



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2017-2018

N° D'ORDRE
0129/2019

CANDIDAT

NOM : TRAORE
PRENOMS : Aboubakar
NCE : CI0412000701

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du MASTER

Spécialité : Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

**Evaluation du réseau de drainage des
eaux pluviales de la ville de Bondoukou
(Nord-Est de la Côte d'Ivoire)**

JURY

Président : M. KONAN Koffi Félix, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. KOUADIO Zilé Alex, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : Mme YAO Affoué Berthe epse Touré, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement
le 28 Mai 2019

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES	4
1.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA VILLE DE BONDOUKOU	5
1.1.1 Situation géographique	5
1.1.2 Climat	6
1.1.3 Géologie	7
1.1.4 Relief	7
1.1.5 Hydrographie	8
1.1.6 Végétation	9
1.1.7 Activités socio-économiques	9
1.2 GENERALITES SUR LES INONDATIONS	9
1.2.1 Inondations en Côte d’Ivoire	9
1.2.2 Etat d’assainissement de la ville de Bondoukou	11
1.2.3 Inondations dans la ville de Bondoukou	11
1.3 Modélisation	12
1.3.1 Présentation du modèle EPASWMM 5.1	13
1.3.2 Description du modèle EPASWMM	14
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	16
2.1 MATERIEL	17
2.1.1 Données	17
2.1.1.1 Données climatiques	17

2.1.1.2	Données topographiques.....	17
2.1.1.3	Les images satellitaires.....	17
2.1.2	Outils	18
2.1.2.1	Logiciels.....	18
2.1.2.2	Outils de terrain	18
2.2	METHODES	18
2.2.1	Evaluation du réseau d'assainissement.....	18
2.2.1.1	Diagnostic du réseau de drainage	18
2.2.1.2	Vérification de la capacité de drainage des canaux	18
2.2.1.3	Calculs des débits	19
2.2.1.4	Calcul du temps de concentration.....	20
2.2.2	Simulation du fonctionnement hydraulique du réseau	21
2.2.2.1	Pluie de projet.....	21
2.2.2.2	Etapas de la modélisation avec SWMM	22
2.2.2.3	Caractérisation des sous bassins versants	23
2.2.2.4	Coefficient d'imperméabilisation.....	24
2.2.3	Actualisation du réseau de drainage	25
2.2.3.1	Redimensionnement des canaux	25
2.2.3.2	Redimensionnement des buses	25
2.2.3.3	Redimensionnement des dalots	26
2.2.4	Elaboration de la carte des zones à risque d'inondation.....	27
2.2.4.1	Détermination des zones d'aléa inondation	27
2.2.4.2	Détermination des niveaux d'enjeux	28
	CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	29
3.1	RESULTATS	30
3.1.1	Diagnostic du réseau de drainage des eaux pluviales	30
3.1.1.1	Etat du réseau de drainage.....	30

3.1.1.2 Caniveaux.....	31
3.1.1.3 Ouvrages hydrauliques de franchissement	33
3.1.2 Zones à risque d'inondation.....	35
3.1.2.1 Aléa inondation.....	35
3.1.2.2 Niveaux d'enjeu	36
3.1.2.3 Risque d'inondation	37
3.1.3 Résultats de la modélisation hydraulique avec EPA-SWMM	39
3.1.3.1 Comparaison des débits calculés et simulés	39
3.1.3.2 Analyse de la capacité de drainage des eaux de ruissèlement	40
3.1.3.3 Redimensionnement des ouvrages	41
3.2 DISCUSSION.....	43
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	44
REFERENCES	46
ANNEXES.....	52

DEDICACE

A LA MEMOIRE DE MON PETIT FRERE

TRAORE YAYA

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de Master est réalisé grâce au concours de certaines personnes physiques et morales. Je tiens ainsi à exprimer mes profonds remerciements à tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté soutien et réconfort.

J'adresse dans un premier temps mes remerciements au Professeur TIDOU Abiba Sanogo, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour son engagement à fournir une formation de qualité aux étudiants.

Je remercie Docteur KONAN Koffi Félix, président du jury et Docteur YAO Affoué Berthe examinatrice, pour avoir accepté d'être membres du jury lors de la soutenance de ce mémoire. J'exprime toute ma gratitude à Docteur KOUASSI Kouakou Lazare, maître de conférences, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement et Directeur de ce mémoire, pour tous les efforts consentis en vue d'une meilleure réalisation de la formation en Génie de l'Eau et de l'Environnement (GEE). Je lui dis merci également pour sa disponibilité malgré un emploi du temps très chargé. Ses conseils et directives m'ont guidé tout au long de la réalisation de ce travail. J'adresse mes remerciements les plus sincères à Docteur KOUADIO Zilé Alex, encadreur pédagogique de ce mémoire, pour ses corrections et conseils qui ont contribué à améliorer la qualité de cette étude.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Docteur KONAN Séraphin d'abord pour son abnégation en vue d'une meilleure insertion professionnelle des étudiants et plus particulièrement pour son assistance et ses conseils qu'il m'a apportés lors des travaux de terrains ainsi que dans la rédaction de ce mémoire.

Je remercie très sincèrement M. KONE Hiliassou, Maire de la commune de Bondoukou et son adjoint M. OUATTARA Bourahima pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de fin de cycle à la mairie de Bondoukou.

Mes remerciements vont également à l'endroit de M. N'GORAN Konan Lazare, Directeur des services techniques de la mairie de Bondoukou pour ses conseils et son soutien moral. Je remercie également tous les agents du service technique de la mairie, pour le temps consacré aux différentes activités qui m'ont permis de réaliser cette étude.

Merci à tous les Enseignants qui se sont rendus disponibles pour nous dispenser cette formation de qualité et nous guider sur le chemin de la réussite.

J'exprime ma profonde gratitude à KOUASSI Amino Anne-Marie et YAPO Asseman Sylvestre pour leurs disponibilités et leurs aides inestimables, ainsi qu'à tous mes condisciples de la deuxième promotion du parcours Génie de l'Eau et de l'Environnement.

Je remercie ma famille mes très chers parents ainsi que tous mes frères et sœurs pour leur amour, sacrifice et soutien inestimables. Mon éducation, ma réussite scolaire et professionnelle ont toujours été au centre de leurs priorités, ce mémoire est une étape importante sur le chemin de la réussite et ils n'ont pas manqués l'occasion de me témoigner une fois de plus leur soutien. Enfin mes remerciements vont d'une part à l'endroit de mes condisciples de la deuxième promotion du parcours Génie de l'Eau et de l'Environnement et d'autre part à tous mes amis de la première promotion de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE de Daloa. Je leurs dis merci pour leur fraternité inestimable, ils constituent une famille avec laquelle j'ai partagé joies et peines.

De simples mots ne sauraient estimer toute ma gratitude envers vous. Mes remerciements vont également à l'endroit de tous mes frères et sœurs pour leurs amours, conseils et soutiens.

SIGLES ET ABREVIATIONS

- EM-DAT** : The International Disaster Database (Base de données internationales sur les catastrophes)
- EPA** : Environmental Protection Agency (agence de protection environnemental)
- LID** : Low Impact Développement (développement à faible impact)
- OCHA** : Office Coordination Humanitarian Affairs (coordination des affaires humanitaires des Nations unies)
- OH** : Ouvrage Hydraulique
- OLI** : Operational Land Imager (imageur terrestre opérationnel)
- OM** : Ordure Ménagère
- ONAD** : Office National de l'Assainissement du Drainage
- ONU** : Organisation des Nations Unis
- PNUD** : Programme des Nations Unies pour le Développement
- SGEPU** : Système Gestion Eaux Pluviales Urbain
- SIG** : Système d'Information Géographique
- SODECI** : Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire
- SODEXAM** : Société D'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique
- SRTM** : Shuttle Radar Topography Mission (radar de la navette de mission topographique)
- SWMM** : Storm Water Management Model (modèle de gestion des eaux pluviales)
- UNISDR** : United Nations Office for Disaster Risk Reduction (Coordination des Nations unies pour la réduction des catastrophes naturelles)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Bandes spectrales utilisées.....	17
Tableau II : Coefficients relatifs à la pluviométrie	19
Tableau III : Paramètres équivalents	21
Tableau IV : Période de retour (Harinaivo (2013))	22
Tableau V : Coefficient d'imperméabilisation	24
Tableau VI : Description de l'état des caniveaux.....	32
Tableau VII : Etat des ouvrages hydrauliques de franchissement	34
Tableau VIII : Ouvrages sous dimensionnés.....	40
Tableau IX : Dimensions normalisées des ouvrages	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude	5
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la ville de Bondoukou (1936-2000).....	6
Figure 3 : Carte des pentes du bassin versant de la commune de Bondoukou.....	7
Figure 4 : Réseau hydrographique du bassin versant de la commune de Bondoukou	8
Figure 5 : Schéma de principe de la structure physique du réseau (Bouhant, 2012)	15
Figure 6 : Régionalisation des averses (Direction de l'eau 1986)	20
Figure 7 : Interface du modèle EPASWMM.....	23
Figure 8 : Schéma méthodologique de la réalisation de la carte des zones à risque d'inondation	29
Figure 9 : Ouvrages en état de délabrement. a) Dalot ensablé (quartier Hamdalaye), b) Dalot obstrué par les OM (quartier Donzosso), c) Dalot transportant les eaux usées (quartier Djiminisso).	30
Figure 10 : Réseau de drainage des eaux pluviales de la commune de Bondoukou	31
Figure 11 : Carte de l'aléa inondation du bassin versant de la commune de Bondoukou	36
Figure 12 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la commune de Bondoukou	37
Figure 13 : Zones à risque d'inondation du bassin versant de la commune de Bondoukou.....	38
Figure 14 : Comparaison des hydrogrammes des débits observés et simulés.....	39
Figure 15 : Corrélation entre débits observés et simulés.....	39
Figure 16 : Ouvrages en surcharge.....	41
Figure 17 : Niveau d'eau dans les ouvrages après redimensionnement.....	42

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les inondations constituent le phénomène touchant le plus de personnes à l'échelle mondiale (UNISDR, 2015). Cela se justifie par les données statistiques de EM-DAT (2016) selon lesquelles, plus de 2,8 milliards de personnes sont affectées par les inondations depuis 1990 à travers le monde.

En ce qui concerne l'Afrique de l'Ouest, le nombre de personnes affectées par les inondations a augmenté de manière constante depuis 1980 (Gemenne *et al.*, 2017). Dans cette zone, les inondations ont affecté sans nécessairement déplacer 13,6 millions de personnes entre 2004 et 2013 (EM-DAT, 2017). Les pays de l'Afrique de l'Ouest ont connu en 2007, les pires inondations depuis des dizaines d'années. Celles-ci ont entraîné des pertes en vies humaines et des dégâts matériels, plongeant certaines populations dans un dénuement complet. C'est le cas des pays comme le Mali, le Burkina Faso, le Nigeria, le Niger, la Gambie, le Sénégal et la Côte d'Ivoire. (Hauhouot, 2008).

La gestion inappropriée des déchets et l'existence partielle des réseaux d'assainissement créent des désagréments dans toutes les grandes villes d'Afrique et particulièrement en Côte d'Ivoire. La ville de Bondoukou, au Nord-Est de la Côte d'Ivoire, n'est pas exempte de ces problèmes. En effet, le réseau d'assainissement des eaux pluviales couvre de façon partielle la ville. De même, cette zone partiellement équipée d'ouvrages d'assainissement révèle un grand dysfonctionnement du système de gestion des eaux pluviales urbaines (SGEPU). Cette situation est due à l'incivisme de la population: les boues de vidange, les ordures ménagères et d'autres sortes de déchets solides sont déversés dans les caniveaux conçus pour drainer les eaux pluviales.

Face à cette situation, il ressort la question suivante : comment évacuer de façon optimale les eaux pluviales?

Les cadres juridiques et normatifs internationaux renforcent la responsabilité des Etats à anticiper les déplacements induits par les catastrophes naturelles, à fournir une protection et une assistance aux populations concernées et à favoriser la recherche de solutions à long terme (Kälin & Shrepfer, 2012; Gemenne & Brücker, 2015). Ainsi, en vue de lutter contre l'inondation, l'Etat de Côte d'Ivoire a créé par le décret N° 2011-482 du 28 décembre 2011, l'Office National de l'Assainissement et du Drainage (ONAD) pour trouver des solutions idoines à tous ces problèmes de dysfonctionnement des réseaux de drainage. C'est dans ce contexte qu'un projet d'actualisation du schéma directeur d'assainissement des villes de la Côte d'Ivoire a été initié.

INTRODUCTION

Cette étude dont le thème est : « **Evaluation du réseau de drainage des eaux pluviales de la ville de Bondoukou.**» s'inscrit dans ce cadre. Elle a pour objectif général d'évaluer le risque d'inondation et de proposer un réseau de drainage optimal des eaux pluviales.

De façon spécifique, l'approche méthodologique adoptée consiste à:

- faire un diagnostic de l'état de fonctionnement du réseau d'assainissement ;
- cartographier le risque d'inondation ;
- simuler pour actualiser le fonctionnement hydraulique du réseau d'assainissement des eaux pluviales.

C'est un travail purement technique qui donne des propositions aux collectivités pour régler les problèmes d'inondations dans leurs différentes localités. Cette étude sera détaillée dans les quatre parties qui suivent, à savoir : généralités, matériels et méthodes, résultats et discussion et conclusion.

CHAPITRE 1 : GENERALITES

1.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA VILLE DE BONDOUKOU

1.1.1 Situation géographique

La ville de Bondoukou, chef-lieu de district du Zanzan, est située dans la région du Gontougo au Nord-Est de la Côte d'Ivoire. Elle est limitée à l'Est par le Ghana, au Nord par la ville de Bouna, à l'Ouest par les villes de Nassian et Sandégué et au Sud par les villes de Tanda et Assuefry. La zone considérée pour cette étude est le bassin versant de la rivière Wamo qui comprend la commune de Bondoukou (figure 1). Ce bassin versant se situe entre 2°50' et 2°46' de longitude Ouest et entre 8° et 8°6' de latitude Nord (figure 1).

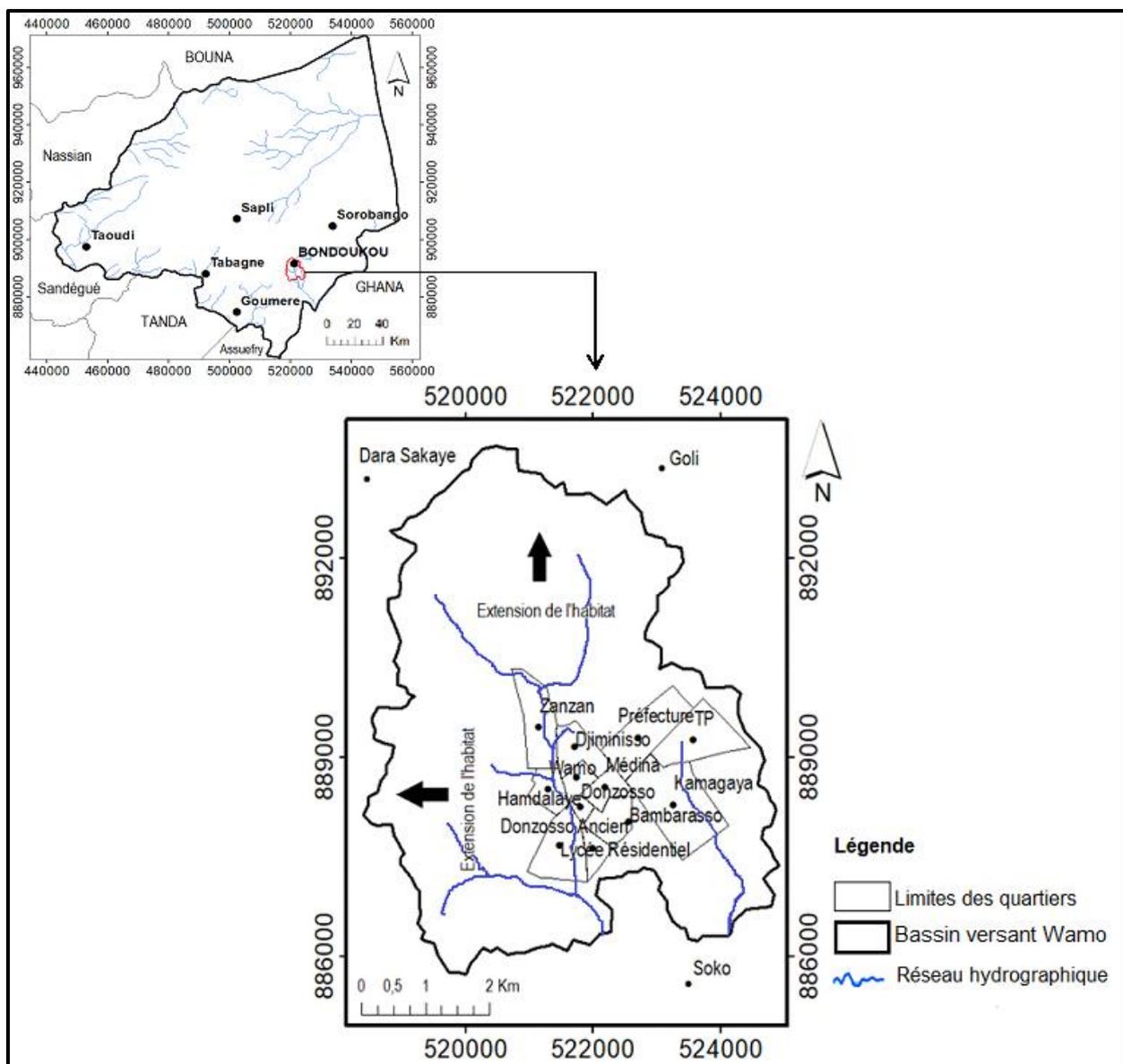


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.1.2 Climat

La région de Bondoukou est soumise à un climat de type sub-soudanais. Les durées des saisons (sèches, pluvieuses) sont très irrégulières (Morel, 2004). L'analyse de la chronique des pluies de 1936-2000 montre quatre saisons (Ahoussi *et al.*, 2012) :

- mars-juin : la grande saison des pluies, avec le maximum de pluies en juin (165 mm).
- juillet-août : la petite saison sèche, on assiste à une baisse des précipitations pour atteindre le niveau de 76 mm au le mois d'août.
- septembre-octobre : les précipitations remontent, avec un pic (177 mm) au mois de septembre. Cette période correspond à la petite saison des pluies.
- novembre-février : la grande saison sèche caractérisée par une très forte baisse de la pluviosité.

Les mois de décembre et janvier constituent les mois les plus « secs », avec respectivement 15 mm et 11 mm de pluies. Les amplitudes pluviométriques annuelles oscillent entre 800 et 1400 mm, avec une valeur moyenne annuelle de 1119 mm. Les températures moyennes mensuelles pour la chronique 1936 - 2000 varient de 24°C à 29°C, soit une amplitude thermique de 5°C. Les mois de février, mars et avril sont les plus chauds, avec des températures moyennes supérieures à 27°C. La figure 2 met en relation la température et la pluie dans la zone d'étude.

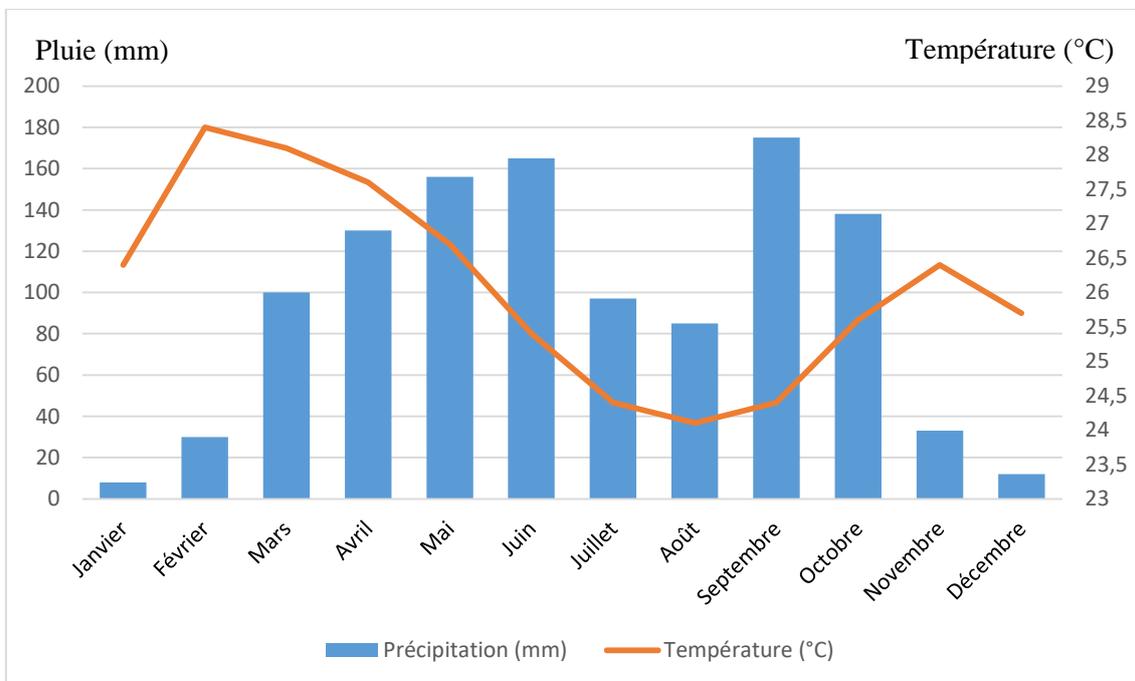


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la ville de Bondoukou (1936-2000)

1.1.3 Géologie

La région de Bondoukou est située dans le domaine paléo-protérozoïque. Ces formations géologiques ont été structurées lors de l'orogénèse éburnéenne. L'éventail pétrographique très ouvert des formations géologiques de la région de Bondoukou et la complexité des phénomènes structuraux rendent difficile son étude. Du point de vue lithologique, la zone d'étude est recouverte par un ensemble complexe de formations géologiques. On y distingue deux grands domaines que sont : le domaine quaternaire (Holocène) et le domaine paléo-protérozoïque. (Ahoussi *et al.*, 2012)

1.1.4 Relief

Le relief est peu vallonné dans l'ensemble. On peut observer une chaîne de montagnes appelé le mont Zanzan, faisant le tour du département et très visible dans les zones de Kouassi-N'dawa ainsi que les sous-préfectures d'Appimandoum et de Pinda-Boroko (Gogbé, 2011). La figure 3 met en évidence la carte des pentes du bassin versant étudié.

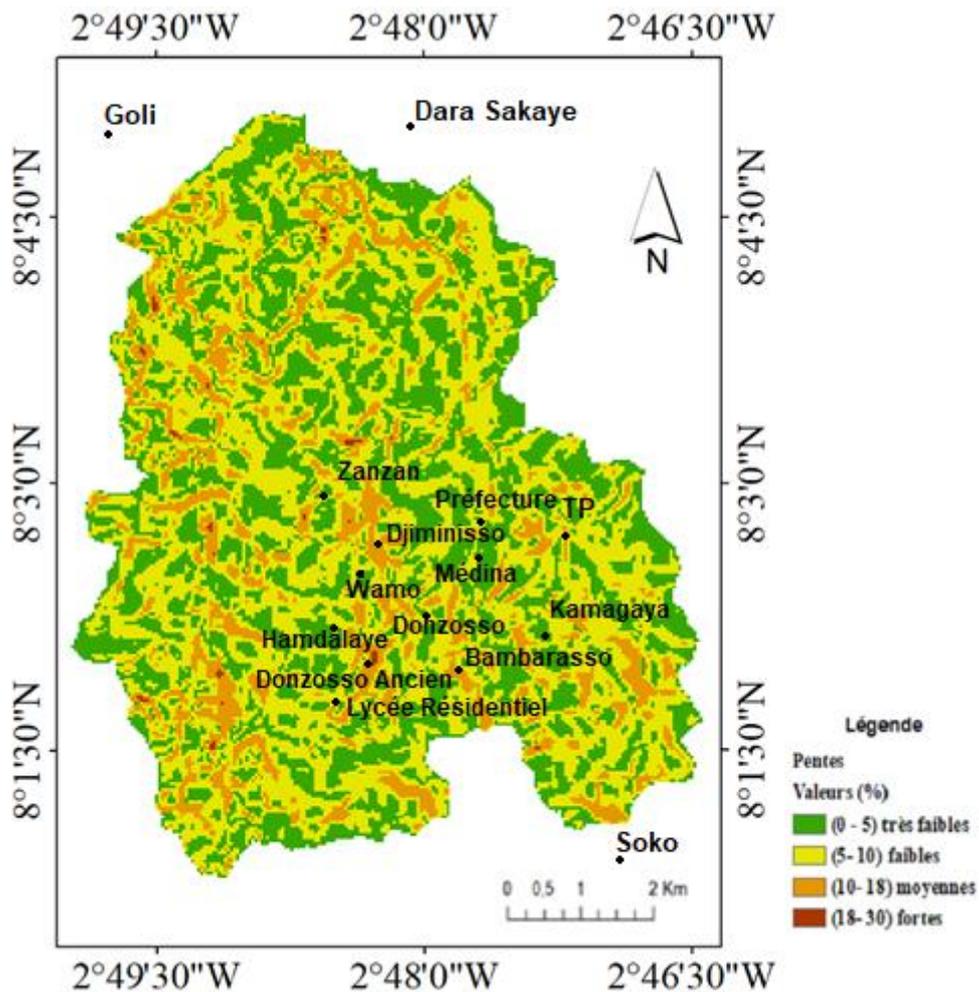


Figure 3 : Carte des pentes du bassin versant de la commune de Bondoukou

1.1.5 Hydrographie

La ville de Bondoukou est traversée par la rivière Centre ou Wamo et ses affluents. Elle draine les quartiers Zanzan Abeille, Mont Zanzan, Hamdalaye, Wamo, Donzosso, Lycée Résidentiel et Donzosso Ancien. La rivière Wamo est longue de 7 Km et draine un bassin versant d'une superficie de 27,2 km² (jusqu'à la limite de la zone urbanisée) (Figure 4). Le bassin versant du Wamo Est (affluent du Wamo) est peu aménagé et couvre une superficie de 6,51 Km² (Figure 4).

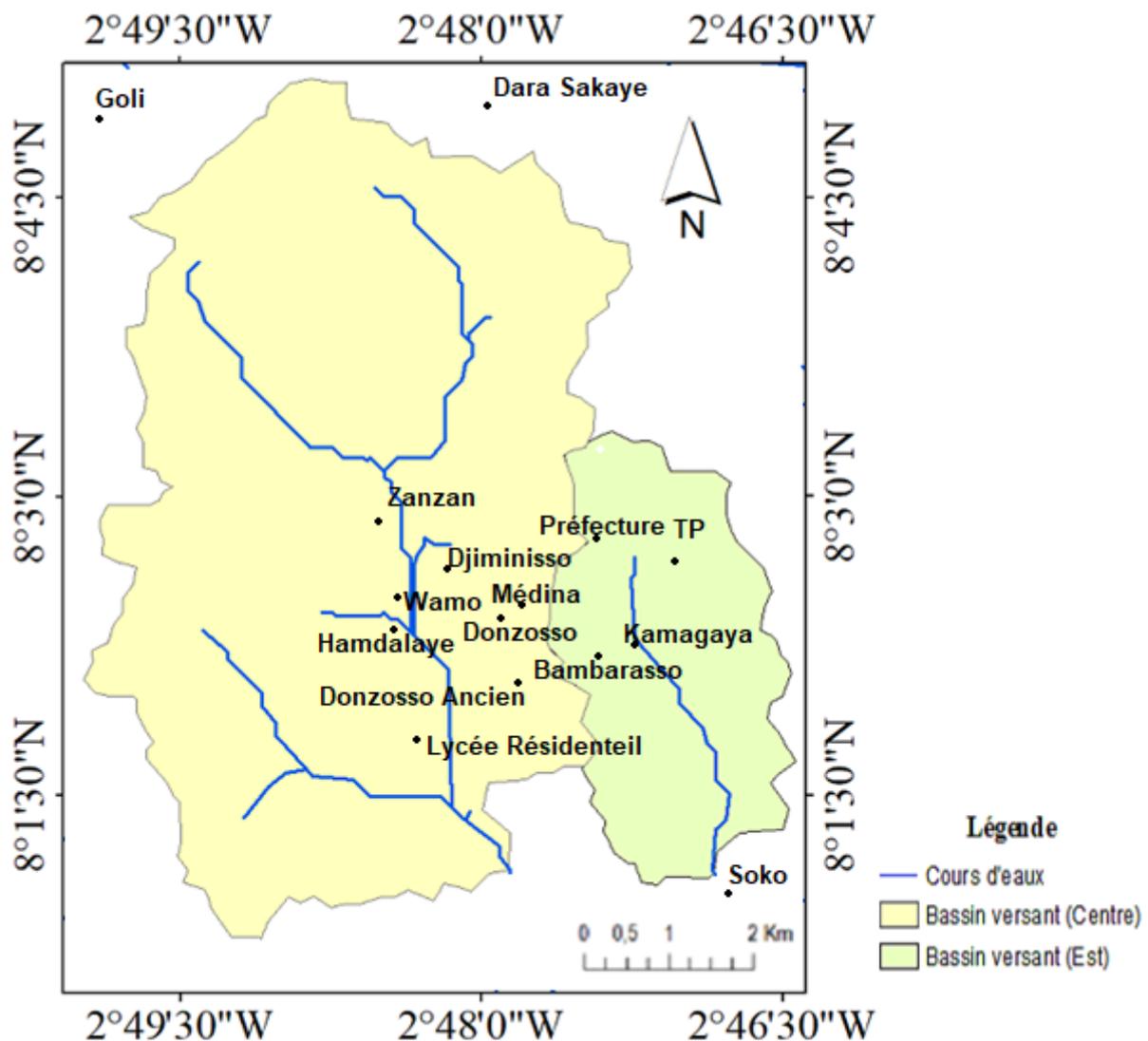


Figure 4 : Réseau hydrographique du bassin versant de la commune de Bondoukou

1.1.6 Végétation

La région de Bondoukou est située dans le secteur sub-soudanais, à la limite du secteur mésophile (secteur pré-forestier ou savanes guinéennes) du domaine guinéen (Guillaumet & Adjanohoun, 1971). La végétation est essentiellement constituée de savane arborée et arbustive avec des forêts galeries. On rencontre des îlots forestiers sur les plateaux et des forêts galeries liées au réseau hydrographique dans la partie Ouest de la zone d'étude. Dans la partie Est, on trouve également des forêts galeries qui suivent les cours d'eaux, mais surtout de vastes étendues de savanes arborées. Cette végétation est souvent dégradée par l'activité anthropique (agriculture, exploitation forestière, etc.) et les feux de brousse.

1.1.7 Activités socio-économiques

Le Département de Bondoukou est l'un des plus vastes du pays. Cependant, il est l'un des moins peuplés avec une densité moyenne de 18,3 habitants/km², et affiche une croissance démographique lente : 2,89% l'an. La ville de Bondoukou compte 117 453 habitants dont 61 157 hommes et 56 296 femmes (RGPH 2014).

De par sa situation géographique, Bondoukou est une ville frontalière dont les transactions commerciales sont marquées par les échanges avec le Ghana, notamment le marché du village de Sampa. A Bondoukou, l'économie est basée sur la production de cultures vivrières (igname) et industrielles (café, cacao). Le département de Bondoukou est spécialisé dans la production et la commercialisation de l'igname. Cette activité est pratiquée par les Lobi, Koulango et les Abrons. Dans la partie forestière du département de Bondoukou, les cultures industrielles du café et du cacao sont associées aux productions vivrières. La croissance des activités économiques urbaines a entraîné la création de richesses des populations de la ville. Ainsi, ces richesses vont se traduire par l'acquisition des lots et l'étalement de l'espace urbain de Bondoukou (Gogbé, 2011).

1.2 GENERALITES SUR LES INONDATIONS

1.2.1 Inondations en Côte d'Ivoire

Une inondation désigne le débordement d'un cours d'eau de son lit mineur, mais aussi le remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement locales. L'inondation pluviale se distingue par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et sa hauteur. Ces

CHAPITRE 1 : GENERALITES

paramètres sont essentiels pour comprendre les dommages et instaurer des politiques de prévention efficaces (Yahiaoui, 2012).

En Côte d'Ivoire ce phénomène, auparavant rare, est devenu de plus en plus récurrent notamment à Abidjan et dans d'autres localités du pays ces dernières années (Kouadio *et al.*, 2018). Selon le Bureau de la coordination des actions humanitaires de l'ONU (OCHA) (2014), au moins 80000 personnes étaient menacées par les conséquences des pluies diluviennes dans le district d'Abidjan, où les zones à risque représentent 25% de la superficie pendant la saison des pluies. Des chiffres officiels mentionnent que 40000 personnes parmi les populations menacées, vivent dans les bidonvilles du quartier huppé de Cocody, les autres se répartissant entre les vastes communes populaires de Yopougon (12500), d'Abobo (9500), d'Attécoubé (8000) et Adjamé (10000). Le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD, 2013) fait état de quelques inondations qui ont frappé le pays :

- dans les années 1980-1990, des tornades localisées, mais très violentes, enregistrées à Abidjan et à Adzopé ont causés des dégâts considérables dans des bâtiments isolés ou des quartiers entiers ;
- en 1989, une crue de la rivière Agnéby a inondé toute une partie de la ville d'Agboville, faisant des dégâts matériels importants ;
- forte érosion côtière, notamment au niveau de Grand-Bassam, Grand-Lahou, Assinie et du secteur Vridi-Port-Bouët à Abidjan, provoquant des dommages considérables ;
- inondations répétées à Grand-Bassam en relation avec la crue du fleuve Comoé ;
- glissement de terrain sur l'axe Man-Biankouma à la "Cote 120" en 1977 et en 1988 ;
- en 1996, inondations de nombreux secteurs de la ville d'Abidjan, glissement de terrain à Attécoubé, éboulement à Gobelet, suite à des pluies diluviennes (plus de 30 morts et d'importants dégâts matériels) ;
- en 1998, une inondation suivie d'un glissement de terrain dans la commune d'Abobo (5 morts) ;
- en 1998, inondations dans certains quartiers résidentiels d'Abidjan (dégâts matériels) ;
- en 2002, importante inondation à la Riviera Bonoumin ;
- en 2005 et 2007, éboulements et glissements de terrain meurtriers dans la commune d'Attécoubé ;
- en 2008, inondation et glissement de terrain meurtriers à Cocody ;
- en 2009, éboulements et glissements de terrain meurtriers à Attécoubé et à Gobelet ; vents violents et dévastateurs à Yopougon et à Abobo ;
- inondations récurrentes dans la commune d'Abobo ;

CHAPITRE 1 : GENERALITES

- en 2010 et 2011, inondations dans toute l'agglomération et mouvements de terrain meurtriers sur la route du zoo et à Attécoubé.

L'évènement le plus récent a provoqué dix-huit pertes en vies humaines à Abidjan, la capitale économique de la Côte d'Ivoire, dans la nuit du 18 au 19 juin 2018 (Souaga, 2018).

1.2.2 Etat d'assainissement de la ville de Bondoukou

L'assainissement est l'ensemble des interventions, des principes destinées à limiter les risques pour la santé, à protéger les milieux récepteurs, à sauvegarder les infrastructures en assurant une gestion intégrée des eaux usées, des eaux pluviales et des déchets solides.

L'assainissement de la ville de Bondoukou connaît plusieurs dysfonctionnements. En effet, il n'existe jusqu'à ce jour aucun plan de recollement des caniveaux. La ville est confrontée à un réel problème d'assainissement. L'outil principal dont dispose la ville de Bondoukou en vue de lutter contre l'inondation est le réseau d'assainissement des eaux pluviales qui découle du schéma directeur.

1.2.3 Inondations dans la ville de Bondoukou

Les cours d'eaux dans la commune de Bondoukou sont équipés d'ouvrages hydrauliques de franchissement pour permettre de rallier les quartiers situés de chaque côté des rives en période de crue. Selon les services techniques de la mairie, la majorité de ces ouvrages est malheureusement débordée pendant les périodes de crue. On déplore parfois quelques pertes en vie humaine notamment des enfants voulant traverser les rivières en saison pluvieuse par les ouvrages de franchissement.

Les inondations à Bondoukou sont de deux types : L'inondation fluviale par débordement des rivières (cas des quartiers situés au voisinage des cours d'eau) et l'inondation par ruissellement pluvial liées à l'absence ou l'insuffisance des caniveaux de drainage. Dans les quartiers du centre-ville où la voirie est équipée de caniveaux de drainage, le relief vallonné de la ville permet l'évacuation rapide des eaux de ruissellement, même en cas d'insuffisance du réseau de drainage, sans occasionner de gênes importantes aux riverains. Les dégâts et gênes occasionnées affectent les zones basses de la ville, soit le long de la rivière Wamo, soit dans les quartiers périphériques non équipés de voiries revêtues et donc d'ouvrages d'assainissement.

L'amplitude et la répétition de ces inondations est, par ailleurs, imputable à plusieurs facteurs :

- facteur climatique : ils deviennent prépondérants en raison des changements climatiques observés dans la région. Le modèle climatique le plus probable pour la zone soudano-guinéenne dans laquelle se situe la ville de Bondoukou prévoit une recrudescence des épisodes pluvieux de forte intensité et de longue durée.
- le facteur démographique : la ville de Bondoukou connaît actuellement une croissance annuelle moyenne de 2,89% (RGPH, 2014). L'augmentation de la population entraîne une occupation du sol peu contrôlée, souvent au détriment des règles de base de l'urbanisme. Les constructions prolifèrent notamment dans les zones inondables, le long du lit des axes de drainage naturel. Au fil des années, la surface d'infiltration va diminuer, augmentant les débits de ruissellement et donc les inondations.

1.3 Modélisation

La modélisation est la représentation en dimension réduite d'un phénomène naturel ou réel à l'aide d'un système qui possède des propriétés analogues à ce phénomène (Paquier, 2002 ; Boudjelal *et al.*, 2002 ; Anas & Saad, 2012 ; Autixier, 2012).

Pour réaliser la modélisation des réseaux d'assainissement, il existe plusieurs modèles qui ont été développés dans différents pays. Les plus utilisés sont : CANOË (modèle Français), MOUSE (modèle Danois) et SWMM (modèle Américain). Ces trois modèles présentent beaucoup de ressemblance en ce qui concerne leurs bases théoriques physiques et mathématiques. L'accès à la licence des deux premiers modèles (CANOË et MOUSE) est payant, contrairement au troisième qui est libre et téléchargeable sur Google.

Ce modèle utilise les équations de Barré De Saint Venant (équations 1 et 2) pour simuler les écoulements à surface libre. Les modèles basés sur ces équations permettent de bien décrire le comportement hydraulique. Leur utilisation est très recommandée pour les études de diagnostic du réseau existant (Fandi & Benazza, 2017).

Équation de continuité ou de conservation de la masse (Equation 1)

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \quad \text{Eq.1}$$

Equation dynamique de la conservation de la quantité de mouvement ou de l'énergie (équation 2)

$$\frac{1}{g} \times \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \frac{1}{g} \times \vartheta \times \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - i + j = 0 \quad \text{Eq.2}$$

L'accélération locale $\frac{1}{g} \mathbf{x} \frac{\partial \vartheta}{\partial t}$ et l'accélération convective $\frac{1}{g} \mathbf{x} \vartheta \mathbf{x} \frac{\partial \vartheta}{\partial x}$, sont les termes d'inertie. $\frac{\partial y}{\partial x} - i$ représente la pente de la surface libre. i est la pente du radier ; j est la pente de la ligne de charge ; Q : débit, x :abscisse, t : temps, S : surface mouillée ; V : vitesse ; H : charge hydraulique ; J : perte de charge unitaire, calculée avec la formule de Manning-Strickler ; i : pente du radier y : tirant d'eau z : cote du radier.

1.3.1 Présentation du modèle EPASWMM 5.1

SWMM (Storm Water Mangement Model) est un modèle de simulation hydrologique développé par l'Agence de la Protection de l'Environnement aux Etats-Unis (USEPA) en collaboration avec un groupe de recherche situé à l'Université de Floride et à l'Université de l'Etat d'Oregon. Depuis son premier développement en 1971, ce modèle a suivi des évolutions successives et en est actuellement à sa cinquième version.

Ce modèle permet la simulation du comportement des eaux pluviales tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Il est particulièrement bien adapté aux bassins urbains pour le calcul des réseaux d'assainissement simples ou complexes et s'applique soit pour des évènements ponctuels ou pour des simulations continues (Rossman, 2015).

Le modèle de gestion des eaux pluviales EPA (SWMM) est utilisé dans le monde entier pour la planification, l'analyse et la conception des réseaux d'eaux de ruissellement, des égouts combinés et sanitaires et d'autres systèmes d'assainissement dans les zones urbaines. Il existe de nombreuses applications pour les systèmes d'assainissement dans les zones non urbaines.

SWMM est un modèle dynamique de simulation hydrologique-hydraulique de la qualité de l'eau. Il est utilisé pour la simulation de la quantité et de la qualité des eaux de ruissellement provenant principalement des zones urbaines (Gironás *et al.*, 2009).

La composante de ruissellement fonctionne sur un ensemble de sous-bassins versant qui reçoivent des précipitations et génèrent des charges de ruissellement et de polluants. La partie d'acheminement transporte ce ruissellement à travers un système de tuyaux, canaux, dispositifs de stockage / traitement, pompes et régulateurs.

SWMM effectue le suivi de la quantité et de la qualité du ruissellement effectué dans chaque sous-captage. Il suit le débit, la profondeur d'écoulement et la qualité de l'eau dans chaque tuyau et canal pendant une période de simulation composée de plusieurs pas de temps.

Le SWMM 5 a récemment été étendu pour modéliser les performances hydrologiques de certains types de contrôles de faible impact (LID). Les contrôles LID que l'utilisateur peut

choisir comprennent les sept pratiques d'infrastructure verte suivantes: pavé perméable, jardins de la pluie, les toits verts, jardinières, barils de pluie, tranchées d'infiltration, végétaux.

1.3.2 Description du modèle EPASWMM

Le modèle EPASWMM est représenté par différents éléments physiques tel que: nœuds, tronçons, bassins versants, exutoires, pompes, bassins de rétention, orifices (figure 5). Ces éléments physiques se présentent comme suit :

- Un nœud du réseau est un objet ponctuel repéré par sa position dans l'espace et jouant un rôle dans la description ou dans le fonctionnement du système d'assainissement.
- Un tronçon de réseau est une partie du réseau dont les caractéristiques géométriques (pente, rugosité, forme de la section) restent constantes, de même que les caractéristiques fonctionnelles (pas d'apport latéral de débit). Un tronçon de réseau est limité à l'amont et à l'aval par un nœud.
- Un bassin versant est une portion de surface, produisant de l'eau en temps sec et/ou en temps de pluie et telle que toute l'eau produite puisse être supposée et introduite dans le réseau en un même point particulier appelé exutoire du bassin versant. En identifiant cet exutoire à un nœud du réseau, on crée une relation entre le bassin versant (la surface) et le système d'assainissement.
- Un bassin de rétention est un ouvrage surfacique permettant de stocker provisoirement de l'eau.
- Un exutoire est également un ouvrage ponctuel associé à un nœud. L'exutoire permet d'établir une relation entre le système d'assainissement et le milieu naturel.
- Un déversoir latéral est un ouvrage linéaire (comme un tronçon), avec un départ latéral. Un déversoir latéral est limité par un nœud amont et deux nœuds aval.
- Un capteur ou (point de contrôle) est un point du réseau où l'on effectue une mesure (par exemple pour mettre en place une régulation). Un capteur est placé en un point particulier d'un tronçon.

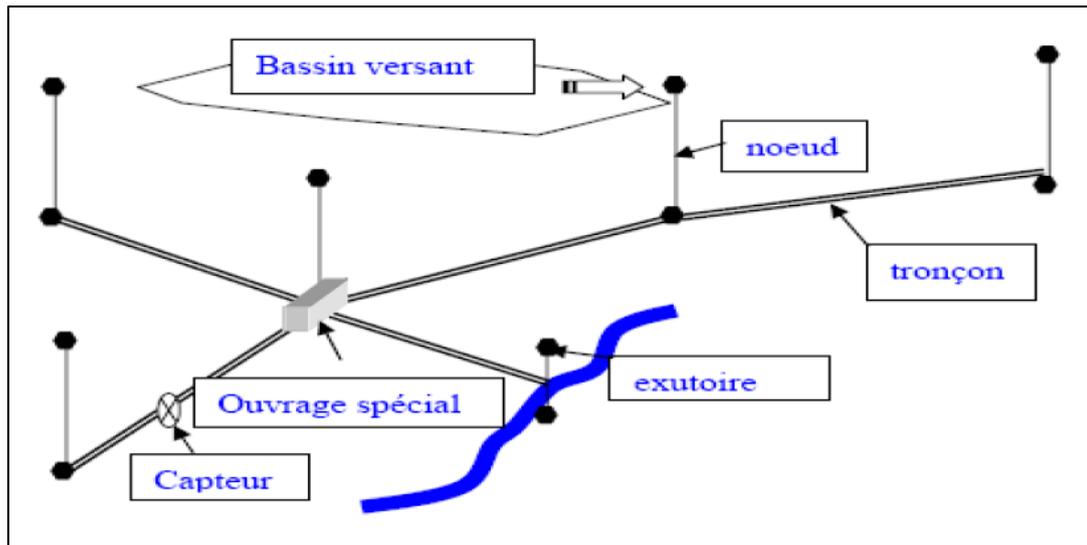


Figure 5: Schéma de principe de la structure physique du réseau (Bouhant, 2012)

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

Le matériel qui a servi à la réalisation de cette étude est constitué de données (climatiques, topographiques, images) et d'outils de traitements des données (logiciels) et d'autres outils de terrain.

2.1.1 Données

2.1.1.1 Données climatiques

Les données utilisées dans cette étude sont les pluies journalières enregistrées à la station de Bondoukou. Ces données enregistrées sur la période 1956-2014 ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ces données ont permis de calculer l'intensité de la pluie.

2.1.1.2 Données topographiques

Les images Google Earth et le modèle numérique de terrain SRTM ont servi de base topographique, notamment dans la délimitation des sous-bassins versants. Les levés topographiques réalisés sur le terrain ont permis de connaître les pentes, les profils en long et les profils transversaux des rivières Centre et Est, ainsi que les pentes des ouvrages hydrauliques.

2.1.1.3 Les images satellitaires

Les images satellitaires utilisées sont les images OLI195054 issues de la scène LC81950542018040LGN00 acquises le 11 février 2018. Ces images sont téléchargées sur le site internet <http://earthexplorer.usgs.gov>. Les caractéristiques des bandes utilisées sont consignées dans le tableau I. Ces images ont servi à la réalisation de la carte d'occupation du sol.

Tableau I : Bandes spectrales utilisées

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 2 - Bleu	0,450 – 0, 515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 – 0, 600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 – 0,680 μm	30 m

2.1.2 Outils

2.1.2.1 Logiciels

Les logiciels utilisés pour le traitement des données sont : Microsoft Excel, ArcGis (version 10.2.2), Global Mapper (version 18.2), EPA SWMM (version 5.1).

Les calculs statistiques sont effectués avec Microsoft Excel. Le logiciel ArcGis (version 10.2.2) a été utilisé pour la réalisation des cartes thématiques. La caractérisation des bassins versants s'est faite sur Global Mapper (version 18.2). EPA SWMM (version 5.1) a permis de réaliser la modélisation hydraulique.

2.1.2.2 Outils de terrain

Les outils utilisés lors des visites de terrain sont : un appareil photo, un GPS et un ruban de mesure. L'appareil photo a servi pour les prises de vue. Les ouvrages hydrauliques sont localisés à l'aide du GPS. Le ruban de mesure a permis de mesurer des sections des ouvrages hydrauliques.

2.2 METHODES

2.2.1 Evaluation du réseau d'assainissement

2.2.1.1 Diagnostic du réseau de drainage

Le diagnostic du réseau de drainage est réalisé à travers des visites de terrain. Il a consisté à mesurer les sections des ouvrages d'une part et à voir leurs étés d'autre part.

2.2.1.2 Vérification de la capacité de drainage des canaux

Pour vérifier la capacité de drainage des différentes sections, le débit Q_1 pouvant transiter dans chaque canalisation a été calculé selon l'équation 3.

$$Q_1 = S \cdot V_{max} \quad \text{Eq.3}$$

Avec $S = (b + mh) \cdot h$ pour un canal trapézoïdal isocèle et $S = bh$ pour un canal rectangulaire.

S : air de chaque canalisation (m^2) ; b : la base du canal existant (m) ; h : la profondeur du canal (m) ; m : coefficient d'allongement; V_{max} : la vitesse maximale du canal ($V_{max} = 4 \text{ m.s}^{-1}$) ; Q_1 : le débit maximal pouvant transiter dans le canal ($m^3.s^{-1}$).

Le canal ne peut être redimensionné que si Q_1 est inférieur au débit Q projet du sous bassin versant donné. Si Q_1 est supérieur ou égal à Q projet, le canal dispose alors d'une section suffisante pour drainer l'eau du sous bassin versant.

2.2.1.3 Calculs des débits

Le débit de projet sur chaque sous bassin versant a été calculé par la formule de Caquot selon l'équation 4 :

$$Q = k \cdot I^u \cdot C^v \cdot A^w \cdot m \quad \text{Eq.4}$$

Q : le débit projet ; I : la pente du terrain naturel, C : le coefficient de ruissellement ; A : la superficie du bassin versant (ha). K , u , v , w et m sont les coefficients de forme du bassin versant consignés dans le tableau II et l'annexe 1 pour toutes les régions. Ces coefficients varient en fonction des régions (figure 6). Pour cette étude les paramètres utilisés sont ceux de la région III.

Tableau II : Coefficients relatifs à la pluviométrie

Période de retour $T = \frac{1}{F}$	Paramètres		Formules superficielles (m^3/s)			
	$i = a \cdot t^b$		$Q = k \cdot I^u \cdot C^v \cdot A^w \cdot m$			
	a(F)	b(F)	K	u	v	w
REGION III						
10 ans	532	0,46	2,03	0,22	1,15	0,83
5 ans	472	0,46	1,77	0,22	1,15	0,83
2 ans	397	0,46	1,45	0,22	1,15	0,83
1 an	330	0,46	1,17	0,22	1,15	0,83

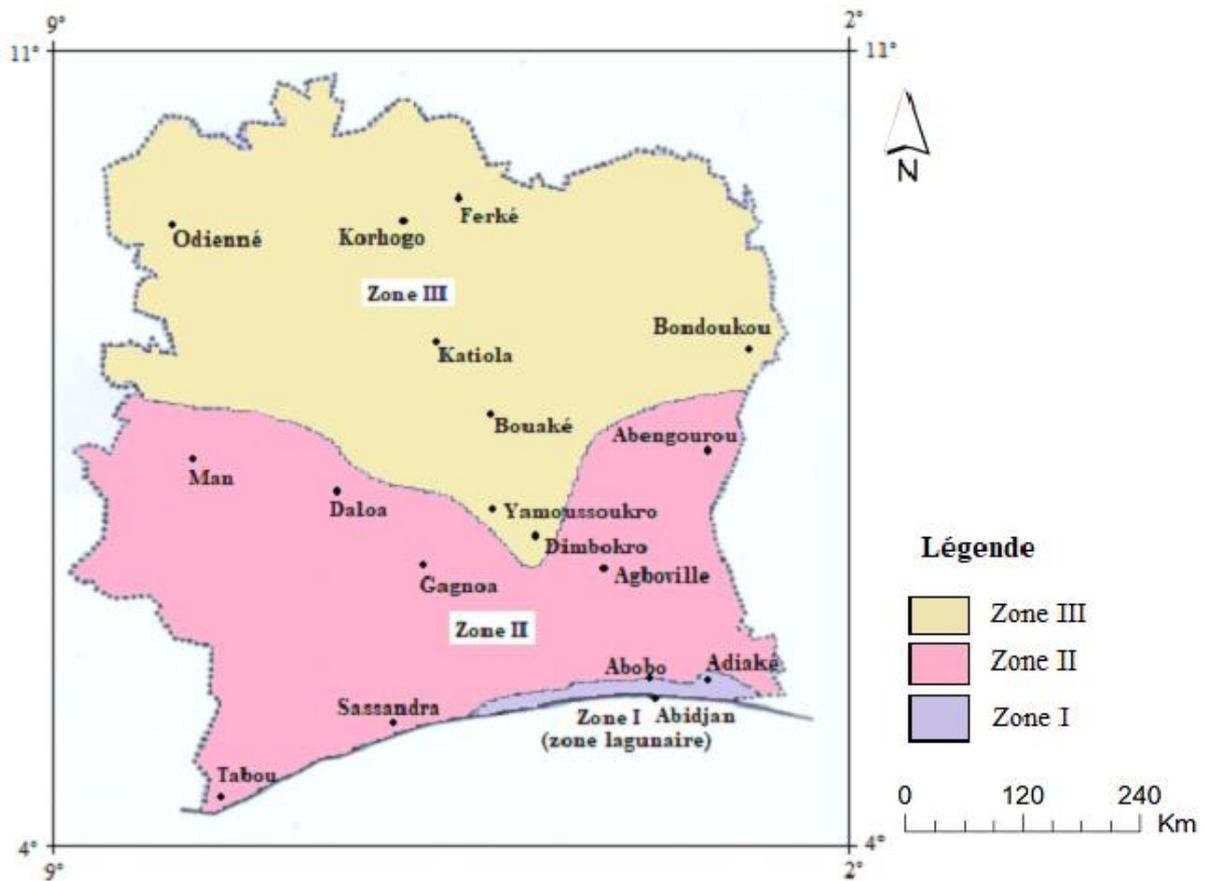


Figure 6: Régionalisation des averses (Direction de l'eau 1986)

2.2.1.4 Calcul du temps de concentration

Le temps de concentration est le temps du plus long cheminement hydraulique. Il est obtenu par l'équation 5:

$$t_c = 0,34 \cdot I^{-0,41} \cdot A^{0,507} \cdot Q^{-0,287} \quad \text{Eq.5}$$

Avec t_c (temps de concentration) en mn, I (pente du bassin versant) en m/m, A (surface du bassin versant) en ha et Q (débit de pointe de ruissellement) en m^3/s .

Selon la disposition des sous-bassins dans l'espace, on peut les regrouper en sous bassins versants en série ou en parallèle. Les paramètres équivalents sont déterminés comme suit (Tableau III) :

Tableau III : Paramètres équivalents

Paramètres équivalents	Aeq	Ceq	Ieq	Meq	Leq
Bassins versants en série	$\sum A_i$	$\frac{\sum C_i A_i}{A_i}$	$\left[\frac{\sum L_i}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{P_i}}} \right]^2$	$\frac{\sum L_i}{100 * (\sum A_i)^{\frac{1}{2}}}$	$\sum L_i$
Bassins versants en parallèle			$\frac{\sum (I_i Q_{pi})}{\sum Q_{pi}}$	$\frac{L(T_{Ci \max})}{100 * (\sum A_i)^{\frac{1}{2}}}$	$L(T_{Ci \max})$

Aeq : la superficie équivalente des sous-bassins versants regroupés (ha). **Ieq** : la pente du terrain naturel, **Ceq** : le coefficient de ruissellement équivalent des sous-bassins versants regroupés ; **Meq** : coefficient d’allongement équivalent des sous-bassins versants regroupés. **Leq** : Plus long chemin hydraulique de l’assemblage des sous-bassins versants considérés (m), P_i : périmètre du sous bassin-versant ; L_i : longueur équivalente du sous bassin-versant. Selon la régionalisation des averses en Côte d’Ivoire.

2.2.2 Simulation du fonctionnement hydraulique du réseau

2.2.2.1 Pluie de projet

La pluie de projet est un évènement pluvieux fictif qui est une représentation synthétique (type avancée, intermédiaire, retardée,...) de formes imposées (triangulaires, trapézoïdale,...). Elle est censée représenter l’ensemble des informations pluviométriques disponibles (la pluie de projet est un évènement type) et de produire à l’exutoire du bassin (réseau d’assainissement) le même effet que la pluie réelle (débit, volume, etc....) à laquelle il est possible d’associer une période de retour (Bourrier, 1997 ; Chocat, 1997 et Valiron 1989). L’intensité de la pluie est calculée à l’aide de la formule de Montana selon l’équation 6.

$$I = a \cdot t^b \tag{Eq.6}$$

I : est l’intensité de pluie (mm) ; **t** : temps de concentration (mn) ; **a** et **b** sont les coefficients de Montana.

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

Les simulations sont effectuées pour une pluie de projet de 170,3 mm de 4heures pour une période de retour de 20 ans, ce temps de retour est choisi parce qu'il s'agit d'un réseau de drainage en centre-ville (Tableau IV).

Tableau IV: Période de retour (Harinaivo (2013))

PERIODE DE RETOUR	TYDE D'INFRASTRUCTURES
2-5 ans	Zones peu vulnérables : périphérie, peu habités, sans valeur économiques... Réseaux mineures
5-10 ans	Zones commerciales, industrielles...
>10 ans	Zones très vulnérable : centre-ville
>50 ans	Réseau majeurs, barrages, digues, etc...

2.2.2.2 Etapes de la modélisation avec SWMM

La modélisation est réalisée selon les étapes suivantes :

1. Définition d'un ensemble d'options par défaut et propriétés d'objet à utiliser (voir Configuration par défaut du projet).
2. Représentation du réseau des composants physiques de la zone d'étude (voir Ajout d'objets).
3. Modification des propriétés des objets qui composent le système (voir édition d'objets).
4. Sélection d'un ensemble d'options d'analyse (voir Configuration des options d'analyse).
5. Exécution d'une simulation (voir Lancement d'un Run).
6. affichage des résultats de la simulation (voir Affichage des résultats).

La figure 7 illustre l'interface du modèle EPASWMM.

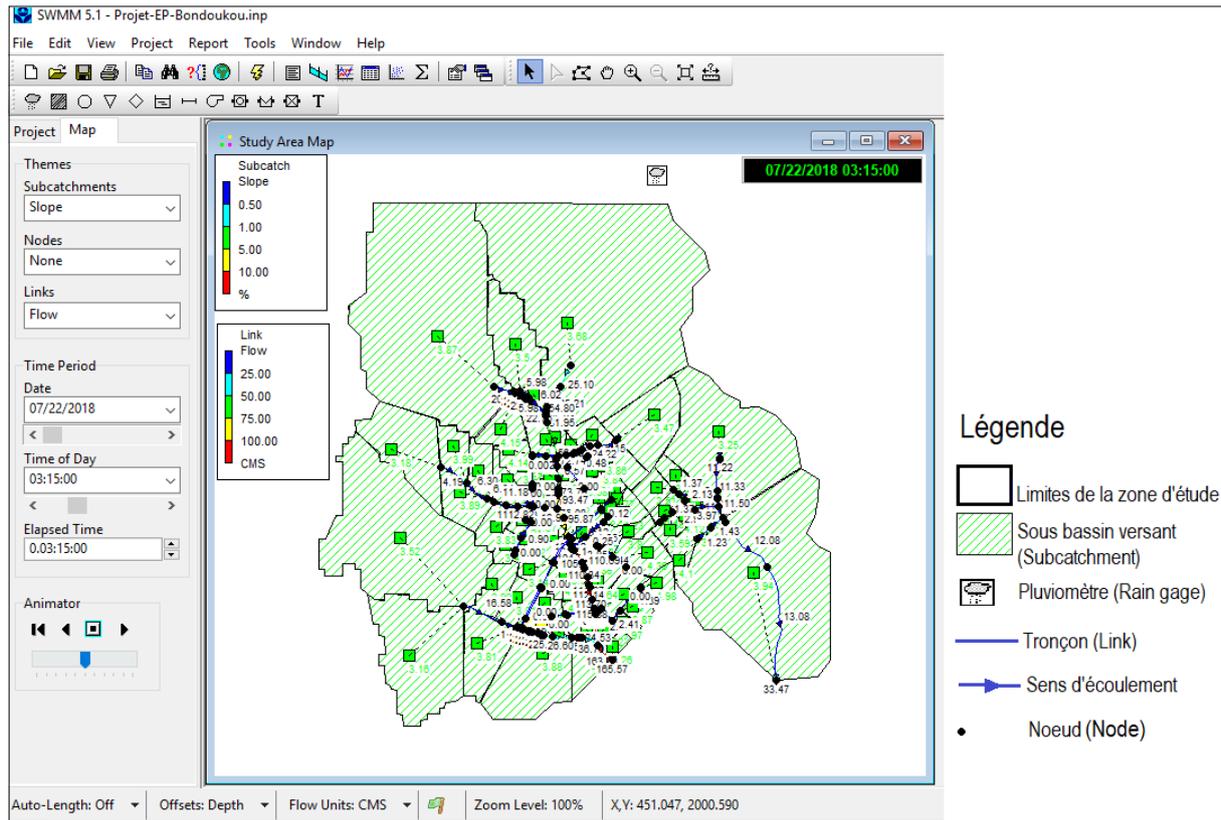


Figure 7: Interface du modèle EPASWMM

2.2.2.3 Caractérisation des sous bassins versants

Dans un premier temps, la zone d'étude est subdivisée en sous bassins versants. Les sous bassins versants sont caractérisés par : le plus long chemin hydraulique (**Leq**), la pente moyenne (**I**) et le coefficient d'imperméabilisation (**Ceq**). Différents critères ont été considérés pour la délimitation des sous bassins versants selon le fait qu'ils soient situés en zone rurale ou en zone fortement urbanisée :

- Pour la délimitation des sous bassins versants ruraux : on commence par déterminer la frontière topographique du sous bassin versant à l'aide d'utilitaire qu'on trouve dans la plupart des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) du commerce ou dans les logiciels libres. (Braud *et al.*, 2011).
- Les sous bassins versants urbains ne sont pas délimités comme les sous bassins versants du milieu naturel non urbanisé. En effet, l'anthropisation du milieu conduit à des modifications des chemins naturels de l'eau liées par exemple aux réseaux de routes, de fossés, aux réseaux d'assainissement et à l'imperméabilisation des sols. Ces paramètres sont considérés pour la délimitation des sous bassins en zone urbaine (Braud *et al.*, 2011).

2.2.2.4 Coefficient d'imperméabilisation

L'imperméabilisation des sols (routes bitumées, toits des maisons...) est le principal effet de l'urbanisation sur le ruissellement. Les visites de terrains ont permis d'établir des similarités avec la description d'occupation du terrain faite par Le Barbe (1982) et Sighomnou (1983) sur des études réalisées respectivement à Ouagadougou et Abidjan. Quatre types de terrains ont été caractérisés avec leurs coefficients d'imperméabilisation (tableau V). Pour chaque bassin, le coefficient d'imperméabilisation est égal au rapport de la surface imperméable à la surface totale.

Tableau V : Coefficient d'imperméabilisation

Type de terrain	Taux d'imperméabilisation	Description
T1	0%	Terrains sans ou avec très peu de constructions.
T2	20%	Zone industrielle caractérisée par des constructions de grandes dimensions au milieu des terrains vagues
T3	80%	Zone d'habitats denses développés en grands ensembles immobiliers (SICOGI, SOLIC, SIPOREX ... etc...). Les maisons sont de petite et moyenne taille; toutes les routes et certaines allées sont bitumées, le réseau de canalisation est dense
T4	50%	Zone d'habitats denses, avec la majeure partie des routes et -allées non bitumées. Les maisons sont de petite taille, avec quelques petits immeubles de 2 à 3 étages en bordure des axes principaux. Le réseau de canalisation est presque inexistant.

2.2.3 Actualisation du réseau de drainage

L'actualisation du réseau de drainage consiste à redimensionner des ouvrages sous dimensionnés pouvant être inondés en période de crue.

2.2.3.1 Redimensionnement des canaux

Les dimensions des canalisations et autres ouvrages d'assainissement sur le bassin versant ont été calculé à l'aide de la formule de Manning et Strickler (équation 7)

$$Q = K_s \frac{S^{5/3}}{P^{2/3}} \sqrt{Jf} \quad \text{Eq.7}$$

Avec $S = (b_0 + m \cdot h) \cdot h$ et $P = b_0 + 2h\sqrt{1 + m^2}$

Q : le débit (m^3s^{-1}) ; S : La surface du canal (m^2) ; P : le périmètre mouillé (m) Jf : la pente (m/m) ; h : la profondeur du canal (m) ; b_0 : la base du canal (m) ; K_s : coefficient de Manning Strickler adapté au type de canal ; m : la pente du talus (m/m). Le calcul des bases, et profondeurs ont été fait par itération.

2.2.3.2 Redimensionnement des buses

Pour installer une buse à l'exutoire d'un bassin versant donné, le débit à cet exutoire doit être inférieur à dix mètres cube par seconde ($Q_p < 10 m^3s^{-1}$). Dans le cas contraire on procède à l'installation d'un Dalot. Le dimensionnement d'une buse consiste à calculer son diamètre, sa hauteur, sa pente critique et sa vitesse critique. Le diamètre est calculé à l'aide de l'équation 8.

$$Q = S \cdot V_{max} = (\pi D^2 / 4) \cdot V_{max} \quad \text{Eq.8}$$

$$\text{Avec } D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{n \cdot \pi \cdot V_{max}}}$$

D : le diamètre de la buse ; n : nombre de buses ; V_{max} ($4 m \cdot s^{-1}$) : est la vitesse maximale d'écoulement de l'eau dans les canalisations. Pour calculer la hauteur de la buse, le débit et la hauteur adimensionnelle sont calculés à l'aide de l'abaque 72 de l'annexe 2. L'expression du débit et de la hauteur adimensionnels se résument aux équations 9 et 10.

$$Q = \frac{Q_p}{n \cdot \sqrt{2gDmax^5}} \quad \text{Eq.9}$$

$$H^* = \frac{H}{D} \quad \text{Eq.10}$$

D'où $H = H^* \times D$

Q : débit adimensionnel ; H^* : hauteur adimensionnelle ; $H(m)$: hauteur de la buse ; n : nombre de buses utilisées ; Q_p (m^3s^{-1}) : débit à l'exutoire du bassin versant ; g : intensité de

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

l'accélération de la pesanteur (m^2s^{-1}) ; D_{max} (m) : diamètre maximal de la buse ; x : rayon de la buse.

Le calcul de la pente critique est fait à l'aide des formules des débits et pente adimensionnels de l'abaque 79 (Annexe 3) par les équations 11 et 12.

$$Q = \frac{Q_p}{n \cdot \sqrt{2gx^5}} \quad \text{Eq.11}$$

$$I = \frac{I^* g}{K^2 x^{1/3}} \quad \text{Eq.12}$$

Q : débit adimensionnel ; I^* : pente adimensionnelle ; $I(\%)$: pente de la buse ; n : nombre de buses utilisées ; Q_p (m^3s^{-1}) : débit à l'exutoire du bassin versant ; g : intensité de l'accélération de la pesanteur (m^2s^{-1}) ; x : rayon de la buse K : coefficient d'abattement de la pluviosité.

La vitesse critique a été calculée avec la formule de la débitance et la valeur de la vitesse adimensionnelle de l'abaque 83 (équations 13 et 14).

$$Q = \frac{Q_p}{nKI^{1/2}x^{8/3}} \quad \text{Eq.13}$$

$$V = V \cdot I^{1/2} x^{2/3} \cdot K \quad \text{Eq.14}$$

Q : débit adimensionnel ; V : vitesse adimensionnelle ; $I(\%)$: pente de la buse ; n : nombre de buses utilisées ; Q_p (m^3s^{-1}) : débit à l'exutoire du bassin versant ; g : intensité de l'accélération de la pesanteur (m^2s^{-1}) ; x : rayon de la buse K : coefficient d'abattement de la pluviosité.

2.2.3.3 Redimensionnement des dalots

Pour installer un dalot à l'exutoire d'un bassin versant donné, il faut que le débit à l'exutoire soit supérieur à dix mètres cube par seconde ($Q_p \geq 10 m^3s^{-1}$). Le dimensionnement d'un dalot consiste à calculer sa hauteur, sa pente critique et sa vitesse critique. La base minimale du dalot est fixée à deux mètres (2 m). Le calcul de la hauteur a été faite à l'aide de la formule du débit, de la débitance et de la valeur de la hauteur adimensionnelle (équation 15, 16 et 17) de l'abaque 77 (annexe 4).

$$Q_p = D \cdot B \cdot V_{max} \quad \text{Eq.15}$$

$$\text{Avec } D = \frac{Q_p}{n \cdot B \cdot V_{max}}$$

$$Q = \frac{Q_p}{nB \cdot D \sqrt{2gD^5}} \quad \text{Eq.16}$$

$$H = H^* \times D \quad \text{Eq.17}$$

Q : débit adimensionnel ; D : hauteur; B : base du dalot; n : nombre d'entrée du dalot ; Q_p (m^3s^{-1}) : débit à l'exutoire du bassin versant ; g : intensité de l'accélération de la pesanteur (m^2s^{-1}) ; V_{max} la vitesse maximale d'écoulement de l'eau dans les canalisations.

Quant au calcul de la pente critique, la formule de la débitance a été utilisé (Equation 16) et la valeur de la pente adimensionnelle (équation 18) de l'abaque 82 (Annexe 5).

$$Q = \frac{Q_p}{n\sqrt{gB^5}} \quad \text{Eq.18}$$

$$I = \frac{I^*g}{K^2B^{1/3}} \quad \text{Eq.19}$$

Q : débit adimensionnel ; I : pente adimensionnelle ; I : pente critique ; B : base du dalot; n : nombre d'entée du dalot ; Q_p (m^3s^{-1}) : débit à l'exutoire du bassin versant ; g : intensité de l'accélération de la pesanteur (m^2s^{-1}) ; V_{max} : vitesse maximale d'écoulement de l'eau dans les canalisations ; K : coefficient d'abattement de la pluviosité.

La valeur de la vitesse critique a été obtenue à l'aide de la débitance (Equations 20 et 21) et de l'abaque 84 (Annexe 6).

$$Q = \frac{Q_p}{nKI^{1/2}B^{8/3}} \quad \text{Eq20}$$

$$V = V \cdot KI^{1/2}B^{2/3} \quad \text{Eq.21}$$

Q : débit adimensionnel ; V : vitesse adimensionnelle ; V : vitesse d'écoulement I : pente critique ; B : base du dalot ; n : nombre d'entée du dalot ; Q_p (m^3s^{-1}) : débit à l'exutoire du bassin versant ; g : intensité de l'accélération de la pesanteur (m^2s^{-1}) ; K : coefficient d'abattement de la pluviosité.

2.2.4 Elaboration de la carte des zones à risque d'inondation

Le risque est le croisement de l'aléa et des enjeux (Kangah & Alla, 2015). La carte de synthèse issue de ce croisement a permis de déterminer les espaces qui sont sous la menace d'un risque d'inondation.

2.2.4.1 Détermination des zones d'aléa inondation

Il s'agit de l'aléa inondation par ruissellement des eaux pluviales qui se produit lorsque les réseaux de drainage sont saturés. La carte des zones d'aléa est la résultante du croisement entre la carte des pentes et celle du réseau hydrographique.

La carte des pentes a été générée à l'aide du MNT, qui comprend quatre niveaux variant des pentes très faibles aux pentes fortes.

La quantité d'eau qui s'écoule dans les différents axes de concentration que sont les fonds de vallées et des vallons dépend de la position de ceux-ci dans le bassin versant. Ainsi, sur la

base de la méthode de classification du réseau hydrographique de Strahler (1952), tous les drains de ruissellement et d'évacuation des eaux pluviales ont été hiérarchisés de l'amont vers l'aval. Sur cette base, les fonds de ces différents drains (vallées et vallons), mis en évidence par le modèle numérique de terrain, ont été extraits par digitalisation. Cela a permis de définir quatre zones d'aléa inondation dans la ville de Bondoukou.

2.2.4.2 Détermination des niveaux d'enjeux

Pour déterminer les niveaux d'enjeux dans la ville de Bondoukou, la carte d'occupation du sol a été réalisée pour mettre en évidence les enjeux que sont les populations et les biens. Les images satellitaires de LandSat 8 ont servi de base pour la réalisation de la carte d'occupation du sol. L'approche méthodologique appliquée est la classification supervisée avec le logiciel ArcGis 10.2.2 en utilisant la digitalisation des points ; ce qui a permis de créer quatre signatures spectrales. Quatre classes ont été définies : l'eau, la végétation, le bâti et le sol nu. Cette carte a servi à la connaissance des enjeux de la zone d'étude. L'accent est mis sur la densité et la qualité de l'habitat, des équipements et des infrastructures. L'analyse de la carte d'occupation du sol a permis d'établir deux niveaux d'enjeux qui sont : l'enjeu nul et important.

La figure 8 résume les étapes d'élaboration de la carte des zones à risque d'inondation.

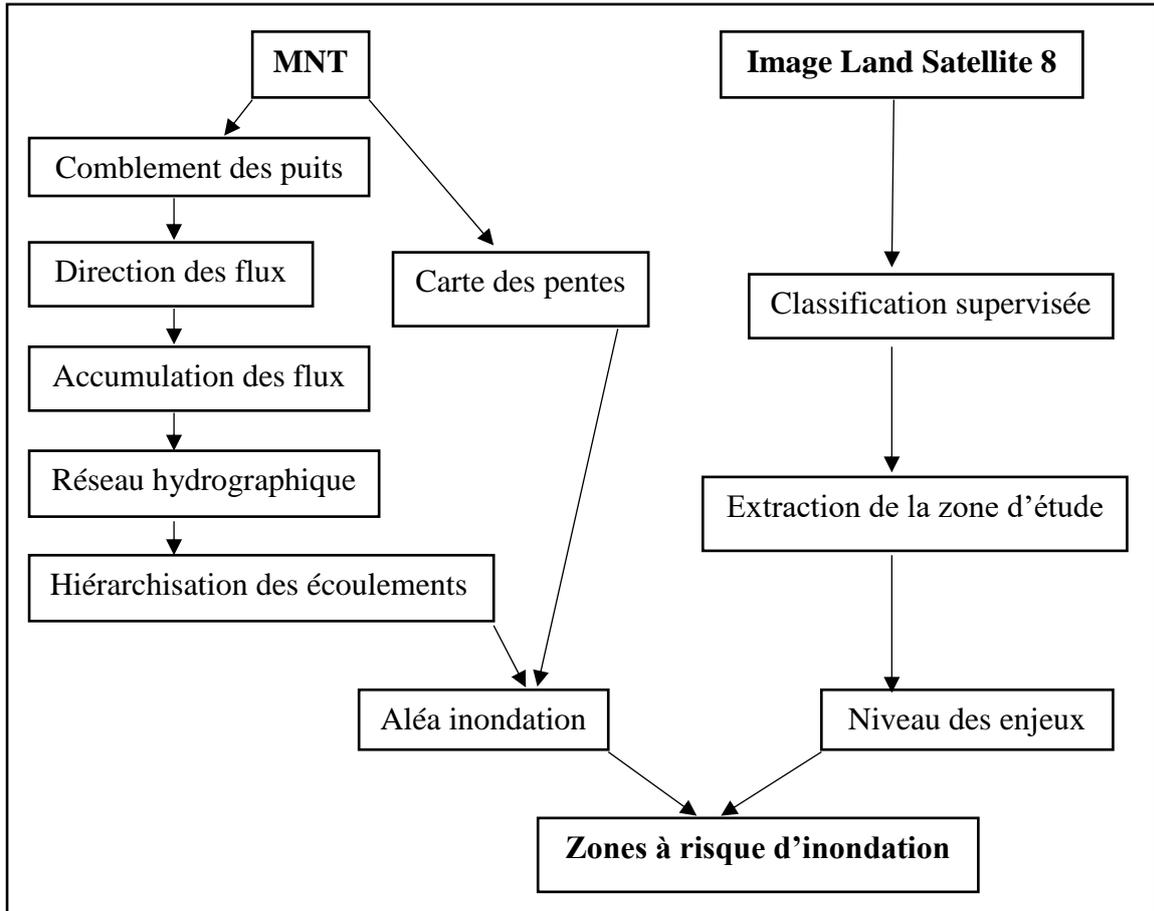


Figure 8: Schéma méthodologique de la réalisation de la carte des zones à risque d'inondation

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 Diagnostic du réseau de drainage des eaux pluviales

3.1.1.1 Etat du réseau de drainage

Les visites de terrain ont permis d'identifier les dysfonctionnements qui entravent le réseau de drainage des eaux pluviales de la ville de Bondoukou. La commune de Bondoukou à 31 kilomètres de voiries bitumés. Certaines de ces voies ne sont pas équipées de caniveaux. A l'opposé, il y a des voies non encore revêtues de bitumes mais disposant des caniveaux. Ces deux situations provoquent respectivement la dégradation du bitume et des ouvrages d'assainissement. Le dysfonctionnement du réseau est aussi favorisé par l'incivisme de la population. Les caniveaux sont très souvent utilisés pour évacuer les eaux usées et les boues de vidange. Les déchets solides y sont déversés également, ce qui explique l'obstruction de l'ouvrage hydraulique, situé en aval du marché (Figure 9b) (une quantité importante de déchets y est produite par jour, notamment les déchets plastiques). Hormis, l'incivisme de la population, certains ouvrages sont dans un état de délabrement avancé due à la voirie non revêtue de bitume qui favorise l'érosion et donc le transport de terre qui conduit à l'ensablement des ouvrages. La figure 10 présente le réseau de drainage des eaux pluviales dans son ensemble.



(a)

(b)

(c)

Figure 9: Ouvrages en état de délabrement. a) Dalot ensablé (quartier Hamdalaye), b) Dalot obstrué par les OM (quartier Donzosso), c) Dalot transportant les eaux usées (quartier Djiminisso).

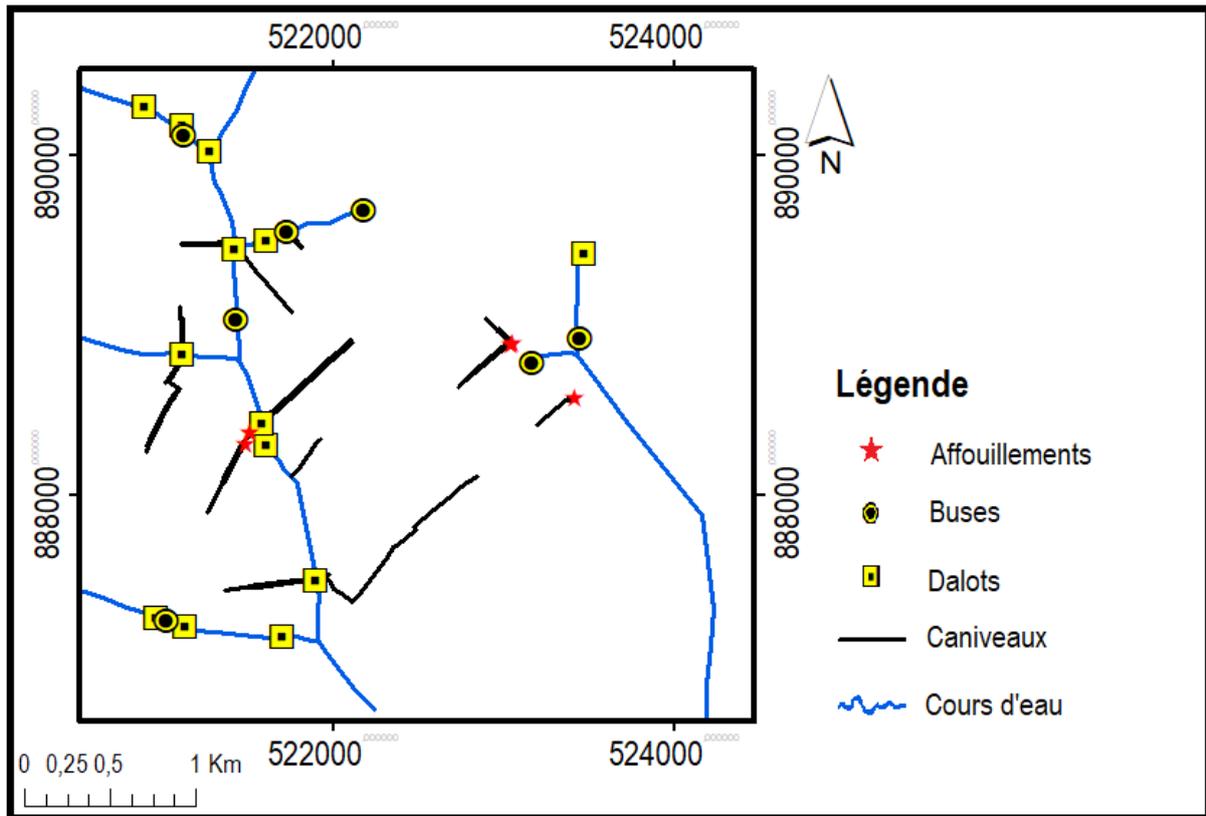


Figure 10: Réseau de drainage des eaux pluviales de la commune de Bondoukou

3.1.1.2 Caniveaux

Le diagnostic montre que près de la moitié des caniveaux n'est plus en bon état de fonctionnement, ils sont ensablés par le transport des terres, obstrués par les déchets solides (Tableaux VI). Les enfants y défèquent également dans certains quartiers tels que Donzosso, Donzosso ancien, Lycée résidentiel, etc.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VI : Description de l'état des caniveaux.

Canal	Section du canal		Longueur (m)	Localisation Coordonnées UTM		Observation
	Trapèze (b+m×h) ×h	Rectangle (l×h)		Latitude	Longitude	
C1	(0,5+0,3×0,7)×0,7		560	521648,433	887467,916	Ensablement, fèces, ordures ménagères
C2	(0,4+0,2×0,6)×0,6		359	521702,996	887484,657	Peu ensablé
C3	(0,9+0,2×1)×1		500	521975,810	887494,577	Rien à signaler
C4	(0,5+0,2×0,6)×0,6		90	521957,209	887516,898	Peu ensablé
C5		1,7×0,7	160	521906,986	888307,439	Fèces, eaux usées
C6		0,9×0,9	704	521797,861	888635,435	Eaux usées, déchets plastiques
C7		0,9×0,9	704	521813,361	888627,375	Eaux usées, déchets plastiques
C8	(0,5+0,2×0,6)×0,6		262	521079,864	888733,400	Rien à signaler
C9	(0,5+0,2×0,6)×0,6		189	521081,724	888760,682	Rien à signaler
C10	(0,5+0,2×0,6)×0,6		229	521120,786	888910,930	Rien à signaler
C11	(0,5+0,2×0,6)×0,6		269	521106,525	888941,111	Rien à signaler
C12	(0,5+0,3×0,7)×0,7		331	521265,253	889484,258	Déchets plastique et autres
C13	(0,5+0,3×0,7)×0,7		324	521279,514	889474,958	Déchets plastique et autres
C14	(0,5+0,2×0,6)×0,6		507	521528,767	889344,751	Eaux usées, déchets plastiques
C15		1,1×1	107	521773,059	889511,540	Rien à signaler
C16		0,8×0,8	108	521761,279	889504,719	Déchets plastiques
C17	(0,9+0,2×1)×1		261	523289,656	888494,688	Rien à signaler
C18	(0,4+0,2×0,6)×0,6		100	522997,621	888952,891	Rien à signaler
C19	(0,5+0,2×0,6)×0,6		205	522995,761	888936,151	Rien à signaler
C20	(0,5+0,1×0,5)×0,5		270	521425,842	888229,935	Rien à signaler
C21	(0,5+0,1×0,5)×0,5		600	521438,242	888221,874	Rien à signaler

3.1.1.3 Ouvrages hydrauliques de franchissement

On observe des débordements au niveau de la majorité des ouvrages hydrauliques de franchissement en saison pluvieuse. Ces débordements sont causés soit par l'ensablement, soit par embâcle dû aux déchets solides (tableau VII).

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VII : Etat des ouvrages hydrauliques de franchissement

OH	Section		Nombre de passage	Coordonnées		Observation	Enquête période de crûe
	Dalot ($l \times h$)	Buse (D)		Latitude	Longitude		
OH1	2,00 × 1,50		1	520966,237	887275,420	Rien à signaler	Rien à signaler
OH2		0,80	1	521029,972	887256,722	Embâcles	Débordements
OH3	1,00 × 0,90		1	521137,193	887221,908	Rien à signaler	Rien à signaler
OH4	0,80 × 0,80		1	521709,855	887164,453	Rien à signaler	Rien à signaler
OH5	3,00 × 1,90		2	521899,333	887497,468	Rien à signaler	Rien à signaler
OH6			2	521613,366	888291,741	Rien à signaler	Débordements
OH7	1,50 × 0,80		2	521586,603	888420,684	Ensablement	Rien à signaler
OH8	2,80 × 1,80		1	521119,833	888829,635	Rien à signaler	Rien à signaler
OH9		1,00	1	521434,609	889031,648	Embâcles	Débordements
OH10	3,00 × 0,90		2	521421,456	889453,607	Ensablement	Débordements
OH11	3,00 × 1,00		2	521282,494	890028,904	Ensablement	Rien à signaler
OH12		1,00	1	521128,637	890120,387	Embâcles	Débordements
OH13	2,00 × 1,50		1	521122,528	890178,757	Rien à signaler	Rien à signaler
OH14	3,00 × 2,00		1	520898,598	890288,342	Rien à signaler	Rien à signaler
OH15	1,00 × 0,80		1	521613,971	889502,210	Rien à signaler	Débordements
OH16		1,00	2	521734,544	889552,876	Ensablement, embâcles	Débordements
OH17		0,90	1	522177,989	889679,570	Rien à signaler	Débordements
OH18		0,80	1	524195,565	886597,527	Rien à signaler	Débordements
OH19		0,80	1	523164,104	888781,522	Embâcles	Débordements
OH20		1,00	1	523451,707	888919,744	Embâcles	Débordements
OH21	0,50 × 0,50		1	523476,195	889423,277	Rien à signaler	Débordements
OH22		1	1	524644,471	890833,008	Rien à signaler	Débordements

3.1.2 Zones à risque d'inondation

3.1.2.1 Aléa inondation

La carte d'aléa met en évidence les zones qui pourraient être submergées par les eaux de ruissellement en saison pluvieuse en l'occurrence les fonds de vallées et de vallons (figure 11).

Le niveau d'aléa varie en fonction des drains. Trois zones d'aléa ont été déterminées:

- les zones de faible aléa sont constituées par les fonds des têtes de vallées et de vallons, la quantité d'eau dans ces zones ne peut provoquer des inondations qu'en cas d'obstruction au passage de l'eau. Elles représentent 37% des zones inondables.
- les zones d'aléa moyen sont situées au-dessus des axes de concentration des écoulements, et représentent 24% des zones inondables.
- la zone d'aléa élevé est représentée par le fond de la vallée principale qui traverse la ville ainsi qu'une partie de la rivière Est, où se situent les axes de concentration d'écoulement d'ordres 2 et 3, elles reçoivent les eaux venant des affluents des rivières. On y trouve quelques habitats qui ne sont pas à l'abri des inondations. Cette zone représente 39% des zones inondables.

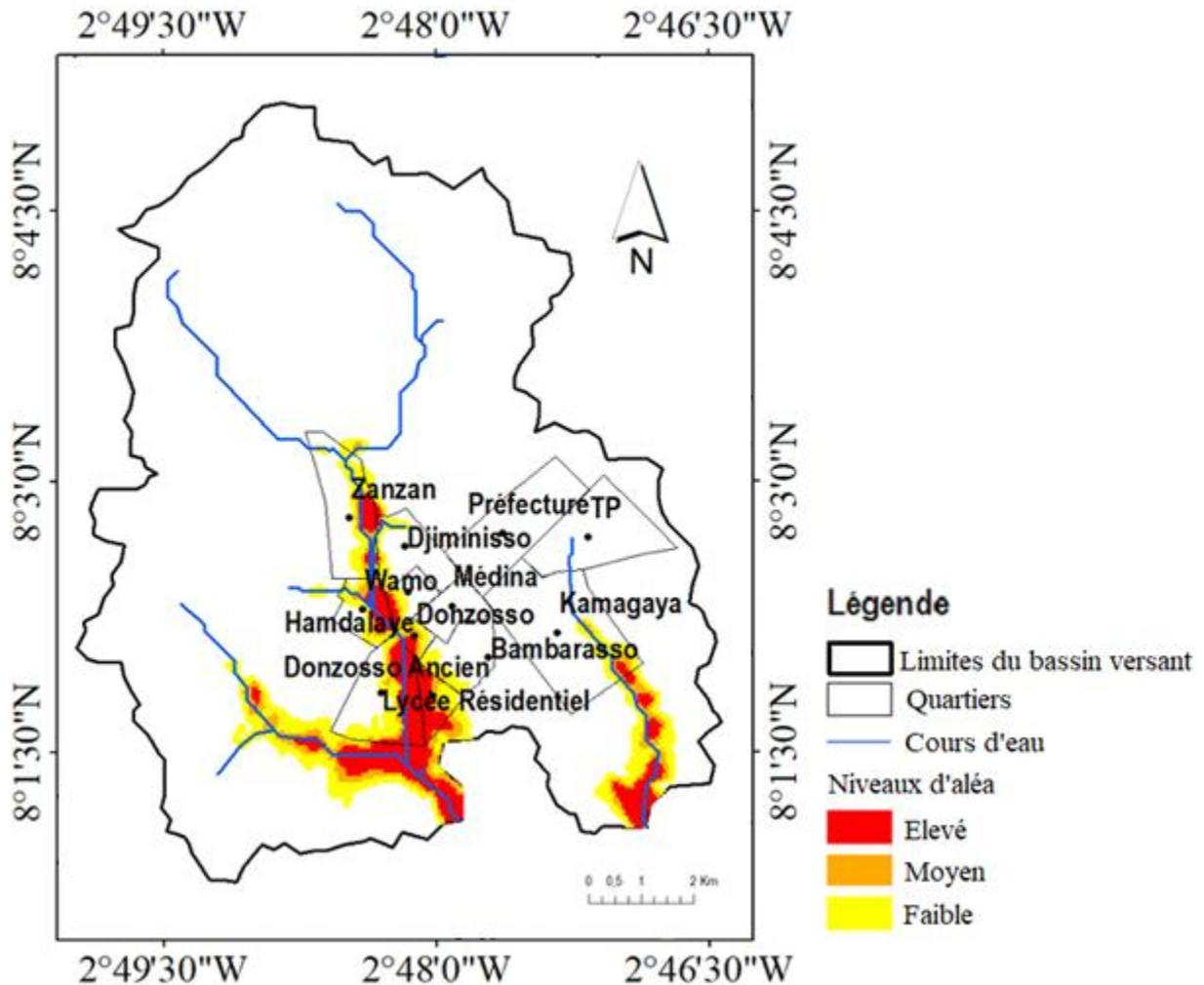


Figure 11: Carte de l'aléa inondation du bassin versant de la commune de Bondoukou

3.1.2.2 Niveaux d'enjeu

Les niveaux d'enjeu dans la ville de Bondoukou est assez homogènes sur toute l'étendue du territoire. On y rencontre rarement les bâtiments à deux étages. Deux niveaux d'enjeux ont donc été considérés : l'enjeu important, en ce qui concerne les zones d'habitats (le bâti sur la figure 12) qui occupent 33% de la superficie totale du bassin versant étudié. Le faible enjeu est quasiment nul pour le reste de la zone non urbanisée composée de l'eau, de la végétation et des sols nus.

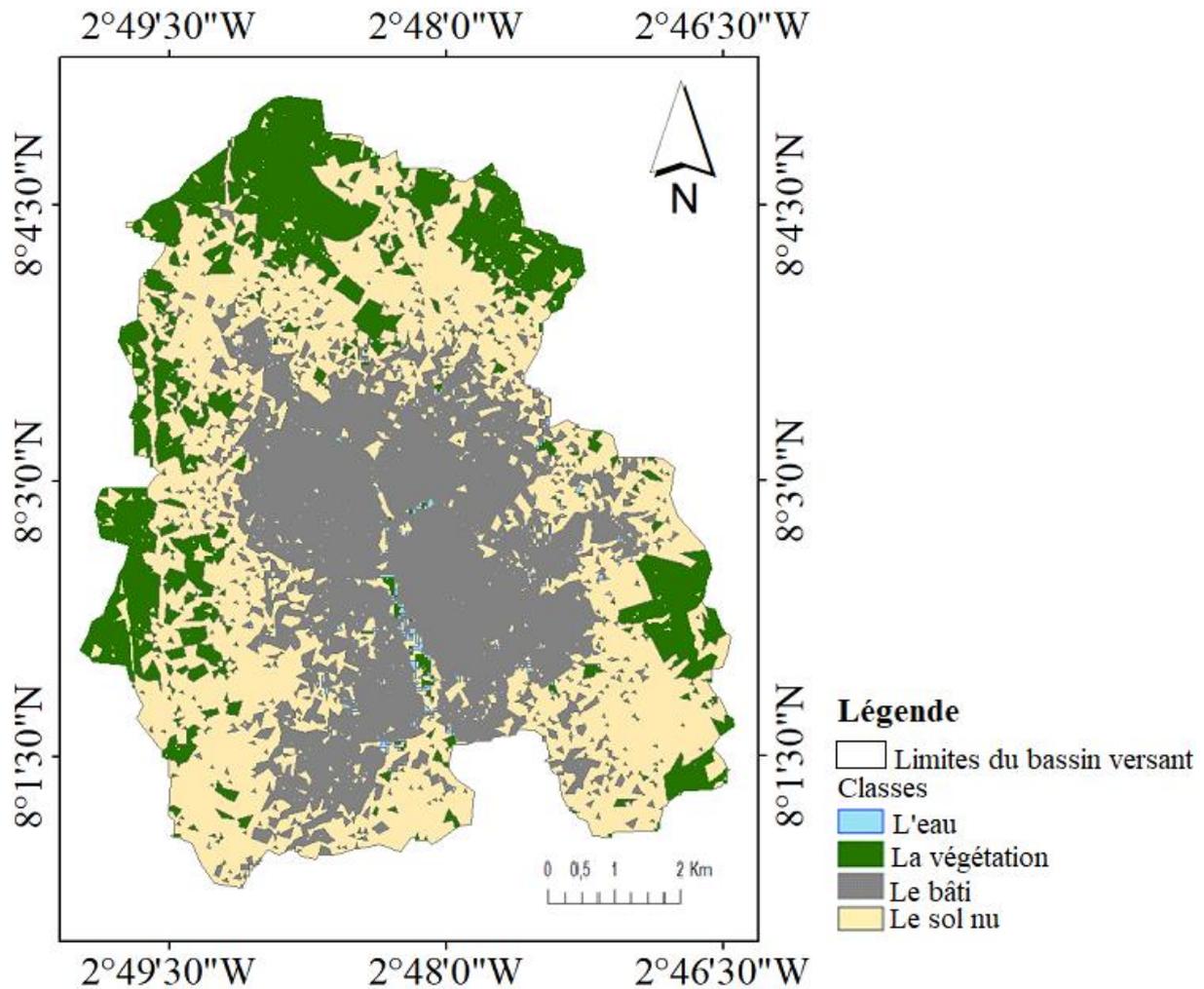


Figure 12: Carte d'occupation du sol du bassin versant de la commune de Bondoukou

3.1.2.3 Risque d'inondation

Les zones sous la menace des inondations représentent 10% de la superficie de la zone d'étude. Quatre classes de zones à risque d'inondations sont déterminées (figure 13) :

Les zones à très faible risque sont constituées d'habitats sur de faibles pentes situés aux abords des rivières. Elles représentent 40% des zones à risque d'inondation et couvrent une superficie de 133 ha.

Les zones à faible risque sont constituées d'habitats sur des pentes assez fortes au voisinage des rivières. Elles couvrent une superficie de 75 ha et représentent 22% des zones à risque d'inondation.

Les habitats situés sur les pentes moyennes, sur les fonds des têtes de vallées constituent le risque moyen d'inondation. La zone correspondante couvre une superficie de 76 ha soit 23% des zones à risque d'inondation.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Les zones à risque élevé concernent les axes d'écoulement, des rivières sur lesquels on trouve quelques habitats. On les rencontre particulièrement dans les quartiers Wamo et Lycée Résidentiel. Ces zones couvrent 47,23 ha, soit 14% des zones à risque d'inondation.

Le risque d'inondation est quasiment nul pour le reste de la zone qui est couverte par la végétation, le sol nu et une partie de la zone bâti.

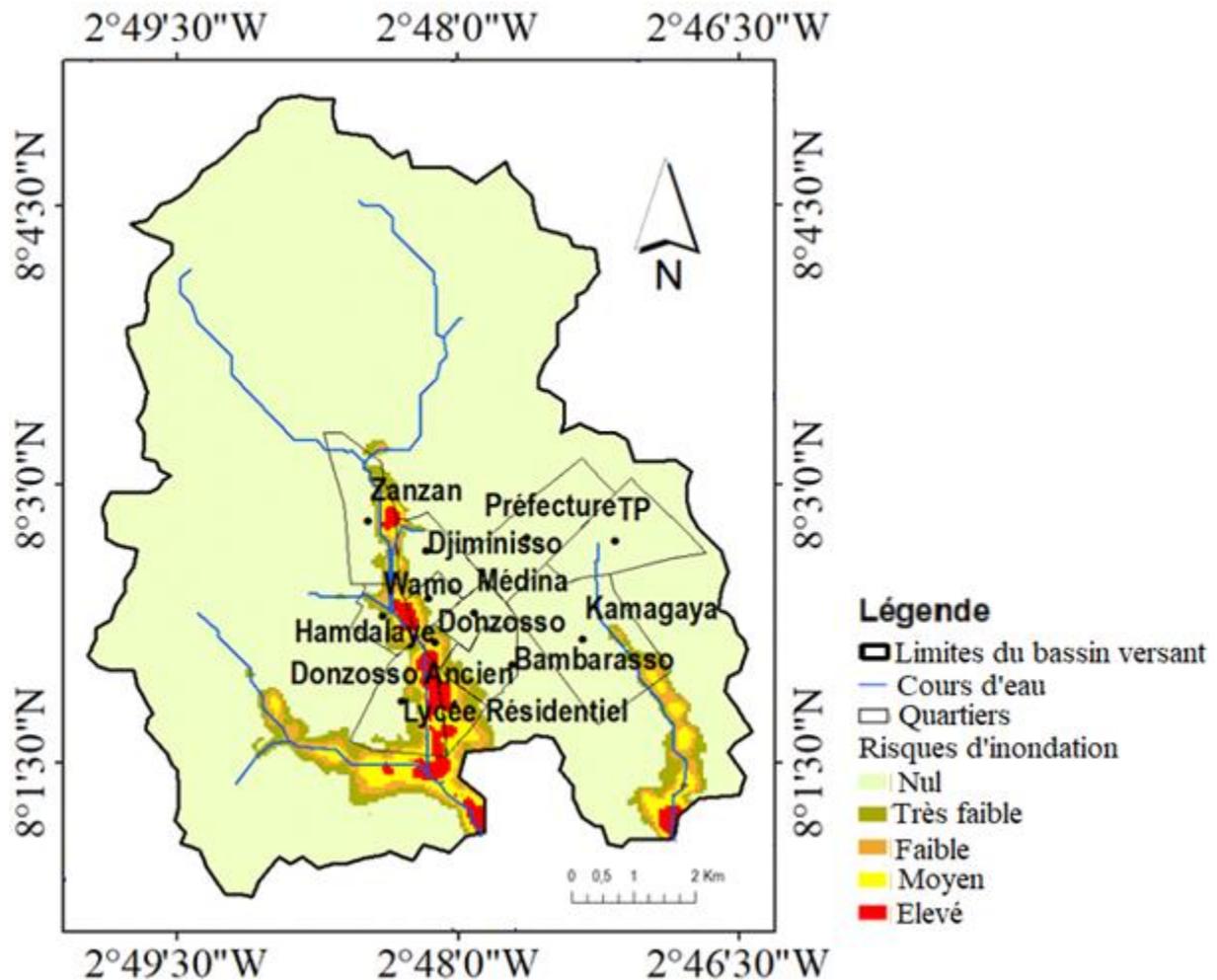


Figure 13: Zones à risque d'inondation du bassin versant de la commune de Bondoukou

3.1.3 Résultats de la modélisation hydraulique avec EPA-SWMM

3.1.3.1 Comparaison des débits calculés et simulés

Il existe une bonne corrélation entre les débits observés et les débits simulés (Figure 14). Les débits observés sont dans l'ensemble supérieurs aux débits simulés. Cependant, il existe des irrégularités au niveau des sous bassins versants 30, 55 à 56 et 75 à 76. Le coefficient de corrélation entre les débits observés et simulés est **96%** et le coefficient de Nash **81%**.

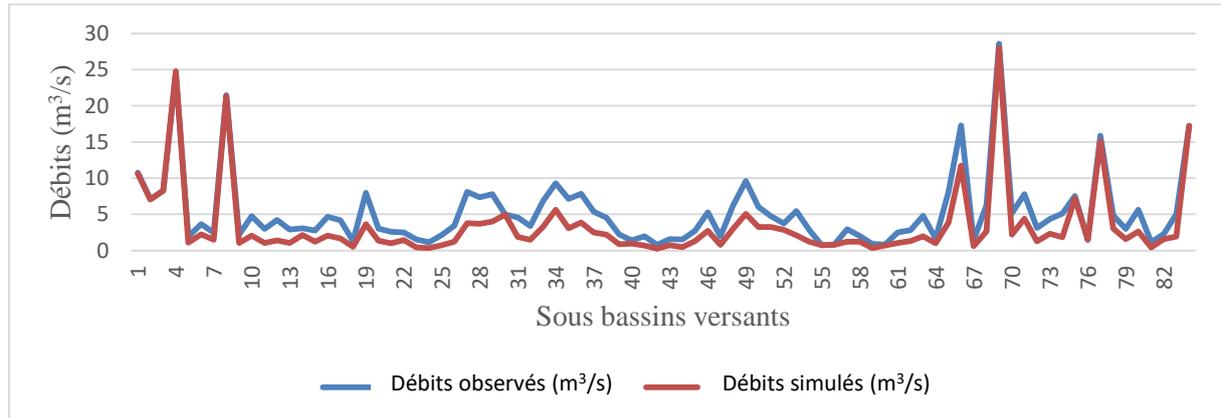


Figure 14: Comparaison des hydrogrammes des débits observés et simulés

Le coefficient de corrélation multiple R^2 permet de mesurer la précision de l'ajustement de la droite de régression. Plus R^2 est proche de 1, plus notre modèle se rapproche de la perfection. Les valeurs de R^2 supérieures à 0.5, montrent une bonne corrélation entre les valeurs obtenues par calcul et par simulation (Figures 15).

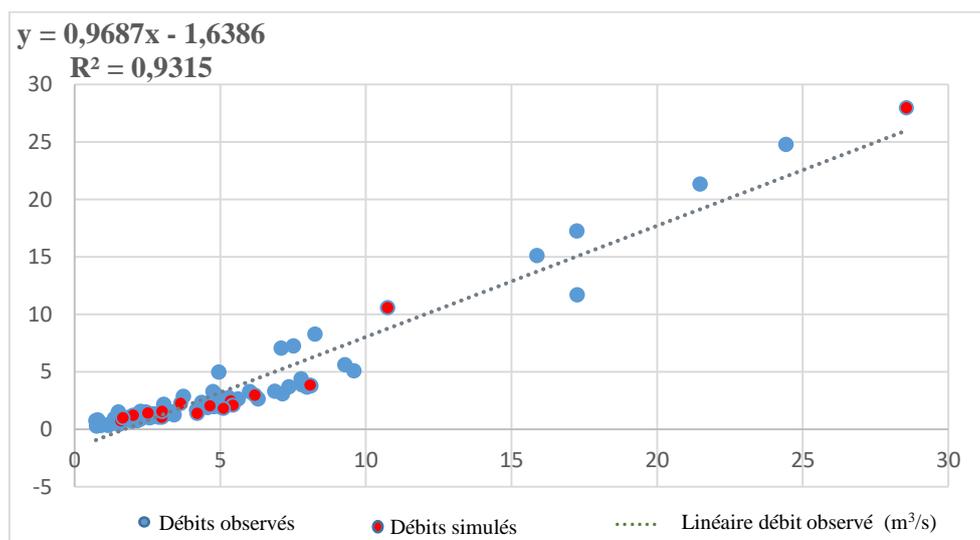


Figure 15: Corrélation entre débits observés et simulés

3.1.3.2 Analyse de la capacité de drainage des eaux de ruissèlement

La réponse hydraulique de première simulation du réseau met en évidence la surcharge de certains ouvrages du réseau (Tableau VIII). A ce stade, il est donc clair que ces ouvrages du réseau sont sous dimensionnés.

Tableau VIII : Ouvrages sous dimensionnés

Noms	Type d'ouvrage	Débit (m ³ /s)	Coordonnées		Sections
			Latitude	Longitude	
OH1	Dalot	24,507	520966,237	887275,420	2,00 × 1,50
OH2	Buse	25,757	521029,972	887256,722	0,80
OH4	Dalot	42,806	521709,815	887164,453	0,80 × 0,80
OH6	Dalot	108,141	521613,366	888291,741	Non déterminé
OH7	Dalot	106,831	521586,603	888426,684	1,50 × 0,80
OH8	Dalot	22,032	521119,833	888829,635	2,80 × 1,80
OH9	Buse	45,74	521434,609	889031,648	1,00
OH10	Dalot	42,569	521421,456	889453,607	(3,00 × 0,90) × 2
OH11	Dalot	31,665	521282,494	890028,904	(3,00 × 1,00) × 2
OH12	Buse	21,757	521128,637	890120,387	1,00
OH15	Dalot	10,764	521613,971	889502,201	1,00 × 0,80
OH16	Buse	19,42	521734,544	889552,876	1,00 × 2
OH18	Buse	34,056	524195,565	886597,527	0,8
OH19	Buse	5,024	5231164,104	888781,522	0,8
C4	Caniveau	3,255	521957,209	887516,898	(0,5+0,2×0,6)×0,6
C8	Caniveau	3,219	521079,864	888733,400	2,80 × 1,80
C12	Caniveau	1,583	521265,253	889484,258	(0,5+0,3×0,7)×0,7
C20	Caniveau	1,481	521425,842	888229,935	(0,5+0,1×0,5)×0,5

La figure 16 est une illustration des ouvrages sous dimensionnés caractérisés par un remplissage des noueds qui representent la section d'entrée des ouvrages; sur la figure 16 il s'agit du tronçon OH1-OH2.

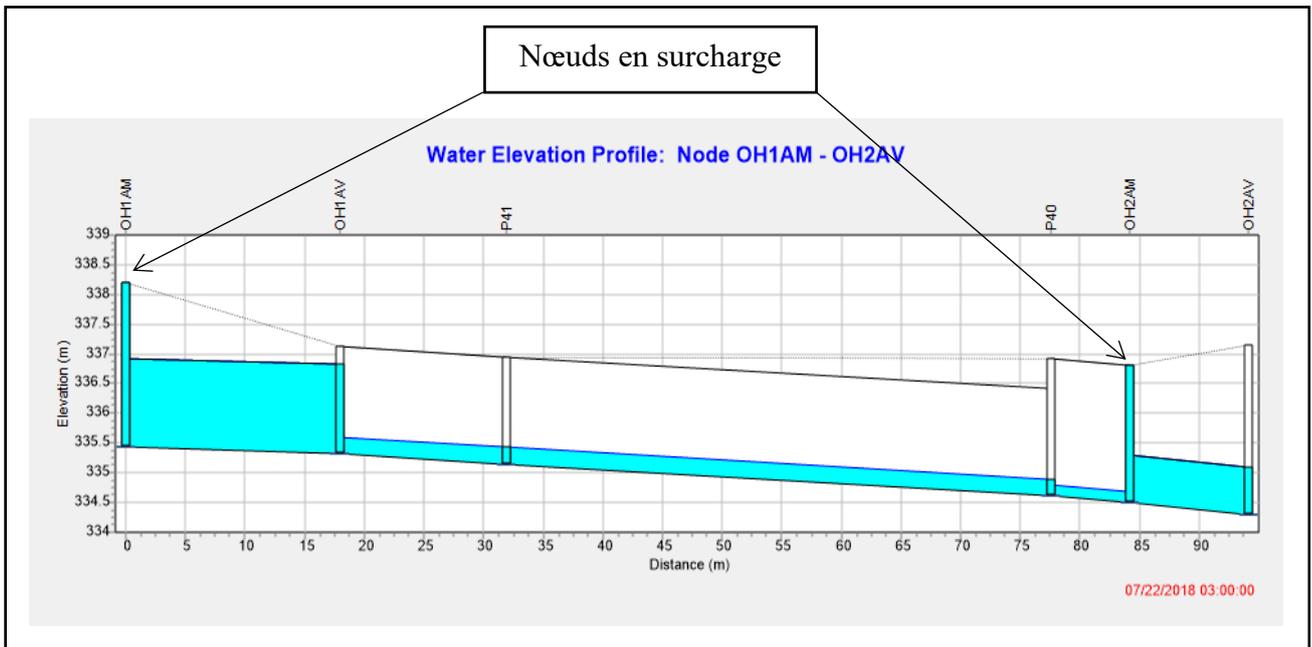


Figure 16: Ouvrages en surcharge

3.1.3.3 Redimensionnement des ouvrages

Les sections des ouvrages sous dimensionnés (présentés dans le tableau VIII) ont été redimensionnés (tableau IX). Ce qui permettra un drainage optimal des eaux. La simulation finale a permis de vérifier le bon fonctionnement des ouvrages avec des dimensions actualisées (tableau IX).

Tableau IX : Dimensions normalisées des ouvrages

Noms	Type d'ouvrage	Débit (m ³ /s)	Coordonnées		Sections actualisées
			Latitude	Longitude	
OH1	Dalot	24,507	520966,237	887275,420	3,50 × 2,00
OH2	Dalot	25,757	521029,972	887256,722	3,50 × 2,00
OH4	Dalot	42,806	521709,815	887164,453	(3,00 × 1,90) × 2
OH6	Dalot	108,141	521613,366	888291,741	(4,00 × 3,50) × 2
OH7	Dalot	106,831	521586,603	888426,684	(4,00 × 3,50) × 2
OH8	Dalot	22,032	521119,833	888829,635	3,00 × 2,00
OH9	Dalot	45,74	521434,609	889031,648	(3,00 × 2,00) × 2
OH10	Dalot	42,569	521421,456	889453,607	(3,00 × 2,00) × 2
OH11	Dalot	31,665	521282,494	890028,904	(3,00 × 1,90) × 2
OH12	Buse	21,757	521128,637	890120,387	3,00 × 2,00
OH15	Dalot	10,764	521613,971	889502,201	2,00 × 1,50
OH16	Buse	19,42	521734,544	889552,876	(2,00 × 1,50) × 2
OH18	Buse	34,056	524195,565	886597,527	4,00 × 2,90
OH19	Buse	5,024	5231164,104	888781,522	1,50 × 1,00
C4	Caniveau	3,255	521957,209	887516,898	(0,9+0,2×1)×1
C8	Caniveau	3,219	521079,864	888733,400	(0,9+0,2×1)×1
C12	Caniveau	1,583	521265,253	889484,258	(0,5+0,3×0,7)×0,7
C20	Caniveau	1,481	521425,842	888229,935	(0,5+0,3×0,7)×0,7

La figure 17 ci-après montre les mêmes ouvrages de la figure 16 (tronçon OH1-OH2) avec les sections redimensionnées.

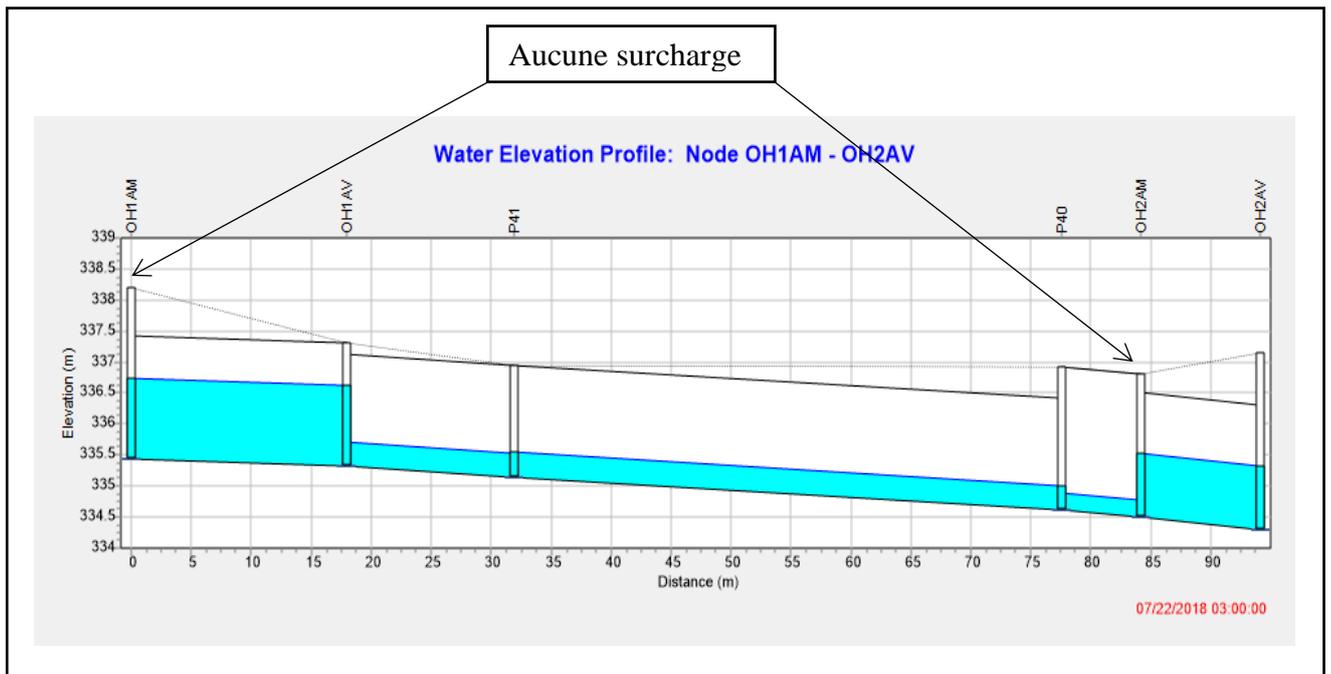


Figure 17: Niveau d'eau dans les ouvrages après redimensionnement

3.2 DISCUSSION

Les résultats du diagnostic montrent que le réseau d'assainissement de la ville de Bondoukou est confronté à des problèmes d'obstruction et d'ensablement des ouvrages hydrauliques. Ces résultats se justifient respectivement par la mauvaise gestion des déchets solides et l'érosion des sols, notamment des voies non bitumées. Pour ce qui est de la mauvaise gestion des déchets solides, les responsabilités sont partagées entre une population peu instruite en matière d'assainissement, et les collectivités territoriales qui dénoncent une insuffisance du budget qui leur est alloué. Ces résultats corroborent avec ceux de Brissy *et al.* (2017) qui a montré qu'en raison de la mauvaise gestion des déchets solides et du manque de civisme de la population, environ 27% et 20% des ménages de Koko et de Sokoura à Bouaké évacuent respectivement les matières déchues dans les caniveaux. Dans le même contexte, Brou *et al.* (2018) souligne qu'à Bondoukou, les populations se plaignent de l'insuffisance des services de ramassage d'ordures. Les quartiers visités présentent une situation critique de manque d'hygiène et d'assainissement (tas d'ordures ménagères non enlevés, etc.). Selon le même auteur, le Directeur Technique de la mairie a résumé le problème en ces termes: «*Nous ne pouvons pas obliger la population à ne pas jeter les ordures ménagères dans les endroits de son choix, parce que nous n'avons pas, pour le moment, d'alternatives à leur proposer* ». Ce qui met en lumière les failles des services de ramassage des déchets et augmente donc la probabilité de trouver ces ordures partout et dans les caniveaux en particulier. Des résultats similaires sont mentionnés dans des études menées par Nezeys (2013), Sadia (2014), Kaba (2015) et Verret *et al.* (2016) qui ont montré que l'insuffisance de certains canaux à évacuer les eaux pourrait être due à l'ensablement, à l'augmentation des aires de drainages et l'état vieillissant des canalisations non adaptés aux conditions locales.

La modélisation hydraulique a permis de connaître le niveau d'eau dans les canaux. Les simulations ont été réalisées pour une pluie de 170,3 mm d'une période de retour de 10 ans. Le choix de la période de retour est fonction de la zone étudiée (Annexe 8) (Harinaivo, 2013). Le bassin versant étudié est une zone vulnérable (centre-ville, zone commerciale). Les débits obtenus suite à la modélisation avec le logiciel EPASWMM, ont été comparés aux débits calculés par la méthode de Caquot. Cette approche méthodologique est très souvent utilisée pour évaluer les réseaux d'assainissement. Elle a été utilisée par Kouassi (2017) en Côte d'Ivoire et par Fandi & Benzza (2017) en Algérie. Dans la présente étude, après la première simulation, on a observé des surcharges au niveau de 18 ouvrages sur 43, soit environ 42% du réseau de drainage. Ce qui se traduit par un sous dimensionnement de ces ouvrages. Des

nouvelles dimensions ont été proposées pour un réseau actualisé en variant le diamètre de ces ouvrages, ce qui permet d'observer une évacuation optimale des eaux lors de la simulation finale. Cette approche a également été utilisée par Fandi & Benzza (2017) qui ont procédé à plusieurs simulations en changeant certains paramètres comme la pente et le diamètre des collecteurs. Après comparaison des débits calculés avec les méthodes de Caquot et les débits simulés avec le logiciel EPASWMM, il ressort que les valeurs de débits observés sont à quelques exceptions près supérieures aux débits simulés, toutefois les deux débits sont dans l'ensemble très proche avec un coefficient de corrélation de 96%. Ces résultats concordent avec ceux de Kouassi (2017), qui après comparaison des deux débits a conclu que les valeurs observées sont pour la plupart supérieures aux valeurs simulés avec le logiciel EPASWMM. Le coefficient de Nash calculé pour la simulation finale est 81%; Ce qui permet de conclure que le modèle est très satisfaisant. Selon les études de Nash & Sutcliffe (1970), Gupta & al. (1999), Laganier & Scrawell (2004), Varado *et al.* (2006); les modèles bien élaborés permettent une meilleure gestion du réseau d'assainissement.

La méthode de détermination des zones à risque d'inondation est basée sur l'utilisation du modèle numérique de terrain (MNT) et l'image satellitaire, traités avec un SIG en l'occurrence le logiciel ArcGis 10.2.2 Elle a permis de déterminer les zones à risque d'inondation qui résultent de la combinaison spatiale entre les zones d'aléa inondation (axes de concentration et de ruissellement des eaux de surface) et les niveaux d'enjeux répartis sur le bassin-versant de la ville de Bondoukou. Cette approche est identique à celle utilisée par Kangah & Alla (2015), Bani & Younkeu (2016), respectivement dans les villes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) et Ouagadougou (Burkina Faso). Cependant, elle est différente des méthodes de détermination des zones inondables par débordement des cours d'eau (plaines fluviales ou alluviales, etc...) basées sur la modélisation et faisant appel aux données hydrologiques (Ballais *et al.*, 2011).

Le risque d'inondation à Bondoukou est faible, les zones à risque sont constituées d'habitats situés dans les vallées, aux fonds desquelles on trouve la rivière Wamo et ses affluents. Les zones à risque d'inondations représentent 10% de la superficie totale de la ville. L'occupation anarchique de l'espace notamment des axes d'écoulement de la rivière Wamo associée au problème de gestion des déchets solides, sont les causes des inondations à Bondoukou. La même observation a été évoquée par Bani & Younkeu (2016) qui indiquent que la fréquence ces inondations, ces dernières années, est favorisée d'une part par l'occupation anarchique des espaces et des zones non propices à l'habitation, mais également d'autre part par une urbanisation qui n'a pas toujours pris en compte la configuration géomorphologique de

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

l'espace urbain. Les études de Fenicia *et al.* (2008) ; Gupta *et al.* (2009), montrent que la présence de ces obstacles dans le réseau confère au canal un rôle de stockage de l'eau qui finit par déborder et créer des inondations. De même les études de Mathevet (2005) ; Moriasi *et al.* (2007) ; Schaepli & Gupta (2007), révèlent que les inondations comme le cas de la ville de Bondoukou (qui est confrontée au problème de gestion des déchets solides), seraient provoquées par le dépôt des ordures ménagères ou de sable dans le réseau d'assainissement. Pourtant à Bondoukou, bien que le problème des déchets solides accroît le risque d'inondation, le facteur principal à ce jour est l'occupation anarchique de l'espace notamment des zones à risque. Le risque d'inondation est plus élevé dans la ville d'Abidjan où la zone inondable représente 25% de la superficie de la ville. Les facteurs à la base des inondations sont sensiblement les mêmes dans ces deux villes ; à savoir, l'urbanisation galopante et/ou l'occupation des zones à risques d'inondation par la population, ainsi que le mauvais état des ouvrages d'assainissement qui empêche l'évacuation des eaux pluviales. Cela a également été montré par Kouadio *et al.* (2018) qui indique que les catastrophes liées à l'inondation sont amputable à la perte progressive de mémoire de l'évènement (inondation catastrophique de 1989 à Agboville) et de vigilance pour la gestion et l'entretien des ouvrages de protection, développement de l'urbanisme en zone inondable. Alla (2013) montre également que dans un contexte où le développement urbain est loin d'être maîtrisé, tant du point de vue de la croissance spatiale que des infrastructures de gestion, l'occupation sans distinction de tous les sites topographiques soumet une partie de la population à des inondations. Après traitement des données, il ressort que l'occupation des zones à risque est la cause principale des inondations à Bondoukou. A cela s'ajoute la mauvaise gestion des ouvrages d'assainissement.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La population de Bondoukou subit chaque année quelques inondations liées aux ruissèlements des eaux pluviales. Dans cette étude il a été question de connaître les causes des inondations et les risques auxquels les populations sont exposées. Le diagnostic du réseau de drainage des eaux pluviales a montré que près de la moitié des ouvrages d'assainissement ne fonctionnent pas de façon optimale. La simulation hydraulique avec le logiciel EPA SWMM a permis d'identifier les ouvrages sous dimensionnés et en surcharge lors des fortes pluies. Ces ouvrages en mauvais état sont au nombre de 18 et représentent 42% du réseau de drainage. Des sections normalisées ont été proposées pour éviter les débordements du réseau de drainage en saison pluvieuse.

L'exploitation du modèle numérique de terrain et du mode d'occupation du sol a permis d'identifier les zones à risque d'inondation. Les zones sous la menace d'éventuelles inondations représentent 10% du secteur d'étude. Les quartiers Lycée résidentiel, Wamo, Donzosso et Zanzan sont les plus menacées.

Ce travail sur l'état du réseau de drainage des eaux pluviales de la ville de Bondoukou donne des résultats importants. Cependant, compte tenu du mauvais état du réseau, il serait intéressant d'approfondir les recherches sur chacune des composantes liées à la gestion des eaux pluviales, il s'agit entre autre de :

- faire une étude des filières de gestion des eaux usées et des déchets solides, pour éviter que ces déchets ne se retrouvent dans les caniveaux ;
- veiller au contrôle et à la suivi de la voirie et des réseaux divers pour assurer la durée de vie des ouvrages d'assainissement ;
- réaménager les berges et le lit des rivières pour une évacuation plus rapide des eaux hors de la ville.

REFERENCES

REFERENCES

- Ahoussi K.E., Youan T.M., Loko S., Adja M.G., Lasm T. & Jourda J.P. (2012). Étude hydrogéochimique des eaux des aquifères de fractures du socle Paléoproterozoïque du Nord-Est de la Côte d'Ivoire : Cas de la région de Bondoukou. *Afrique SCIENCE*, 08(3) : 51- 68.
- Alla D.A. (2013). Les risques naturels dans l'agglomération d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat d'Etat, sciences humaines, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 385 p.
- Anas S. & Saad B. (2012). Optimisation des coûts de la réhabilitation hydraulique d'un réseau de drainage urbain. *Journal of Water Science*, 25(2) : 122-137.
- Autixier L. (2012). Gestion des eaux pluviales et mise en place de cellules de bio-rétention : étude de cas pour un secteur urbain du Québec. Mémoire de Maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Université de Montréal, Canada, 136 p.
- Ballais J.L., Chave S. Masson M., Dupont N., Masson E. & Penven M.J. (2011). la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables. Géographie physique (www.physio-geo.fr), Collection "Ouvrages", 168 p.
- Bani S.S. & Younkeu S. (2016). Risques d'inondation dans la ville de Ouagadougou : Cartographie des zones à risques et mesures de prevention. *Journal Ouest-Africain des Sciences de Gestion*, 1(1) : 1-18.
- Boudjelal S., Fourar A., Hadad D. & Merrouchi F. (2002). Modelisation en 2d des écoulements brusquement instationnaires dans un canal prismatique à surface libre. *Larhyss Journal*, 22 : 7-13.
- Bouhant C. (2012). Diagnostic du Réseau d'Assainissement de La ville Ahmedrachdi, Wilaya de Milavia SWMM. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du titre d'Ingénieur d'État en Hydraulique, Ecole nationale polytechnique, Alger, Algérie, 135 p.
- Bourrier R. (1997). Les réseaux d'assainissement, « calculs, Applications, Perspectives »: Technique et Documentation. 4ème édition, Paris, France, 811 p.
- Braud I., Jankowfsky S. & Branger F. (2011). Délimitation d'un bassin versant périurbain et identification de son réseau de drainage. *Fiche technique OTHU N°22*, Lyon (France) : 21-24.
- Brissy O.A., Kramo Y.V., Kouassi K. & Assi-Kaudjhis J.P. (2017). Les facteurs de risques écologiques et socio-économiques associés au paludisme dans les quartiers de la ville de Bouake. *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, 1 : 122–136.

REFERENCES

- Brou A.N., Koumassi N.S., Kadjo A.M., Atchori M.J. & Ibo G.J. (2018). Perceptions sociales de l'hygiène et de L'assainissement en milieu urbain et rural ivoirien. *European Scientific Journal*, 14(2) : 316-336.
- Sadia C. (2014). Risque climatique et réactivité des populations urbaines vulnérabilisées face à la montée des eaux de mer à Gonzagueville, Abidjan (Côte d'Ivoire). *VertigO, La revue électronique en sciences de l'environnement*, 14(1) :1-16.
- Chocat B. (1997). Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Edition: Technique & Documentation, Lavoisier, Paris, France, 1124p.
- EM-DAT (The International Disaster Database). (2017). *Database, EM-DAT The International Disaster Database - extrait du 11/09/2017*, from <http://www.emdat.be/database>
- EM-DAT (The International Disaster Database). (2016). *Database, EM-DAT The International Disaster Database - extrait du 25/11/2016*. Retrieved octobre 2015, from <http://www.emdat.be/database>.
- Fandi H.W. & Benazza F.Z. (2017). Simulation d'un réseau d'eau pluviale à l'aide du logiciel SWMM (storm water mangement model). Mémoire de Master, Département d'Hydraulique, Université ABOU BEKR BELKAID, Alger, Algérie, 132 p.
- Fenicia F., McDonnell J.J. & Savenije H.H.G. (2008). Learning from model improvement : On the contribution of complementary data to process understanding. *Water Resources Research*, 44(6) : 1- 47.
- Gemenne F., Blocher J., De Longueville F., Vigil Diaz Telenti S., Zickgraf C., Gharbaoui D. & Ozer P. (2017). Changement climatique, catastrophes naturelles et déplacements de populations en Afrique de l'Ouest. *Revue Internationale de Géologie, de Géographie et Ecologie*, 41(3) :1-22.
- Gemenne F. & Brücker P. (2015). From the guiding principles on internal displacement to the Nansen initiative: what the governance of environmental migration can learn from the governance of internal displacement. *International Journal of Refugee Law*, 27(2) : 245-263.
- Gironás J., Roesner L.A. & Davis J. (2009). Storm Water Management Model Applications Manual. Department of Civil and Environmental Engineering. Colorado State University, United States, 180 p.
- Gogbé T. (2011). Analyse de l'évolution de la ville de Bondoukou entre 1964 et 2008 : étude des impacts sur l'environnement urbain. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 1(13) : 60-72.

REFERENCES

- Guillaumet J-L. & Adjanohoun E. (1971). La végétation de la Côte d'Ivoire. In : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM*, 50, Paris, (France) : 161-263.
- Gupta H.V., Sorooshian S. & Yapo P.O. (1999). Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration. *Journal of Hydrologic Engineering* 4(2) : 135-143.
- Harinaivo A.A. (2013). Assainissement pluvial. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement. Ouagadougou, Burkina Faso, 96 p.
- Hauhout C. (2008). Analyse du risque pluvial dans les quartiers précaires d'Abidjan. Etude de cas à Attécoubé. *Revue Internationale de Géologie de Géographie et d'Ecologie Tropicales*, 32 : 75 - 82
- Kaba I. (2015). Qualité de vie et sante dans un Quartier a habitat indigne de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : rôle de l'assainissement dans ce débat écologique. *European Scientific Journal*, 11(29) : 357-368.
- Kälin W. & Shrepfer N. (2012). Protecting people crossing borders in the context of climate change : normative gaps and possible approaches. *UNHCR Legal and Protection Policy Research Series*, PPLA/2012/01, 80 p.
- Kangah A. & Allah D. A. (2015). Détermination des zones à risque d'inondation à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et du système d'information géographique (SIG) : Cas du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (commune de Cocody, Côte d'Ivoire). *Revue Internationale de Géologie de Géographie et d'Ecologie Tropicales*, 39(2) : 297-308.
- Kouadio Z.A., Soro G.E., Kouakou K.E., Goula Bi T.A. & Savane I. (2018). Inondations fréquentes à Agboville (Côte d'Ivoire): Quelles origines ? *Larhyss Journal*, 33(18) : 189-207
- Kouassi A.A.M. (2017). Modélisation du fonctionnement hydraulique du réseau d'assainissement d'eau pluviale de la ville de Gagnoa (Centre Ouest-Côte d'Ivoire). Mémoire de Master, en Génie de l'Eau et de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 68 p.
- Laganier R. & Scrawell H. J. (2004). Risque d'inondation et aménagement durable des territoires. Presses Universitaires du Septentrion, Paris (France), 226 p.
- Le Barbe L. (1982). Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou. *Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie*. 19 (3) : 24-135.
- Mathevet T. (2005). Quels modèles pluie-débit globaux au pas de temps horaire ? Développements empiriques et comparaison de modèles sur un large échantillon de

REFERENCES

- bassins versants. Thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, Paris (France), 205 p.
- Morel R. (2004). Le Climat et l'implantation des hommes : le cas de la Côte d'Ivoire. *Annales de l'Association de Climatologie* 1: 117-132.
- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van L.M.W., Binger R.L., Harmel R.D. & Veith T. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3) : 885-900.
- Nash J. & Sutcliffe J. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles, *Journal of hydrology*, 10(3) : 282-290.
- Nezeys. A. (2013). Un zonage pluvial pour Paris : réintégrer les eaux pluviales dans le grand cycle de l'eau. *Novatech* : 1-10.
- OCHA (Office Coordination Humanitarian Affairs). (2014). Côte d'Ivoire : Zones à risques d'inondations et de choléra. Disponible à l'adresse : [www.unocha.org /Côte d'Ivoire](http://www.unocha.org/Côte%20d'Ivoire).
- Paquier A. (2002). Modélisation des écoulements en rivière en crue: pour une utilisation adaptée des équations de Saint Venant. Document de synthèse en vue de l'obtention d'une habilitation à diriger des recherches, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon France, 44 p.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement). (2013). Cartographie des zones à risque d'inondation, d'érosion côtière et de mouvement de terrain dans la ville d'Abidjan. Abidjan, Côte d'Ivoire, 34 p.
- RGPH (Recensement Général de la Population et de l'Habitat). (2014). Rapport d'exécution et présentation des principaux résultats. 49 p.
- Rossman L. (2015). Environmental Protection Agency, Storm Water Management Model User's Manual, Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division. Version 5.1, United States, 295 p.
- Schaefli B. & Gupta H.V. (2007). Do Nash values have value? *Hydrological Processes : An International Journal*, 21(15) : 2075-2080.
- Sighomnou D. (1983). Etude du ruissellement en milieu urbain tropical humide (Abidjan - Yopougon). Rapport d'élève en année de spécialisation, Office de la recherche scientifique et technique outre – mer, Centre d'Adiopodoumé. Abidjan, Côte d'Ivoire, 54 p.
- Souaga A.R. (2018). En Côte d'Ivoire, les inondations meurtrières, la corruption et "l'anarchie destructrice". *Pôle Afrique*, Abidjan, Côte d'Ivoire : 1-3.

REFERENCES

- Strahler A.N. (1952). Quantitative analysis of watershed geomorphology. : *Transactions of the American Geophysical Union*, 8(6) : 913-920.
- UNISDR (United Nation Office for Disaster Risk Reduction). (2015). Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes (2015-2030.). Disponible à l'adresse : <http://www.unisdr.org>
- Valiron F. (1989). Gestion des eaux « alimentation en eau, assainissement ». Presse de l'Ecole National des Pont et Chaussées. Ed. Paris, France, 505 p.
- Varado N., Braud I., Galle S., Le Lay M., Seguis L., Kamagate, B. & Depraetere C. (2006). Multi-criteria assessment of the Representative Elementary Watershed approach on the Donga catchment (Benin) using a downward approach of model complexity, *Hydrology and Earth System Sciences*, 442 p.
- Verret A-L., Telcy D., Bras A. & Evens E. (2016). De la citoyenneté active vers le développement de la ville durable : le cas de Canaan. (Haïti). *Haïti Perspectives*, 5(3) : 25-30.
- Yahiaoui A. (2012). Inondations torrentielles_cartographie des zones vulnérables en Algérie du nord (cas de l'oued Mekrra, Wilaya de Sidi Bel Abbés), Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique. Alger, Algérie, 224 p.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : paramètres équivalents des bassins versants

Période de retour $T = \frac{1}{F}$	Paramètres		Formules superficielles (m^3/s)			
	$i = a \cdot t^b$		$Q = k \cdot I^u \cdot C^v \cdot A^w \cdot m$			
	a(F)	b(F)	K	u	v	w
REGION I						
10 ans	460	-0,37	1,58	0,17	1,12	0,85
5 ans	418	-0,37	1,58	0,17	1,12	0,85
2 ans	365	-0,37	1,58	0,17	1,12	0,85
1 an	310	-0,37	1,58	0,17	1,12	0,85
REGION II						
10 ans	570	-0,48	2,24	0,23	1,16	0,82
5 ans	518	-0,48	2,01	0,23	1,16	0,82
2 ans	460	-0,48	1,75	0,23	1,16	0,82
1 an	375	-0,48	1,38	0,23	1,16	0,82
REGION III						
10 ans	532	0,46	2,03	0,22	1,15	0,83
5 ans	472	0,46	1,77	0,22	1,15	0,83
2 ans	397	0,46	1,45	0,22	1,15	0,83
1 an	330	0,46	1,17	0,22	1,15	0,83

i = intensité de la pluie (mm/h)

t = durée de l'averse (mn)

Q = débit en (m^3s^{-1})

I = pente en (m/m)

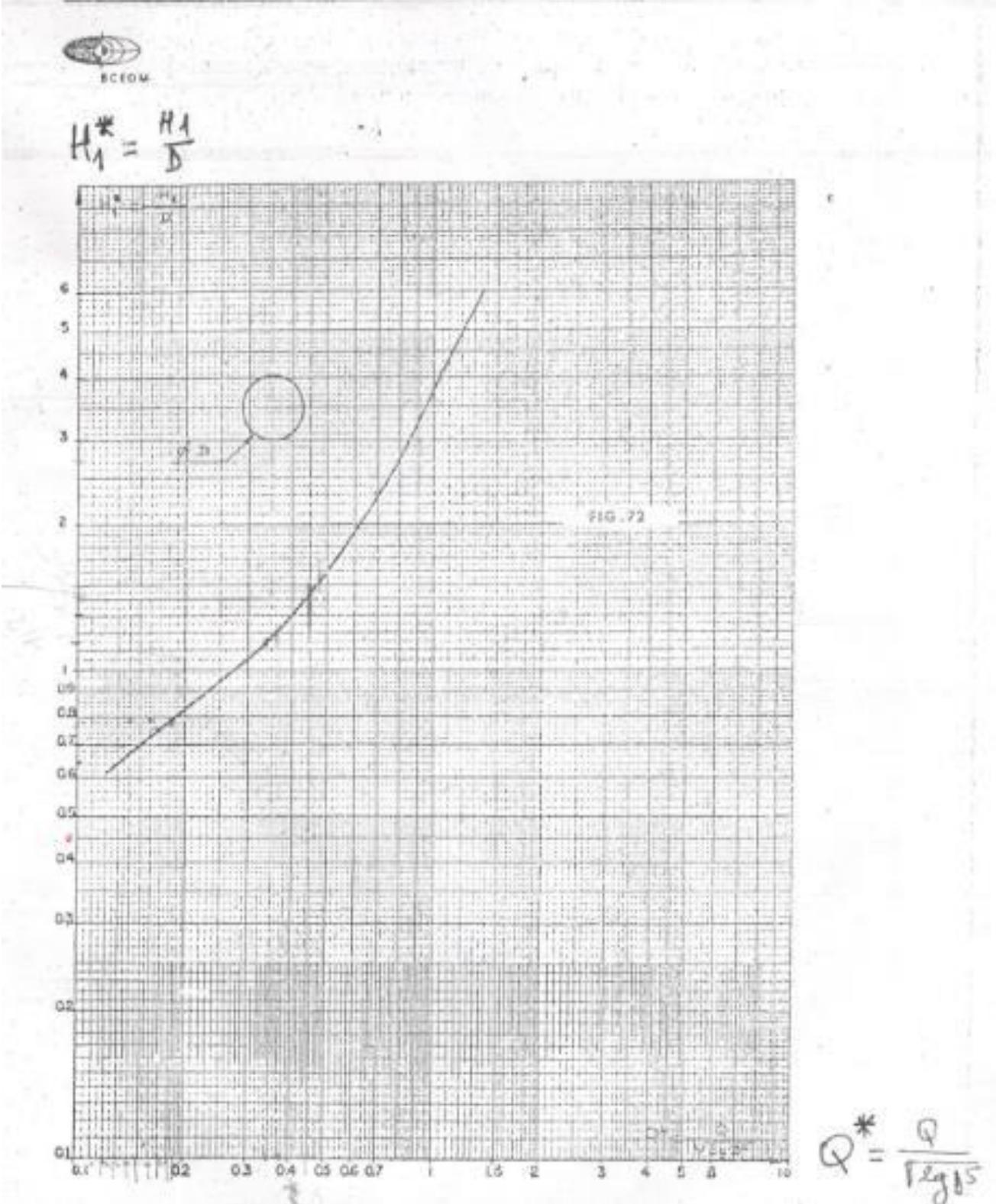
C = coefficient de ruissellement

A = surface du bassin (ha)

m = coefficient de forme du bassin

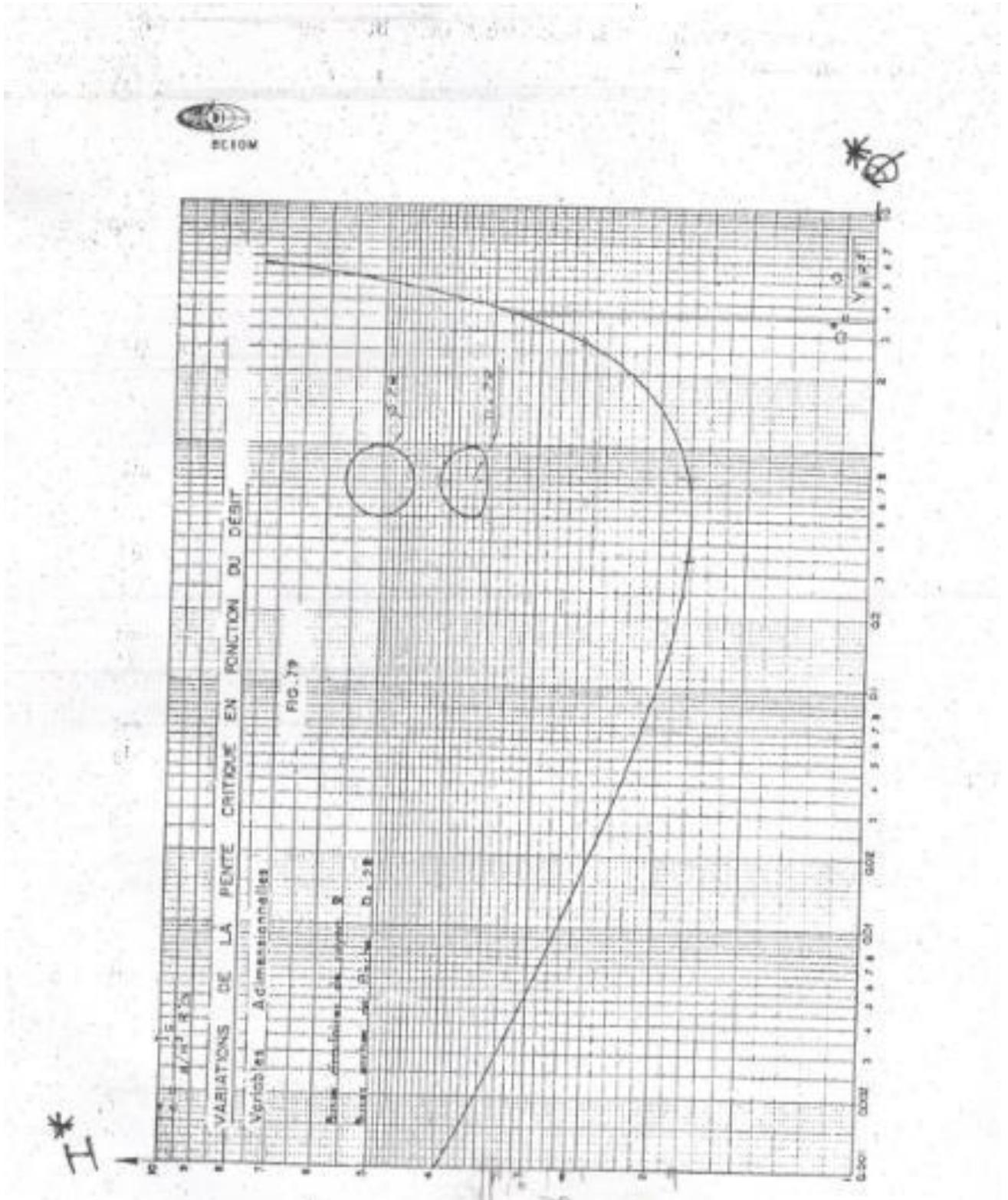
ANNEXES

Annexe 2 : Abaque de calcul de la hauteur et du débit adimensionnels des buses.



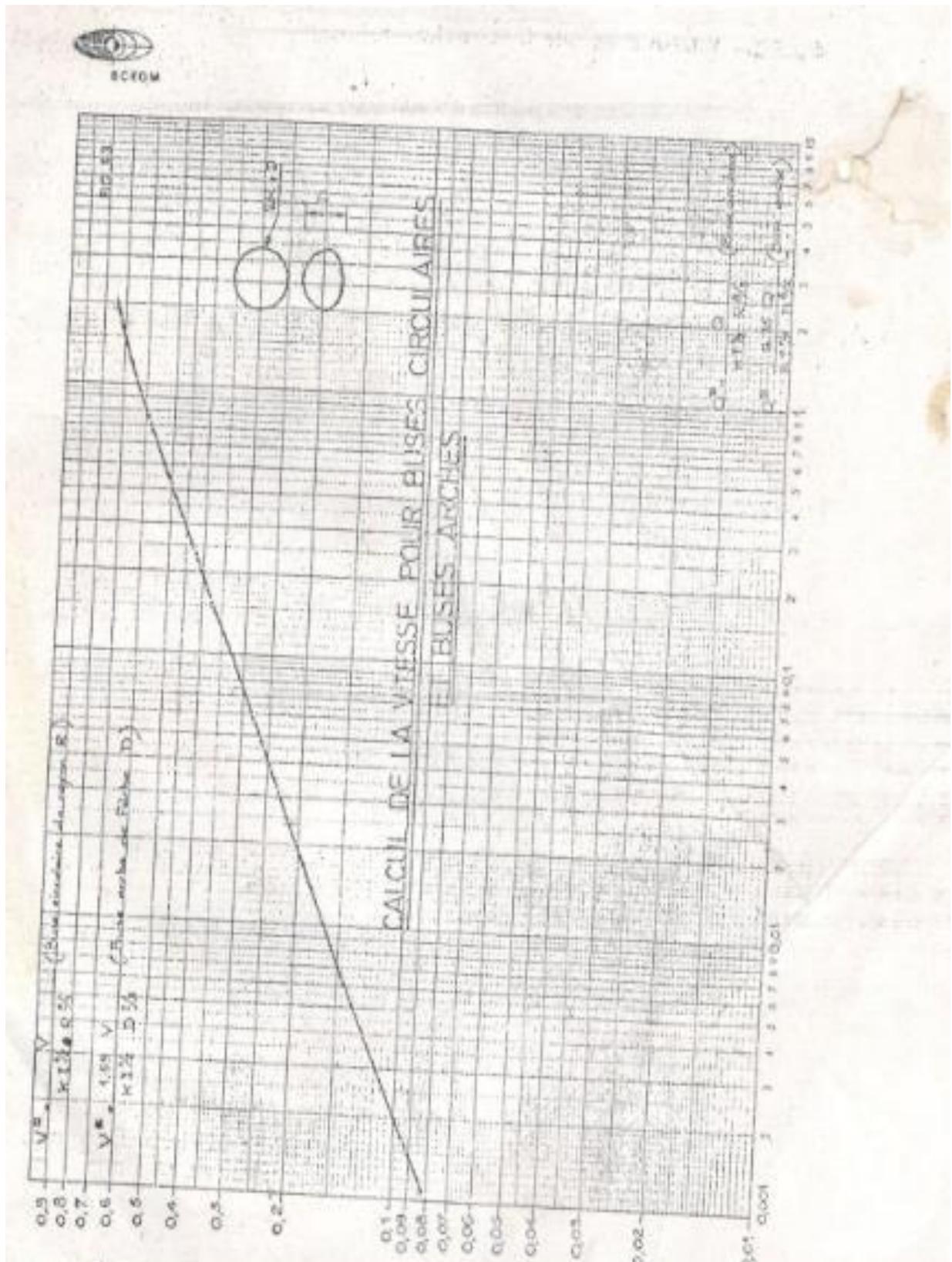
ANNEXES

Annexe 3 : Abaque de Calcul de la pente critique en fonction de la hauteur adimensionnelle des buses.



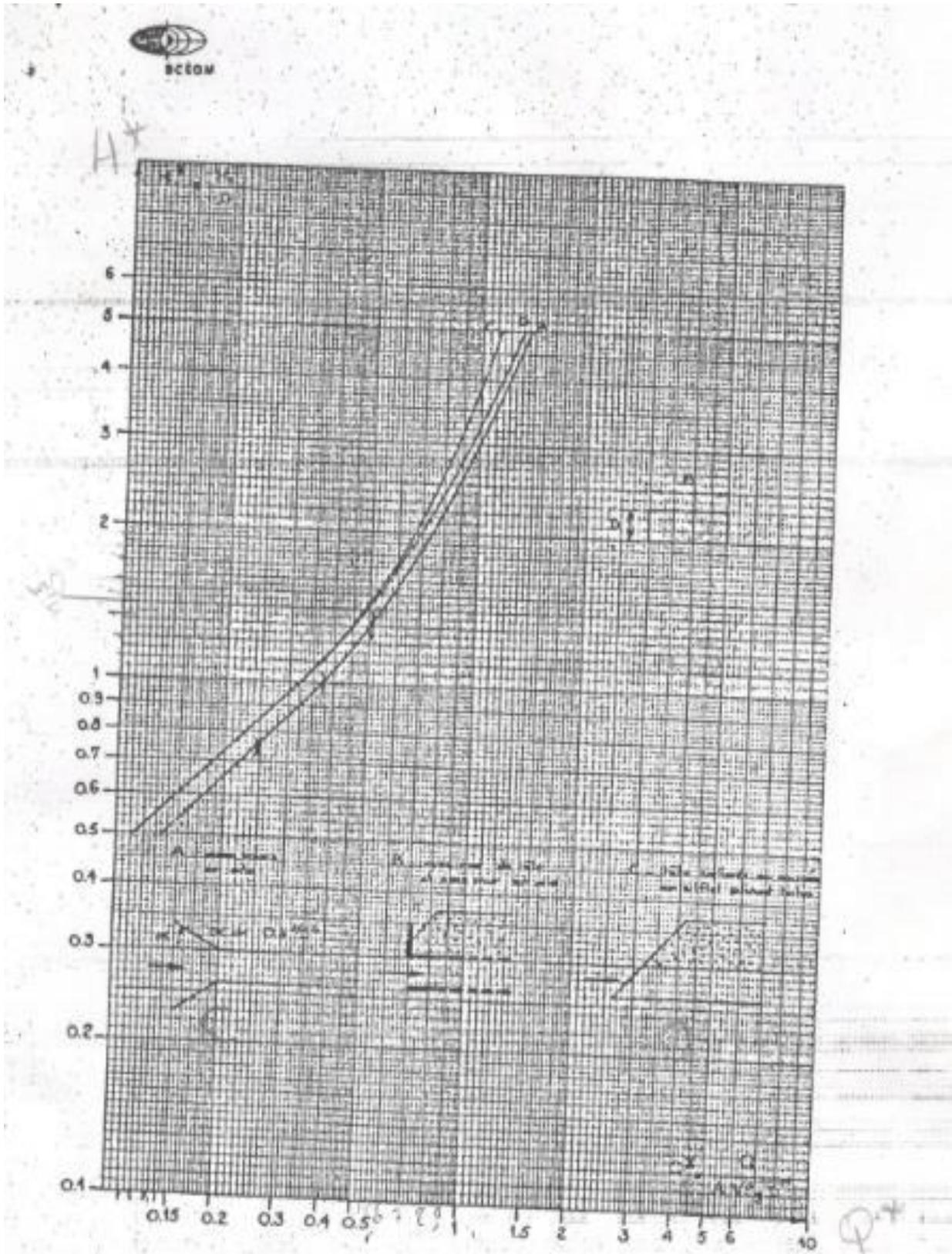
ANNEXES

Annexe 4 : Abaque de Calcul de la vitesse d'écoulement d'eau dans les buses.



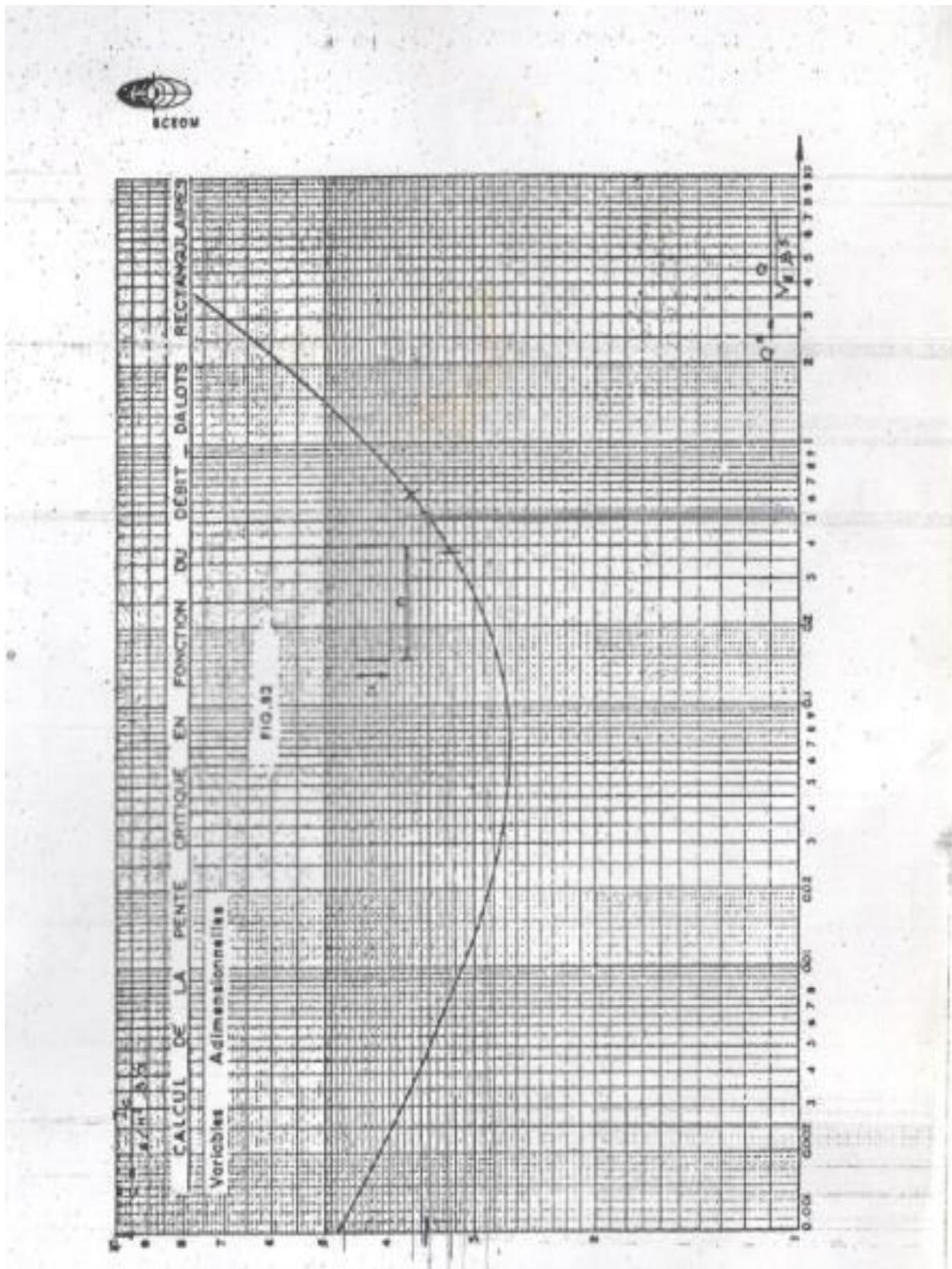
ANNEXES

Annexe 5 : Abaque du Calcul de débit adimensionnel des dalots.



ANNEXES

Annexe 6 : Abaque du calcul de la pente critique des dalots.



ANNEXES

Annexe 7 : résultat de la simulation

Sous bassins versants	Précipitation totale (mm)	Infiltration (mm)	Ruissellement totale (mm)	Volume totale ruisselé 10 ⁶ L	Pic de Débit (m ³ /s)	Coefficient de ruissellement
BV1	170,3	122,24	48,1	130,94	10,6	0,282
BV2	170,3	117,3	53,05	77,08	7,04	0,312
BV3	170,3	25,26	144,26	92,91	8,27	0,847
BV4	170,3	104,85	65,51	287,46	24,78	0,385
BV5	170,3	7,48	163,15	9,15	1,08	0,958
BV6	170,3	4,33	166,34	19,26	2,25	0,977
BV7	170,3	8,79	161,88	12,63	1,48	0,951
BV8	170,3	48,71	107,75	373,59	21,34	0,633
BV9	170,3	7,06	163,66	8,72	1,03	0,961
BV10	170,3	7,35	163,23	17,53	2,05	0,959
BV11	170,3	10,31	160,33	9,07	1,06	0,941
BV12	170,3	9,75	160,92	11,88	1,4	0,945
BV13	170,3	10,07	160,58	9,04	1,06	0,943
BV14	170,3	8,74	161,93	18,31	2,15	0,951
BV15	170,3	9,5	161,12	10,57	1,24	0,946
BV16	170,3	11,46	159,12	17,65	2,05	0,934
BV17	170,3	10,17	160,48	14,03	1,65	0,942
BV18	170,3	6,03	164,7	4,56	0,53	0,967
BV19	170,3	1,8	168,86	31,32	3,65	0,992
BV20	170,3	10,37	160,27	11,36	1,33	0,941
BV21	170,3	10,46	160,17	8,43	0,99	0,941
BV22	170,3	8,58	162,05	12,09	1,42	0,952
BV23	170,3	8,54	162,17	3,65	0,43	0,952
BV24	170,3	8,47	162,25	2,7	0,32	0,953
BV25	170,3	10,03	160,62	6,25	0,73	0,943
BV26	170,3	9,22	161,47	10,48	1,23	0,948
BV27	170,3	7,25	163,45	32,02	3,76	0,96
BV28	170,3	12,56	157,97	32,45	3,7	0,928
BV29	170,3	14,67	155,89	34,86	3,98	0,915
BV30	170,3	104,47	65,92	53,33	4,96	0,387
BV31	170,3	10,37	160,27	16,14	1,89	0,941
BV32	170,3	10,43	160,2	12,72	1,49	0,941
BV33	170,3	10,55	160,07	28,11	3,29	0,94
BV34	170,3	14,89	155,69	48,47	5,61	0,914
BV35	170,3	8,67	162	32,81	3,86	0,951
BV36	170,3	24,43	146,02	33,91	3,39	0,857
BV37	170,3	10,4	160,23	21,2	2,48	0,941
BV38	170,3	5,62	164,92	18,88	2,21	0,968
BV39	170,3	6,62	164,04	7,3	0,86	0,963
BV40	170,3	14,22	156,33	7,89	0,94	0,918

ANNEXES

BV41	170,3	3,13	167,6	5,87	0,69	0,984
BV42	170,3	3,06	167,7	2,21	0,26	0,985
BV43	170,3	13,22	157,39	6,31	0,74	0,924
BV44	170,3	12,35	158,27	3,77	0,45	0,929
BV45	170,3	10,13	160,39	11,47	1,32	0,942
BV46	170,3	7,38	163,21	23,45	2,74	0,958
BV47	170,3	10,67	159,95	6,73	0,79	0,939
BV48	170,3	5,67	164,87	25,42	2,97	0,968
BV49	170,3	7,8	162,75	43,52	5,07	0,956
BV50	170,3	12,18	158,36	28,41	3,26	0,93
BV51	170,3	15,88	154,68	28,37	3,27	0,908
BV52	170,3	10,46	160,13	24,6	2,86	0,94
BV53	170,3	10,86	159,75	17,97	2,1	0,938
BV54	170,3	10,37	160,26	10,22	1,2	0,941
BV55	170,3	104,02	66,36	6	0,73	0,39
BV56	170,3	97,96	72,44	5,27	0,8	0,425
BV57	170,3	7,09	163,52	10,42	1,22	0,96
BV58	170,3	12,3	158,24	10,68	1,22	0,929
BV59	170,3	9,49	161,19	2,78	0,33	0,947
BV60	170,3	9,52	161,16	5,85	0,69	0,946
BV61	170,3	3,53	167,08	8,91	1,04	0,981
BV62	170,3	3,83	166,71	11,19	1,31	0,979
BV63	170,3	10,77	159,83	16,86	1,97	0,938
BV64	170,3	10,25	160,37	8,52	1	0,942
BV65	170,3	13,31	157,19	34,38	3,85	0,923
BV66	170,3	13,32	157,18	104,37	11,7	0,923
BV67	170,3	10,26	160,38	4,91	0,58	0,942
BV68	170,3	11,46	159,12	22,6	2,62	0,934
BV69	170,3	113,67	56,7	325,61	27,98	0,333
BV70	170,3	10,02	160,63	18,47	2,17	0,943
BV71	170,3	13,11	157,4	38,89	4,38	0,924
BV72	170,3	11,15	159,44	10,92	1,27	0,936
BV73	170,3	10,34	160,29	19,86	2,33	0,941
BV74	170,3	9,7	160,96	15,53	1,83	0,945
BV75	170,3	50,84	119,59	61,83	7,23	0,702
BV76	170,3	105,43	64,95	14,7	1,5	0,381
BV77	170,3	20	150,47	146,85	15,12	0,884
BV78	170,3	5,26	165,44	25,86	3,03	0,971
BV79	170,3	11,09	159,5	13,4	1,56	0,937
BV80	170,3	8,91	161,79	22,76	2,68	0,95
BV81	170,3	9,22	161,45	3,56	0,42	0,948
BV82	170,3	16,18	154,36	13,21	1,56	0,906
BV83	170,3	8,73	161,94	16,36	1,92	0,951
BV84	170,3	82,52	87,9	163,49	17,25	0,516

Résumé

Cette étude a été réalisée dans le but de réduire le risque d'inondation en saison pluvieuse dans la ville de Bondoukou située au Nord-Est de la Côte d'Ivoire. Pour atteindre cet objectif, une simulation hydraulique a été effectuée avec le modèle SWMM pour connaître la hauteur d'eau dans les conduites et identifier les conduites en surcharge. Sur un total de 43 ouvrages hydrauliques, 18 sont sous-dimensionnés soit 42%, la plupart sont des dalots et des buses. Les sections des ouvrages en surcharge ont été actualisées afin qu'ils puissent évacuer les débits des sous bassins versants qu'ils reçoivent. La détermination du risque d'inondation est basée sur le traitement du MNT à l'aide du SIG. Environ 10% de la surface du secteur d'étude est menacée par les inondations et les quartiers les plus concernés sont : Lycée Résidentiel, Wamo, Zanzan, Donzosso. Le risque d'inondation dans la ville de Bondoukou est faible, il pourrait d'avantage être réduit si l'assainissement et les conditions d'urbanisation sont améliorés.

Mots clés : Côte d'Ivoire, Inondation, Réseau de drainage, SWMM.

Abstract

This study is carried out in order to reduce flood hazard during the rainy season in the city of Bondoukou in the North-East of Côte d'Ivoire. To achieve this objective, a hydraulic simulation was done with SWMM model to know the level of water in the pipes and identify overloaded pipes. 18 hydraulics infrastructures out of 43, about 42 % are undersized, most of them are culverts. The sections of the conducts surcharged was actualized to enable them to evacuate runoffs from subcatchments. Flood hazard is assessed by treating DEM with GIS. About 10% of the study area is threatened by flood and the neighborhoods most concerned are : Lycée Résidentiel, Wamo, Zanzan, Donzosso. Flood hazard is weak in the city of Bondoukou, but it can still be reduced if both, sanitation and urbanization conditions are improved.

Keywords : Côte d'Ivoire, Flood, Drainage Network, SWMM.