



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 :

2020 - 2021

N° D'ORDRE : 0481 / 2021

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI 0416008778

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

Dimensionnement d'une bande enherbée autour d'une retenue d'eau eutrophisée à l'aide du modèle VFSSMOD-W : cas de la Lobo (Daloa : centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

LABORATOIRE :

SCIENCES ET

TECHNOLOGIES DE

L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

ALLOU Koffi Alfred

JURY

Présidente : Mme TRAORE-OUATTARA Karidia, Professeur Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa

Directeur : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa

Encadreur : M. KOUA Tanoh Jean-Jacques, Maître-Assistant
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa

Examineur : M. KOUASSI Kouakou Hervé, Maître-Assistant
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa

Soutenu publiquement

le : 15 / 10 / 2021



**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 :

2020 - 2021

N° D'ORDRE : 0481 / 2021

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI 0416008778

LABORATOIRE :

SCIENCES ET

TECHNOLOGIES DE

L'ENVIRONNEMENT

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

Dimensionnement d'une bande enherbée autour d'une retenue d'eau eutrophisée à l'aide du modèle VFSSMOD-W : cas de la Lobo (Daloa : centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

Présenté par :

ALLOU Koffi Alfred

JURY

- Présidente** : Mme TRAORE-OUATTARA Karidja, Professeur Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa
- Directeur** : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa
- Encadreur** : M. KOUA Tanoh Jean-Jacques, Maître-Assistant
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa
- Examineur** : M. KOUASSI Kouakou Hervé, Maître-Assistant
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa

Soutenu publiquement

le : 15 / 10 / 2021

DEDICACE

A ma mère

KOUAME Affoué Adèle

L'amour d'une mère ne s'éteint jamais

A mon père

ALLOU N'Guessan

A mes sœurs

N'GUESSAN Akissi Nathalie

N'GUESSAN Adjoua Véronique

N'GUESSAN Patricia.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je voudrais remercier tous ceux qui, à travers un appui scientifique, financier ou un soutien moral ont aidé à réaliser ce mémoire.

Je tiens à remercier :

- le Professeur **TIDOU Abiba Sanogo** épouse **KONE**, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour la formation de qualité dont nous avons bénéficié ;
- le Professeur **KOUASSI Kouakou Lazare**, Directeur de l'UFR Environnement, pour nous avoir fait confiance et avoir accepté de diriger ce mémoire. Merci Monsieur le Directeur pour votre détermination à garantir un encadrement de qualité aux étudiants de cette UFR ;
- le Docteur **MANGOUA Oi Jules**, Maître de Conférences, responsable du parcours Master génie de l'eau et de l'environnement, pour tous ses efforts à l'égard de notre promotion ;
- le Docteur **DIBI Brou**, Maître de Conférences, Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE) pour avoir accepté de nous accueillir dans son laboratoire.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude envers les personnes qui ont contribué à l'amélioration de ce travail. Il s'agit de :

- Monsieur **KOUA Tanoh Jean-Jacques**, Maître-Assistant, pour avoir accepté l'encadrement de ce travail. Merci pour le temps accordé à ce travail et pour vos précieux conseils ;
- Monsieur **KOUASSI Kouakou Hervé**, Maître-Assistant, instructeur de ce mémoire dont la qualité des observations a permis d'améliorer ce travail. Merci pour votre disponibilité.

Je remercie sincèrement tous les enseignants qui se sont rendus disponibles pour nous dispenser le savoir et nous guider sur le chemin de la réussite.

Mes remerciements vont également à l'endroit de l'équipe de Doctorants du LSTE et mes camarades de promotion de la filière Génie de l'Eau et de l'Environnement pour leur soutien, critiques et conseils prodigués tout au long de la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTES DES ANNEXES.....	viii
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : GENETALITES	3
1.1 Présentation la zone d'étude.....	3
1.1.1 Situation géographique et administrative	3
1.1.2 Climat	4
1.1.3 Hydrographie	5
1.1.4 Geologie et hydrogeologie	6
1.1.5 Relief	7
1.1.6 Végétation.....	8
1.1.7 Démographie	8
1.1.8 Activités socio-economiques	8
1.2 Généralités sur les bandes tampons végétalisées	9
1.2.1 Définition d'une bande tampon végétalisée	9
1.2.2 Fonctions des bandes tampons	9
1.2.2.1 Fonction de protection contre les produits de traitement	9
1.2.2.2 Fonction de limitation des transferts de produits phytosanitaires solubles	9
1.2.2.3 Fonction de rétention des matières en suspension, de contaminants adsorbés et de nutriments	10
1.2.3 Localisation des zones tampons	11
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	12
2.1 Matériel	12
2.1.1 Données	12
2.1.1.1 Données climatiques	12
2.1.1.2 Données hydro-sédimentologiques	12
2.1.1.3 Données agronomiques et pédologiques	12
2.1.2 Outils	12
2.2 Méthodes	13

2.2.1	Evaluation du ruissellement issu de la source de pollution (surface contributive) lors d'un épisode pluvieux.....	13
2.2.1.1	Détermination de la géométrie de la surface contributive et choix de l'évènement pluvieux	13
2.2.1.2	Construction de l'hydrogramme unitaire (HU)	13
2.2.1.3	Construction du hyétogramme	15
2.2.2	Evaluation de la charge sédimentaire entrante	16
2.2.3	Simulation de l'abattement du ruissellement et des sédiments entrants au sein de la bande enherbée	17
2.2.4	Détermination des dimensions optimales de la bande enherbée	17
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION		19
3.1	Résultats	19
3.1.1	Ruissellement issu de la source de pollution lors d'un épisode pluvieux	19
3.1.1.1	Géométrie de la surface contributive (source de pollution)	19
3.1.1.2	Hydrogramme unitaire (HU) de la surface contributive	19
3.1.1.3	Hyétogramme de la surface contributive	20
3.1.2	Abattement du ruissellement et des sédiments entrants dans la bande enherbée	21
3.1.3	Dimensions optimales de la bande enherbée	22
3.1.3.1	Périodes de retour et lame d'eau associée	22
3.1.3.2	Scénarios après simulation	23
3.1.3.3	Dimensions retenues	25
3.2	Discussion	26
CONCLUSION ET PERSPECTIVES		28
REFERENCES.....		29
ANNEXES		

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ANADER	: Agence Nationale d'Appui au Développement Rural
B E	: Bande Enherbée
CN	: Curve Number
MES	: Matières En Suspension
MUSLE	: Modified Universal Soil Loss Equation
PRICI	: Projet de Renaissance des Infrastructures de Côte d'Ivoire
RGPH	: Recensement Général de la Population et des Habitats
SODECI	: Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire
SODEXAM	: Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique et Météorologique
SPAW	: Specially Protected Areas and Wildlife
USLE	: Universal Soil Loss Equation
VFSMOD-W	: Vegetative Filter Strip Modelling System

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Variation temporelle des débits	19
Tableau II : Variation temporelle de l'intensité de pluie.....	21
Tableau III : Périodes de retour et débits associés	22
Tableau IV : Scénarios de simulations	23
Tableau V : Dimensions optimales de la bande enherbée.....	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation géographique de la retenue de la Lobo	3
Figure 2 : Diagramme ombrothermique à la station de Daloa (2000-2017)	4
Figure 3 : Réseau hydrographique du bassin versant du site d'étude	5
Figure 4 : Formations géologiques du bassin versant du site d'étude.....	6
Figure 5 : Relief du bassin de la zone d'étude	7
Figure 6 : Localisation des zone tampons au sein d'un bassin versant (CORPEN, 2007).....	11
Figure 7 : Hydrogramme de l'évènement pluvieux étudié.....	19
Figure 8 : Hyétogramme de l'évènement pluvieux étudié	20
Figure 9 : Abattement du ruissellement	21
Figure 10 : Abattement de la charge sédimentaire	21
Figure 11 : Diagramme de Gumbel.....	22
Figure 12 : Evolution du ratio de ruissellement sortant en fonction de la largeur de la bande	24
Figure 13 : Abattement des flux entrants après simulation	25

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Débits annuels maximum et fréquences associées.

ANNEXE 2 : Valeur des Curve Number en fonction du type hydrologique de sol et de l'occupation du sol (Catalogne *et al.*, 2018).

ANNEXE 3 : Hydrogramme unitaire synthétique (USDA-SCS 1972).

ANNEXE 4 : Facteurs de calcul du K par type de sol (tirés de GLEAMS à partir des données de Wischmeier *et al.* (1971)).

ANNEXE 5 : Ratio de la zone tampon à utiliser pour le captage des sédiments dans un champ en travail conventionnel du sol (Dooskey *et al.*, 2011).

INTRODUCTION

L'amélioration des conditions de vie des populations passe par un meilleur accès aux services de base notamment la disponibilité en eau potable. L'Etat de Côte d'Ivoire, a si bien compris les enjeux de l'accès à l'eau salubre, qu'il a initié le programme national de l'hydraulique humaine. Ce programme vise à faciliter l'accès du plus grand nombre d'ivoiriens au service public d'eau potable. De cette volonté politique, de nombreux barrages ont été réalisés durant les années 1970 et 1980 (Koukougnon, 2012).

Cependant, depuis quelques années, on observe pour la plupart d'entre ces barrages, notamment ceux situés en zone agricole, des processus de dégradation et de comblement des plans d'eau suite à une eutrophisation précoce (Komelan, 1999). En effet la croissance démographique a entraîné une forte augmentation des surfaces cultivées (Floret *et al.*, 1993) et agrandit le marché de consommation en produits vivriers. Pour faire face à cette forte demande et protéger leurs cultures, l'Etat de Côte d'Ivoire, à travers ses structures, encourage les agriculteurs traditionnels et même les industriels à utiliser des intrants agricoles. Mais le manque de formation sur l'utilisation durable des intrants agricoles a provoqué une utilisation exacerbée de ces produits. Ces derniers se retrouvent dans le réseau hydrographique causant des problèmes d'eutrophisation (Koua *et al.*, 2021). C'est le cas de la retenue de la Lobo mis en évidence par Maiga *et al.* (2001).

Cette retenue est utilisée par la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI) pour l'approvisionnement en eau potable des populations de la ville de Daloa et ses environs. Elle est également utilisée pour satisfaire les besoins en eau des activités agropastorales. Au regard de son intérêt certain, la contamination de cette masse d'eau par l'usage de pesticides et engrais agricoles constitue une problématique préoccupante pour ses usagers.

Face à cette situation, il convient de trouver des systèmes plus efficaces de réduction de la pollution et déterminer le meilleur moyen de préserver la ressource. Les bandes enherbées peuvent dans ce contexte être un moyen efficace pour limiter le transfert des polluants pesticides dans la retenue de la Lobo. Les bandes protègent les cours d'eau de la dérive des produits appliqués sur les cultures, mais peuvent également limiter le transfert des pesticides dans le ruissellement de surface, depuis la parcelle agricole jusqu'à la rivière. Outre leur fonction de protection de la qualité de l'eau, elles sont également susceptibles de préserver ou restaurer la biodiversité (CORPEN 2007). C'est dans cette perspective que s'inscrit cette étude intitulée « **Dimensionnement d'une bande enherbée autour d'une retenue d'eau eutrophisée à l'aide du modèle VFSMOD-W : cas de la Lobo (Daloa : Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)** ».

Le modèle VFSMOD est un modèle numérique à base physique qui simule à l'échelle locale les processus hydrologiques et les transferts de sédiments au sein d'une bande tampon

végétalisée pour un évènement de pluie et de ruissellement ponctuel (Munoz-Carpena & Parson, 2010). Depuis sa conception, il a fait l'objet de plusieurs améliorations, notamment pour permettre de rendre compte de la présence d'une nappe peu profonde sous la bande tampon, situation susceptible de modifier sensiblement les processus d'infiltration (Catalogne *et al.*, 2018).

L'objectif principal de cette étude, est de déterminer les dimensions optimales d'une bande enherbée en vue de limiter la pollution de la Lobo. De façon spécifique il s'agit de :

- évaluer les apports liquides et sédimentaires dans la retenue de la Lobo ;
- simuler l'abattement du ruissellement et du flux de sédiments au sein de la bande enherbée ;
- déterminer les dimensions optimales de la bande enherbée.

Outre l'introduction et la conclusion, ce présent mémoire s'articule autour de trois grandes parties :

- la première partie porte sur les généralités à la zone d'étude ainsi que sur les thématiques abordées ;
- la deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés ;
- la troisième partie présente les résultats obtenus et la discussion qui en découle.

PREMIERE PARTIE : GENETALITES

1.1 Présentation la zone d'étude

1.1.1 Situation géographique et administrative

La retenue a été construite depuis 1976 (Maïga *et al.*, 2001) et est située à 25 km à l'ouest de la ville de Daloa. Elle appartient au bassin versant de la Lobo. Elle est située entre les longitudes 6°2 et 7°55 Ouest et les latitudes 6° et 6°55 Nord (figure 1). La ville de Daloa représente le pôle économique de la région (Yao, 2015). La rivière Lobo est l'un des principaux affluents en rive gauche du fleuve Sassandra. Le débit moyen de la rivière à la station hydrométrique de Nibéhibé est de 12,43m³/s (Koffi *et al.*, 2020).

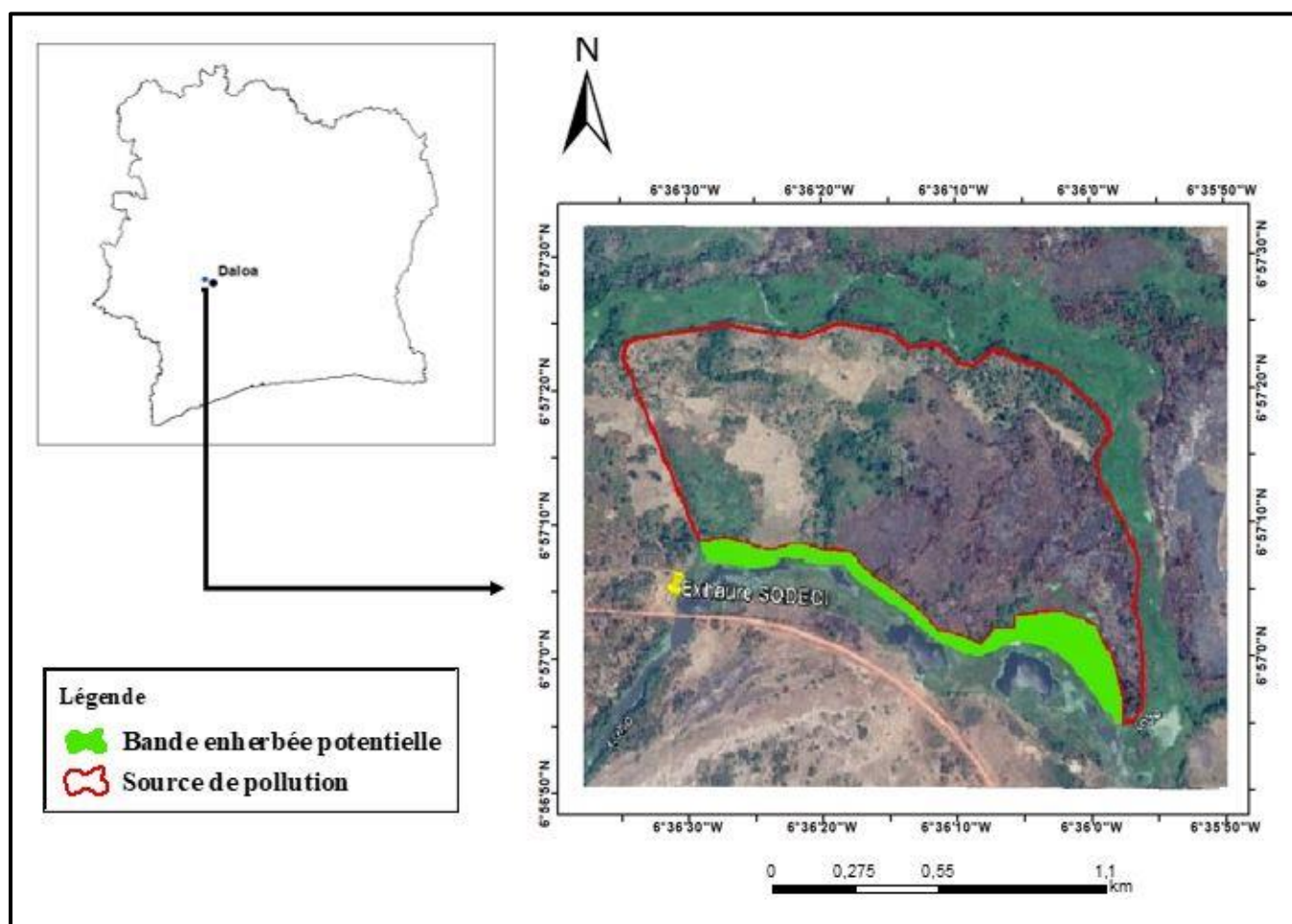


Figure 1 : Localisation géographique de la retenue de la Lobo

1.1.2 Climat

Le climat du bassin est de type équatorial de transition atténué, caractérisé par deux saisons (Figure 2) :

- une saison pluvieuse de mars à octobre avec une baisse des précipitations en juillet ;
- une saison sèche de novembre à février avec quelques précipitations isolées.

Les saisons sèches et humides alternent avec des températures variant de 25,6 °C à 28,65 °C en moyenne. Sur la période 2000-2017, on observe des pluviosités moyennes interannuelles de 1246 mm à la station de Daloa.

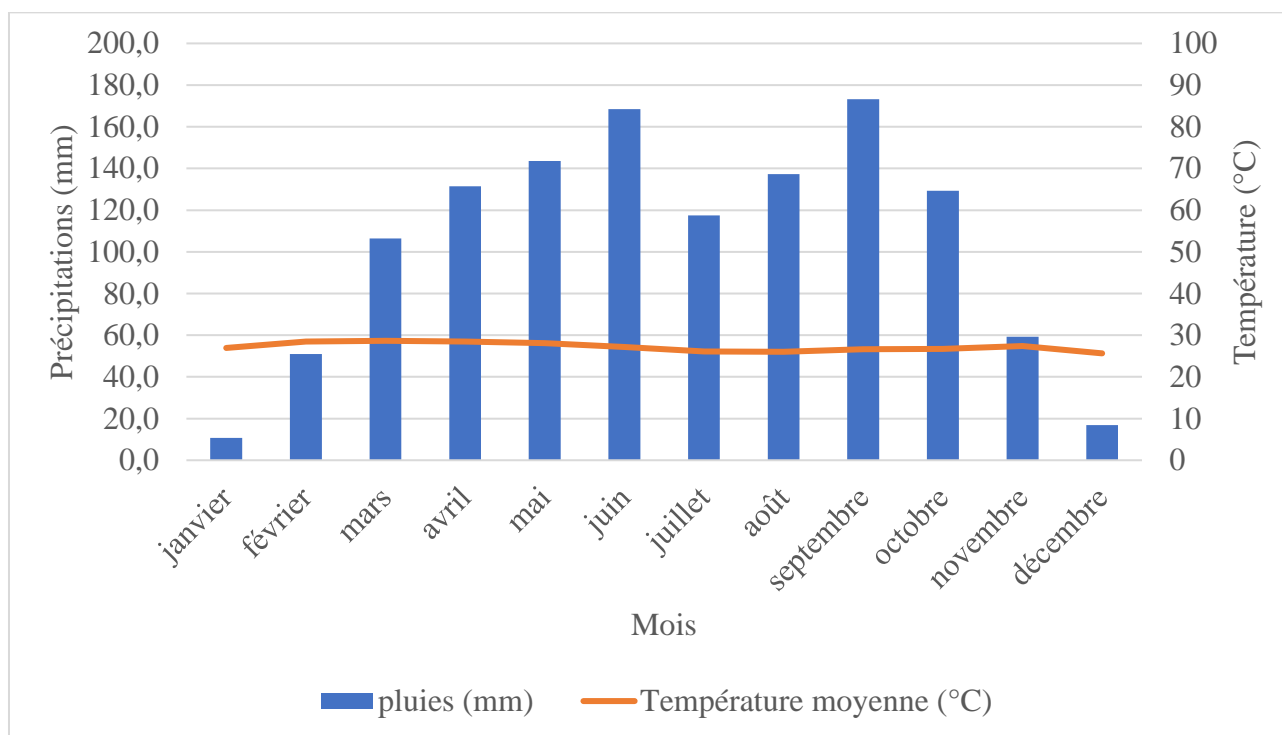


Figure 2 : Diagramme ombrothermique à la station de Daloa (2000-2017)

1.1.3 Hydrographie

Le réseau hydrographique de la région du Haut-sassandra est dominé par le fleuve Sassandra. La rivière Lobo, principal affluent du Sassandra, est le second cours d'eau le plus important. Les grandes rivières, la Dê et la Gôré complètent le tableau hydrographique de la région du Haut-Sassandra (Yao, 2015). Tous ces cours d'eau présentent tout le long de leurs parcours de grandes plaines alluviales propices aux cultures irrigués et autres cultures légumières de contre-saison. En période sèche, la très forte baisse des eaux et les lits des rivières laissent parfois des creux larges et entrecoupés par des flaques d'eau. Selon Yao (2015), les eaux de la Lobo s'écoulent principalement dans la direction nord-sud et la période de plus basses eaux est observée pendant les premiers mois de l'année (janvier et février).

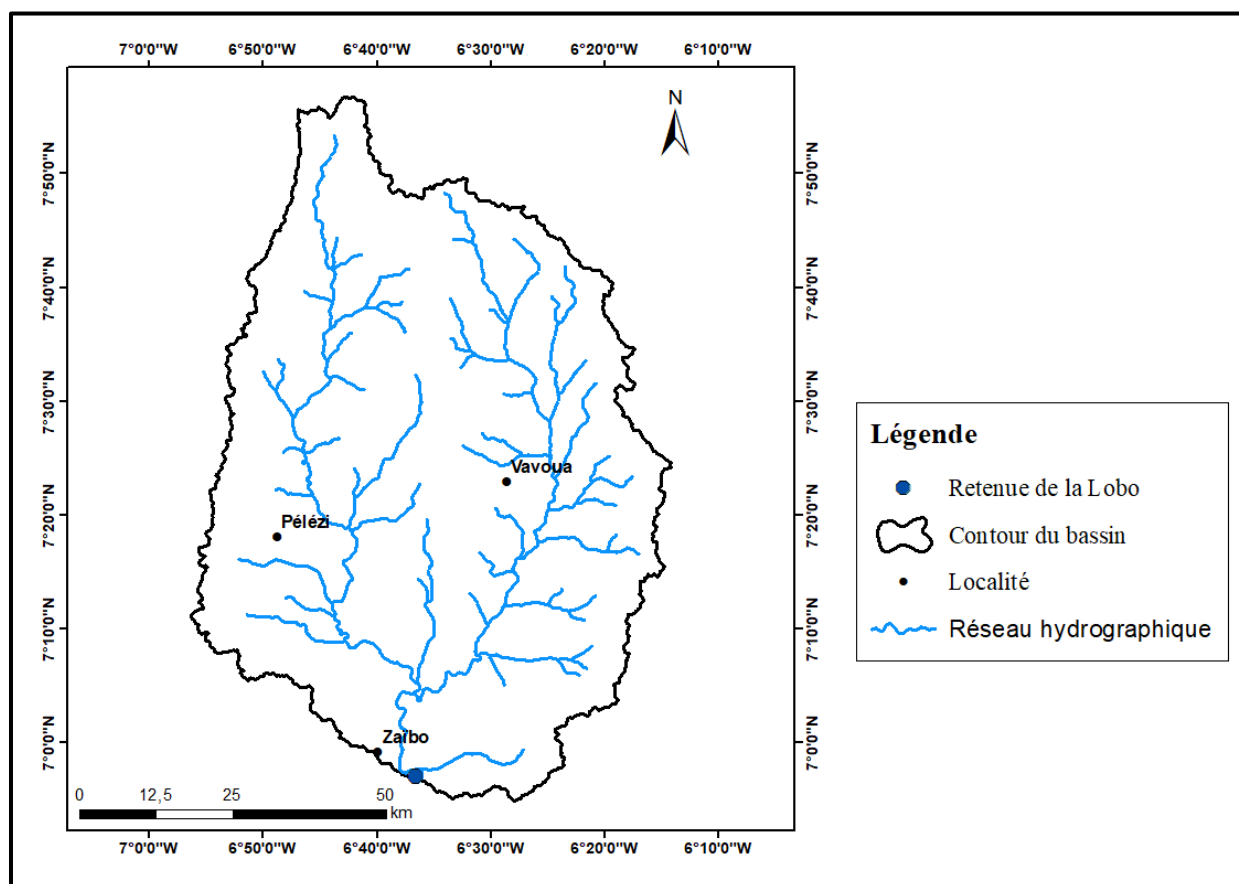


Figure 3 : Réseau hydrographique du bassin versant du site d'étude

1.1.4 Geologie et hydrogéologie

Les formations géologiques du centre-ouest de la Côte d'Ivoire appartiennent principalement au précambien moyen et se regroupent en deux entités que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques. La géologie de cette zone est connue grâce aux travaux de Delor *et al.* (1995). Les roches magmatiques rencontrées sont de types plutoniques et volcaniques. Elles sont représentées essentiellement par les granitoïdes. La composition de ces roches varie du granite aux granodiorites (Yao, 2015).

Au plan hydrogéologique, le bassin se trouve en zone de socle cristallin. Ce dernier présente des réserves d'eau se développant dans les aquifères dont l'importance est fonction du niveau d'altération et de fracturation de la roche mère. On distingue deux types d'aquifères : les aquifères d'altérites (superficiels) et les aquifères fracturés plus profonds que les précédents (Yao *et al.*, 2016).

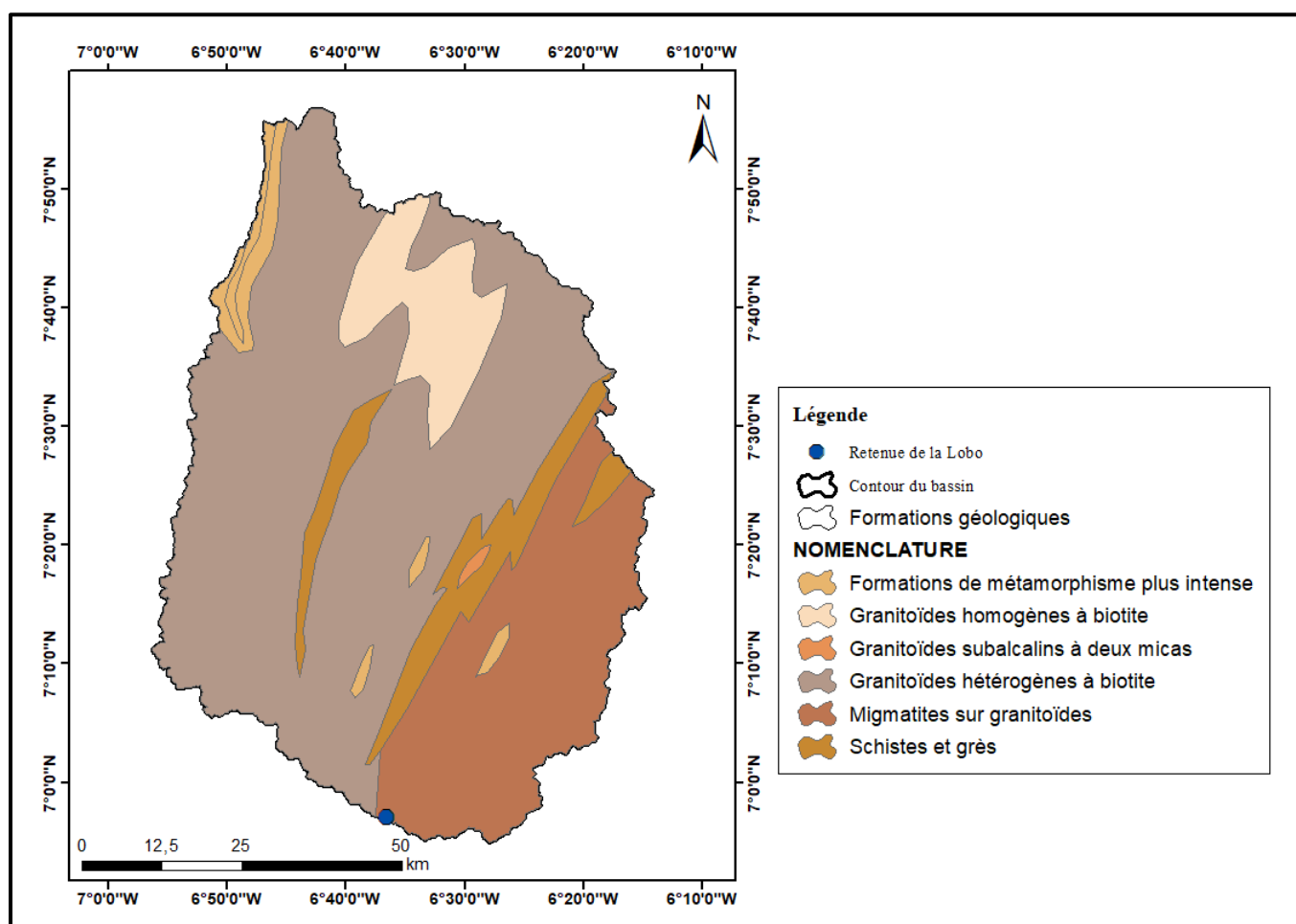


Figure 4 : Formations géologiques du bassin versant du site d'étude

1.1.5 Relief

Le relief du bassin d'étude est peu accidenté et constitué de plaines et de bas plateaux (Brou *et al.*, 2005). Les plaines dont l'altitude varie entre 210 et 250 m sont localisées au sud du bassin et correspondent au tracé du cours d'eau. Les plateaux qui occupent la majeure partie du bassin correspondent aux altitudes variant entre 250 et 320 m avec dans l'extrême nord du bassin, un massif de roches vertes en forme de croissant culminant vers 400 m d'altitude (Yao, 2015). Cet ensemble comporte dans l'extrême nord-ouest quelques intrusions de dômes granitiques culminant entre 400 et 480 m d'altitude. Des sommets isolés comme les buttes cuirassées dont l'altitude est supérieure parfois à 480 m se distinguent dans ces intrusions granitiques (Yao, 2015).

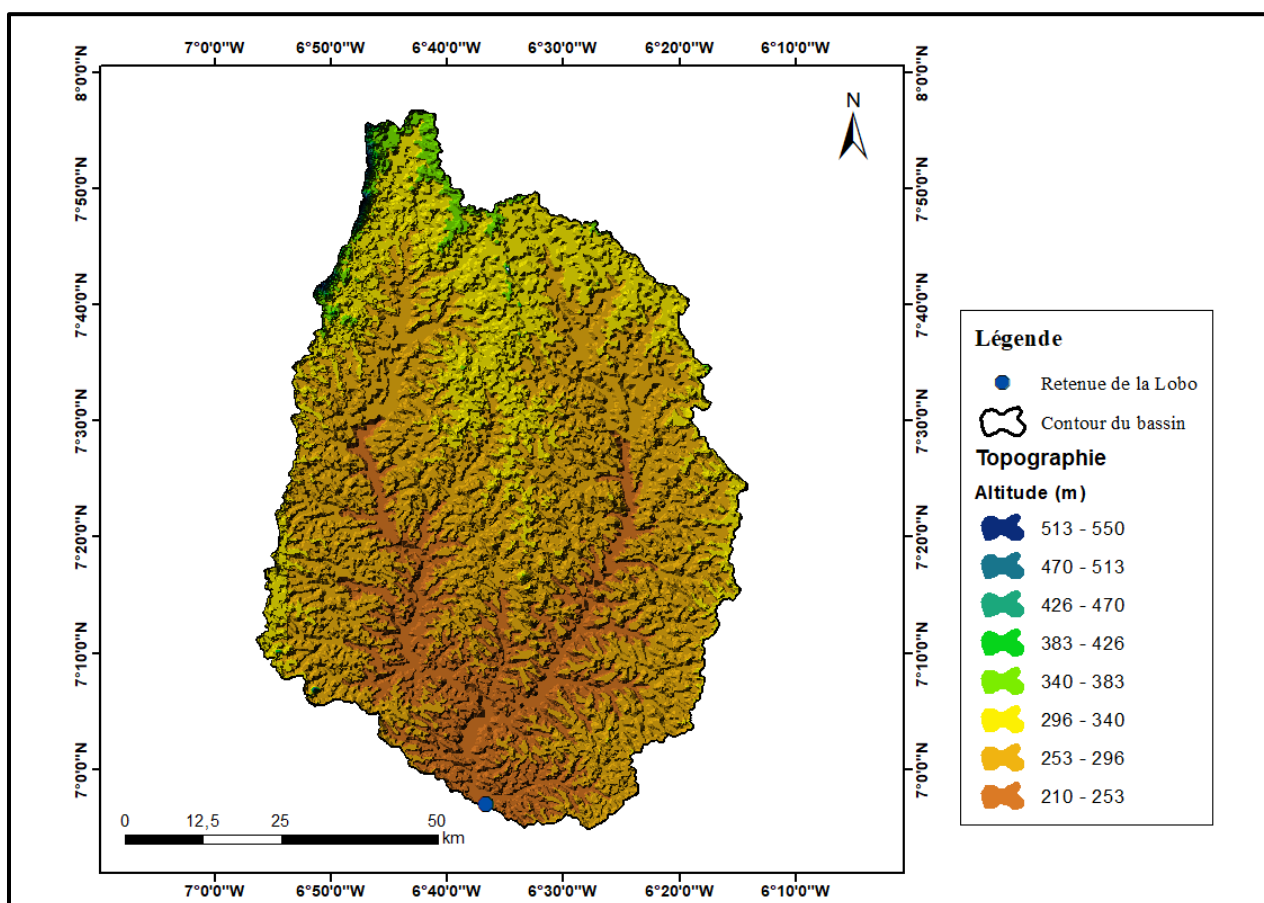


Figure 5 : Relief du bassin de la zone d'étude

1.1.6 Végétation

La végétation du centre-ouest jadis constituée de forêts denses a fait place à de vastes plantations de café et de cacao, de friches et de recrues. La partie nord de la région est une zone de transition de la végétation forestière vers la savane (Yao et al., 2016).

La forêt dégradée est devenue de plus en plus l'élément dominant de cette végétation marquée par l'exploitation agricole avec un paysage où alternent des cultures et des jachères (Yao *et al.*, 2016).

1.1.7 Démographie

La population de la région du Haut-Sassandra est de 2 565 638 habitants sur un total de 22 671 331, soit 11% de la population nationale (RGPH, 2014). Cette population composite est constituée d'autochtones Bété, Niaboua et Gouro, d'allogènes Baoulé, Sénoufo, de Malinké et des populations de la CEDEAO ainsi qu'une communauté de libanaise et chinoise assez importante (ANADER, 2017).

1.1.8 Activités socio-economiques

L'économie du département de Daloa repose principalement sur l'agriculture. Elle génère 48% de la richesse du département. Les activités agricoles sont dominées par le binôme café/cacao, l'anacard, l'hévéa, palmier à huile. Les cultures vivrières sont constituées du riz, manioc, igname et les maraîchers (ANADER, 2017). L'agriculture vivrière représente 29% et la production du café et de cacao 17%. Les trois quarts de la population tirent leurs richesses de l'agriculture (PRICI, 2016).

Aux différentes activités agricoles s'ajoutent les élevages constitués principalement de fermes de bovins, d'ovins / caprin, de porcins, de volaille traditionnelles et modernes. La migration du bétail pendant la saison sèche provoque de nombreux dégâts de cultures, source de conflits récurrents entre agriculteurs et éleveurs (ANADER, 2017).

1.2 Généralités sur les bandes tampons végétalisées

1.2.1 Définition d'une bande tampon végétalisée

Une bande tampon végétalisée correspond à une bande de terrain non cultivée positionnée et maintenue dans le paysage de manière à intercepter les ruissellements issus par la zone agricole avant que ceux-ci n'atteignent les milieux aquatiques situés en aval (Catalogne *et al.*, 2018). Dans notre étude, il s'agit d'une végétation constituée d'espèces herbacées c'est-à-dire de bande enherbée.

1.2.2 Fonctions des bandes tampons

1.2.2.1 Fonction de protection contre les produits de traitement

Dans la majorité des cas, l'application des produits de protection des plantes est effectuée par la pulvérisation dirigée vers le sol ou vers les plantes. La dérive de pulvérisation représente la fraction de produit de traitement qui se dépose au voisinage de parcelle. Si cette parcelle est adjacente à un cours d'eau, des gouttelettes l'atteindront et la contamineront. Les bandes tampons (BE) jouent un rôle dans la protection contre la dérive de pulvérisation : soit en une zone non traitée qui permet d'éviter que les substances soient appliquées à proximité immédiate des points d'eau soit en faisant écran à la dérive (Gril *et al.*, 2010).

1.2.2.2 Fonction de limitation des transferts de produits phytosanitaires solubles

Les plus forts transferts ont généralement lieu lors des premières pluies efficaces, qui engendrent infiltration et ruissellement. Dans le ruissellement, les produits sont entraînés principalement sous forme soluble et colloïdale. L'implantation d'une bande tampon aura donc pour principal objectif de favoriser les processus d'infiltration dans le sol en interceptant tout ou une partie des eaux de ruissellement ; la rugosité de la surface et la perméabilité du dispositif tendront à ralentir les écoulements entrants et permettre leur infiltration (Gril *et al.*, 2010). Au contact du sol, les substances dissoutes pourront alors être partiellement retenues et/ou dégradées.

1.2.2.3 Fonction de rétention des matières en suspension, de contaminants adsorbés et de nutriments

Dans les contextes sensibles à l'érosion, le ruissellement entraîne des matières en suspension (MES). Ces MES peuvent provoquer différents types de désordre dans les milieux aquatiques, comme l'envasement des plans d'eau, la dégradation des habitats des organismes aquatiques, la turbidité des eaux destinées à la consommation. De plus, elles sont le support de substances polluantes fixées sur les particules. Dans ce cas, l'implantation d'une bande tampon, aura pour fonction de ralentir l'écoulement et favoriser son infiltration par augmentation de la rugosité en surface (forte densité de tige) et la perméabilité du sol (système racinaire). La diminution de la vitesse de l'écoulement entrant permet la décantation des MES qui se voient alors retenues au sein du dispositif. Bien entendu, ce dernier devra être d'autant plus large et/ou présenter des propriétés de rugosité d'autant plus élevées que la lame d'eau interceptée est importante ou que le flux entrant est concentré (CORPEN, 2007).

L'infiltration profonde vers les nappes souterraines et les écoulements sub-surfaciques (écoulements hypodermiques et drainage agricole) constituent les principales voies de transfert de l'azote sous forme nitrique. Les dispositifs tampons jouent un rôle d'atténuation des transferts d'azote en sub-surface, sous réserve de favoriser aussi les processus de dénitrification. Le phosphore est un nutriment dont la présence excessive dans les eaux de surface continentales engendre l'eutrophisation. Au contact d'une zone tampon, le phosphore particulaire est associé au devenir de MES et le phosphore dissous est en partie fixé par le sol et absorbé par les végétaux. Les propriétés des zones tampons mises en jeu pour modifier la charge de phosphore sont donc le ralentissement et l'infiltration (CORPEN, 2007).

1.2.3 Localisation des zones tampons

Le positionnement des zones tampons requiert le diagnostic intégré du bassin versant agricole. Une zone tampon est potentiellement efficace s'il y a du ruissellement, et doit logiquement se situer entre la zone d'application des produits phytosanitaires et le cours d'eau. Plus elle est proche de la source de contamination, plus elle est susceptible d'être efficace (Lacas, 2005). Les fossés ou drains concentrent le ruissellement et peuvent constituer des courts-circuits pour les zones tampons, qui ne sont alors pas traversées par les eaux collectées et ne peuvent intercepter les produits phytosanitaires contenus. Le guide de diagnostic à l'échelle du petit bassin versant (Gril *et al.*, 2010) propose une méthodologie de positionnement des zones tampons en tenant compte de l'ensemble de ces critères. Il convient également de considérer ce qui est économiquement et politiquement faisable sur la zone considérée. Les zones tampons sont majoritairement situées en bordure de cours d'eau. Elles peuvent également être situées dans le versant, au sein ou à la sortie des parcelles, de manière à intercepter le ruissellement lorsque celui-ci n'est pas encore trop concentré et à l'abattre progressivement d'amont en aval (Figure 6). La localisation des zones tampons est donc fonction des objectifs recherchés et de la nature du terrain.

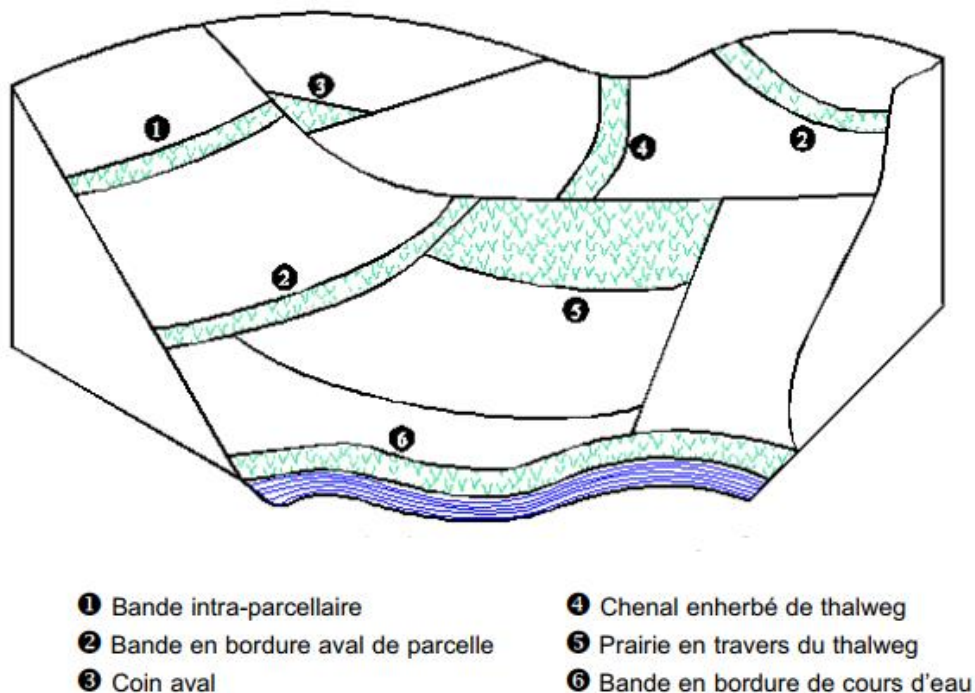


Figure 6 : Localisation des zone tampons au sein d'un bassin versant (CORPEN, 2007)

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel

2.1.1 Données

Pour mener à bien notre étude, nous avons utilisé des données climatiques, hydro-sédimentologiques, agronomiques et pédologiques.

2.1.1.1 Données climatiques

Les données climatiques concernent les données de pluies et de températures, à la station de Daloa, au pas de temps journalier de 2000 à 2017 mises à notre disposition par la SODEXAM (la Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique et Météorologique).

2.1.1.2 Données hydro-sédimentologiques

Il s'agit de la concentration moyenne des sédiments entrants dans la retenue d'Avril à Décembre 2019 fournie par le LSTE (Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement).

2.1.1.3 Données agronomiques et pédologiques

Il s'agit des propriétés du sol de la source de pollution et de l'emplacement potentiel de la bande enherbée (le degré de compaction, la granulométrie et la structure du sol), l'occupation du sol (différentes cultures pratiquées dans la zone source de pollution) à partir de la base de données de la FAO (Nachtergaele et al., 2009).

2.1.2 Outils

- Microsoft Excel pour le traitement des données pluviométriques et pour la réalisation des graphes ;
- le programme « Soil Water Characteristics » inclus dans SPAW (Specially Protected Areas and Wildlife) pour simuler la conductivité et la capacité de rétention d'eau du sol;
- le logiciel VFSSMOD-W (Vegetative Filter Strip Modelling System) pour modéliser les scénarios et définir les dimensions optimales de la bande enherbée ;
- Google Earth a permis l'extraction des cotes topographiques le long de la source potentielle de pollution ;
- l'application ArcMap de ArcGis a permis de réaliser les différentes cartes et déterminer les dimensions de la source de pollution (surface contributive).

2.2 Méthodes

2.2.1 Evaluation du ruissellement issu de la source de pollution (surface contributive) lors d'un épisode pluvieux

2.2.1.1 Détermination de la géométrie de la surface contributive et choix de l'évènement pluvieux

La détermination de la longueur et de la superficie de la source de pollution s'est faite à l'aide de l'outil « Measure » dans ArcMap. Google Earth a permis l'extraction des côtes topographiques dans le sens de l'écoulement des eaux pluviales afin de calculer la pente moyenne.

Pour le dimensionnement de cette bande tampon, nous avons choisi la hauteur de pluie journalière maximale sur la période 2000-2017. Ce choix se justifie par le fait que nous voulions modéliser une bande enherbée en fonction d'un évènement pluvieux extrême. Cette hauteur correspond à 121 mm.

2.2.1.2 Construction de l'hydrogramme unitaire (HU)

Le Curve Number (également appelé numéro de courbe ou CN) est un paramètre empirique utilisé en hydrologie pour prédire le ruissellement direct ou l'infiltration à partir d'un excès de précipitations (Catalogne *et al.*, 2018).

La valeur du Curve Number est sélectionnée dans le tableau (Annexe 1) en fonction du groupe hydrologique du sol, de l'occupation du sol, des conditions hydrologiques et des conditions d'humidité initiale du milieu.

Pour simuler l'évènement pluvieux, l'utilisation du module « Hydrogramme Unitaire » dans VFSMOD a été nécessaire. Celui-ci repose sur l'utilisation de la méthode du SCS-CN pour générer l'hydrogramme unitaire. Les données renseignées sont : la hauteur de pluie cumulée, la durée de l'évènement, le CN, les dimensions de la source de pollution, les paramètres d'érosion notamment l'érodibilité du sol et le type de sol.

La méthode du SCS-CN (USDA-SCS 1972) a été développée par l'USDA-NRCS (US Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service), pour prédire le volume ruisselé.

Pour un événement pluvieux donné, le volume ruisselé est calculé à l'aide de l'équation 1 :

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \text{ si } P > Ia \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Q = 0 \text{ si } P \leq Ia$$

avec :

- **Q** (mm) est le ruissellement direct ;
- **P** (mm) est la précipitation cumulée ;
- **Ia** (mm) sont les pertes initiales ;
- **S** (mm) est la rétention du sol.

La rétention du sol et les pertes initiales sont calculées à l'aide des équations 2 et 3 :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Ia = 0.2 * S \quad (\text{Eq. 3})$$

Avec :

- **S** (mm) est la rétention du sol ;
- **CN** est le Curve Number ;
- **Ia** sont les pertes initiales.

L'hydrogramme de ruissellement (HU) représente l'évolution du débit de ruissellement en fonction du temps. Il permet d'évaluer directement le ruissellement à partir de la connaissance de la pluie, du numéro de courbe et de l'hydrogramme synthétique (Annexe 4). Pour cela il est nécessaire de calculer le temps de retard du bassin versant **L**, le temps de pointe **T_p** et le débit de pointe **Q_p** en fonction des caractéristiques physiques du bassin versant étudié. Il n'est pas nécessaire de calculer le temps de concentration **T_c** si ces trois grandeurs sont déterminées (Carluer *et al.*, 2020).

Le temps de retard du bassin versant **L** se calcule à l'aide de l'équation 4 :

$$L = \frac{\left(\frac{l}{0.3048}\right)^{0.8} * \left(\frac{S}{25.4} + 1\right)^{0.7}}{1900 * Y^{0.5}} \quad (\text{Eq. 4})$$

avec :

- **L** (h) est le temps de retard ;
- **l** (m) est le plus long chemin hydraulique ;
- **S** (mm) est la rétention maximale du sol ;
- **Y** (%) est la pente moyenne du bassin versant.

Le temps de pointe **Tp** de l'hydrogramme unitaire et se calcule à l'aide des équations 5 et 6 :

$$T_p = \frac{\Delta D}{2} + L \quad (\text{Eq. 5})$$

où

- **Tp** (h) est le temps de pointe ;
- **ΔD** (h) est la durée d'averse élémentaire ;
- **L** (h) est le temps de retard du bassin versant ;

$$Q_p = \frac{0.208 * A}{T_p} \quad (\text{Eq. 6})$$

où

- **A** (km²) est la surface drainée.

2.2.1.3 Construction du hyétogramme

La construction du hyétogramme de pluie nette, repose sur la détermination du volume de pluie nette associé à chacune de ces averses élémentaires (Carluier *et al.*, 2008). Pour ceci, on utilise l'équation (7) de (Chow *et al.*, 1988) :

$$R = P - I_a - F \quad (\text{Eq. 7})$$

$$I_a = P \quad \text{Si } P < I_a$$

$$I_a = I_a \quad \text{Si } P > I_a$$

$$F = \frac{S * (P - I_a)}{P - I_a + S}$$

avec :

- **R** (mm) est la pluie nette cumulée ;
- **P** (mm) est la pluie cumulée ;
- **Ia** (mm) sont les pertes initiales cumulées ;
- **F** (mm) est l'infiltration cumulée.

Pour déterminer la pluie nette associée à chaque averse élémentaire, il suffit de retrancher successivement les valeurs cumulées obtenues pour chaque intervalle de temps (Carluer *et al.*, 2008).

2.2.2 Evaluation de la charge sédimentaire entrante

La quantité de sédiments entrants sur la bande a été calculée à partir du modèle MUSLE. C'est la version modifiée du modèle USLE (équation universelle de perte de sol) qui évalue l'érosion hydrique pendant la crue en fonction de cinq facteurs d'érosion. L'équation est donnée par Williams (1975) :

$$A = \alpha(Q \cdot q_p)^\beta * K * LS * C * P \quad (\text{Eq. 8})$$

A est la charge sédimentaire (tonnes) ;

$\alpha = 11,8$ et $\beta = 0,56$ sont deux paramètres du modèle MUSLE ;

Q est le volume du ruissellement (m^3) ;

q_p est le débit de pointe ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) pendant la crue ;

K est le facteur d'érodibilité du sol ($\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) ;

LS est le facteur topographique (sans unité) ;

C est le facteur de gestion de la couverture végétale (sans unité) ;

P est le facteur d'aménagement antiérosif (sans unité).

A la fin de toutes ces étapes, deux (2) fichiers sont créés et enregistrés au format projet. Un fichier contenant les informations de la surface contributive et un autre avec les informations sur la bande enherbée et les caractéristiques du sol de son emplacement potentiel.

2.2.3 Simulation de l'abatement du ruissellement et des sédiments entrants au sein de la bande enherbée

Le module « Dispositif enherbé (VFS) » dans VFSSMOD, a été utilisé pour simuler la capacité de la bande à réduire le volume d'eau ruisselé et les sédiments qu'il transporte. La démarche de modélisation est la suivante :

- Intégrer dans le model VFSSMOD le ruissellement évalué précédemment et le hyétogramme de l'évènement ;
- Renseigner les propriétés du sol, les propriétés des sédiments entrants ;
- Exécuter le programme de simulation de l'abatement du flux entrant dans la bande enherbée.

Cette simulation unique sur la base d'une largeur de 3 m constitue un modèle qui sera utilisé pour le dimensionnement de la bande.

2.2.4 Détermination des dimensions optimales de la bande enherbée

Le dimensionnement de la bande a été réalisé à partir du module « Design Analysis » dans VFSSMOD selon les étapes suivantes :

- Sélectionner les deux (2) fichiers contenant les informations sur la surface contributive et la bande enherbée ;
- Renseigner les paramètres suivants :
 - La durée de l'averse

Dans notre étude, la durée de l'averse est d'une (1) heure. Cette valeur est recommandée pour des évènements de courte durée (Carluer *et al.*, 2020).

- La période de retour

Pour intercepter des événements assez courants le choix de périodes de retour un (1) an et deux (2) ans est nécessaire. L'estimation des débits pour les périodes de retour s'est faite par la méthode statistique en utilisant la loi de Gumbel. Selon Kouassi *et al.* (2018) la loi de Gumbel paraît bien adaptée au régime équatorial de transition.

La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right) \quad (\text{Eq. 9})$$

avec la variable réduite suivante :

$$u = \frac{x-a}{b} \quad (\text{Eq. 10})$$

La distribution s'écrit alors de la manière suivante :

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad (\text{Eq. 11})$$

Donc

$$u = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (\text{Eq. 12})$$

L'expression d'un quantile est alors linéaire :

$$x_q = a + b \cdot u_q \quad (\text{Eq. 13})$$

a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel.

Le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Soit :

$$T = \frac{1}{1 - F(xi)} \quad (\text{Eq. 14})$$

Le calcul se fait à l'échelle du bassin versant. On détermine les valeurs liées au site d'étude par extrapolation.

- La gamme de largeur du dispositif enherbée

L'évaluation de l'efficacité de la bande enherbée se fera sur une gamme de 3 à 30 m de largeur avec un incrément de 1 m. Au-delà de 30 m, il est considéré que l'emprise du dispositif est trop importante et que celui-ci n'est pas susceptible de répondre efficacement à la problématique de ruissellement : le flux d'eau généré par la zone contributive est trop important pour être « absorbé » par la bande tampon (Catalogne *et al.*, 2018).

Les scénarios résultant du dimensionnement sont analysés et les dimensions qui permettent un abattement important du ruissellement en fonction de l'objectif recherché sont retenus. Ces dimensions sont appelées dimensions optimales. Dans notre étude l'objectif est de réduire de 70% le ruissellement entrant afin de comparer les dimensions obtenues aux travaux de Dosskey *et al.* (2011).

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

3.1.1 Ruissellement issu de la source de pollution lors d'un épisode pluvieux

3.1.1.1 Géométrie de la surface contributive (source de pollution)

La surface contributive a une superficie de $0,135 \text{ km}^2$ soit $13,5 \text{ ha}$ pour une longueur moyenne de 645 m . Elle s'étend sur une largeur de 210 m en moyenne. D'amont en aval les pentes varient entre $2,7\%$ et $0,4\%$. La pente moyenne est de 2% . Le plus long chemin hydraulique est de 519 m .

3.1.1.2 Hydrogramme unitaire (HU) de la surface contributive

L'hydrogramme de crue (figure 7) présente la forme d'une courbe en cloche dissymétrique sur laquelle on observe quatre parties :

- tarissement (avant la pluie nette) AB ;
- crue (BC) ;
- décrue (CD) ;
- et tarissement (après la recension hydropluviométrique étudiée) DE.

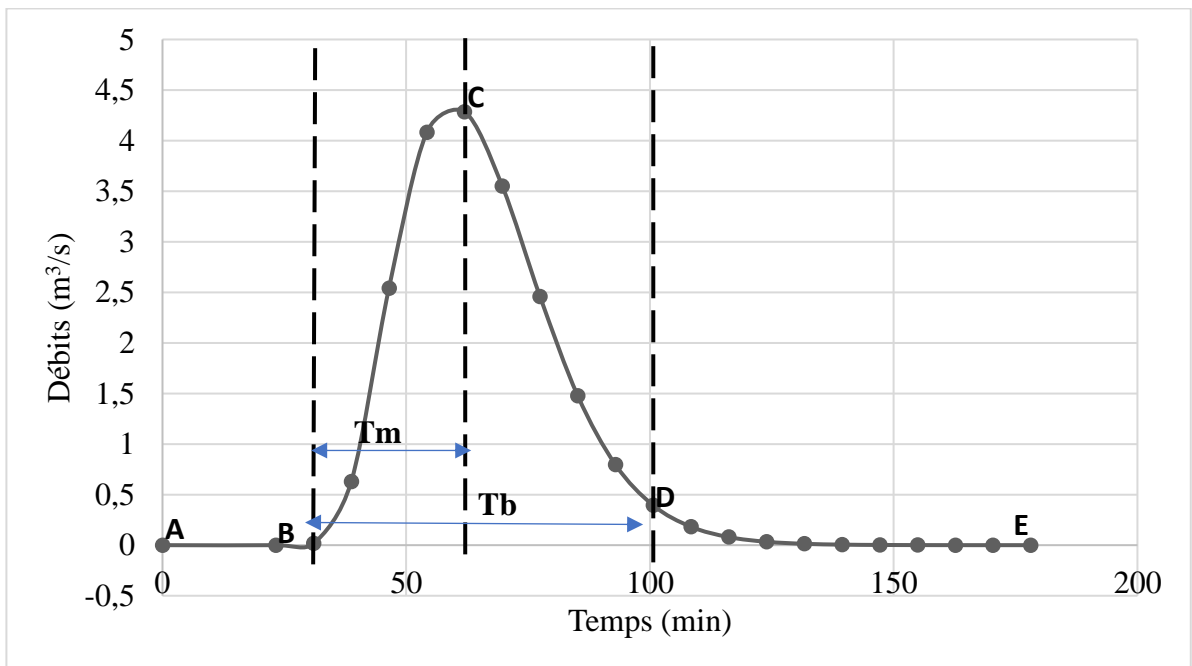


Figure 7 : Hydrogramme de l'évènement pluvieux étudié

Les temps caractéristiques obtenus sont :

- le temps de montée **T_m** c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre l'arrivée de l'écoulement rapide à la bande enherbée et le maximum de l'hydrogramme, soit 30,97 minutes
- le temps de base **T_b** qui correspond à la durée du ruissellement, soit 69,7 minutes

Le volume de la pluie nette (volume ruisselé) est de 4680 m³ sachant que la superficie de la surface contributive est de 0,135 km². La lame d'eau totale ruisselée est donc de 35 mm soit 29% de la pluie tombée.

3.1.1.3 Hyétogramme de la surface contributive

La figure 8 montre la distribution dans le temps de l'intensité de l'évènement pluvieux choisi. Cette distribution décrit une loi normale avec un pic de 4.7101⁻⁵ m/s

L'évènement pluvieux considéré pour cette étude a une durée d'une (1) heure. L'intensité maximale est observée à 31 minutes environ.

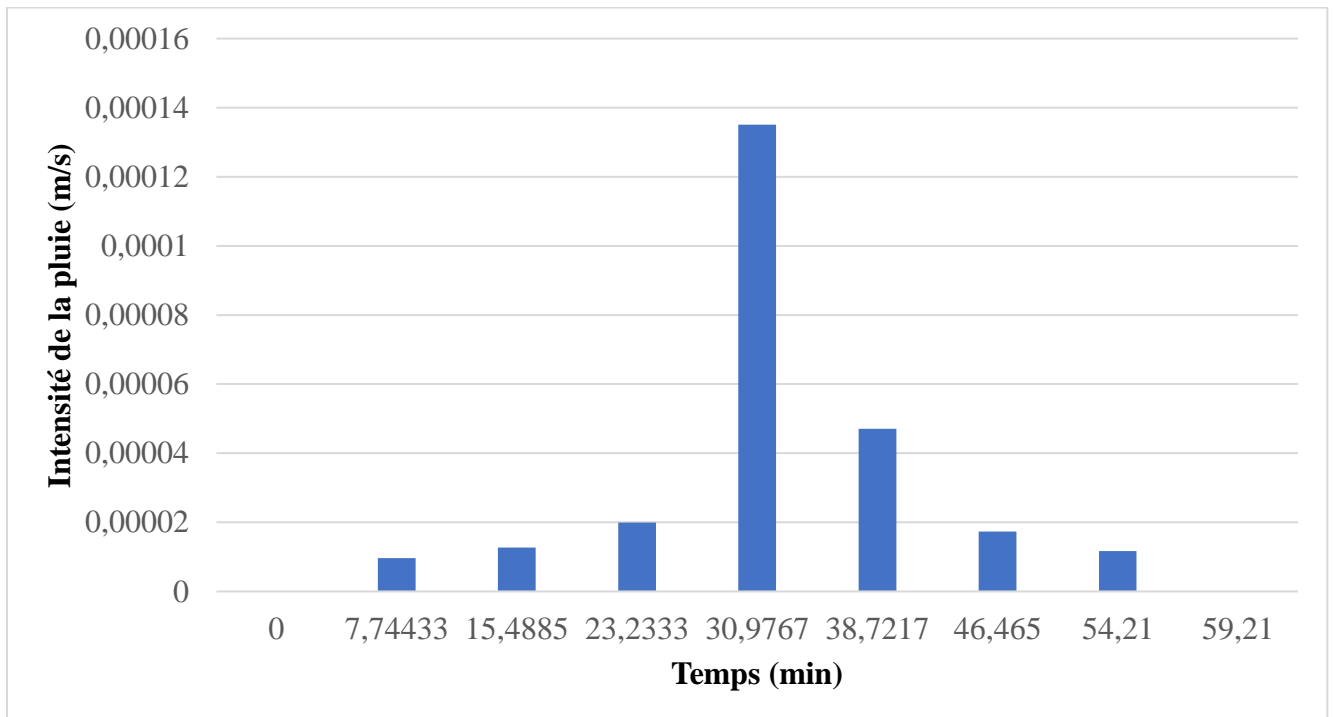


Figure 8 : Hyétogramme de l'évènement pluvieux étudié

3.1.2 Abattement du ruissellement et des sédiments entrants dans la bande enherbée

Les résultats montrent qu'une bande enherbée de 3 m de large diminue le flux d'eau entrant de 1118,52 m³ (figure 9) soit une réduction de 24% du volume (4680 m³) provenant de la source de pollution.

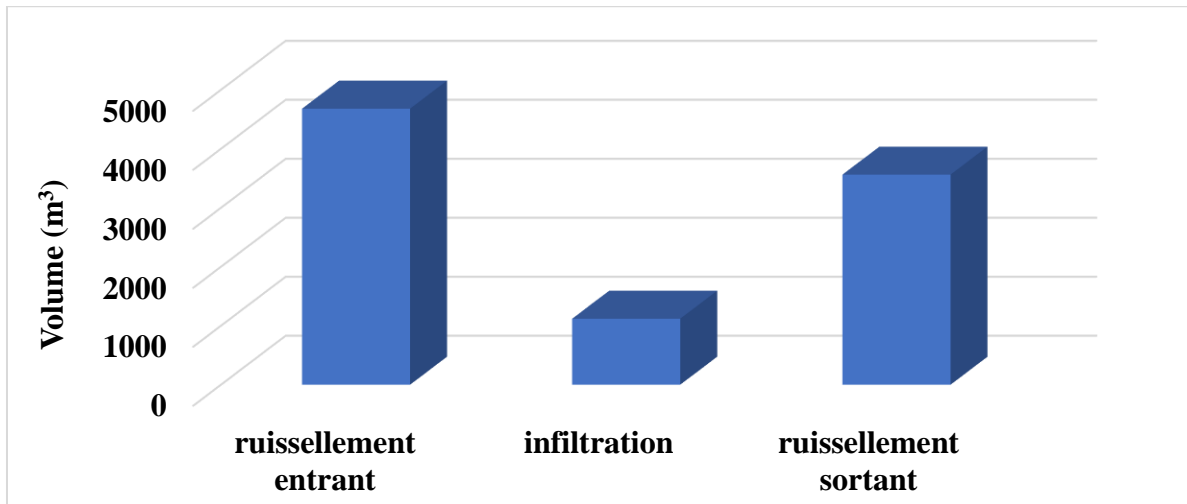


Figure 9 : Abattement du ruissellement

En ce qui concerne la charge sédimentaire, on observe que la bande enherbée est beaucoup plus efficace. La quantité de sédiments passe de 131,75 kg à 32,94 kg. Une bande enherbée de largeur 3 m permet donc de capter 75% de la quantité de sédiments entrants (figure 10).

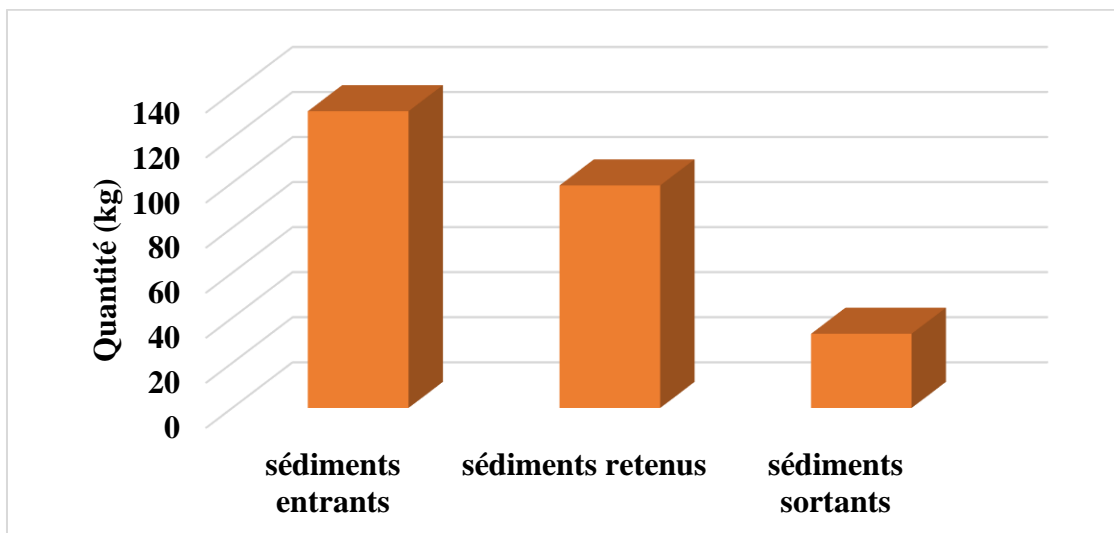


Figure 10 : Abattement de la charge sédimentaire

3.1.3 Dimensions optimales de la bande enherbée

3.1.3.1 Périodes de retour et lame d'eau associée

La figure 11 est une représentation graphique de la répartition des débits de pointe maximum (xi) en fonction de la variable réduite de Gumbel (ui). Le couple (xi ; ui) permet d'estimer les paramètres de la droite d'équation $y = a+bu$ avec : $a = 230.58$; $b = 66.003$ et $u = [-1.364 ; 3.902]$

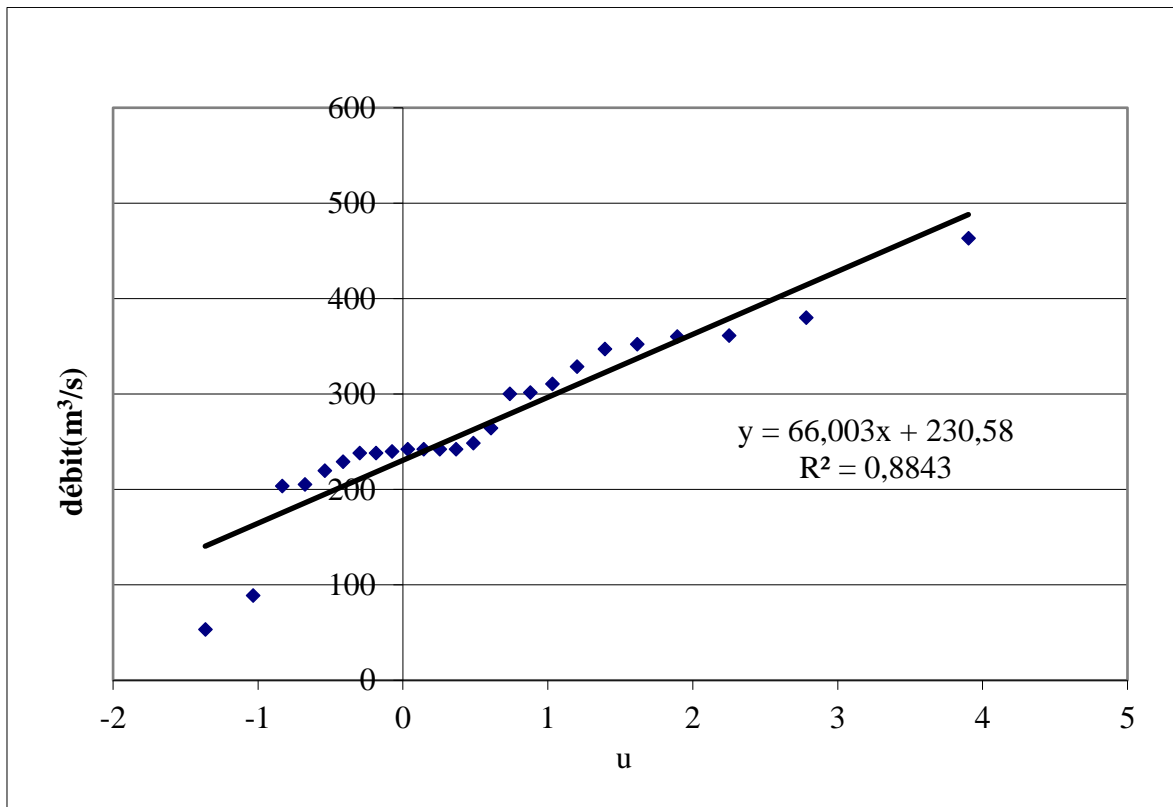


Figure 11 : Diagramme de Gumbel

Les résultats des débits d'eau en fonction des périodes de retour sont consignés dans le tableau I. Pour cette étude, les lames d'eau retenues sont : 18 mm et 22 mm.

Tableau I : Périodes de retour et débits associés

Période de retour T (année)	1	2	5	10
Quantité d'eau(mm)	18	22	28	32

3.1.3.2 Scénarios après simulation

Les différents scénarios obtenus après simulation sont renseignés dans le tableau II qui indique pour chaque largeur de la bande enherbée la part de ruissellement sortant.

Tableau II : Scénarios de simulations

	T 1	Pourcentage ruissellement sortant	T 2	Pourcentage ruissellement sortant
Simulation 1	3	0,761	3	0,862
Simulation 2	4	0,695	4	0,822
Simulation 3	5	0,636	5	0,783
Simulation 4	6	0,582	6	0,747
Simulation 5	7	0,531	7	0,712
Simulation 6	8	0,484	8	0,679
Simulation 7	9	0,44	9	0,647
Simulation 8	10	0,399	10	0,617
Simulation 9	11	0,361	11	0,588
Simulation 10	12	0,324	12	0,559
Simulation 11	13	0,29	13	0,531
Simulation 12	14	0,258	14	0,505
Simulation 13	15	0,229	15	0,479
Simulation 14	16	0,202	16	0,454
Simulation 15	17	0,177	17	0,429
Simulation 16	18	0,155	18	0,406
Simulation 17	19	0,134	19	0,383
Simulation 18	20	0,115	20	0,361
Simulation 19	21	0,099	21	0,34
Simulation 20	22	0,084	22	0,319
Simulation 21	23	0,072	23	0,299
Simulation 22	24	0,065	24	0,279
Simulation 23	25	0,063	25	0,26
Simulation 24	26	0,062	26	0,242
Simulation 25	27	0,062	27	0,224
Simulation 26	28	0,062	28	0,207
Simulation 27	29	0,06	29	0,191
Simulation 28	30	0,062	30	0,175

La figure 12 présente les courbes d'efficacité de la zone tampon à limiter le ruissellement de surface en fonction de sa largeur selon les périodes retour (un an T1 ; deux ans T2). Plus la largeur de la bande est élevée, plus l'abattement du ruissellement est important. Ce constat est valable pour les deux (2) périodes retour. La courbe T1 cependant montre que les bandes enherbées simulées de largeur supérieure à 24 m ont une capacité de rétention quasi-identique.

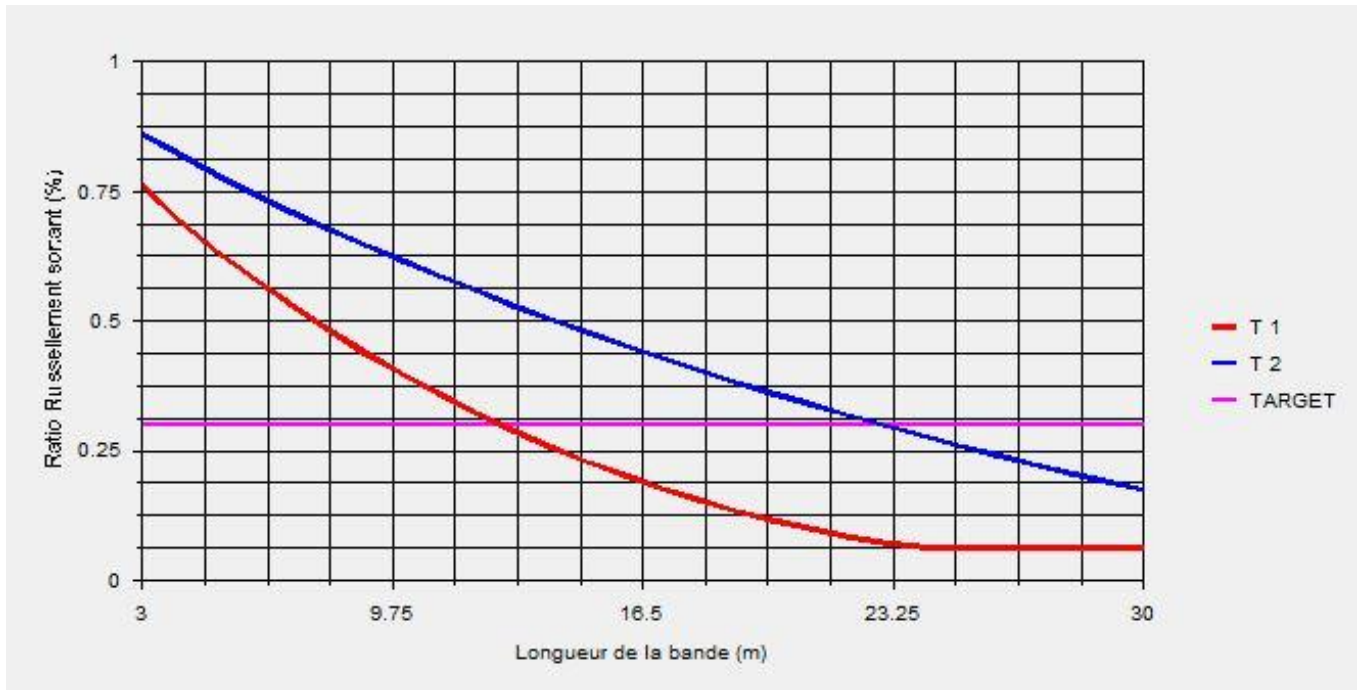


Figure 12 : Evolution du ratio de ruissellement sortant en fonction de la largeur de la bande

3.1.3.3 Dimensions retenues

Le pourcentage d'efficacité recherché dans cette étude est de 70% soit un ratio de sortie de 0,30. L'analyse des résultats de chaque scénario a permis de trouver les dimensions optimales de la bande enherbée selon l'objectif recherché dans cette étude. Ceux-ci sont renseignés dans le tableau III.

Tableau III. : Dimensions optimales de la bande enherbée

	Evènement	T1	T2
Dimensions optimales	Largeur (m)	12,70	22,95
	Longueur (m)	300	

Le figure 13 montre l'efficacité de la bande enherbée, modélisée dans ce travail, dans la réduction des ruissellements diffus et des flux de sédiments. Pour un ruissellement d'une hauteur de 35 mm, 24,5 mm est infiltré et 10,5 mm rejoint la retenue (figure 13 a) ; et pour une quantité de 131,7 kg de sédiments, 128,4 kg sont retenus par la bande et seulement 3,3 kg en ressortent (figure 13 b).

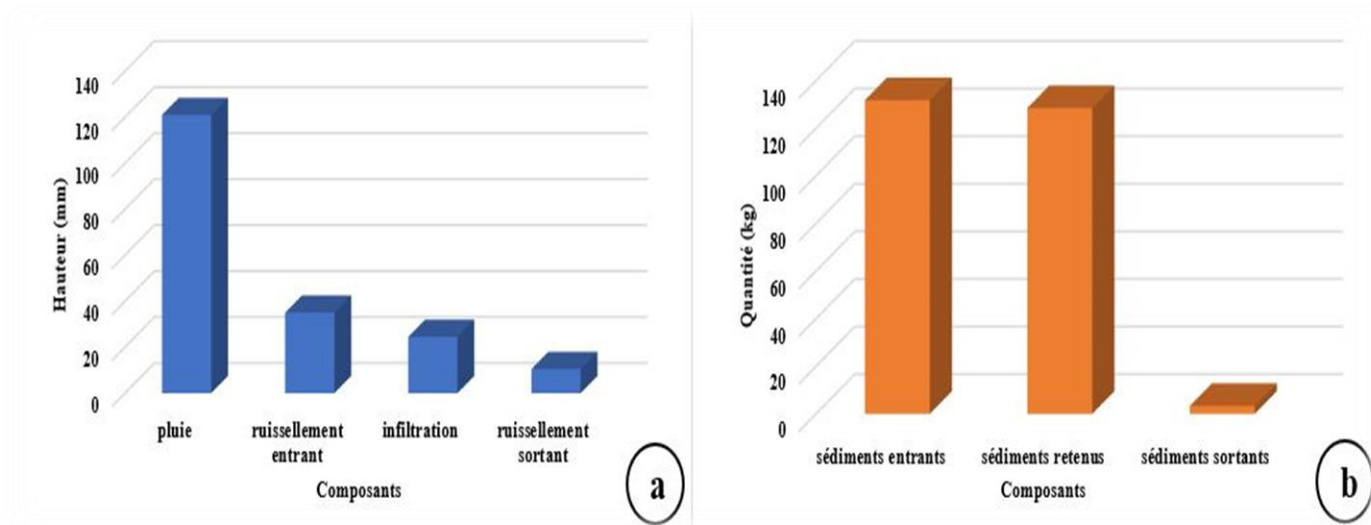


Figure 13 : Abattement des flux entrants après simulation

3.2 Discussion

Cette étude est réalisée dans l'optique de dimensionner une bande enherbée efficace contre le transfert de polluant par ruissellement dans la retenue de la Lobo. Il en résulte qu'il faut seulement 3 m de largeur de bande enherbée pour diminuer de 75% la charge polluante. Rappelons que ce ruissellement se fait de façon diffuse sur une longueur de 300 m. Ce résultat diffère de celui proposées par Dosskey *et al.* (2011). Ceux-ci proposent non pas une largeur de bande tampon, mais plutôt ce qu'ils nomment le ratio de la zone tampon (buffer area ratio) qui correspond à la division de l'aire de la bande enherbée effective par l'aire de la source de pollution. C'est un ratio de la bande enherbée à utiliser pour le captage des sédiments dans un champ en travail conventionnel du sol (labour). Ainsi, il ne s'agit plus d'établir une largeur de bande tampon, mais plutôt la superficie que les eaux ruisselées doivent traverser pour qu'une certaine partie soit captée (Breune *et al.*, 2013). Selon Dooskey *et al.* (2011), l'on devrait utiliser un ratio de 0,01 pour réduire de 60-75% les apports en sédiments de la parcelle étudiée pour une même durée d'averse (1 heure). Soit une largeur de 4,5 m pour une longueur de 300 m. La largeur suggérée par ces derniers est supérieure à celle obtenue dans notre étude. Cette différence de valeur peut s'expliquer par les paramètres pris en compte par chacun de ces modèles. Contrairement à l'outil proposé par Dooskey *et al.* (2011) qui ne repose que sur trois paramètres notamment la pente, la texture du sol et le type d'occupation ; le modèle VFSSMOD quant à lui prend en compte, en plus des paramètres précités, la couverture végétale de la bande. La densité végétale permet de réduire la vitesse de ruissellement (CORPEN, 2007) et donc l'énergie disponible pour le transport des particules et de limiter les phénomènes érosifs sur le dispositif tampon lui-même, dans le sol ainsi que la sédimentation des particules à l'amont de la zone tampon (Krutz *et al.*, 2005).

Les résultats montrent également que pour une période retour d'un (1) an, une largeur de 12,47 m est nécessaire pour abattre 70% du volume ruisselé d'une valeur de 35 mm. Par contre, pour une période de deux (2) ans, il faudra mettre en place une bande de 22,95 m pour atteindre l'objectif de 70% de réduction. On remarque que la réduction de la charge solide est largement supérieure à celle du volume ruisselé et qu'il faut une bande plus large pour réduire le flux d'eaux pluviales ruisselées. Ces résultats confirment les résultats d'expérimentations de Borin *et al.* (2005) ; ces expériences menées en Italie sur 4 années à partir de pluies naturelles ont montrées que la performance des dispositifs enherbés pour réduire la charge sédimentaire est 10-15% supérieure à celle pour réduire le ruissellement avec la même largeur filtrante.

Cette différence de performance s'explique par le fait que le volume ruisselé est largement supérieur à la quantité de particule transportée. Dans notre cas par exemple on a 4 680 m³ d'eau qui arrive sur la bande enherbée contre 131,75 kg de sédiments.

Les différents scénarios de simulation obtenus résultent d'une gamme de largeur de 3 à 30 m. Le constat est que les variations de largeur de la bande entraînent une variabilité des performances de celle-ci. La rétention du ruissellement varie de 24% à 93,8%. Ces résultats montrent que la performance de la bande enherbée dans l'abattement du flux entrant n'évolue pas de façon linéaire. Cependant, plus la bande est large plus elle est efficace. Ces résultats sont conformes à l'assertion de Schmitt *et al.* (1999), selon laquelle un doublement de largeur de la bande enherbée, en l'occurrence de 7,5 à 15 m, provoque une diminution nette des concentrations et des flux de tous les contaminants dissous. En effet, les pesticides sont transportés principalement sous forme dissoute (Lecomte, 1999). Donc, plus la distance parcourue par le ruissellement dans la zone tampon est importante, plus les potentiels d'infiltration et d'adsorption sont élevés. Cette situation est favorisée par le système racinaire des végétaux et par la diminution de la vitesse d'écoulement dû à la rugosité du couvert végétal. Cependant, au-delà de 25 m, l'efficacité est constante malgré l'augmentation de la largeur. Cela pourrait s'expliquer par l'engorgement du dispositif enherbé ; la porosité disponible du sol est de moins en moins importante limitant l'infiltration de la quantité d'eau ruisselée.

Le modèle utilisé pour ce travail a permis de déterminer les dimensions possibles pour une réduction efficace des contaminants transportés par ruissellement vers la retenue de la Lobo. Cependant, le devenir des produits phytosanitaires infiltrés dans le sol (rétention et dégradation ou transfert en profondeur) n'est pas considéré dans ce travail. Le modèle simule le ruissellement et son interception par la bande tampon pour un épisode pluvieux et des conditions initiales données. Il n'est donc pas possible d'effectuer une simulation en continu sur une succession d'épisodes à partir de ce modèle.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le problème de l'eutrophisation de la retenue de la Lobo, ressource en eau importante pour la localité de Daloa et ses environs a conduit à la mise en place de cette étude dont l'objectif principal est de déterminer les dimensions optimales d'une bande enherbée en vue de limiter le phénomène de pollution de la Lobo. Le dimensionnement de cette bande s'est fait à l'aide du modèle VFSMOD-W. Pour réaliser ce travail, la quantification du volume d'eau pluviale ruisselée et des sédiments transportés a été nécessaire. Les différents scénarios obtenus à partir du modèle résultent d'une variation de la largeur de la bande pour chaque période de retour choisie. Un scénario correspond à un ensemble de paramètres d'entrée (caractéristiques de la surface contributive, flux entrant, propriétés du sol où sera positionnée la bande, la pente de la zone) pour lequel le programme va déterminer les dimensions de la bande enherbée ; c'est-à-dire la largeur en fonction du taux d'abattement. Les calculs d'efficacité de la bande tampon (BE) sont réalisés pour des largeurs variant de 3 à 30 m avec un incrément de 1 m. Il ressort de l'analyse des résultats obtenus après simulation que pour une période de retour d'un (1) an, la bande à mettre en place doit avoir une largeur de 12,70 m afin de réduire de 70% les écoulements entrants sur le dispositif enherbé (BE) en considérant le ruissellement diffus sur une longueur de 300 m. Pour une période de retour de deux (2) ans une largeur de 22,95 m est nécessaire. En ce qui concerne les particules transportées par le ruissellement, les scénarios ont montré qu'une bande enherbée de largeur égale à 3 m permettrait une réduction de 75% de ces sédiments. Ce travail a pu confirmer l'efficacité d'une bande enherbée dans la limitation du transfert de polluants dans la retenue de la Lobo.

Bien que l'efficacité des bandes enherbées dans la lutte contre les polluants d'origine agricole ait été confirmée, il reste encore beaucoup d'action et d'études à mener pour pouvoir réaliser sur le terrain de telles techniques en Côte d'Ivoire. Par exemple, il faudra développer des sites expérimentaux locaux afin de prendre en compte les conditions agronomiques, pédologiques et climatiques des zones agricoles. Cela permettra d'avoir des résultats précis et de proposer des solutions appropriées pour l'entretien des bandes enherbées. De plus, l'importance des bandes enherbées étant méconnue, il faudra encourager, subventionner et financer les campagnes de sensibilisation de la population à l'implantation de ces bandes.

REFERENCES

- ANADER. (2017). Découvrir la carte spatiale de la direction centre ouest, (Côte d'Ivoire), http://www.anader.ci/direction_regionale_centre_ouest.html
- Borin M., Vianello M., Morari F., Zanin G. (2005). Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North East Italy, agriculture, *ecosystems & Environment Journal*, 105 (1-2) : 101-114.
- Breune I., Audet M.A. & Parent R.G. (2013). grass intercalaire : Essai de variétés, Essai de semis à différents stades du maïs. Rapport final club agroenvironnemental de l'Estrie, Québec (Canada), 60p.
- Brou T., Akindès F. & Bigot S. (2005). La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles, *Cahiers Agricultures*, 14 (6) :533-540.
- Carluer N., Fontaine A., Lauvernet C & Muñoz Carpena R. (2020). Guide de dimensionnement des zones tampons enherbées ou boisées pour réduire la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires. Rapport de recherche irstea, France, 72 p.
- Carluer, N., Giannone G. & Bazin R.C.P.H. (2008). Vers un outil de dimensionnement des dispositifs enherbés pour limiter les flux de phytosanitaires transférés par ruissellement. Tests de scénarios. *Ingénieries*, EAT (55 -56) : 61-77.
- Catalogne C. Lauvernet C. & Carluer N., (2018). Guide d'utilisation de l'outil BUVARD pour le dimensionnement des bandes tampons végétalisées destinées à limiter les transferts de pesticides par ruissellement. Rapport de recherche irstea, France, 66 p.
- Chow T.V., Maidment D.R. & Mays L.W. (1988). Applied Hydrology, International edition, Texas (USA), 527p.
- CORPEN (2007). Les fonctions environnementales des zones tampons – Les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux, première édition, Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Paris, 176 p.
- Delor C., Siméon Y., Vidal M., Zeade Z., Koné Y., Adou M., Dibouahi M., Irié, Ya D. B., N'da B. D., Pouclet D., Konan A., Diaby G., Chiron I., Dommanget J. C., Kouamelan A., Peucat A. N., Cocherie J. J. & Cautru, J. P. (1995). Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, feuille Nassian. Mémoire n°9 de la Direction des Mines et de la Géologie, Côte d'Ivoire, 19 p.
- Dosskey M.G., Helmers M.J. & Eisenhauer D.E. (2011). A design aid for sizing filter strips using buffer area ratio. *Journal of soil and water conservation*, 66(1) : 29-39.

- Gril J.-J., Le Hénaff G. & Faidix K. (2010). Mise en place de zones tampons et évaluation de l'efficacité de zones tampons existantes destinées à limiter les transferts hydriques de pesticides : guide de diagnostic à l'échelle du petit bassin versant, Rapport Irstea-MAAP (France), 42 p.
- Koffi B., Kouassi K.L., Sanchez M., Kouadio Z.A., Kouassi K.H. & YAO A.B. (2020). Estimation de la sédimentation dans la retenue d'eau de la rivière Lobo à l'aide de la théorie des bassins de décantation, XVIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 8-10 Décembre 2020, Daloa (Côte d'Ivoire), pp. 249-258.
- Komelan Y. (1999). Eutrophisation des retenues d'eau en Côte d'Ivoire et gestion intégrée de leur bassin versant : cas de la Lobo à Daloa. Mémoire de master, École d'Ingénieurs de l'Équipement Rural de Ouagadougou, (Ouagadougou, Burkina Faso), 56p.
- Koua T.J.-J., Dhanesh Y., Kouaho A.A., Jaehak J., Srinivason R. & Anoh K.A. (2021). Implementation of semi-distributed SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Model Capacity in the Lobo watershed at Nibéhibé (Center-west of Côte d'Ivoire). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9 : 21-38.
- Kouassi A.M., Nassa R.A.-K., Yao K.B., Kouamé K.F. & Biemi J. (2018). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des Sciences de l'Eau*, 31(2) : 147-160.
- Koukougnon W.G. (2012) Milieu urbain et accès à l'eau potable : Cas de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse Unique de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny Abidjan, Côte d'Ivoire, 323 p.
- Krutz L. J., Senseman A. S., Zablotowicz M.R. & Marocha M.A. (2005). Reducing herbicide runoff from agricultural fields with vegetative filter strips : a review. *Weed science*, 53 : 353-367.
- Lacas J.G. (2005). Processus de dissipation des produits phytosanitaires dans les zones tampons enherbées. Etude expérimentale et modélisation en vue de limiter la contamination des eaux de surface. Sciences de l'eau dans l'environnement continental. Ecole doctorale : Sciences de la Terre et de l'Eau, Université Montpellier II, (Montpellier, France), 239 p.
- Lecomte V. (1999). Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant. Thèse de doctorat, École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts de Montpellier, (Montpellier, France), 210 p.

- Maïga A.H., Denyigba K. & Allorent J. (2001). Eutrophisation des petites retenues d'eau en Afrique de l'Ouest : causes et conséquences : Cas de la retenue d'eau sur la Lobo à Daloa en Côte d'Ivoire. *Sud Sciences & Technologies*, 7 : 16-29.
- Muñoz-Carpena R. & Parson J.E. (2010). VFSSMOD-W Vegetative Filter Strips Modelling System model documentation & user's manual, University of florida, USA, 194 p.
- Nachtergaele F., Velthuisen H.V., Verest L., 2009. Harmonized world soil database version 1.1, 20 p. <http://www.fao.org/3/aq361e/aq361e.pdf>
- Peter G. V., Brussaard C.P., Nejtgaard J.C., Van Leeuwe M.A., Lancelot C. & Medlin L.K. (2007). Current understanding of Phaeocystis ecology and biogeochemistry, and perspectives for future research. *Biogeochemistry*, 83 : 311–330.
- PRICI (2016). Actualisation du cadre de politique de réinstallation (CPR). Financement additionnel au projet d'urgence de renaissance des infrastructures, Côte d'Ivoire, 118p.
- RGPH (2014). Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Rapport d'exécution et présentation des principaux résultats, (Côte d'Ivoire), 49 p.
- Schmitt T.J., Dosskey M.G. & Hoagland K.D. (1999). Filter Strip Performance and Processes for Different Vegetation, Widths, and Contaminants. *Journal of Environmental Quality*, 28 : 1479-1489.
- USDA-SCS (1972). National Engineering Handbook, Section 4 : Hydrology, Departement of Agriculture, Whashington D.C (USA), 762p.
- Yao A.B., Bi Tié A.G., Kane A., Oi Mangoua J & Kouamé A.K. (2016). Cartographie du potentiel en eau souterraine du bassin versant de la Lobo (Centre-Ouest, Côté d'Ivoire): approche par analyse multicritère, *Hydrological Sciences Journal*, 61 (5) : 856–867.
- Yao Affoué Berthe (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 192p.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Débits annuels maximum et fréquences associées.

Année	Qpmax [m ³ /s]	Rang r [-]	Fréquence empirique F [-]	Variable réduite u [-]
2003	53,3	1	0,02	-1,364
1997	88,5	2	0,06	-1,034
2001	203,5	3	0,1	-0,834
2002	205,0	4	0,14	-0,676
1992	219,5	5	0,18	-0,539
1998	229,0	6	0,22	-0,415
1990	238,0	7	0,26	-0,298
1999	238,0	8	0,3	-0,186
2006	239,5	9	0,34	-0,076
2007	242,0	10	0,38	0,033
2008	242,0	11	0,42	0,142
2009	242,0	12	0,46	0,253
2010	242,0	13	0,5	0,367
2005	248,5	14	0,54	0,484
2000	264,0	15	0,58	0,607
2013	300,0	16	0,62	0,738
1995	301,5	17	0,66	0,878
2004	310,5	18	0,7	1,031
1993	328,5	19	0,74	1,200
1994	347,0	20	0,78	1,392
1991	352,0	21	0,82	1,617
2011	360,0	22	0,86	1,892
2012	361,0	23	0,9	2,250
1996	380,0	24	0,94	2,783
1989	463,0	25	0,98	3,902

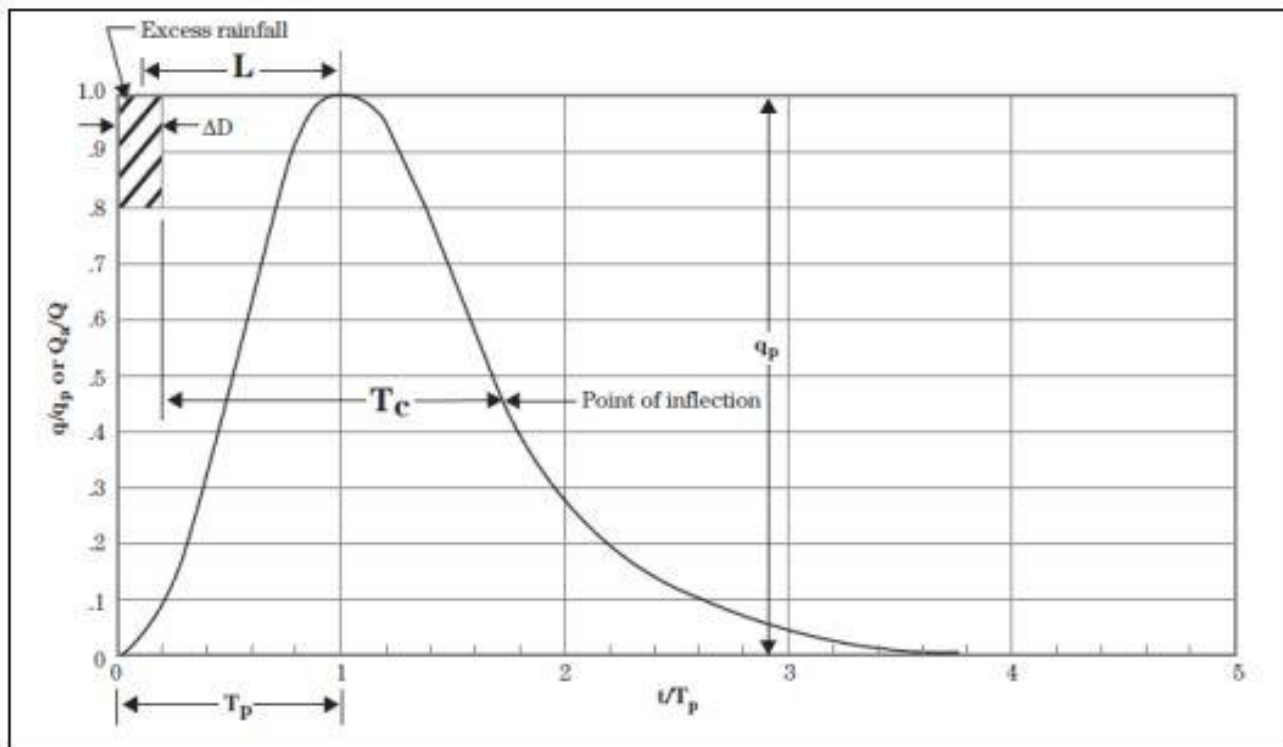
ANNEXE 2 : Valeur des Curve Number en fonction du type hydrologique de sol et de l'occupation du sol (Catalogne *et al.*, 2018).

Type de couverture	Conditions	Groupe hydrologique du sol			
		A	B	C	D
Sol nu	---	82	91	96	99
Résidu de culture	Défavorable <i>Par exemple : faible densité de résidus, partiellement enfouis après déchaumage, sol tassé par le chantier de récolte</i>	81	90	95	98
	Favorable <i>Par exemple : forte densité de résidus non enfouis, sol peu tassé par le chantier de récolte</i>	79	88	93	95
Grandes cultures à grand écartement (maïs, betterave, pomme de terre...)	Défavorable <i>Par exemple : premiers stades de levée (feuillage peu développé)</i>	77	86	93	96
	Favorable <i>Par exemple : feuillage bien développé</i>	72	83	90	94
Grandes cultures à petit écartement (blé, orge, triticale, colza, luzerne...)	Défavorable <i>Par exemple : premiers stades de levée (feuillage peu développé)</i>	70	81	89	93
	Favorable <i>Par exemple : feuillage bien développé, techniques de semis direct</i>	68	80	88	92
Vignes et Verger	Défavorable <i>Pas d'enherbement (sol nu entre les rangs)</i>	66	81	89	94
	Moyenne <i>Enherbement d'un rang sur deux</i>	59	76	86	91
	Favorable <i>Enherbement de tous les inter-rangs</i>	47	69	81	87
Prairies et pâturages	Défavorable <i>La végétation couvre moins de 50% de la surface et/ou pacage important</i>	73	84	91	94
	Moyenne <i>La végétation couvre entre 50% et 75% de la surface et pacage limité</i>	54	74	84	89
	Favorable <i>La végétation couvre plus de 75% de la surface et pacage limité</i>	44	66	79	85

ANNEXE 2 (suite) : Valeur des Curve Number en fonction du type hydrologique de sol et de l'occupation du sol (Catalogne *et al.*, 2018).

Type de couverture	Conditions	Groupe hydrologique du sol			
		A	B	C	D
Broussailles et Friches	Défavorable <i>La végétation couvre moins de 50%</i>	53	72	82	88
	Moyenne <i>La végétation couvre entre 50% et 75%</i>	40	61	75	82
	Favorable <i>La végétation couvre plus de 75%</i>	35	53	70	78
Bois et forêts	Défavorable <i>Elimination totale des strates herbacées et arbustives</i>	50	71	82	88
	Moyenne <i>Elimination partielle des strates herbacées et arbustives</i>	41	71	78	84
	Favorable <i>Strates herbacées et arbustives préservées</i>	35	60	75	82
Zones urbanisées (routes, chemins, bâti...)	---	100			

ANNEXE 3 : Hydrogramme unitaire synthétique (USDA-SCS 1972).



ANNEXE 4 : Facteurs de calcul du K par type de sol (tirés de GLEAMS à partir des données de Wischmeier *et al.* (1971)).

Soil Type	Sand %	Silt %	Texture Factor	Structure Factor	Permeability Factor	D50
Clay	20	30	0,01287	0,0650	0,075	23,0
Silty clay	10	45	0,01870	0,0650	0,075	24,0
Sandy Clay	50	10	0,01714	0,0650	0,075	66,0
Silty clay loam	15	50	0,02606	0,0650	0,050	25,0
Clay loam	35	30	0,02360	0,0650	0,050	18,0
Sandy clay loam	55	20	0,02778	0,0650	0,050	91,0
Silt	5	85	0,05845	0,0650	0,025	19,0
Silt loam	20	60	0,04259	0,0650	0,025	27,0
Loam	45	35	0,03618	0,0325	0,025	35,0
Very fine sandy loam	60	25	0,03877	-0,0350	0,000	35,0
Fine sandy loam	60	25	0,03205	0,0000	0,000	80,0
Sandy loam	60	25	0,02549	0,0325	0,000	98,0
Coarse sandy loam	60	25	0,01914	0,0325	0,000	160,0
Loamy very fine sand	84	8	0,03726	-0,0325	-0,025	90,0
Loamy fine sand	84	8	0,02301	0,0000	-0,025	120,0
Loamy sand	84	8	0,01624	0,0325	-0,025	135,0
Loamy coarse sand	84	8	0,00982	0,0325	-0,025	180,0
Very fine sand	90	5	0,04401	-0,0325	-0,050	140,0
Fine sand	90	5	0,02173	0,0000	-0,050	160,0
Sand	90	5	0,01481	0,0325	-0,050	170,0
Coarse sand	90	5	0,00827	0,0325	-0,050	200,0

ANNEXE 5 : Ratio de la zone tampon à utiliser pour le captage des sédiments dans un champ en travail conventionnel du sol ¹ (Dooskey *et al.*, 2011).

		Ratio de la zone tampon selon l'efficacité du captage (+ ou - 15%) *		
Pente (%)	Texture	80%	60%	30%
2	Fine	0,028	0,015	0,010
	Moyenne	0,010		
	Grossière	0,010		
4,5	Fine	0,079	0,043	0,016
	Moyenne	0,028	0,015	0,010
	Grossière	0,010		
7	Fine	CI	0,100	0,038
	Moyenne	0,079	0,043	0,016
	Grossière	0,028	0,015	0,010
9,5	Fine	CI	CI	0,072
	Moyenne	CI	0,100	0,038
	Grossière	0,079	0,043	0,016
12	Fine	CI	CI	CI
	Moyenne	CI	CI	0,072
	Grossière	CI	0,100	0,038
14,5	Fine	CI	CI	CI
	Moyenne	CI	CI	CI
	Grossière	CI	CI	0,072

- CI : Captage insuffisant
- ¹ Facteur C de RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, Équation Universelle des Pertes de Sol Révisée) : 0,5

RESUME

La retenue aménagée pour l'alimentation en eau des populations de la ville de Daloa (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire) fait face au phénomène d'eutrophisation dû au transport des intrants provenant des parcelles agricoles situées en amont de la retenue. Des études ont mis en évidence le problème de pollution et de comblement de cette retenue. Cette étude a été initiée pour apporter une solution simple et efficace à ce problème. L'objectif principal est de déterminer les dimensions optimales d'une bande enherbée en vue de limiter le phénomène d'eutrophisation de la Lobo. Le dimensionnement de cette bande s'est fait à l'aide du modèle VFSSMOD-W. L'écoulement provenant des parcelles, sources de pollution, a été simulé et intégré dans le modèle. Les différents scénarios obtenus résultent d'une variation de la largeur de la bande pour les périodes retour de 1 et 2 ans. Il ressort de l'analyse des résultats obtenus après simulation que pour une période retour d'un an, la bande à mettre en place doit avoir une largeur de 12,70 m afin de réduire de 70% les écoulement entrants sur dans le dispositif en considérant le ruissellement diffus sur une longueur de 300m. Pour une période de retour deux ans une largeur de 22,95 m est nécessaire. Les scénarios ont montré qu'une bande enherbée de largeur égale à 3 m permettrait une réduction de 75% de ces sédiments.

Mots clés : Bande enherbée, eutrophisation, pesticides, pollution, protection, VFSSMOD-W.

ABSTRACT

The reservoir built to supply water to the population of the city of Daloa (Central West of Côte d'Ivoire) is facing the phenomenon of eutrophication due to the transport of inputs from agricultural plots located upstream of the reservoir. Studies have highlighted the problem of pollution and filling of this reservoir. This study was initiated to provide a simple and effective solution to this problem. The main objective is to determine the optimal dimensions of a grassy strip in order to limit the eutrophication phenomenon of the Lobo. The sizing of this strip was done using the VFSSMOD-W model. The runoff from the source plots was simulated and integrated into the model. The different scenarios obtained result from a variation of the width of the strip for each selected return period. The analysis of the results obtained after simulation shows that for a return period of one year, the strip to be set up should have a width of 12.70 m in order to reduce by 70% the inflow into the device considering the diffuse runoff over a length of 300m. For a return period of two years a width of 22.95 m is necessary. The scenarios showed that a grassed strip of width equal to 3 m would allow a 75% reduction of these sediments.

Key words: Grass strip, eutrophication, pesticides, pollution, protection, VFSSMOD-W.

