurs (Bacharou & Adjiboicha, 2011; Badou et *al.*, 2023). La principale question de recherche que suscite le sujet se présente comme suit :

Les bassins de stockage du PAPC, en particulier le bassin Pa3, sont-ils convenablement dimensionnés ? En d'autres termes, le volume de stockage du Pa3 est-il suffisant pour gérer efficacement les précipitations extrêmes à Cotonou ?

5. Objectifs de l'étude

5.1. Objectif général

L'objectif général de ce travail est de vérifier le volume de stockage du bassin de rétention Pa3 prévu dans le cadre du Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou.

5.2. Objectifs Spécifiques

Trois objectifs spécifiques ont été formulés pour ce travail à savoir :

- Ajuster un modèle statistique aux maxima de pluies journalières de la station de Cotonou-Aéroport.
- Construire la courbe IDF de la station étudiée à partir du modèle de Talbot.
- Déterminer le volume de stockage du bassin de rétention Pa3.

Le présent travail sera divisé en deux chapitres précédés d'une introduction générale et suivi d'une conclusion générale et des perspectives. Le chapitre 1 sera consacré aux données, matériels et méthodes, alors que le chapitre 2 sera consacré aux résultats et à la discussion.

CHAPITRE 1 : DONNEES, MATERIELS ET METHODES

1.1. Milieu d'étude

1.1.1. Situation géographique de la ville de Cotonou

La ville de Cotonou est située sur le cordon côtier, d'où son nom de région du littoral. D'une superficie de 79 km², la municipalité est située à l'intersection de 6°20' nord et 2°20' est. Elle est délimitée au Nord par le lac NOKOUE, au Sud par l'océan Atlantique, à l'Est par la commune de Sèmè-Kpodji et à l'Ouest par la commune d'Abomey-Calavi (Safi et al., 2013). La ville compte 13 arrondissements et 143 quartiers de villes.

1.1.2. Bassins versants de la ville de Cotonou

Les études d'actualisation du Plan Directeur d'Assainissement Pluvial (Igip, 2019) de la ville de Cotonou ont abouti à la définition de cinquante (50) bassins versants sur l'ensemble du territoire de la ville dont vingt (20) sont situés dans la partie Est (Ra, Rb, Rc, Rd, S, Ta, Tb, Tc, Td, Te, Wa, Wb, Wc, WW1, WW2, WW3, WW4, Y, Ya et Z) et trente (30) dans la partie Ouest de la ville (A, Abis, AAc, AAn, ABa, Abc, B, Bbis, C, D, F, Ga, Gb, Gc, Gd, Ha, Hb, I, J, L, M, Ma1, Ma2, Mb, XX, Pb, Pc, Q et Pa). Celui de notre étude (le bassin Pa) est situé à l'Ouest de la ville dans le 10^{ème} arrondissement.

1.1.3. Présentation du bassin Pa3

Le bassin Pa3 est l'un des bras secondaires du bassin Pa.

En effet, le bassin Pa couvre les quartiers de FIFADJI, VOSSA, MISSEKPLE, GBENONKPO, MIDEDJI et a une superficie de 745 ha. Il est un bassin de stockage et d'écêtement composé d'un ouvrage de contrôle de type déversoir à VOSSA, d'un bassin de dissipation d'un canal de vidange qui se déverse dans le lac NOKOUE et d'un bassin de rétention. Ce dernier est constitué d'un bras principal (Pa1) et de deux autres bras secondaires dénommés Pa2 et Pa3 (celui concerné par notre étude). Le bassin Pa3 est situé au quartier VEDOKO derrière les installations de la Communauté Electrique du Bénin (CEB) dans le 10^{ème} arrondissement de Cotonou.

La carte de localisation du bassin Pa3 se présente comme suit :

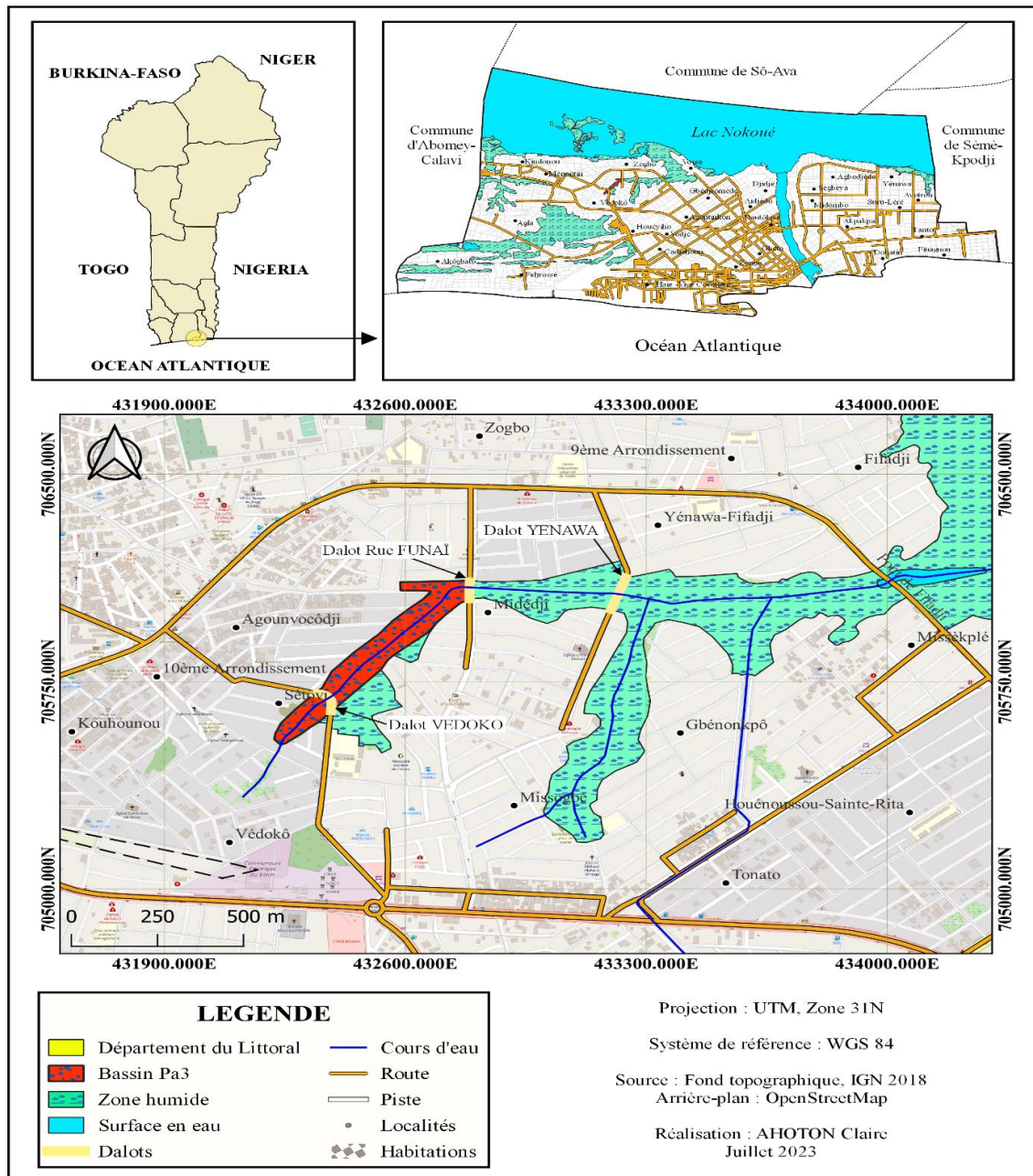


Figure 1 : Carte de localisation du bassin Pa3

1.1.4. Climat, Sol, Végétation

Le climat de Cotonou est de type subéquatorial avec une alternance de deux saisons pluvieuses (Avril à Juillet et Septembre à Novembre) et de deux saisons sèches (Décembre à Mars et Août). Les moyennes mensuelles de température les plus élevées sont enregistrées en février (28,5°C), en mars (28,9°C) et en avril (28,6°C), les plus basses en juillet (25,8°C) et en août (25,6°C), période au cours de laquelle la mousson, un vent maritime humide, souffle sur

la région donnant plus de fraîcheur (Safi et *al.*, 2013) . Le climat de la zone est caractérisé par une pluviométrie moyenne mensuelle variable située entre 12 mm pour le mois de Janvier et 353.6 mm pour le mois de Juin.

Le diagramme suivant résume les moyennes des données climatiques mensuelles de l'année 2020.

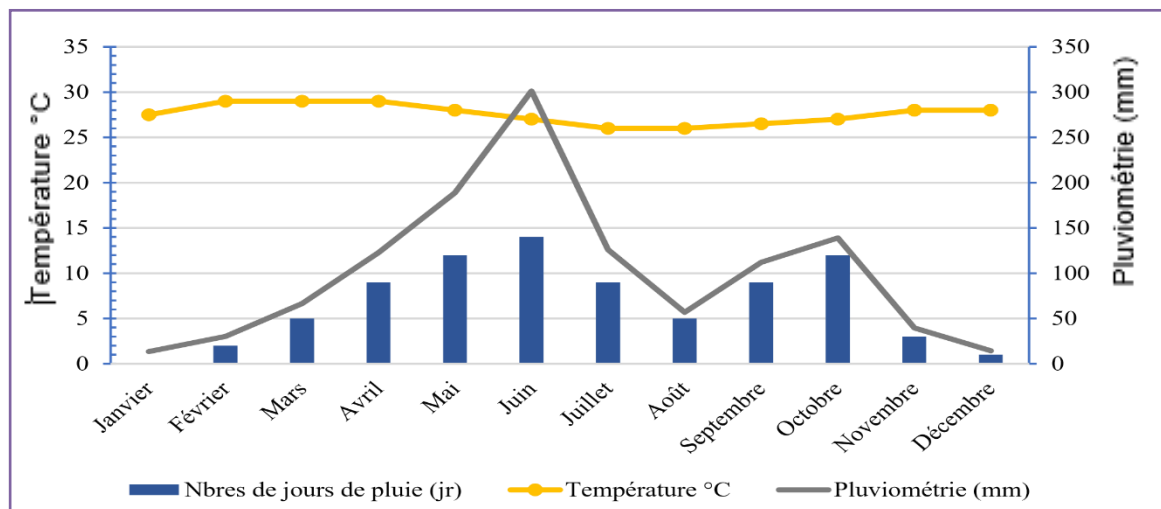


Figure 2 : Diagramme climatique de Cotonou

Source : Agence Météo Bénin

Selon le Plan de Gestion Environnemental et Social du bassin Pa3, la végétation de ce milieu est caractérisée par des forêts marécageuses, des prairies, et par endroits de mangroves à *Rhizophora racemosa* (palétuvier rouge) et *Avicennia africana* (palétuvier blanc). Les espèces végétales dominantes observées dans les prairies sont : *Paspalum vaginatum*, *Typha australis*, *Cyrtosperma senegalensis*, *Cyperus articulatus*, et *Cyperus striatus*.

Quant aux types de sols, la ville de Cotonou est localisée sur le bassin sédimentaire côtier et principalement dans la plaine littorale. La municipalité possède des sols sableux qui sont généralement pauvres en matières organiques avec une faible capacité d'échange et un faible pouvoir de rétention en eau, ce qui a pour résultats les inondations répétées observées dans la ville pendant la saison pluvieuse (Safi et *al.*, 2013).

1.2. Données utilisées

Les données de pluies journalières maximales annuelles ont été obtenues à l'agence METEO-BENIN. Ces données proviennent de la station synoptique de Cotonou-Aéroport et couvrent la période de 1961 à 2020.

Tableau 1 : Information sur la station synoptique de Cotonou-Aéroport

Nom de la station	Latitude (Nord)	Longitude (Est)	Altitude (m)	N° Asecna	Année de création
Cotonou-Aéroport	06°21'	02°23'	4	D075	1952

1.3. Matériels utilisés

Pour cette étude, le logiciel HYFRAN qui permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données (Bobée, 1992) a servi aux tests d'hypothèses de bases et à l'étude statistique des données pluviométriques. Quant à la réalisation de la carte de la zone d'étude et de la courbe IDF cela a été possible respectivement grâce à QGIS 2.18.11 et Excel 2019. Enfin, la rédaction a été faite dans Word 2019.

1.4. Méthodes

1.4.1. Construction de la courbe IDF de la station de Cotonou-Aéroport

1.4.1.1. Contrôle de la qualité des données

La pertinence des résultats obtenus dépend en premier lieu de la qualité des données disponibles. Les données de pluies journalières maximales annuelles ont été extraites de la série de données de pluies journalières recueillies à la METEO-BENIN.

1.4.1.2. Tests statistiques

Avant toute analyse fréquentielle, les observations doivent être soumises à des tests d'hypothèses. Il s'agit du test d'homogénéité de Wilcoxon qui vérifie si les données sont homogènes, de celui de stationnarité de Mann Kendall qui suppose l'absence de tendance entre les données et d'indépendance de Wald-Wolfowitz. Ces tests ont été réalisés avec le logiciel HYFRAN. Le niveau de significativité a été défini à 5% pour tous les tests statistiques (on rejette l'hypothèse nulle lorsque la p-valeur du test est inférieure à 0,05).

A cet effet, on oppose deux hypothèses complémentaires : H_0 et H_1 ,

- L'hypothèse : H_0 formule ce que l'on souhaite rejeter/réfuter
- L'hypothèse : H_1 formule ce que l'on souhaite montrer.

Par exemple, si on veut montrer l'hypothèse "lot non conforme", H_0 et H_1 s'opposent sous la forme : H_0 : "lot conforme" contre H_1 : "lot non conforme". La p-valeur est le plus petit réel $\alpha \in]0, 1[$ calculé à partir des données tel que l'on puisse se permettre de rejeter H_0 au risque $\alpha\%$. Autrement dit, la p-valeur est une estimation ponctuelle de la probabilité critique de se tromper en rejetant H_0 alors que H_0 est vraie. Les logiciels actuels travaillent principalement avec cette p-valeur (Chesneau, 2018). D'après cet auteur, la définition mathématique d'une p-valeur repose sur la notion de statistique de test. On appelle statistique de test, un estimateur (variant en fonction d'un ou plusieurs n-échantillon) tel que sa loi (ou, éventuellement, sa loi approchée) soit connue si H_0 est vraie, et qu'elle diffère selon que H_0 ou H_1 soit vraie. Dès lors, la p-valeur est définie par la probabilité qu'une réalisation quelconque de cette statistique de test indique un désaccord avec H_0 au moins aussi élevé que la réalisation de cette statistique de test correspondante aux données, ceci si H_0 était vraie. La p-valeur nous donne un degré de significativité du rejet de H_0 .

1.4.1.3. Analyse fréquentielle des extrêmes pluviométriques de la zone d'étude.

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future (Musy & Meylan, 1987). Elle fait appel à diverses techniques statistiques qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur.

Les principales étapes de l'analyse fréquentielle (Meylan et *al.*, 2008) :

- Définition des buts de l'analyse ;
- Construction d'une série de valeurs ;
- Contrôle de la série de valeurs ;
- Choix du modèle fréquentiel ;
- Ajustement du modèle fréquentiel ;
- Contrôle de l'ajustement ;
- Analyse des incertitudes ;

- Exploitation du modèle fréquentiel

L'analyse fréquentielle réalisée dans cette étude a pour but de déterminer les quantiles de pluies pour les différentes périodes de retour. A cet effet, les données de pluies de la station de Cotonou sur la période de 1961 à 2020 ont été soumises à une étude statistique. Pour cette étude, les lois Log normale et de Gumbel ont été utilisées.

➤ **Ajustement aux lois Log normale et Gumbel**

A cette étape, il s'agit d'ajuster les lois Log normale et Gumbel à la série de données de pluies journalières maximales annuelles.

- Loi Log normale

Encore appelée loi de Galton, la loi log normale a été obtenue par le changement de variable $Y = g(X)$ dans la loi de Gauss. Cette loi peut avoir trois paramètres mais le type que nous avons utilisé dans cette recherche est la loi log-normale à deux paramètres (le paramètre de position μ et le paramètre d'échelle σ).

- Loi de Gumbel

Elle sert dans l'analyse fréquentielle des valeurs extrêmes. Encore appelée loi doublement exponentielle, elle a servi de modèle d'ajustement aux séries chronologiques de valeurs extrêmes dans le cadre de nombreuses études.

La densité de probabilité et les paramètres de chacune de ces distributions sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Lois statistiques et fonction de densité de probabilité

Lois statistiques	Fonctions de densité de probabilité	Paramètres
Log normale	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$	σ, μ
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right) - \exp\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right]$	α, μ

➤ **Choix de la meilleure distribution**

Pour Bertrand & Maumy (2008), le critère AIC a été introduit pour retenir des variables pertinentes lors de prévisions, alors que le critère BIC vise la sélection de variables

statistiquement significative dans le modèle. Ces deux critères permettent de choisir la loi la mieux ajustée en tenant compte de l'erreur d'estimation et du nombre de paramètres à ajuster. La distribution pour laquelle les valeurs des deux critères sont les plus faibles est celle qui est sélectionnée (St-hilaire, 2007).

- Le Critère d'Information Akaike (AIC)

L'AIC représente donc un compromis entre le biais, diminuant avec le nombre de paramètres, et la parcimonie, volonté de décrire les données avec le plus petit nombre de paramètres possibles (Bertrand & Maumy, 2008).

Son expression est la suivante :

$$AIC = -2\log(L) + 2K \quad (1)$$

Avec L : la vraisemblance, K : le nombre de paramètres et N : la taille de l'échantillon

- Le Critère d'Information Bayésien (BIC)

(Bertrand & Maumy, 2008) soulignent que l'AIC a été introduit pour retenir des variables pertinentes lors de prévisions, et que le critère BIC vise la sélection de variables statistiquement significative dans le modèle. L'expression de ce critère se note :

$$BIC = -2\log(L) + 2K\log(N) \quad (2)$$

Avec L : la vraisemblance, K : le nombre de paramètres et N : la taille de l'échantillon

➤ **Estimation des paramètres de la loi retenue**

Cette étape consiste à estimer les paramètres de la distribution qui décrit convenablement les événements extrêmes. A cet effet, plusieurs méthodes sont disponibles. Il s'agit de la méthode graphique, de la méthode des moments, du maximum de vraisemblance et celle de la minimisation d'un test d'adéquation. Selon (Bobée, 1992), les méthodes d'estimation des paramètres les plus utilisés sont en pratique la méthode du maximum de vraisemblance et la méthode des moments. La première est employée généralement à cause de ses propriétés asymptotiques fort intéressantes, la seconde pour sa simplicité. (Bois & Obled, 2007) reconnaissent la simplicité de la méthode des moments mais ils soulignent qu'elle donne beaucoup de poids aux valeurs extrêmes ; ce qui peut être problématique. Ce pourquoi, nous

avons utilisé dans cette étude la méthode du maximum de vraisemblance pour estimer les valeurs des paramètres α et μ de lois utilisées.

1.4.1.4. Estimation des quantiles pour les différentes périodes de retour

La prévision d'apparition d'une hauteur donnée de précipitation se fait par l'ajustement d'une loi statistique à la série de précipitations. Il s'agit d'associer à un phénomène hydrologique sa probabilité d'occurrence et inversement. Plusieurs formules empiriques existent pour calculer la probabilité au non dépassement des pluies ordonnées. La formule utilisée dans cette étude est celle de Hazen ($a=0,5$) dont la formule est :

$$F(x_i) = \frac{i-0,5}{n} \quad (3)$$

D'après (Ague & Afouda, 2015), pour l'estimation d'un quantile X_T de période de retour T se reportant à une variable aléatoire X à partir d'un échantillon qui suit une loi de probabilité donnée F ayant k paramètre, on utilise l'expression :

$$X_{T=F^{-1}}(\theta_1, \theta_2 \dots \theta_k; -\frac{1}{T}) \quad (4)$$

1.4.1.5. Estimation des hauteurs de pluie de durée d ($0 < d < 24h$) à partir des hauteurs de pluies journalières maximales ajustées et de leurs intensités

L'estimation de la hauteur de pluie de courte durée d et de son intensité s'est fait en se basant sur les travaux de Dagnellie. La hauteur de pluie de durée d est déterminée grâce aux quantiles des différents temps de retour estimés suite à l'ajustement de la loi retenue selon la formule :

$$P_d(T) = P_{j_{\max}}(T) \left(\frac{d}{24} \right)^b \text{ (mm)} \quad (5)$$

Où $P_d(T)$: hauteur de pluie de durée d et de temps de retour T (mm)

$P_{j_{\max}}(T)$: quantile estimé de temps de retour T (mm)

b : exposant climatique de Body, d : durée de la pluie (h)

Détermination de l'exposant climatique de Body pour la station de Cotonou-Aéroport

Le tableau ci-dessous indique l'exposant climatique de Body (b) de la station étudiée

Tableau 3 : Expositant climatique de la station de Cotonou-Aéroport

Station synoptique	Coordonnées Lambert II		Alt (m)	PJmax moy	b
	X (km)	Y (km)			
Cotonou- Aéroport	606,529	-4012,6	4	110,675	0,30

Source : ASECNA

- **Estimation des intensités de courtes durées**

L'intensité est obtenue connaissant *la hauteur de pluie* $P_d(T)$ *par la formule* ci-après

$$i_d(T) = \frac{P_d(T)}{d} \text{ (mm/h)} \quad (6)$$

1.4.1.6. Détermination des coefficients de Talbot

La formule de Talbot se présente comme suit

$$i(T) = \frac{a(T)}{[d+b(T)]^{c(T)}} \quad (7)$$

Où $i(T)$ désigne l'intensité moyenne des précipitations (mm/h) pour une période de retour T (années) ; d est la durée des précipitations (h) ; a , b et c sont les paramètres d'ajustement ou les paramètres climatiques locaux. Le paramètre b est exprimé en min.

Pour les périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans) et les intensités de courtes durées estimées correspondant aux durées de (1,2,3,6,12 et 24 h), les coefficients de Talbot de la courbe IDF ont été déterminé suivant les étapes :

- Définir des valeurs initiales pour les coefficients de Talbot,
- Calculer les intensités maximales correspondantes à la formule de Talbot,
- Calculer la somme des carrés des différences entre les valeurs empiriques et théoriques,
- Déterminer les valeurs des coefficients de Talbot qui minimisent la somme des carrés des écarts (utilisation d'outil solveur d'optimisation Excel),

On peut donc générer les courbes IDF à partir du modèle de Talbot.

1.4.2. Détermination du volume de stockage du bassin de rétention Pa3

Le bassin de rétention Pa3 a été dimensionné pour une période de retour de 10 ans. Les coefficients de Talbot pour la période de retour de 10 ans seront alors utilisés. La vérification de son volume de stockage se fera en deux étapes : la construction de la pluie de projet à partir des coefficients du modèle de Talbot et la simulation du laminage de la crue d'entrée.

1.4.2.1. Construction de la pluie de projet à partir des coefficients de la courbe IDF du modèle de Talbot.

Compte tenu de la taille réduite du bassin Pa3 (116 hectares), la construction de la pluie de projet s'est concentrée sur les durées de pluie entre 15 et 1440 min. Le bassin de rétention Pa3 ayant une durée de réponse rapide, 30 minutes, c'est la pluie de projet simple triangle qui sera utilisée.

La méthodologie de construction de la pluie de projet consiste à déterminer en fonction des coefficients du modèle choisi pour la courbe IDF (Talbot ici), de la période de retour et du pas de temps, l'intensité de projet qui servira de données d'entrée pour la simulation du laminage de la crue. Il s'agit de déterminer sur de courtes durées, l'intensité moyenne, la lame précipitée cumulée, l'incrément de pluie et l'intensité de projet.

- **Temps écoulé**

La pluie de projet sur le sous bassin Pa3 a été construite en tenant compte des pluies de 10 min à 1440 min avec un pas de temps de 10 min

- **Intensité moyenne (mm /h)**

L'intensité moyenne est déterminée sur chaque durée à partir de la formule (7)

- **Lame précipité cumulée (mm)**

Elle se calcule sur chaque durée par :

$$L = t(h) \times i(T) \quad (8)$$

Avec $t(h)$: le temps écoulé en heure

- **Incrément de pluie**

Il représente la différence entre deux lames précipitées cumulées sur chaque pas de temps

- **Intensité de projet (mm/h)**

Il représente l'incrément de pluie par le pas de temps en heure sur chaque durée

1.4.2.2. Simulation du laminage de la crue d'entrée

A ce niveau, les intensités de projet déterminées à partir de la construction de la pluie de projet sont considérées comme des données d'entrée pour la simulation du laminage de la crue entrée dans le bassin.

Le bassin de rétention Pa est constitué d'un bras principal (Pa1), de deux autres bras secondaires dénommés Pa2 et Pa3 (celui de notre étude) auxquels s'ajoute le collecteur Pa à ciel ouvert en béton armé (en aval de Pa2).

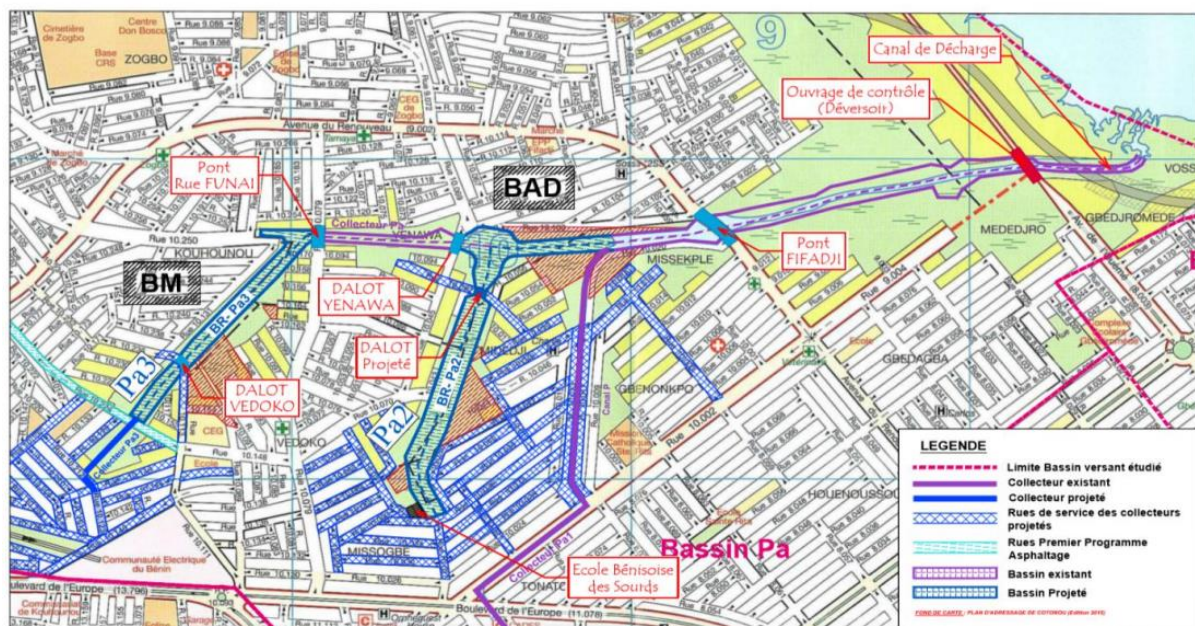


Figure 2 : Vue d'ensemble des aménagements projetés dans le bassin Pa3

Source : (Igip, 2019)

En fonction de la surface active (Sa) et du débit de fuite, on détermine sur chaque durée :

- L'hydrogramme entrant

Il se calcul sur chaque durée par la formule

$$He = \frac{Sa}{360} \quad (9)$$

Avec S_a : la surface active du bassin

La surface active du bassin représente le produit entre le coefficient de ruissellement pondéré et la surface drainée par le bassin.

- Le volume d'eau entrant dans le bassin

Il représente la moyenne de l'hydrogramme de crue sur deux durées successives multipliée par le pas de temps de la durée en heure

Soit H_{e1} et H_{e2} deux valeurs d'hydrogramme sur des durées successives

$$V_e = \overline{H_{e1} H_{e2}} \times P_t \quad (10)$$

Avec P_t : *Pas de temps entre deux durées consécutives*

- Hydrogramme sortant

Il représente le débit de fuite au déversoir. On le fixe sur chaque durée.

Selon (Safi et *al.*, 2013), le dimensionnement du bassin de rétention Pa3 se fera pour un débit de fuite de 13,25 m³/s.

- Le volume d'eau évacuée

Soit H_s l'hydrogramme sortant, H_{s1} et H_{s2} deux volumes entrant pendant des durées successives. Le volume d'eau évacué représente la moyenne de deux valeurs successives de l'hydrogramme sortant multipliée par le pas de temps de la durée en heure.

$$V_e = \overline{H_{s1} H_{s2}} \times P_t \quad (11)$$

- Volume d'eau à stocker

Soit V_t le volume d'eau à stocker à l'instant t , on a

$$V_t = \text{Volume d'entrée} - \text{Volume évacué} + \text{Volume d'eau restant à l'instant } t_0 \quad (12)$$

Le volume maximal que peut contenir le bassin représente son volume de stockage.

Les principales étapes de la méthodologie :

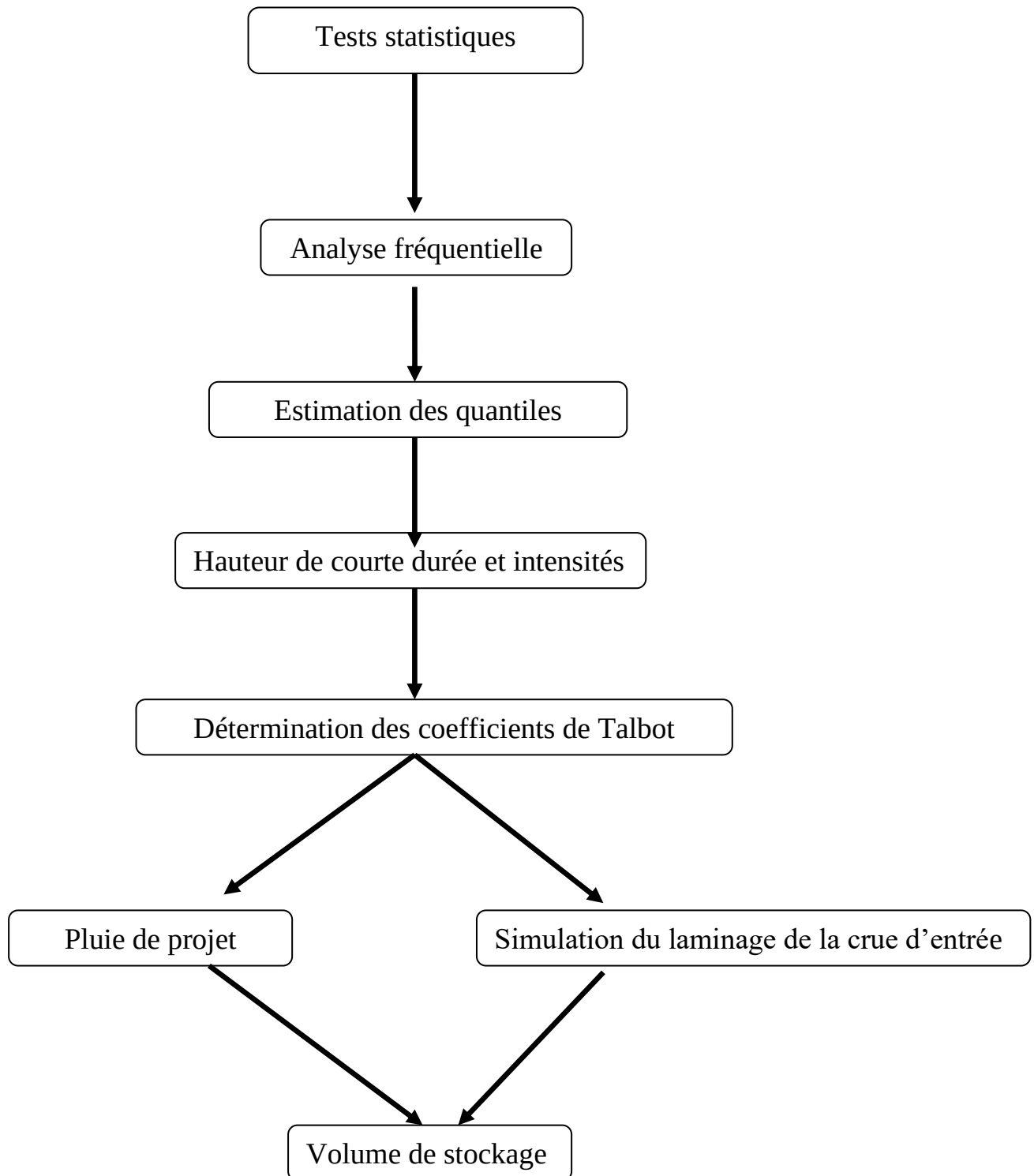


Figure 3: Organigramme de la méthodologie

CHAPITRE 2 : RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. RESULTATS

2.1.1. Ajustement d'un modèle statistique aux maxima de pluies journalières de la station de Cotonou-Aéroport

2.1.1.1. Vérification des hypothèses de base

Le tableau ci-dessous donne les résultats des tests de stationnarité, d'indépendance et d'homogénéité

Tableau 4 : Tests d'hypothèses

Tests d'hypothèses	Statistique	P-value	Interprétation
Test d'indépendance de Wald-Wolfowitz	$ U = 0,38$	0,7	H0 valide au niveau de signification de 5%
Test de stationnarité de Kendall	$ K = 1,63$	0,1	H0 valide au niveau de signification de 5%
Test d'homogénéité de Wilcoxon-Mann Whitney	$ W = 1,17$	0,2	H0 valide au niveau de significativité de 5%

Le test de Wald–Wolfowitz permet de vérifier l'indépendance des données. Son p-value étant supérieur 0,1, on peut conclure qu'il n'y a pas d'autocorrélation entre les observations. Le test de Kendall permet d'éprouver l'hypothèse selon laquelle les données sont stationnaires, c'est-à-dire que la série n'a pas tendance à augmenter (ou diminuer) avec le temps. Cette hypothèse nulle étant acceptée ici au seuil de 5%, on conclut qu'il n'y a aucune tendance dans les données. Le test d'homogénéité de Wilcoxon-Mann Whitney a montré que la moyenne des deux sous échantillons est égale au seuil de défaillance de 5%.

2.1.1.2. Ajustement de la série pluviométrique aux lois

L'ajustement a été fait à partir des lois de Gumbel et Log normale et le calcul des fréquences empiriques par la relation de Hazen. La méthode du maximum de vraisemblance a été utilisée pour ajuster les séries aux lois.

La figure 5 présente l'ajustement des lois de Gumbel et Log normale sur la station étudiée.

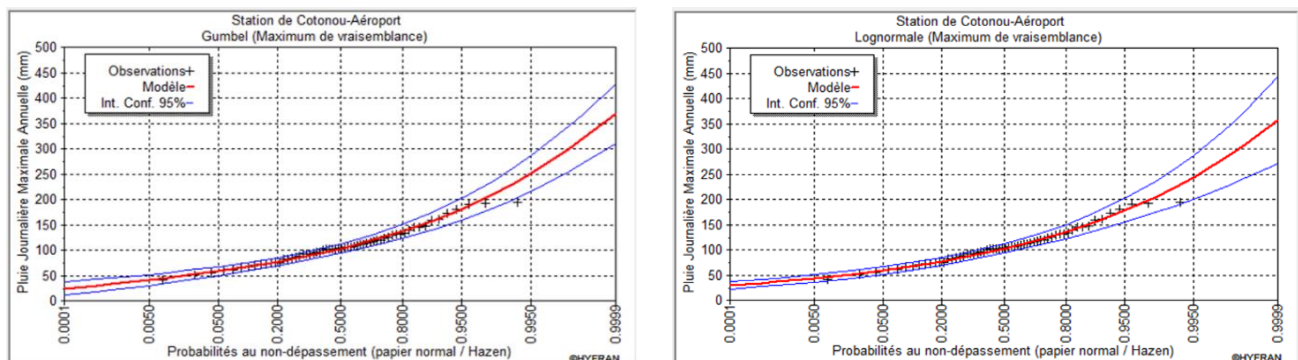


Figure 4 : Ajustement des lois de Gumbel et Log normale sur la station de Cotonou-Aéroport

La figure 5 présente l'ajustement de la série pluviométrique par les lois de Gumbel et Log normale sur la période de 1961 à 2020. Il résulte de l'analyse de ce graphe que cette série pluviométrique s'ajuste très bien à ces lois. Cependant, tous les points sont dans l'intervalle de confiance de 95% pour la loi Log normale tandis que l'un des points ne se retrouve pas dans l'intervalle de confiance pour la loi de Gumbel. L'ajustement graphique ne facilite pas le choix de la meilleure loi.

➤ Choix de la meilleure loi

Pour le choix de la meilleure loi d'ajustement, deux critères ont été retenus. Il s'agit du Critère d'Information Bayésien (BIC) et du Critère d'Information d'Akaike (AIC). La meilleure loi à retenir est celle qui a simultanément les deux critères faibles. Le tableau 5 ci-dessous montre les différentes valeurs des critères.

Tableau 5 : Valeurs des critères BIC et AIC

Station	Lois	Nombre de paramètre	BIC	AIC
Cotonou-Aéroport	Log normale	2	602,176	597,987
	Gumbel	2	602,293	598,104

De l'analyse de ce tableau, il ressort que les valeurs des critères BIC et AIC sont faibles pour la loi Log normale. On en déduit qu'elle s'ajuste le mieux à la série pluviométrique de la station de Cotonou-Aéroport.

2.1.1.3. Estimation des quantiles et des intervalles de confiance

L'ajustement des pluies journalières aux tests statistiques a permis d'obtenir les quantiles estimés pour différentes périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100ans) (tableau 6). Les intervalles de confiance qui permettent d'évaluer l'incertitude associée aux estimations sont aussi fournis.

Tableau 6 : Quantiles estimés en fonction des périodes de retour

Périodes de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Quantiles	102,95 [93,8- 111]	136,58 [123-149]	158,84 [140-276]	180,2 [155-202]	207,84 [174-235]	228,56 [187-261]

L'analyse de ce tableau montre que l'évolution des quantiles est proportionnelle à celles des périodes de retour puisque les quantiles augmentent avec les périodes de retour.

2.1.2. Construction de la courbe IDF à partir du modèle de Talbot

2.1.2.1. Estimation des hauteurs de pluie de durée d ($0 < d < 24h$) et des intensités à partir des hauteurs de pluies journalières maximales ajustées

Les quantiles de pluies estimés pour les différentes périodes de retour représentent les hauteurs de pluies journalières maximales ajustées. La détermination des hauteurs de pluie de courtes durées d et de temps de retour T s'est faite en se basant sur les travaux de Dagnellie.

Les hauteurs de pluie de durée 1 h, 2 h, 3h, 6h, 12h, 24h et de périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans ainsi que les intensités correspondantes de la station de Cotonou sont récapitulées dans le tableau 7 ci-dessous :

Tableau 7 : Hauteurs de pluies de courtes durées et leurs intensités

PJMax	102,95		136,58		158,84		180,2		207,84		228,56	
Période de retour	2 ans		5ans		10 ans		20 ans		50 ans		100ans	
Durée (h)	Pluie (mm)	Intensité (mm/h)	Pluie (mm)	Intensité (mm/h)	Pluie (mm)	Intensité (mm/h)	Pluie (mm)	Intensité (mm/h)	Pluie (mm)	Intensité (mm/h)	Pluie (mm)	Intensité (mm/h)
1	39,67	39,67	52,64	52,64	61,22	61,22	69,45	69,45	80,1	80,1	88,09	88,09
2	48,85	24,42	64,8	32,4	75,37	37,68	85,5	42,75	98,62	49,31	108,45	54,22
3	55,16	18,38	73,19	24,39	85,12	28,37	96,56	32,18	111,37	37,13	122,48	40,82
6	67,92	11,32	90,1	15,01	104,79	17,46	118,88	19,81	137,12	22,85	150,79	25,13
12	83,62	6,968	110,93	9,24	129,01	10,75	146,36	12,19	168,81	14,07	185,64	15,47
24	102,95	4,28	136,58	5,69	158,84	6,61	180,2	7,5	207,84	8,66	228,56	9,52

Il ressort de ce tableau que les hauteurs de pluies augmentent en fonction de la période de retour et de la durée tandis que l'intensité de pluie diminue en fonction de la durée et augmente avec la période de retour.

2.1.2.2. Coefficients de Talbot pour les différentes périodes de retour

Les intensités de pluies ont été modélisées à l'aide du modèle de Talbot au moyen de régressions non linéaire pour obtenir les coefficients de Talbot en fonction des différentes périodes de retour consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 : Coefficients de Talbot pour la station de Cotonou-Aéroport

Période de retour (ans)	2	5	10	20	50	100
a	88,09	123,63	117,41	147,86	170,97	187,56
b	0,76	0,64	0,73	0,8	0,82	0,82
c	1,19	1,32	1,08	1,15	1,15	1,15

De l'analyse de ce tableau, on remarque que les coefficients a et b de Talbot présentent une augmentation en fonction des périodes de retour sauf au niveau de celle de 5ans.

2.1.2.3. Courbe Intensité durée fréquence à partir du modèle de Talbot

La figure 6 ci-dessous présente l'évolution des intensités de pluies en fonction du temps pour chaque période de retour. De l'analyse des résultats obtenus, on constate que pour une même période de retour, plus la durée de la pluie est courte, plus son intensité est forte. Aussi, à durée de pluie égale, plus la période de retour d'une pluie est grande, plus l'intensité de la pluie associée est élevée.

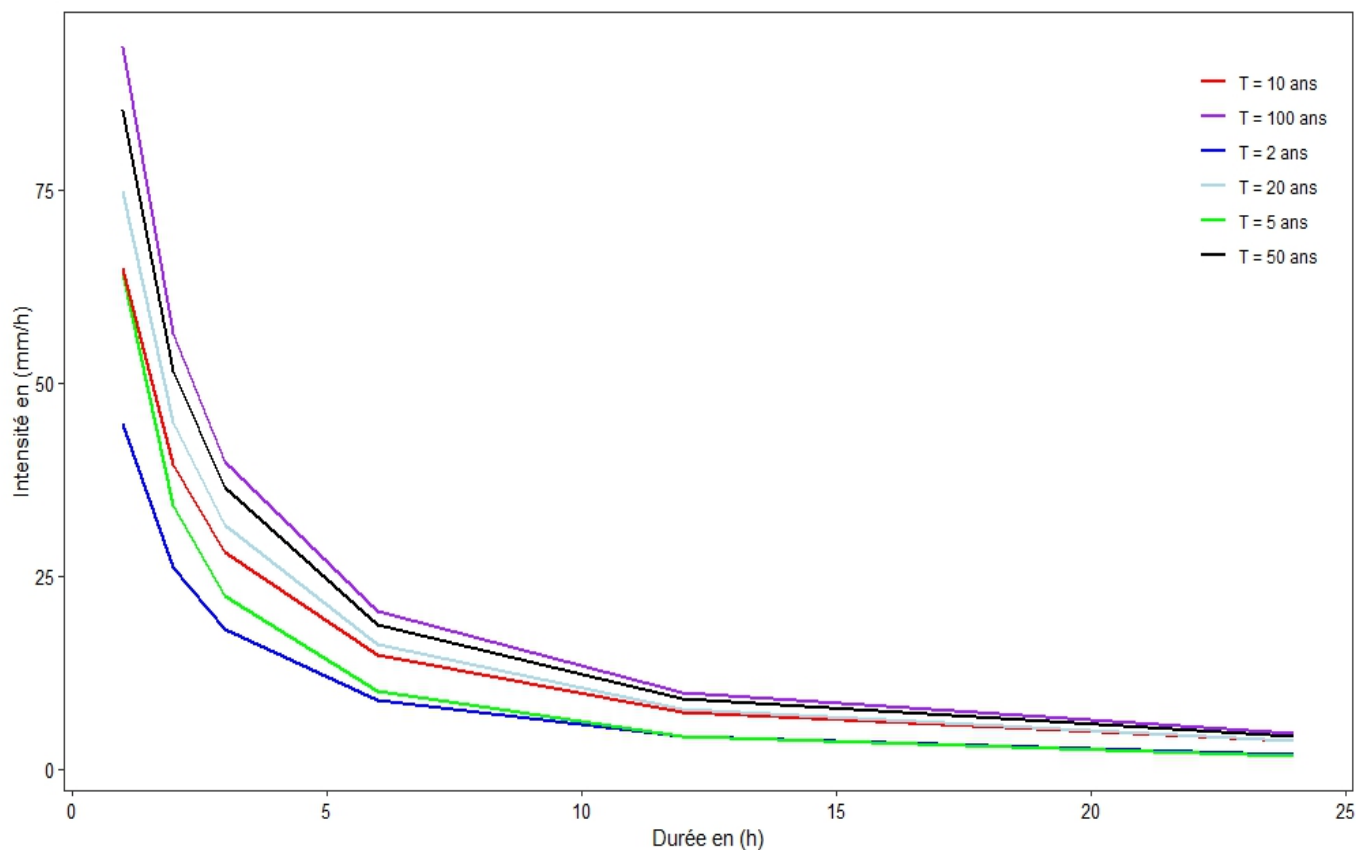


Figure 5 : Courbes Intensités-Durées-Fréquences de la station de Cotonou-Aéroport

2.1.3. Détermination du volume de stockage du bassin de rétention

2.1.3.1. Pluie de projet pour le dimensionnement du bassin de rétention Pa3

Les résultats de la construction de la pluie de projet sont consignés dans **l'annexe III**

L'intensité moyenne, l'incrément de pluie et l'intensité de projet calculé avec les coefficients de Talbot pour la période de retour de 10ans présentent une diminution en fonction du temps

2.1.3.2. Simulation du laminage de la crue d'entrée

Les résultats de la simulation du laminage de la crue d'entrée dans le bassin de rétention Pa3 sont consignés dans **l'annexe II**

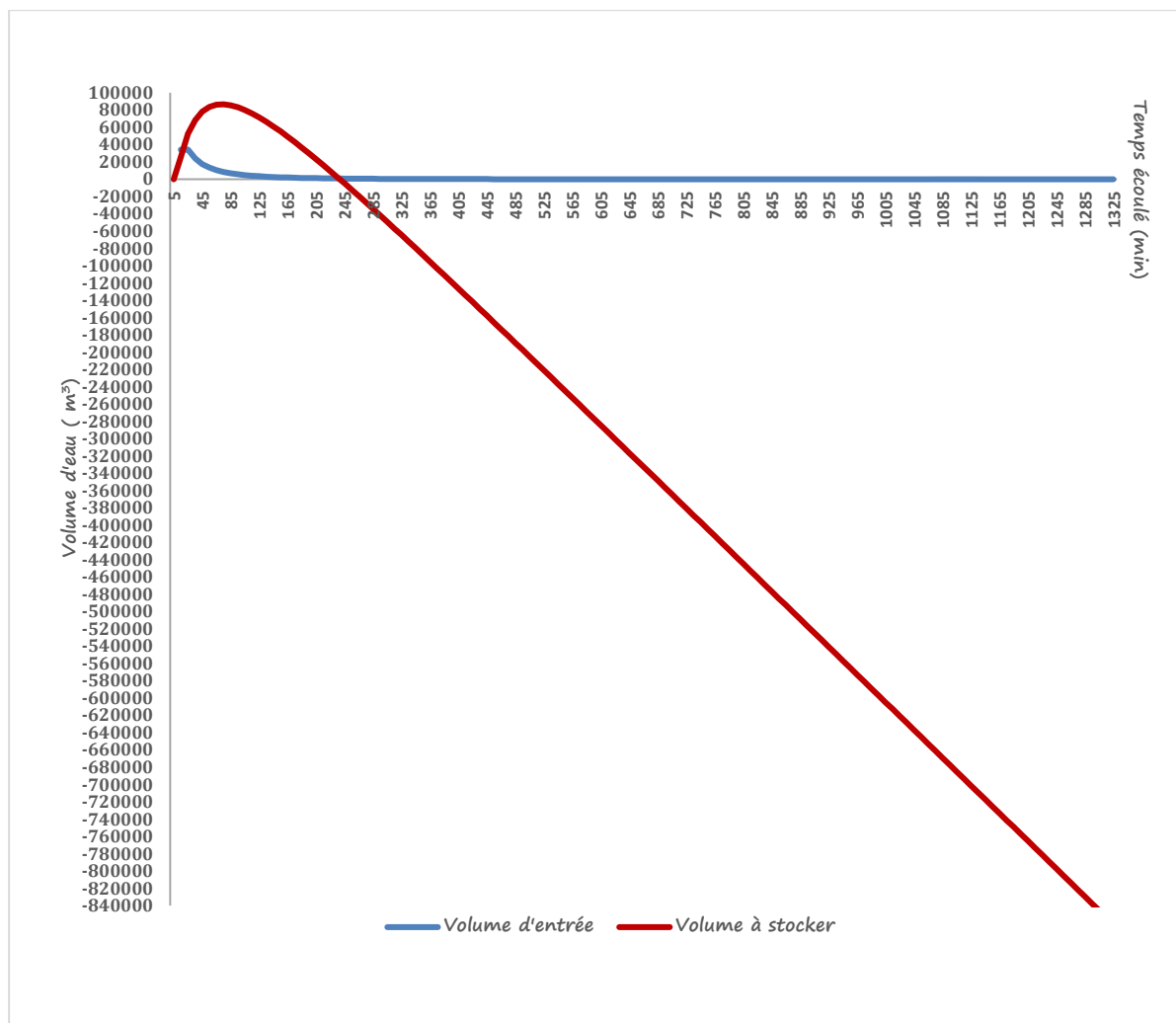


Figure 6 : Simulation du laminage de la crue d'entrée dans le bassin Pa3

Les caractéristiques du bassin de rétention Pa3 sont :

- Volume de stockage = 88878 m³
- Surface = 7,76 ha
- Profondeur moyenne = 1,14 m

2.1.3.3. Vérification du volume de stockage

Le tableau 9 présente le volume de stockage et la profondeur moyenne du bassin de rétention Pa3.

Tableau 9 : Volume de stockage et profondeur moyenne du bassin de rétention Pa3

	Volumes de Stockage (m ³)		Profondeur moyenne (m)	
	Présente Etude	Bureau d'étude	Présente Etude	Bureau d'étude
Bassin de rétention Pa3	88878	104771	1,14	1,35

Le volume de stockage et la profondeur moyenne calculés dans la présente étude sont relativement inférieurs à ceux déterminés par le bureau d'étude ACEP en utilisant les coefficients du modèle de Montana élaborés par le CIEH avec un écart de 16 % environ. Le bassin de rétention Pa3 a donc bien été dimensionné.

En appliquant une marge de sécurité de 20%, le volume de stockage du bassin Pa3 revient à 106653 m³.

2.1.3.4. Fonctionnement du bassin de rétention Pa3

Le bassin de rétention Pa3 fonctionne comme un bassin d'écêtement, collectant les eaux de ruissellement. Il s'agit d'un bassin de stockage à ciel ouvert qui recueille les eaux pluviales excédentaires à travers deux collecteurs d'assainissement pluvial qui s'y déversent.

Les travaux d'aménagement du bassin de rétention Pa3, illustrés sur la photo 1, ont consisté en plusieurs étapes importantes. Tout d'abord, des travaux de purge ont été réalisés pour enlever les débris et les sédiments accumulés, assurant ainsi une base propre et stable. Ensuite, des travaux de remblayage ont été effectués pour niveler le sol et créer une surface uniforme.

La mise en place du matelas Reno, une structure en gabions remplis de pierres, a été réalisée pour renforcer les berges et prévenir l'érosion. Ce type de matelas offre également une certaine flexibilité et perméabilité, ce qui est idéal pour la gestion des eaux pluviales. Par ailleurs, la formation de talus a été nécessaire pour stabiliser les pentes autour du bassin et minimiser le risque d'éboulement.

Le bassin de rétention Pa3 est situé au niveau du lit mineur, ce qui facilite l'écoulement naturel des eaux. Des rigoles, petits canaux creusés pour drainer les eaux de surface, ont été connectées au collecteur de drainage des eaux pluviales. Ces rigoles permettent de recueillir et de diriger les eaux tombées aux abords des habitations des personnes affectées par le projet, assurant une gestion efficace des eaux de pluie et réduisant les risques d'inondation.



Photo 1 : Aménagement du bras du bassin de rétention Pa3



Photo 2 : Rigoles connectées au collecteur de drainage des eaux pluviales

2.2. Discussion

Les résultats de l'analyse fréquentielle ont montré que sur la période de 1961 à 2020, qu'il n'y a eu aucune rupture dans la série de données de la station de Cotonou-Aéroport. De plus, les données de cette période s'ajustent le mieux à la loi Log normale. Ce qui concorde avec les travaux de Agué & Afouda (2015). Cependant, les quantiles déterminés dans la présente étude sont inférieurs à ceux calculés par ces auteurs. Ce résultat serait dû à la taille des données de leur étude qui couvre la période 1921 à 2001. En effet, le choix de la période de référence influence les quantiles de pluies journalières maximales annuelles.

La comparaison des coefficients de Talbot obtenus dans la présente étude avec ceux obtenus dans une étude récente menée par Badou et *al.* (2023), les coefficients "a" sont légèrement

supérieurs à ceux obtenus ici tandis que les coefficients "c" y sont inférieurs. Cette divergence s'explique par la différence de la période de référence, 60 ans ici au lieu de 20 ans soit (1999-2018). La présente étude confirme l'influence significative de la période de retour sur les paramètres hydro-climatiques utilisés dans la conception des installations de gestion des eaux pluviales.

Le volume de stockage du bassin de rétention Pa3 obtenu avec le modèle de Talbot est de 88878 m³, ce qui est inférieur au volume de stockage prévu par l'étude Avant-Projet-Détaillé, qui est de 104771 m³. La préférence du modèle de Talbot pour le dimensionnement des ouvrages de stockages à Cotonou serait donc basée sur la précision des volumes de stockages d'autant plus que plusieurs études ont montré que ce modèle produit moins d'erreurs que celui de Montana couramment utilisé.

Au terme de ce chapitre, les résultats de l'analyse fréquentielle ont permis de choisir la loi Log normale pour l'ajustement des données de la station de Cotonou-Aéroport et la détermination des quantiles pour les différentes périodes de retour. Ces quantiles ont servi au calcul des hauteurs de pluies et des intensités de courtes durées grâce à l'exposant climatique de Body. Ce processus a conduit à la détermination des coefficients de Talbot et à la vérification du volume de stockage du bassin de rétention Pa3.

CONCLUSION

Cette étude s'inscrit dans le cadre des efforts de lutte contre les inondations dans la ville de Cotonou. Elle avait pour objectif de vérifier que le volume de stockage du bassin de rétention Pa3 prévu dans le cadre de la mise en œuvre du Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou est convenable. Pour atteindre cet objectif, les données pluviométriques de la station de Cotonou-Aéroport sur la période de 1961 à 2020 ont été soumises à une analyse fréquentielle. Pour atteindre cet objectif, les données pluviométriques de la station de Cotonou-Aéroport sur la période de 1961 à 2020 ont été soumises à une analyse fréquentielle afin de déterminer les quantiles de périodes de retour de 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans, et de construire les courbes IDF de la station d'étude avec le modèle de Talbot. Les coefficients de la courbe IDF de période de retour de 10 ans ont servi à la construction de la pluie de projet simple triangle et à la simulation du volume de stockage du bassin de rétention Pa3. Les résultats de l'analyse fréquentielle révèlent que les données pluviométriques de la station de Cotonou-Aéroport s'ajustent le mieux à la loi Log normale. L'utilisation du modèle de Talbot pour vérifier le volume de stockage du bassin de rétention Pa3 révèle que la préférence de ce modèle pour le dimensionnement des ouvrages de stockages à Cotonou est basée sur la précision des résultats d'autant plus que plusieurs études ont montré que ce modèle est plus robuste que celui de Montana couramment utilisé. Cela peut être dû à une meilleure adaptation du modèle de Talbot aux caractéristiques spécifiques de la pluviométrie de la région. Au terme de cette étude, il s'avère que le bassin de rétention Pa3 a été bien dimensionné et est donc capable de stocker le volume prévu afin de limiter le risque d'inondation dans le dixième arrondissement de Cotonou.

L'avantage de cette étude réside dans l'utilisation des paramètres hydro-climatiques déterminés à partir d'une longue série de données (1961-2020) pour vérifier le volume de stockage du Pa3. L'approche adoptée va au-delà de la simple identification des paramètres hydro-climatiques, représentant ainsi une contribution importante à la gestion des excès d'eau dans la ville côtière de Cotonou.

PERSPECTIVES

En guise de perspectives, les travaux présentés ci-dessus pourraient être améliorés en :

- Utilisant les paramètres hydro-climatiques déterminés dans cette étude pour vérifier la capacité de stockage des autres bassins de rétention de la ville de Cotonou
- Utilisant le modèle de Keifer-Chu pour vérifier le volume de stockage du bassin de rétention Pa3 en lieu et place de celui de Talbot ;
- Explorant l'impact potentiel du changement climatique sur la pluviométrie de Cotonou et sur le dimensionnement des bassins de rétention.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abessolo, E., (2011). *Analyse fréquentielle appliquée au dimensionnement des ouvrages de stockage des eaux pluviales*, pp 10–15.
- Afouda A, & Ahopkossi, Y. (2012). *Analyse des phénomènes hydropluviométriques extrêmes en relation avec les inondations de Cotonou en 2010*
- Agué, A., & Afouda, A. (2015). *Analyse fréquentielle et nouvelle cartographie des maxima annuels de pluies journalières au Bénin*. 9 (February).
- Astee. (2017). *Memento Technique, Conception de dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées*.pp 45– 49
- Bacharou, T., & Adjiboicha, M. (2011). *Caractérisation de la pluviométrie sur le bassin versant de l'Oueme: Etablissement des courbes Intensité-Durée-Fréquence*.pp 43– 50
- Badou, D. F., Hounkanrin, J., Hounkpè, J., Sintondji, L., & Lawin, E. (2023). Assessing the Return Periods and Hydroclimatic Parameters for Rainwater Drainage in the Coastal City of Cotonou in Benin under Climate Variability. *Advances in Meteorology*, 2023.pp 6–12 <https://doi.org/10.1155/2023/1752805>.
- Beniston, M., & Stephenson, D. B. (2004). Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change*, 44(1–4), pp 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2004.06.001>.
- Bobée, B. (1992). *Loi généralisée des valeurs extrêmes*, 350 p.
- Bois P, & Obled, C. (2007). *Traitement de données en Hydrologie*. ENSHMG Poly Version 22/01/2007
- Chesneau, C. (2018). *Introduction aux tests statistiques avec R*, 53 p.
- Dagnellie P. (1992). *Statistique théorique et appliquée*. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, Tome 1.
- Bertrand, F., & Maumy, M. (2008). *Choix du modèle 1IRMA*, Université Louis Pasteur Strasbourg, France ,46 p .
- Gaume, E., & Rakem, Y. (2000). Dimensionnement et évaluation des performances des bassins de stockage-dépollution des rejets urbains de temps de pluie : Analyse des caractéristiques “dimensionnantes” des pluies à l’aide d’un modèle stochastique de pluie. *Hydratec-Cérève*, pp 33– 40.
- Igip Afrique. (2019). *Rapport de l’avant-projet détaillé (APD) des Dossiers d’Appel d’Offres des ouvrages du Plan Directeur d’Assainissement Pluvial de la ville de Cotonou-LOT*

MO1906 Version révisée définitive, pp 84–90.

Kouassi, M., Nassa, R., Yao, B., Kouame, F., & Biemi, J. (2018). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Water Science*, 31, pp 147–160.

Meylan, P., Favre, A-C., & Musy A. (2008). Hydrologie fréquentielle une science prédictive. *E P F L, Lausanne*, pp 169– 175.

Safi, Tpe, & Tecknicart. (2013). *Rapport Avant-Projet détaillé (version provisoire) Etudes techniques du collecteur AA , P , Wbis et suite de W2*, pp 11–15.

St-hilaire, A. (2007). *Analyse fréquentielle des précipitations de la station Assomption. Rapport de recherche R937 de l'INRS-ETE, Québec* 12 p.

Xia, Z. (2005). *Etude phénoménologique pour des méthodes de dimensionnement d'ouvrages d'assainissement en fonction du risque de dysfonctionnement hydraulique*. 152 p

ANNEXES

Annexe I : Statistiques descriptives des séries de pluies journalières maximales annuelles

Tableau 10 : Statistique descriptive de la série de pluie journalière maximale annuelle

Caractéristiques	Valeurs
Minimum	41,5
Maximum	194,2
Moyenne	108,64
Médiane	104,65
Ecart-type	35,57
Coefficient de variation	0,32
Coefficient d'asymétrie	0,63
Coefficient d'aplatissement	2,97

Annexe II : Volume de stockage

Tableau 11 : Pluie de projet et simulation du laminage de la crue d'entrée

Pluie de projet et simulation du laminage de la crue d'entrée									
Durées min	Intensité moyenne mm/h	Lame précipitée cumulée	Incrément de pluie	Intensité de projet	Hydrogramme de projet entrant	Volume entrant	Hydrogramme sortant	Volume d'eau évacuée	Volume de stockage
10	132,088066	22,0146776	22,0146776	132,088066	83,9144475	25174,3342	13,5	8100	
20	109,875814	36,6252713	14,6105937	87,6635622	55,6919305	41881,9134	13,5	8100	33781,9134
30	93,8874552	46,9437276	10,3184563	61,9107376	39,3313757	28506,9919	13,5	8100	54188,9053
40	81,847402	54,5649346	7,62120704	45,7272423	29,0501359	20514,4535	13,5	8100	66603,3587
50	72,4651796	60,3876497	5,82271505	34,9362903	22,1947341	15373,461	13,5	8100	73876,8197
60	64,9554053	64,9554053	4,56775557	27,4065334	17,4111423	11881,7629	13,5	8100	77658,5827
70	58,8131981	68,6153977	3,65999247	21,9599548	13,9509763	9408,63559	13,5	8100	78967,2182
80	53,6994877	71,5993169	2,98391916	17,9035149	11,3739538	7597,47905	13,5	8100	78464,6973
90	49,3782661	74,0673992	2,4680823	14,8084938	9,40771269	6234,49996	13,5	8100	76599,1973
100	45,6802889	76,1338148	2,06641559	12,3984935	7,87665962	5185,31169	13,5	8100	73684,5089
110	42,4810846	77,8819884	1,74817363	10,4890418	6,66360084	4362,07814	13,5	8100	69946,5871
120	39,6871058	79,3742117	1,49222326	8,95333953	5,68798199	3705,47485	13,5	8100	65552,0619
130	37,2267124	80,657877	1,2836653	7,70199181	4,89301121	3174,29796	13,5	8100	60626,3599
140	35,0441307	81,7696382	1,11176124	6,67056743	4,2377559	2739,23013	13,5	8100	55265,59
150	33,0953032	82,7382579	0,96861975	5,81171852	3,69213635	2378,96767	13,5	8100	49544,5577
160	31,3449748	83,5865994	0,8483414	5,09004841	3,23366534	2077,7405	13,5	8100	43522,2982
170	29,7646049	84,3330471	0,74644777	4,4786866	2,84527227	1823,68128	13,5	8100	37245,9795
180	28,3308464	84,9925392	0,65949212	3,95695272	2,51381909	1607,72741	13,5	8100	30753,7069
190	27,0244193	85,5773279	0,58478864	3,50873184	2,2290681	1422,86616	13,5	8100	24076,5731
200	25,8292646	86,0975486	0,52022075	3,12132448	1,98295143	1263,60586	13,5	8100	17240,1789
210	24,7319005	86,5616519	0,46410326	2,78461958	1,76904561	1125,59911	13,5	8100	10265,778
220	23,7209274	86,9767337	0,41508184	2,49049104	1,58218821	1005,37015	13,5	8100	3171,14817
230	22,7866415	87,3487923	0,37205859	2,23235152	1,41819432	900,114757	13,5	8100	-4028,7371
240	21,9207322	87,6829287	0,33413641	2,00481846	1,27364446	807,551634	13,5	8100	-11321,185
250	21,1160413	87,9835056	0,30057688	1,80346131	1,14572394	725,81052	13,5	8100	-18695,375
260	20,3663708	88,2542736	0,27076804	1,62460824	1,03210008	653,347206	13,5	8100	-26142,028
270	19,6663274	88,4984731	0,24419948	1,46519688	0,93082737	588,878235	13,5	8100	-33653,149
280	19,0111963	88,7189161	0,220443	1,32265802	0,84027362	531,330296	13,5	8100	-41221,819
290	18,3968387	88,9180535	0,19913737	1,19482425	0,75906189	479,800651	13,5	8100	-48842,019
300	17,819606	89,0980298	0,17997628	1,0798577	0,6860246	433,525946	13,5	8100	-56508,493
310	15,8847789	82,0713575	-7,0266723	-42,160034	-26,783918	-7829,368	13,5	8100	-72437,861
320	15,1641488	80,87546	-1,1958975	-7,1753851	-4,5584623	-9402,7141	13,5	8100	-89940,575
330	14,4914672	79,7030698	-1,1723902	-7,034341	-4,4688582	-2708,1962	13,5	8100	-100748,77
340	13,862573	78,5545803	-1,1484895	-6,8909371	-4,3777549	-2653,9839	13,5	8100	-111502,75
350	13,2737465	77,4301879	-1,1243924	-6,7463543	-4,2859027	-2599,0973	13,5	8100	-122201,85
360	12,721655	76,3299298	-1,1002582	-6,601549	-4,1939091	-2543,9435	13,5	8100	-132845,8
370	12,203305	75,2537143	-1,0762154	-6,4572925	-4,1022641	-2488,852	13,5	8100	-143434,65
380	11,7160022	74,201347	-1,0523674	-6,3142041	-4,0113613	-2434,0876	13,5	8100	-153968,74
390	11,2573155	73,1725507	-1,0287963	-6,1727775	-3,9215141	-2379,8626	13,5	8100	-164448,6

Etude comparative du volume de stockage du bassin de rétention Pa3 du Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou (PAPC)

400	10,8250475	72,1669836	-1,0055671	-6,0334029	-3,8329706	-2326,3454	13,5	8100	-174874,94
410	10,4172077	71,1842528	-0,9827308	-5,8963848	-3,7459241	-2273,6684	13,5	8100	-185248,61
420	10,0319895	70,2239265	-0,9603262	-5,7619573	-3,6605235	-2221,9343	13,5	8100	-195570,55
430	9,66775031	69,2855439	-0,9383827	-5,6302962	-3,5768802	-2171,2211	13,5	8100	-205841,77
440	9,32299396	68,3686224	-0,9169215	-5,5015289	-3,4950754	-2121,5867	13,5	8100	-216063,35
450	8,99635535	67,4726651	-0,8959572	-5,3757434	-3,415165	-2073,0721	13,5	8100	-226236,43
460	8,68658686	66,5971659	-0,8754992	-5,2529952	-3,3371841	-2025,7047	13,5	8100	-236362,13
470	8,39254644	65,7416138	-0,8555522	-5,1333129	-3,2611509	-1979,5005	13,5	8100	-246441,63
480	8,11318707	64,9054966	-0,8361172	-5,0167032	-3,1870697	-1934,4662	13,5	8100	-256476,1
490	7,84754744	64,0883041	-0,8171925	-4,9031549	-3,1149335	-1890,601	13,5	8100	-266466,7
500	7,59474364	63,2895303	-0,7987738	-4,7926428	-3,044726	-1847,8978	13,5	8100	-276414,6
510	7,35396181	62,5086754	-0,7808549	-4,6851295	-2,9764237	-1806,3449	13,5	8100	-286320,94
520	7,1244516	61,7452472	-0,7634282	-4,5805689	-2,9099973	-1765,9263	13,5	8100	-296186,87
530	6,9055203	60,9987627	-0,7464846	-4,4789074	-2,8454125	-1726,6229	13,5	8100	-306013,49
540	6,6965276	60,2687484	-0,7300143	-4,3800856	-2,7826319	-1688,4133	13,5	8100	-315801,9
550	6,49688091	59,5547417	-0,7140067	-4,2840403	-2,7216151	-1651,2741	13,5	8100	-325553,18
560	6,30603117	58,8562909	-0,6984508	-4,1907047	-2,6623198	-1615,1805	13,5	8100	-335268,36
570	6,12346904	58,1729559	-0,683335	-4,1000102	-2,6047023	-1580,1066	13,5	8100	-344948,46
580	5,94872152	57,5043081	-0,6686478	-4,0118867	-2,5487182	-1546,0262	13,5	8100	-354594,49
590	5,7813489	56,8499309	-0,6543772	-3,9262632	-2,4943223	-1512,9121	13,5	8100	-364207,4
600	5,62094194	56,2094194	-0,6405114	-3,8430687	-2,4414695	-1480,7375	13,5	8100	-373788,14
610	5,46711942	55,5823807	-0,6270387	-3,7622323	-2,3901148	-1449,4753	13,5	8100	-383337,62
620	5,31952581	54,9684334	-0,6139473	-3,6836838	-2,3402136	-1419,0985	13,5	8100	-392856,71
630	5,17782931	54,3672078	-0,6012256	-3,6073539	-2,2917219	-1389,5806	13,5	8100	-402346,3
640	5,04171988	53,7783454	-0,5888624	-3,5331742	-2,2445961	-1360,8954	13,5	8100	-411807,19
650	4,91090761	53,2014991	-0,5768463	-3,4610778	-2,1987939	-1333,017	13,5	8100	-421240,21
660	4,78512114	52,6363326	-0,5651665	-3,3909991	-2,1542735	-1305,9202	13,5	8100	-430646,13
670	4,66410629	52,0825202	-0,5538124	-3,3228742	-2,1109943	-1279,5803	13,5	8100	-440025,71
680	4,54762472	51,5397468	-0,5427734	-3,2566407	-2,0689167	-1253,9733	13,5	8100	-449379,68
690	4,4354528	51,0077072	-0,5320396	-3,1922377	-2,028002	-1229,0756	13,5	8100	-458708,76
700	4,32738052	50,4861061	-0,5216011	-3,1296065	-1,9882129	-1204,8645	13,5	8100	-468013,62
710	4,22321052	49,9746578	-0,5114483	-3,0686896	-1,9495129	-1181,3178	13,5	8100	-477294,94
720	4,12275716	49,4730859	-0,5015719	-3,0094316	-1,9118668	-1158,4139	13,5	8100	-486553,35
730	4,02584571	48,9811228	-0,4919631	-2,9517787	-1,8752404	-1136,1322	13,5	8100	-495789,49
740	3,93231159	48,4985096	-0,4826131	-2,8956788	-1,8396006	-1114,4523	13,5	8100	-505003,94
750	3,84199968	48,024996	-0,4735136	-2,8410815	-1,8049154	-1093,3548	13,5	8100	-514197,29
760	3,75476366	47,5603397	-0,4646563	-2,7879381	-1,7711538	-1072,8208	13,5	8100	-523370,11
770	3,67046541	47,1043061	-0,4560336	-2,7362015	-1,738286	-1052,832	13,5	8100	-532522,95
780	3,58897449	46,6566684	-0,4476377	-2,6858264	-1,7062831	-1033,3707	13,5	8100	-541656,32
790	3,51016761	46,2172069	-0,4394615	-2,6367687	-1,6751172	-1014,4201	13,5	8100	-550770,74
800	3,43392819	45,7857092	-0,4314977	-2,5889861	-1,6447613	-995,96355	13,5	8100	-559866,7
810	3,3601459	45,3619696	-0,4237396	-2,5424377	-1,6151895	-977,98525	13,5	8100	-568944,68
820	3,28871626	44,9457889	-0,4161807	-2,4970841	-1,5863767	-960,46986	13,5	8100	-578005,15
830	3,21954032	44,5369744	-0,4088145	-2,452887	-1,5582987	-943,40262	13,5	8100	-587048,56

Etude comparative du volume de stockage du bassin de rétention Pa3 du Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou (PAPC)

840	3,15252425	44,1353394	-0,401635	-2,4098099	-1,5309322	-926,76926	13,5	8100	-596075,33
850	3,08757905	43,7407032	-0,3946362	-2,3678173	-1,5042546	-910,55603	13,5	8100	-605085,88
860	3,02462028	43,3528907	-0,3878125	-2,326875	-1,4782443	-894,74967	13,5	8100	-614080,63
870	2,96356775	42,9717324	-0,3811583	-2,2869501	-1,4528803	-879,33739	13,5	8100	-623059,97
880	2,90434527	42,5970639	-0,3746685	-2,2480107	-1,4281425	-864,30684	13,5	8100	-632024,28
890	2,84688042	42,2287262	-0,3683377	-2,2100263	-1,4040113	-849,64614	13,5	8100	-640973,92
900	2,79110433	41,866565	-0,3621612	-2,1729673	-1,380468	-835,34381	13,5	8100	-649909,27
910	2,73695148	41,5104308	-0,3561342	-2,1368052	-1,3574946	-821,38878	13,5	8100	-658830,66
920	2,68435948	41,1601787	-0,3502521	-2,1015126	-1,3350734	-807,7704	13,5	8100	-667738,43
930	2,63326892	40,8156682	-0,3445105	-2,0670628	-1,3131878	-794,47835	13,5	8100	-676632,9
940	2,58362318	40,4767632	-0,3389051	-2,0334303	-1,2918213	-781,50272	13,5	8100	-685514,41
950	2,5353683	40,1433314	-0,3334317	-2,0005905	-1,2709585	-768,83394	13,5	8100	-694383,24
960	2,4884528	39,8152448	-0,3280866	-1,9685195	-1,2505841	-756,46276	13,5	8100	-703239,7
970	2,44282757	39,4923791	-0,3228657	-1,9371945	-1,2306835	-744,38027	13,5	8100	-712084,08
980	2,39844573	39,1746135	-0,3177655	-1,9065932	-1,2112428	-732,57788	13,5	8100	-720916,66
990	2,3552625	38,8618312	-0,3127824	-1,8766942	-1,1922482	-721,04729	13,5	8100	-729737,71
1000	2,3132351	38,5539183	-0,3079128	-1,847477	-1,1736867	-709,78048	13,5	8100	-738547,49
1010	2,27232266	38,2507648	-0,3031536	-1,8189215	-1,1555457	-698,76973	13,5	8100	-747346,26
1020	2,23248608	37,9522633	-0,2985014	-1,7910087	-1,1378129	-688,00758	13,5	8100	-756134,27
1030	2,19368796	37,65831	-0,2939533	-1,7637198	-1,1204765	-677,48682	13,5	8100	-764911,75
1040	2,15589253	37,3688038	-0,2895062	-1,737037	-1,1035251	-667,2005	13,5	8100	-773678,95
1050	2,11906552	37,0836467	-0,2851572	-1,710943	-1,0869478	-657,14189	13,5	8100	-782436,1
1060	2,08317414	36,8027432	-0,2809035	-1,685421	-1,0707339	-647,30452	13,5	8100	-791183,4
1070	2,04818695	36,5260007	-0,2767425	-1,6604548	-1,0548731	-637,68211	13,5	8100	-799921,08
1080	2,01407384	36,2533292	-0,2726715	-1,636029	-1,0393556	-628,26861	13,5	8100	-808649,35
1090	1,98080594	35,9846412	-0,268688	-1,6121282	-1,0241716	-619,05816	13,5	8100	-817368,41
1100	1,94835554	35,7198515	-0,2647897	-1,5887381	-1,0093121	-610,04511	13,5	8100	-826078,45
1110	1,91669608	35,4588774	-0,2609741	-1,5658444	-0,9947679	-601,224	13,5	8100	-834779,68
1120	1,88580206	35,2016385	-0,2572389	-1,5434336	-0,9805305	-592,58953	13,5	8100	-843472,27
1130	1,85564901	34,9480564	-0,2535821	-1,5214925	-0,9665915	-584,1366	13,5	8100	-852156,4
1140	1,82621342	34,698055	-0,2500014	-1,5000083	-0,9529427	-575,86027	13,5	8100	-860832,26
1150	1,79747271	34,4515602	-0,2464948	-1,4789686	-0,9395764	-567,75575	13,5	8100	-869500,02
1160	1,76940517	34,2085	-0,2430603	-1,4583616	-0,926485	-559,81843	13,5	8100	-878159,84
1170	1,74198995	33,968804	-0,239696	-1,4381758	-0,9136611	-552,04383	13,5	8100	-886811,88
1180	1,71520698	33,732404	-0,2364	-1,4183999	-0,9010976	-544,42761	13,5	8100	-895456,31
1190	1,68903698	33,4992335	-0,2331705	-1,3990231	-0,8887877	-536,9656	13,5	8100	-904093,28
1200	1,66346138	33,2692277	-0,2300058	-1,380035	-0,8767247	-529,65373	13,5	8100	-912722,93
1210	1,63846232	33,0423235	-0,2269042	-1,3614254	-0,8649022	-522,48807	13,5	8100	-921345,42
1220	1,61402259	32,8184594	-0,2238641	-1,3431845	-0,8533139	-515,46483	13,5	8100	-929960,88
1230	1,59012564	32,5975756	-0,2208838	-1,3253028	-0,8419538	-508,58033	13,5	8100	-938569,46
1240	1,5667555	32,3796137	-0,2179619	-1,3077711	-0,8308161	-501,83099	13,5	8100	-947171,29
1250	1,54389681	32,164517	-0,2150968	-1,2905806	-0,8198951	-495,21335	13,5	8100	-955766,51
1260	1,52153476	31,9522299	-0,2122871	-1,2737224	-0,8091852	-488,72409	13,5	8100	-964355,23
1270	1,49965505	31,7426985	-0,2095314	-1,2571883	-0,7986812	-482,35993	13,5	8100	-972937,59

Etude comparative du volume de stockage du bassin de rétention Pa3 du Programme d'Assainissement Pluvial de Cotonou (PAPC)

1280	1,47824391	31,5358702	-0,2068283	-1,2409701	-0,7883779	-476,11775	13,5	8100	-981513,71
1290	1,45728807	31,3316935	-0,2041767	-1,2250599	-0,7782704	-469,99449	13,5	8100	-990083,7
1300	1,4367747	31,1301185	-0,201575	-1,2094502	-0,7683536	-463,9872	13,5	8100	-998647,69
1310	1,41669143	30,9310962	-0,1990222	-1,1941335	-0,758623	-458,093	13,5	8100	-1007205,8
1320	1,39702632	30,7345791	-0,1965171	-1,1791026	-0,749074	-452,30913	13,5	8100	-1015758,1
1330	1,37776785	30,5405207	-0,1940584	-1,1643506	-0,7397022	-446,63288	13,5	8100	-1024304,7
1340	1,35890488	30,3488756	-0,1916451	-1,1498706	-0,7305032	-441,06163	13,5	8100	-1032845,8
1350	1,34042665	30,1595996	-0,189276	-1,1356562	-0,7214729	-435,59285	13,5	8100	-1041381,4
1360	1,32232277	29,9726494	-0,1869502	-1,121701	-0,7126073	-430,22407	13,5	8100	-1049911,6
1370	1,30458319	29,7879829	-0,1846665	-1,1079988	-0,7039024	-424,95291	13,5	8100	-1058436,6
1380	1,28719822	29,605559	-0,1824239	-1,0945435	-0,6953544	-419,77703	13,5	8100	-1066956,3
1390	1,27015845	29,4253374	-0,1802216	-1,0813294	-0,6869596	-414,69419	13,5	8100	-1075471
1400	1,25345481	29,247279	-0,1780585	-1,0683509	-0,6787144	-409,7022	13,5	8100	-1083980,7
1410	1,23707852	29,0713453	-0,1759337	-1,0556023	-0,6706153	-404,79892	13,5	8100	-1092485,5
1420	1,22102108	28,8974989	-0,1738464	-1,0430784	-0,662659	-399,9823	13,5	8100	-1100985,5
1430	1,20527426	28,7257032	-0,1717957	-1,030774	-0,6548421	-395,25033	13,5	8100	-1109480,8
1440	1,18983011	28,5559225	-0,1697807	-1,018684	-0,6471614	-390,60106	13,5	8100	-1117971,4
								Volume de stockage	88878,73