



RÉPUBLIQUE D'HAÏTI

Université D'État d'Haïti

(UEH)

Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire

(FAMV)

Département de Génie Rural

(DGNR)

**Diagnostic Biophysique de l'État Actuel du Micro Bassin Versant de Tiravine
(Camp-Perrin) et Estimation des Pertes de Sol**

Mémoire de fin d'études

Présenté par : Wisly ALCIME

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome

Option : Génie Rural

Octobre 2020

DÉDICACES

Ce travail de fin d'étude est dédié à toutes les personnes, mais d'une façon particulière à :

- ✓ Ma famille composée de cinq(5) frères et d'une(1) sœur à savoir Jeancène ALCIMÉ, Ezéchiel ALCIMÉ, Vivenson ALCIMÉ et Charmine ALCIMÉ, ainsi qu'à ma mère Pacilia CAZALÈS et mon père Louiscius ALCIMÉ ;
- ✓ Mes collègues de promotion Brain-Fusion (2013-2018) et en particuliers : Elijeune PIERRE, Romial LOUIS, Mirode SAINT-JUSTE, Judnord REMAQUE et Loveson SAINVILUS ;
- ✓ Professeurs Verlaine NOEL, Gary DOLISCAR, Eno HERARD, Gonomy NYANKONA et Saint Phar JEAN ;
- ✓ Mon amie Rose-Berline DESTIN.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent principalement à l'endroit du Grand Architecte de l'Univers pour la santé, la protection et l'intelligence qu'il m'a accordées au cours de cette étude. Je remercie d'une façon très spéciale :

- ✓ Ma mère Pacilia CAZALÈS pour son support financier incommensurable ;
- ✓ Mon frère Jeancène ALCIMÉ pour ses conseils et suggestions d'une part, et d'autre part pour ses supports matériels et financiers ;
- ✓ Mon conseiller scientifique Docteur GONOMY Nyankona pour ses suggestions, commentaires et recommandations grandement pertinents à l'égard de ce travail ;
- ✓ Professeurs Gary DOLISCAR et Wesly JEUNE pour leurs commentaires et recommandations;
- ✓ Tous les professeurs de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) qui ont contribué à ma formation académique, spécialement Gonomy NYANKONA, Garry DOLISCAR, Eno HERARD et Neudy JEAN-BAPTISTE pour les notions théoriques et pratiques reçues ;
- ✓ Mes collègues de promotion plus particulièrement Loveson SAINVILUS.

RÉSUMÉ

Cette étude intitulée Diagnostic Biophysique de l'État Actuel du Micro Bassin Versant de Tiravine et Estimation des Pertes de Sol a été réalisée dans la commune de Camp-perrin du Département du Sud. Ce travail a été fait dans l'objectif principal de contribuer à une meilleure gestion et conservation des ressources naturelles du micro bassin versant de Tiravine(MBVT). En effet, pour arriver aux termes de ce travail, nous avons réalisé une recherche bibliographique dans le but de collecter des informations préliminaires sur la zone d'étude et la thématique. Ensuite, des visites de terrain de type exploratoire ont été réalisées dans le but de situer la zone d'étude, de faire des observations directes et de prendre une première prise de contact avec les personnes ressources. Des points GPS ont été pris tout au long des vecteurs et de la ligne de partage des eaux. De plus, cinq(5) échantillons de sols ont été collectés en vue de déterminer la texture du sol et le carbone organique contenu dans le sol. Pour estimer les pertes de sol, l'équation universelle de RUSLE et le logiciel ArcGIS 10.4 ont été utilisés.

En outre, l'indice de pente globale(I_g) de 0.19m/m, la dénivelée spécifique(D_s) de 111.89m, le coefficient orographique (Co) de 30.98 supérieur à 6 et la pente moyenne(S_{moy}) de 21.81% attestent que le MBVT présente une roche mère imperméable, un faible couvert végétal et un relief montagneux. À côté de ceci, nous avons assisté aussi à une augmentation de 22.96% des terres cultivées sur 12.48% de la surface totale cultivée en 2014 et une réduction de 22.97% de la couverture végétale de la zone d'étude sur 53.76% en 2014. Donc, la première hypothèse est confirmée car le mode d'occupation de sol couplé à la configuration topographique du milieu est à la base de la dégradation du MBVT. Ensuite, le MBVT accuse une perte de sol effective moyenne égale à 1 798.60t/ha/an et une perte de sol potentielle moyenne de 2 299.11t/ha/an. La deuxième hypothèse est donc conforme à la réalité car la perte de sol effective moyenne du MBVT dépasse le seuil tolérable (11.5 t/ha/an) de pertes de sol.

Vu que la dégradation du MBVT est liée au mode d'occupation de sol associé à la configuration topographique du milieu, des recommandations ont été faites en vue de pallier ce problème de dégradation.

Table des matières

DÉDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RÉSUMÉ	iii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	vii
Table des figures.....	viii
Table des équations.....	ix
Liste des sigles et abréviations	x
Listes des annexes.....	xii
CHAPITRE I.	1
1. Introduction.....	1
1.1. Généralités.....	1
1.2. Problématique	2
1.3. Objectifs	4
1.3.1. Objectif général	4
1.3.2. Objectifs spécifiques	4
1.4. Hypothèses	4
1.5. Intérêt de l'étude	5
1.6. Limites de l'étude.....	5
CHAPITRE II	6
2. Revue de littérature.....	6
2.1. Cadre conceptuel.....	6
2.1.1. Bassin versant	6
2.1.2. Diagnostic biophysique.....	6
2.1.3. Perte de sol	6
2.1.4. Dégradation des BV	6
2.1.5. Comportement hydrologique d'un bassin versant	7
2.1.6. Occupation de sols	7
2.1.7. Topographie	7

2.2. Dégradation des sols	7
2.2.1. Érosion	8
2.3. Équation universelle des pertes en sol (RUSLE)	13
CHAPITRE III.....	15
3. Méthodologie	15
3.1. Présentation de la zone d'étude.....	15
3.1.1. Localisation.....	15
3.1.2. Pluviométrie et température	16
3.1.3. Géologie	17
3.2. Caractéristiques socioéconomiques	18
3.2.1. Population	18
3.2.2. Instruction	18
3.2.3. Santé.....	18
3.2.4. Infrastructure	19
3.2.5. Religion.....	19
3.2.6. Loisirs.....	19
3.2.7. Agro-industrie	19
3.2.8. Industrie extractive.....	19
3.2.9. Construction et transport.....	19
3.2.10. Artisanat	20
3.2.11. Activités économiques	20
3.2.12. Tourisme	20
3.3. Végétation	20
3.3.1. Physionomie.....	20
3.4. Élevage.....	21
3.5. Matériels.....	22
3.5.1. Matériels physiques.....	22
3.5.2. Logiciels	22
3.6. Méthode de travail.....	22
3.6.1. Recherche bibliographique	23
3.6.2. Visite de reconnaissance	23

3.6.3. Détermination des paramètres biophysiques.....	23
3.6.4. Détermination des paramètres de l'équation universelle des pertes de sol (USLE)	36
CHAPITRE IV.....	45
4. Résultats et discussions.....	45
4.1. Caractéristiques biophysiques du micro bassin versant de Tiravine.....	45
4.1.1. Analyse des paramètres géométriques	45
4.1.2. Analyse des caractéristiques hydrographiques.....	46
4.1.3. Analyse des paramètres topographiques	49
4.1.4. Pédologie.....	54
4.1.5. Potentialité des sols du MBV de Tiravine	55
4.1.7. Evolution de l'occupation de sols de 2014 à 2018.....	56
4.2. Détermination des pertes de sol du micro bassin versant de Tiravine	63
4.2.1. Facteur R des précipitations (Érosivité des précipitations).....	63
4.2.2. Facteur K des sols (Érodibilité des sols).....	65
4.2.3. Facteur topographique LS	66
4.2.4. Facteur C (facteur des couvertures végétales et des pratiques culturales)	68
4.2.5. Facteur des pratiques de conservation du sol P.....	69
4.2.6. Erosion potentielle du MBVT de Tiravine.....	71
4.2.7. Erosion effective du MBVT.....	72
CHAPITRE V	75
5. Conclusion	75
5.1. Recommandations	76
Références bibliographiques.....	79

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractérisation des végétaux au niveau du MBVT.....	21
Tableau 2: Description des classes de pente d'un micro bassin versant.....	28
Tableau 3: Indice de pente global et caractéristique du relief.....	29
Tableau 4: Relation entre dénivelée spécifique et caractéristique du relief.....	30
Tableau 5: Les valeurs de référence de C et P	42
Tableau 6: Tableau des paramètres géométriques du MBVT.....	46
Tableau 7: Résumé des paramètres hydrographiques du MBVT.....	47
Tableau 8: Tableau résumant les paramètres topographiques du MBVT de Tiravine.....	53
Tableau 9: Caractéristiques des sols du MBVT de Tiravine	55
Tableau 10: Superficie en m ² et en pourcentage(%) des classes d'occupation de sols	59
Tableau 11: Superficies et taux de variation des classes d'occupation	60
Tableau 12: Matrice de transition d'occupation des sols 2014 à 2018	62

Table des figures

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude.....	15
Figure 2: Diagramme pluviométrique de la commune de Camp-Perrin.....	16
Figure 3: Diagramme de température de Camp-Perrin.....	16
Figure 4: Carte géologique du micro bassin versant de Tiravine.....	18
Figure 5 : Fluxogramme des cartes d'occupations des sols(OCS).....	34
Figure 6: Fluxogramme du modèle.....	44
Figure 7 : Carte du réseau hydrographique du MBVT	48
Figure 8 : Profil en long du cours d'eau principal	48
Figure 9: Carte de classes d'altitudes	50
Figure 10: Courbe hypsométrique du micro bassin versant de Tiravine	51
Figure 11: Carte de classes de pentes du MBVT de Tiravine.....	54
Figure 12: Carte de potentialité des sols du MBVT de Tiravine	56
Figure 13: Carte d'occupation de sols du MBVT de Tiravine pour l'année 2014.....	57
Figure 14: Carte d'occupation de sols du MBVT pour l'année 2018	58
Figure 15: Bilan des changements des unités d'occupation de sols entre 2014 et 2018 ..	61
Figure 16: Distribution spatiale de l'érosivité de la pluie au niveau de la zone d'étude...	64
Figure 17: Carte de répartition du facteur K.....	65
Figure 18: Carte de répartition du facteur topographique LS	67
Figure 19: Carte de répartition du facteur C du MBVT.....	68
Figure 20: Carte de présentation du facteur P de la zone d'étude	70
Figure 21: Carte de répartition de l'érosion potentielle du MBVT de Tiravine.....	71
Figure 22: Proportions occupées par les types d'érosion potentielle du MBVT.....	71
Figure 23: Carte de répartition de l'érosion effective au niveau du MBVT.....	73
Figure 24 : Proportions occupées par les types d'érosion effective du MBVT	73

Table des équations

Équation 1: Indice de Gravélius(K_G)	24
Équation 2: Indice de compacité de Horton(K_H)	25
Équation 3: Longueur et largeur du rectangle équivalent	25
Équation 4: Altitude moyenne du micro bassin versant de Tiravine	26
Équation 5: Coefficient de massivité(C_m).....	26
Équation 6: Coefficient orographique(C_o)	27
Équation 7: Pente moyenne du MBVT	27
Équation 8: Dénivelée du MBVT	28
Équation 9: Indice de pente globale(I_g).....	28
Équation 10: Indice de Roche(I_r)	29
Équation 11: Dénivelé spécifique du MBVT(D_s)	29
Équation 12: Pente hydrographique(P_{moy})	31
Équation 13: Densité de drainage(D_d).....	31
Équation 14: Temps de concentration selon la formule de Kirpich.....	32
Équation 15: Densité hydrographique(F) (Horton, 1945).....	32
Équation 16: Fréquence des cours d'eau.....	32
Équation 17: Coefficient de torrentialité(C_t).....	33
Équation 18: Taux de changement global(T_g)	35
Équation 19: Taux de changement annuel(T_c).....	35
Équation 20: Indice annuel d'érosivité	37
Équation 21: Indice d'érodibilité(K).....	38
Équation 22: Facteur topographique(LS).....	40

Liste des sigles et abréviations

- A** : Superficie du Micro bassin versant
- AFD** : Agence Francophone de Développement
- ANAP** : Agence Nationale des Aires Protégées
- ARS**: Service de Recherche Agricole
- BID** : Interaméricaine de Développement Banque Mondiale
- CIAT** : Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire
- CNDEPS**: Centre National de Données d'Écoulement et Perte de Sols)
- CNIGS** : Centre National de l'Information Géo-Spatiale
- CUP** : Centre d'Urgence Polyclinique
- DDAS** : Direction Départementale Agricole du Sud
- EDH**: Electricité D'Haïti
- EOSDIS**: Earth Observing System Data and Information System
- FAES** : Fonds d'Assistance Économique et Sociale
- FAMV** : Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire
- FAO**: Food Organisation Agriculture
- GIRE** : Gestion Intégrée des Ressources en Eau
- GLASOD**: Global Land Assessment Of Degradation
- GPS** : Global Positioning System
- IHSI**: Institut Haïtien de Statistique et d'Information
- K_G** : Indice de compacité de Gravélius
- K_H** : Indice de Horton
- Km**: kilomètre
- m** : mètre
- MARDNR**: Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural
- MBVT** : Micro bassin versant de Tiravine
- MBVT** : Bassin Versant
- MDE**: Ministère de l'Environnement
- ml**: mètre linéaire
- MNT** : Modèle Numérique de Terrain

MSPP: Ministère de la Santé Publique et de la Population

ORE : Organisation de Réhabilitation de l'Environnement

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

P: Périmètre

PDG : Président Directeur Général

SBVRS: Sous Bassin Versant de la Ravine du Sud

SECAL: Sécurité Alimentaire

SHE : Système Hydrologique Européen

SIG: Système Information Géographique

SMBVTD : Sous Micro bassin versant de Diny

SWAT: Soil and Water Assessment Tool

T_c: Taux de changement annuel

T_g: Taux de changement global

UEH: Université d'État d'Haïti

USDA: Département de l'Agriculture des États-Unis

USLE: Universal Soil-Lost Equation

Listes des annexes

Annexe 1 : Quelques photographies du MBVT et du canal tête morte	A
Annexe 2 : Classification des érosions selon FAO	C
Annexe 3 : Caractéristiques des classes de potentialités des sols	C
Annexe 4 : Conversion des unités US en unités SI.....	E
Annexe 5: Carte hypsométrique du MBVT	F
Annexe 6 : Équations d'indice de couverture végétale et du taux d'imperméabilité.....	F
Annexe 7: Carte de zone d'intervention et zone de non intervention	G
Annexe 8: Cartes des vecteurs à traiter	H
Annexe 9: Coordonnées géographiques de la délimitation du MBVT	H
Annexe 10: Coordonnés géographiques des ravines.....	J

CHAPITRE I.

1. Introduction

1.1. Généralités

La dégradation de l'environnement, en particulier des bassins versants, constitue l'un des problèmes majeurs auxquels fait face la majorité des pays dans le monde. Ce problème concerne tous les pays sans distinction, mais les mécanismes de dégradation diffèrent d'un pays à l'autre. Selon GLASOD (Global Land Assessment Of Degradation) (1996) cité par Vilmont(2018), près de deux(2) milliards d'hectares de terre dans le monde entier (22% sont des terres agricoles, des pâturages et des forêts, des terres boisées) ont subi une dégradation depuis des années 1950. Parmi ces deux(2) milliards, près de 3.5% sont soumis à une dégradation si grave qu'elles ne pourront être inversées que par des techniques d'ingénierie très onéreuses ou du tout pas. Selon GLASOD(1996), les sols gravement dégradés sont dans la plupart des régions du monde, mais c'est surtout dans les pays où le revenu est le plus tributaire de l'agriculture et que les conséquences économiques de la dégradation des sols risquent d'être plus graves.

Par ailleurs, Haïti, appelé autrefois la Perle des Antilles, est la deuxième île des grandes Antilles après le Cuba et fait face de nos jours à une crise environnementale qui met la majorité des gens de ce pays dans l'inquiétude. En dépit de l'exode rural confronté à la fois à la sécheresse et aux tempêtes tropicales, Haïti fait face à la surpopulation du monde rural, ce qui occasionne en partie l'épuisement des sols et une érosion accrue. En effet, chaque année il y a environ 36 600 000 tonnes de terres arables qui sont emportées par charriage au niveau des rivières et des cours d'eau (Jolly et al, 2007). Cependant, les pluies abondantes, la déforestation arbitraire et l'exploitation abusive de la couche arable des sols ne cessent d'accélérer le phénomène d'érosion (Paskett et Philoctete, 1990).

Le transport solide des cours d'eau est une conséquence partielle de l'érosion des sols au niveau des bassins versants, ce qui engendre l'ensédimentation (l'ensablement) des ouvrages hydroagricoles, des cultures et des bâtiments (Joseph, 2015). Cependant, l'érosion hydrique est un phénomène naturel qui n'aurait aucune conséquence néfaste

sur l'environnement sans les activités humaines. L'ampleur de ce phénomène au niveau d'un micro bassin versant est fonction des caractéristiques biophysiques de ce micro bassin versant, de la couverture et de la précipitation (Georges, 2008). L'occupation des sols est en outre un élément important qui influence grandement le phénomène d'érosion (MDE et al, 2008).

Le phénomène d'atterrissement des sédiments est apparu lorsque l'énergie du cours d'eau n'est plus suffisante pour transporter les sédiments (Mokhtari, 2009). En effet, le processus de sédimentation comprend les stades qui suivent : l'érosion, le transport et le dépôt.

Dans un tel contexte, l'appréciation des pertes de sol au niveau du micro bassin versant de Tiravine est d'une importance extrême en vue d'apporter un élément de solution aux problèmes auxquels fait face ce micro bassin versant en matière de préservation des ressources en eau d'une part , et de sécuriser les ressources matérielles (les bâtiments), les ouvrages hydroagricoles du système d'irrigation du périmètre d'Avezac et les ressources humaines situées en aval de ce micro bassin versant d'autre part. Car, le débit solide transporté en aval de ce micro bassin versant conduit à de nombreux problèmes comme la sédimentation de la prise sur berge du périmètre d'Avezac, des canaux, des bâtiments et des parcelles.

Sur ce, cette étude vise à faire un diagnostic biophysique de l'état actuel du micro bassin versant de Tiravine (Camp-perrin) et une estimation des pertes de sol en vue de faire une meilleure prise en charge du micro bassin versant de Tiravine(MBVT).

1.2. Problématique

Le micro bassin versant de Tiravine est situé dans la deuxième section communale de Camp-perrin dans le Département du Sud. Ce MBV joue un rôle important pour les exploitants et le périmètre d'Avezac, respectivement en termes de productivité agricole et d'alimentation en eaux.

Selon Alex(2010), Haïti souffre depuis plusieurs décennies d'une dégradation qui perturbe sévèrement les ressources naturelles. En effet, on assiste à une diminution des débits des rivières et les sols se sont progressivement dégradés sous l'effet de l'érosion.

Comme étant des conséquences de la diminution de la couverture végétale de nos bassins versants et des pratiques culturales non durables. Et ceci le niveau de dégradation du micro bassin versant de Tiravine est tellement aigu, ce qui provoque de fréquente inondation par les eaux de ruissellement sous l'effet des gouttes de pluie même de très faibles intensités.

En outre, sur trente(30) grands bassins versants d'Haïti, vingt-cinq(25) sont fortement dégradés provoquant de forte inondation et entraînant un épuisement des sols voire une disparition des facteurs de production de base de la production agricole (Jean et al, 2012). Par ailleurs, le micro bassin versant de Tiravine fait partie du sous bassin versant de la Ravine du Sud. Compte tenu des mauvaises pratiques agricoles menées par les exploitants au niveau du micro bassin versant de ce MBV, il n'est pas exempt de ces problèmes de dégradation. Les exploitants, pour pouvoir répondre à leur besoin personnel et aux besoins de leurs enfants, procèdent à l'abattage des arbres et aux pratiques de certaines cultures érosives comme l'arachide, la patate et le manioc. Comme constat, il est caractérisé par des reliefs très forts avec des roches mères imperméables qui favorisent le ruissellement au détriment de l'infiltration efficace qui sert alimenter les nappes et les rivières en période sèche.

En effet, en dépit de l'importance culturelle (La prise sur berge, Saut-Mathurine) et économique (Pois, Mais, légume, Arachide) de Camp-Perrin, le sous bassin versant de la Ravine du Sud, en particulier le micro bassin versant de Tiravine, a atteint un niveau de dégradation avancée. Car certains blocs du périmètre d'Avezac (Vyète, Rolin) ne sont plus irrigués de nos jours à cause du faible débit disponible dans les canaux (SECAL, 2018). Cette situation est sans doute la conséquence d'une série d'évènements climatiques aggravée par le mode d'exploitation du milieu suite à une population croissante, enclavée et vouée au cycle de pauvreté (SECAL, 2018). En effet, suite à des observations après chaque épisode pluvieux des volumes importants de sédiments provenant du micro bassin versant de Tiravine viennent combler la prise sur berge tout en perturbant son fonctionnement normal. Ce qui permet au périmètre d'Avezac de fonctionner dans de mauvaises conditions pareilles. En dépit de cette situation, on ne cesse pas d'exploiter de façon irrationnelle les ressources naturelles de

ce micro bassin versant et d'appliquer des mauvaises pratiques agricoles (SECAL, 2018). Dans un tel contexte, un diagnostic biophysique de l'état actuel de ce micro bassin versant et une estimation des pertes de sol ont été jugés importants pour faire des recommandations pertinentes visant à améliorer les conditions existantes. Maintenant, les questions qui se posent sont les suivantes: Quels sont les principaux facteurs qui influencent la dégradation du micro bassin versant de Tiravine ? Quel constat peut-on porter sur les pertes de sol effectives moyennes du micro bassin versant de Tiravine ?

1.3. Objectifs

1.3.1. Objectif général

Cette étude vise à contribuer à une meilleure gestion et conservation des ressources naturelles sols et eaux au niveau du micro bassin versant de Tiravine.

1.3.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques consistent à :

- ✓ Étudier et décrire les composantes biophysiques du micro bassin versant de Tiravine pour cerner les facteurs qui influencent les pertes de sol constatées sur le micro bassin versant :
 - Analyser les composantes géométriques, hydrographiques et topographiques du micro bassin versant de Tiravine ;
 - Analyser l'évolution du mode d'occupation de l'espace au cours des années 2014 et 2018 ;
 - Quantifier le changement d'occupation de sols ;
- ✓ Apprécier la perte de sol moyenne sur micro bassin versant de Tiravine ;
- ✓ Élaborer les cartes d'érosion potentielle et effective du MBVT;
- ✓ Faire des recommandations en vue d'une meilleure gestion des ressources sols et eaux du micro bassin versant de Tiravine.

1.4. Hypothèses

- ✓ L'état actuel du micro bassin versant de Tiravine est la conséquence du mode d'occupation de sols associé à la configuration topographique du terrain.

- ✓ La perte de sol effective moyenne du micro bassin versant de Tiravine dépasse le seuil tolérable de pertes de sol (11.5 t/ha/an).

1.5. Intérêt de l'étude

Le périmètre d'Avezac de la commune de Camp-Perrin occupe une grande place dans l'amélioration du niveau de vie des producteurs de la plaine des Cayes. Néanmoins, sans le sous bassin versant de la ravine du Sud y compris les micros bassins versants qui visent à alimenter ce périmètre en eau, l'attente portée par le périmètre d'Avezac en matière d'accroissement de la production agricole de la région ne serait pas possible. En effet, cette étude permet de rendre disponibles pour les décideurs des données biophysiques et des données des pertes de sol potentielles et effectives du MBVT, qui leur permettent d'entreprendre des actions concrètes visant à assurer la pérennité des ressources naturelles du bassin versant de Tiravine et des infrastructures hydroagricoles du périmètre d'Avezac d'une part et d'autre part servir de document de référence pour des éventuelles études.

1.6. Limites de l'étude

Ce travail intéresse uniquement le MBVT de Tiravine et il ne peut pas servir comme source de documentation absolue pour apprécier l'état du bassin versant de Tiravine à cause de manque d'archive sur la conduite des exploitations. De plus, ce travail prend en compte seulement les pertes de sols causées par l'érosion hydrique. Les pertes de sol causées par les érosions éoliennes et autres ne sont pas prises en compte dans le cadre de ce travail. Les caractéristiques socioéconomiques du milieu constituent aussi une limite pour ce travail.

CHAPITRE II

2. Revue de littérature

2.1. Cadre conceptuel

2.1.1. Bassin versant

Le terme bassin versant peut être vu de plusieurs façons mais celle utilisée en hydrologie est la plus générale, la plus polyvalente et sert de base aux autres définitions. Ainsi, il est vu comme le territoire sur lequel toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire du micro bassin versant (Gangbazo, 2004). Un bassin versant comporte généralement un cours d'eau principal et ses tributaires. Sur ce, le territoire du bassin versant est délimité par la ligne de partage des eaux qui suit les points culminants du territoire (Gangbazo, 2004). En effet, ces définitions précédentes sont aussi valables pour un micro bassin versant. Car il est la plus petite unité incluant un bassin versant.

2.1.2. Diagnostic biophysique

D'après Georges(2008), ce concept de diagnostic biophysique consiste en :

- a) Un inventaire du patrimoine à protéger à savoir le substratum physique (le sol, le sous-sol) et la végétation ;
- b) Une analyse des aptitudes des terres et leurs occupations actuelles pour faire ressortir leur utilisation optimale ;
- c) L'identification d'incompatibilité d'usage du territoire pour y proposer des mesures de remédiation ;
- d) L'identification des potentialités et vulnérabilités du milieu ainsi que les opportunités et les menaces. Les menaces doivent être anticipées alors les potentialités sont à mettre en exergue ou en valeur.

2.1.3. Perte de sol

Le sol peut être affecté de façon naturelle et anthropique respectivement l'érosion et l'artificialisation provoquent des pertes de sol.

2.1.4. Dégradation des BV

La dégradation des bassins versants se rapporte à leur perte de valeur dans le temps, le potentiel de production des terres et de l'eau (Sheng, 1993).

2.1.5. Comportement hydrologique d'un bassin versant

Le bassin versant constitue l'unité de référence en hydrologie et possède un exutoire pour tous ses écoulements superficiels. Son rôle est de collecter les eaux de pluie et concentrer les écoulements dans le cours d'eau principal. D'après Legout(2012), le comportement hydrologique varie d'un bassin versant à l'autre et est fonction des mécanismes qui vont évoluer au niveau de cet espace géographique. Ainsi, il est influencé et contrôlé par ces paramètres qui suivent :

- a) La géométrie ou la configuration du bassin versant ;
- b) La géométrie des canaux de drainage ;
- c) L'occupation de sols ;
- d) La nature du sol et du sous-sol.

2.1.6. Occupation de sols

L'occupation de sols constitue une description physique de l'espace, elle est définie comme la couverture biophysique de la surface des terres émergées (FAO, 1998), c'est-à-dire tous ceux qui recouvrent le sol. Tenant compte de cette définition, on a comme types d'occupation de sol : bois et forêts, surface des eaux, habitation et réseaux de communication, zones d'activités, mines chantiers et carrières, espaces verts et périurbains, territoires agricoles et les pistes agricoles.

2.1.7. Topographie

La topographie représente la configuration et la forme d'un milieu. Dans ce cas il se confond avec le terme relief (CIAT, 2011).

2.2. Dégradation des sols

La dégradation des sols peut être définie comme un manque de capacité physique, chimique ou biologique du sol pour répondre à une production agricole. Elle peut être naturelle telle que l'érosion et la migration ou l'accumulation d'éléments en profondeur, provoquée lorsque cela découle de l'utilisation de l'homme comme la salinisation des sols, l'acidification des sols, l'érosion anthropique. Entre autre, ce qui conduit à la réduction de la capacité du sol à se reproduire. Néanmoins, les pratiques culturales inadaptées, les surpâturages, l'abattage des arbres et l'urbanisation sont à la base de la dégradation au niveau du micro bassin versant de Tiravine. Ainsi, faisons-

nous un rappel de l'un des principaux facteurs de la dégradation des sols dans le monde et en Haïti, plus particulièrement, qu'est l'érosion.

2.2.1. Érosion

Selon la FAO(1994) cité par Georges(2008) l'érosion vient du verbe latin « ERODERE » qui signifie « RONGER ». Elle constitue l'ensemble de phénomènes qui contribuent, grâce à l'action d'un agent d'érosion le plus souvent « l'eau » qui vise à modifier les formes de relief à savoir les sommets de plateau, les rebords de plateau, les talus, les terrassements et les versants (Georges, 2008).

Elle se manifeste généralement sur les sols agricoles et qui s'aggrave par certains parquets techniques. Cependant, elle peut être liée directement par les techniques de travail du sol (Jean, 2017).

Le plus souvent, l'érosion du sol se manifeste lorsque les eaux des pluies ne peuvent pas pénétrer dans les horizons du sol. Cette non-absorption de l'eau par le sol peut s'expliquer soit par des eaux excédentaires lorsque l'intensité des pluies est supérieure par rapport à l'infiltration de l'eau au niveau du sol, soit lorsque le sol déjà saturé subit un épisode pluvieux.

L'érosion est fonction des conditions écologiques du sol et varie dans le temps et dans l'espace. À long terme, elle conduit à une perte de la fertilité du sol et réduit quasi-totalement la biodiversité du sol. Elle a des impacts, non seulement, sur le sol mais aussi sur la productivité et les infrastructures.

De plus, elle contribue à la désintégration et le transport de la couche arable des sols sous l'effet d'un agent dit érosif (Roose, 1994). En fonction de l'agent érosif, on distingue les types d'érosion suivante :

- ✓ Selon INRA et IFEN(2002) cité par Aubin(2017), l'érosion hydrique qui se réalise sous l'action de la pluie. Ce type d'érosion est très connu en Haïti et c'est ce type d'érosion qui fait l'objet de notre étude. L'érosion hydrique est le déplacement des particules de sol sous l'effet de l'eau. Généralement, elle se fait sentir lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus s'infiltrer. Le sol n'absorbe plus le surplus d'eau lorsque l'intensité de la pluie est supérieure à la capacité

d'infiltration du sol ou lorsque l'eau arrive sur une surface totalement ou partiellement saturée.

- ✓ L'érosion éolienne, ce type est causé par le vent.
- ✓ L'érosion causée par le gel et la glace. Le gel est le principal agent érosif et provoque l'éclatement des pierres dans les hautes montagnes. Cependant, la glace est l'agent érosif principal dans les régions polaires. Elle exerce une pression assez importante conduisant l'érosion de son lit.

2.2.1.1. Étapes du processus de l'érosion des sols

D'après Jean(2017), l'érosion des sols par la pluie se déroule selon le processus qui suit :

- 1er) Destruction de la structure de surface par les premières gouttes de pluies qui arrivent sur le sol ;
- 2e) Obstruction des pores provoquant la diminution de la vitesse d'infiltration par rapport à l'intensité de la pluie ;
- 3e) Ruissellement, résultant de la création d'une lame d'eau sur le sol puis l'écoulement de celui-ci de l'amont vers l'aval ;
- 4e) Arrachement des particules de sol plus en plus grossier, cette étape s'amplifie au fur et à mesure que la vitesse et le volume de l'eau augmentent ;
- 5e) Au fur et à mesure que la vitesse d'écoulement de l'eau diminue, le dépôt de sédiment va se faire suivant la granulométrie des particules de sols charriées.

2.2.1.2. Les formes d'érosion

D'après ce que nous voyons dans le paysage dans un contexte érosif, on a les formes d'érosion qui suivent :

2.2.1.2.1. Érosion en nappe ou érosion diffuse

L'érosion diffuse est le mouvement du sol élaboussé qui résulte de l'élimination de la structure du sol sous l'effet du ruissellement; cette forme d'érosion se produit de façon uniforme sur la pente et peut passer de manière inaperçu jusqu'à la disparition complète de la couche arable (Arnold et al, 1989) cité par (Georges, 2008).

2.2.1.2.2. Érosion en rigoles

L'érosion en rigoles est un ensemble de petits canaux bien définis résultant de la concentration du ruissellement. Ces canaux portent le nom de rigoles lorsqu'ils sont assez petits pour ne pas interférer les opérations de la machinerie. Sur un micro bassin versant en particulier sur une parcelle, l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux conduit à l'érosion en rigole (Georges, 2008).

2.2.1.2.3. Érosion en ravine

Selon Arnold et al(1989) cité par Georges(2008), l'érosion en ravine peut être issue d'une évolution de l'érosion en rigoles. Dans ce cas les rigoles sont appelées ravins lorsqu'ils ne peuvent pas être comblés par le travail du sol, ou lorsqu'ils perturbent le déroulement du travail du sol. En effet, le ruissellement, conduisant à la formation des ravins résulte généralement de la mauvaise conception des exutoires des systèmes de drainage de surface et souterrain.

2.2.1.2.4. Le splash

Il s'agit d'une forme d'érosion qui transporte très peu de sédiments comparé au ruissellement, qu'il soit diffuse ou concentré. Cette forme d'érosion est importante pour détacher les particules de sol. De plus, l'impact des gouttes de pluie à la surface détache ces particules de la matrice du sol et les transporte dans l'air où la majorité de l'éclaboussure se dirige vers le bas du versant (FOX, 2008).

2.2.1.3. Les facteurs de l'érosion hydrique

Plusieurs facteurs conditionnent l'érosion hydrique des sols. Parmi lesquels, on a le climat (Pluie, température), la configuration du terrain (relief), la couverture végétale et le facteur anthropique.

✓ **Facteur topographique du sol**

La topographie ou la morphologie du terrain joue un rôle de grande envergure dans la compréhension de l'érosion hydrique au niveau d'un micro bassin versant. Car la pente et la longueur celle-ci sont d'une extrême importance pour pouvoir comprendre ce facteur. Selon BATTI et DESPRAETERE(2007) cité par Aubin(2017), l'érosion moyenne par unité de superficie croît avec la longueur de pente. Ceci est dû du fait que dans les grandes pentes, on assiste à une grande accumulation de

ruissellement en raison des possibilités de détachement et de transport des sédiments sous l'effet de l'augmentation de l'énergie générée par ce facteur. En effet, plus la pente est longue, plus la vitesse du ruissellement est grande et plus l'érosivité de cette eau est grande. C'est pourquoi il est important de réduire la vitesse de ruissellement en faveur de l'infiltration par l'implantation des deux grands contours à savoir le contour biologique et le contour mécanique.

Sur des sols à pente forte, la stabilité des agrégats est moins importante ; le transport des agrégats par les rigoles est important (Roose et al, 2010).

✓ **Érosivité de la pluie**

L'érosivité de la pluie est la capacité potentielle de la pluie à produire de l'érosion (Hudson, 1981). Cette capacité dépend de ces quatre(4) paramètres : l'intensité ou l'énergie cinétique d'une goutte de pluie, le volume d'une goutte de pluie, sa vitesse de chute et sa quantité. Donc, l'érosivité de la pluie augmente avec ces paramètres.

✓ **Érodibilité du sol**

L'érodibilité du sol peut se définir comme la capacité que possèdent les particules de sol d'être arrachées et transportées par les eaux de ruissellement. Son importance dépend de la structure du sol, de la texture du sol, de sa teneur en matière organique et de sa perméabilité (Roose, 1994). Plus le taux de macro-agrégat est élevé, plus le sol est stable à l'agressivité de l'eau, par contre plus les sols sont riches en éléments fins, plus les agrégats sont instables et favorisent plus vite la formation des croûtes de battance, et s'y développent ainsi du ruissellement et par conséquent des pertes de sol.

✓ **Couvert végétal**

La couverture végétale reste le facteur qui diminue l'érosion potentielle provoquée par l'énergie des gouttes de pluie grâce à la canopée des végétaux et des plantes rampantes à la surface du sol. Cependant, le rôle de protège que les végétaux jouent pour le sol contre l'érosion est fonction de la hauteur de la canopée du végétal. D'après Wischmeier et Smith(1960) cité par Roose et al(2010), plus la hauteur de la canopée est élevée et moins elle protège la surface du sol contre la battance car les

gouttes d'eau accumulées au bout des feuilles reprennent très vite la vitesse et l'énergie. Donc, l'important c'est d'avoir une couverture végétale beaucoup plus proche de la surface du sol afin de diminuer considérablement la vitesse de chute et l'énergie des gouttes d'eau.

Les cultures associées ou décalées, l'agroforesterie, le paillage et la gestion des adventices (séchées sur place), les variétés vigoureuses et les plantes rampantes forment autant d'obstacles à l'énergie des pluies et du ruissellement donc des pièges à sédiments (Roose et al, 2010).

✓ **Facteur anthropique**

La dégradation de l'environnement ou la remédiation de l'environnement à son initial dépend de la capacité de l'homme. Aujourd'hui, les activités humaines constituent les principaux facteurs de dégradation de l'environnement. Cependant, via des activités, des techniques culturelles appropriées et des aménagements, ils peuvent réduire considérablement l'érosion.

Néanmoins, les aménagements routiers ruraux et urbains sont au profit du ruissellement et ce qui favorise les inondations au détriment de l'infiltration efficace. Les réseaux routiers constituent des sites pour transporter des sédiments ; les habitats, eux-mêmes, conduisent à l'enlèvement de la végétation. Selon Terry et al(2004), lorsque plus de 10% de la surface d'un micro bassin versant devient dure et imperméable, il y aura des pertes prévisibles en matière de productivité et de biodiversité des espèces aquatiques. En conséquence, il aura également des perturbations dans le régime hydrologique des cours d'eau de ce micro bassin versant, soit une augmentation des débits de pointe des tempêtes tout en diminuant les débits de base.

✓ **Pratiques culturelles**

Les pratiques culturelles, surtout sur les sols non protégés, ont un impact sur la ressource en sol d'un micro bassin versant. Dépendamment de la vocation du sol et des techniques utilisées pour la mise en place des cultures ; on peut augmenter ou réduire le risque d'érosion du sol. Selon Barthes et al(1998) cité par Aubin(2017), le ruissellement et les pertes de sol sont plus importants dans les parcelles labourées, plus

faibles en semis direct et intermédiaires lorsque le sol est travaillé de manière superficielle. Les pratiques culturales peuvent fortement réduire le risque de ruissellement et d'érosion ; c'est le cas pour des cultures qui tendent à structurer et à stabiliser le sol. Cependant, elles peuvent aussi l'accélérer ; le cas des pratiques sur brulis exposant le sol à l'érosion, des labours profonds dans des pentes fortes qui tendent à prédisposer le sol à l'érosion.

En effet, les pratiques culturales, elles-mêmes, peuvent à la fois réduire et accélérer le risque d'érosion. Il s'agit donc d'adopter des pratiques culturales qui répondent à la vocation des parcelles.

2.2.1.4. Les conséquences de l'érosion des sols

L'érosion hydrique des sols entraîne des conséquences en amont ainsi qu'en aval du micro bassin versant. En amont, elle se traduit par des pertes progressives de la fertilité des sols. Cela est dû à cause de la réduction du volume de sol disponible pour l'ancrage des racines des plantes. De plus, la couche arable est celle la plus fertile, celle la plus vulnérable à l'érosion et c'est elle qui disparaît en premier et que la matière organique, l'argile et les substances limoneuses, se trouvant dans ladite couche, sont de préférences éliminées par les mécanismes d'érosion. L'association de perte de terre végétale et de fractions plus fines du sol peut avoir de graves conséquences sur les rendements des cultures (Larney et al, 1995).

En aval, les dégâts issus de l'érosion des sols sont beaucoup plus insidieux. Ce sont par exemple l'entraînement des particules fines, les coulées de boues, les inondations fréquentes, l'ensédimentation des réseaux d'assainissement, des infrastructures d'irrigation et des cultures. De plus, on assiste aussi à une modification du régime des eaux ; les intrants charriés peuvent à l'origine de la pollution de la nappe phréatique et qui, par conséquent, conduit à des pollutions physiques et/ou généralisées du système aquifère.

2.3. Équation universelle des pertes en sol (RUSLE)

En 1954, le Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA) et le Service de Recherche Agricole (ARS) ont établi le Centre National de Données d'Écoulement et Perte de Sols (CNDEPS) à l'Université de Purdue, dans l'objectif de localiser,

assembler et de consolider toutes les données disponibles à travers les différents états des Etats-Unis. Après la mise en place de ce centre, plus de 10000 parcelles par année dans 49 endroits des Etats-Unis ont été suivies. Ces parcelles expérimentales, ayant 22.1 m de long et une inclinaison de 9%, ont permis de collecter des données sur le ruissellement et la perte de sol. Après avoir analysé, corrigé et amélioré ces données. C'est ainsi Wischmeier, Smith et d'autres ont développé cette fameuse équation universelle de perte de sol et publiés leur équation dans le « Agriculture Hand Book » où RUSLE est décrite en 1965 avec une révision en 1978 (Printemps, 2007). RUSLE s'est consolidé ainsi comme le plus grand outil de planification de la conservation utilisée aux Etats-Unis et tant d'autres pays.

Cette équation permet d'estimer la perte moyenne de sols(A) pour la période de temps de R et généralement à l'échelle de l'an.

Celle-ci se résume ainsi : $A=R*K*LS*C*P$

Avec :

A : Perte de sols par unité de surface, exprimée dans les unités sélectionnées pour K et la période de temps de R, généralement en tonne(T) par hectare (ha) par an,

R : Facteur d'érosivité des pluies exprimé en MJ.mm/ha.h.an,

K : Facteur d'érodibilité des sols exprimé en t.ha.h/ha.MJ.mm,

L : Longueur de pente en mètre (m),

S : Inclinaison de pente (%),

C : Facteur adimensionnel de la couverture végétale et des pratiques culturales,

P : Facteur adimensionnel relié aux pratiques de conservation des sols.

CHAPITRE III

3. Méthodologie

3.1. Présentation de la zone d'étude

3.1.1. Localisation

Cette étude, titrée diagnostic biophysique de l'état actuel du MBV de Tiravine et estimation des pertes de sol, a été réalisée dans la commune de Camp-Perrin, département du Sud d'Haïti, l'arrondissement des Cayes. La figure 1 ci-dessous montre la délimitation du micro bassin versant de Tiravine. Ce MBV dont la superficie s'étend sur 29.24 ha est limité à l'Ouest par la Ravine du Sud, au Nord par la localité Raymond et Marceline, à l'Est par la localité Karo et au Sud par le centre-ville de la commune de Camp-Perrin, et il est situé dans la deuxième section communale Champlois. Les coordonnées GPS de la délimitation du micro bassin versant de Tiravine sont présentées à l'annexe 9. La figure ci-après sert à localiser notre zone d'étude.

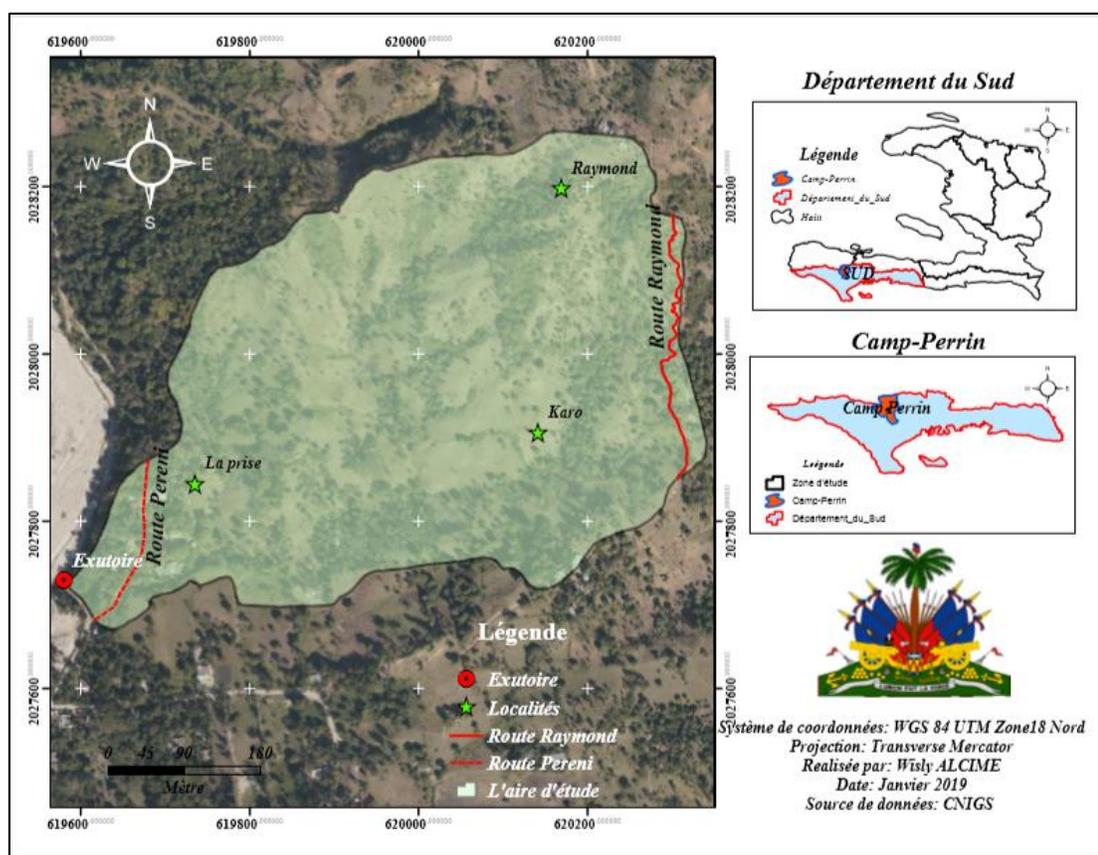
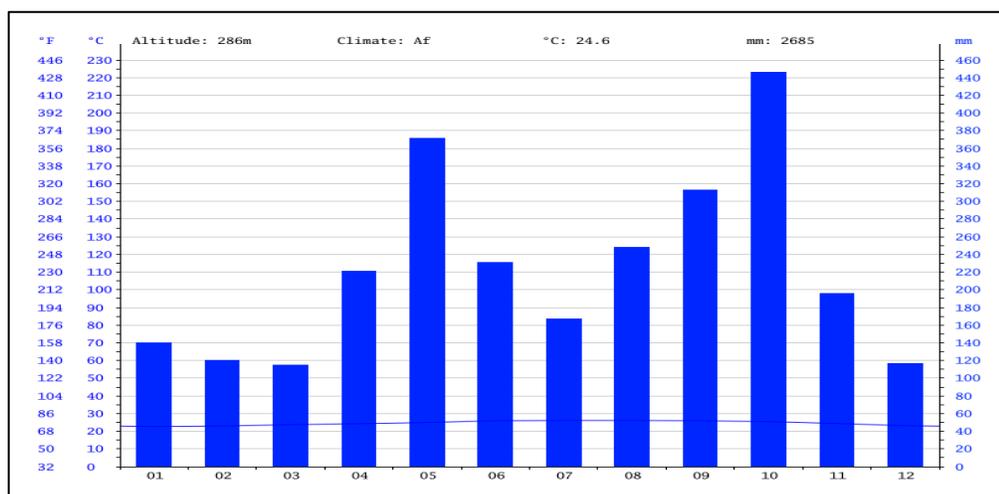


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude

3.1.2. Pluviométrie et température

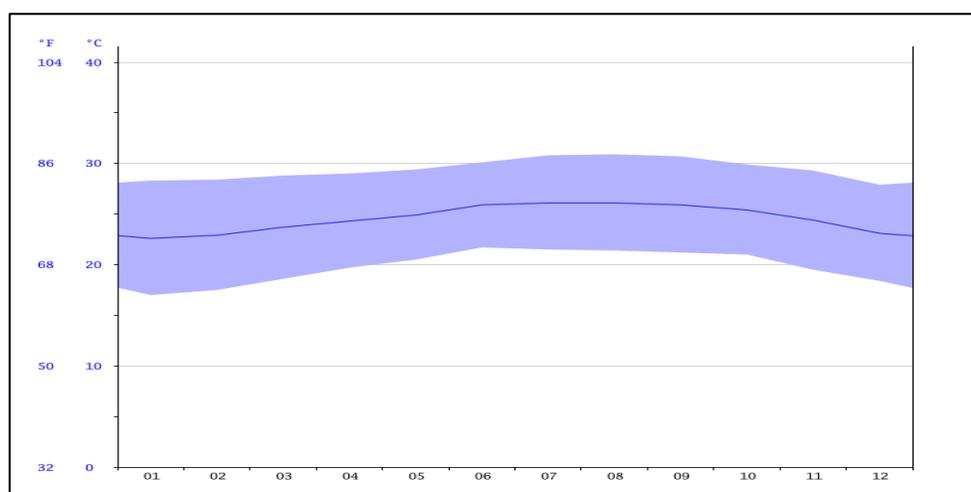
Selon la classification de Koppén-Geiger (1980-2016), le climat de la commune de Camp-Perrin est de type équatorial(Af). Il est caractérisé par de fortes averses même pour les mois les plus secs, les pluies sont importantes. La température moyenne et pluviométrie moyenne annuelle sont respectivement 24.6°C et 2685mm (figure 2).



www.climate-data.org

Figure 2: Diagramme pluviométrique de la commune de Camp-Perrin

Selon le diagramme de température de la figure 3, le mois de Mars est le plus sec et reçoit en moyenne 115 mm de pluie alors que le mois Octobre est celui ayant le plus fort taux de précipitation, soit en moyenne 446mm.



www.climate-data.org

Figure 3: Diagramme de température de Camp-Perrin

Le mois le plus chaud de l'année est le mois de Juillet. Pour ce mois, la température moyenne est 26.1°C et 22.6°C pour le mois Janvier comme mois le plus froid. Entre le mois le plus sec et le mois plus humide, on enregistre une différence de précipitation de 331mm. La différence de température au cours de l'année est en moyenne 3.5°C.

3.1.3. Géologie

Sur le plan géologique, le micro bassin versant de Tiravine est constitué de formations calcaires dures de l'âge crétacé et de roches sédimentaires de l'âge quaternaire représentées par des formations alluvionnaires. D'après Aubin(2017), le SBV d'Abraham est dominé par des alluvions et des matériaux détritiques alors que le SBV de Diny est constitué par des roches magmatiques et des roches sédimentaires (Jean, 2017). Par comparaison, le micro bassin versant de Tiravine a presque des formations géologiques similaires aux SBVs de Diny et d'Abraham. Donc, les bassins versants d'Haïti peuvent avoir des caractéristiques géologiques différentes ou similaires. Selon Pellenard(2017) cité par Jean(2017) a conclu que le bassin versant est naturellement exposé au processus d'érosion notamment pour ce qui concerne les zones alluvionnaires et aux matériaux détritiques ou encore le calcaire marneux. Le MBVT, comme illustre la figure 4, constitué en majeure partie de calcaires et d'alluvions, est donc livré au processus d'érosion car les roches calcaires et les alluvions peuvent être décomposées et facilement emportées par les eaux de pluie dépendamment des caractéristiques climatiques et biophysiques du milieu.

En effet, la mise en place des structures d'aménagements adéquates et adaptées sur Tiravine permet de réduire la vitesse des débits au profit de l'infiltration et par conséquent évite l'ensédimentation des infrastructures hydroagricoles. D'où, la diminution des débits liquides et solides au niveau du collecteur principal et des infrastructures du système d'irrigation d'Avezac.

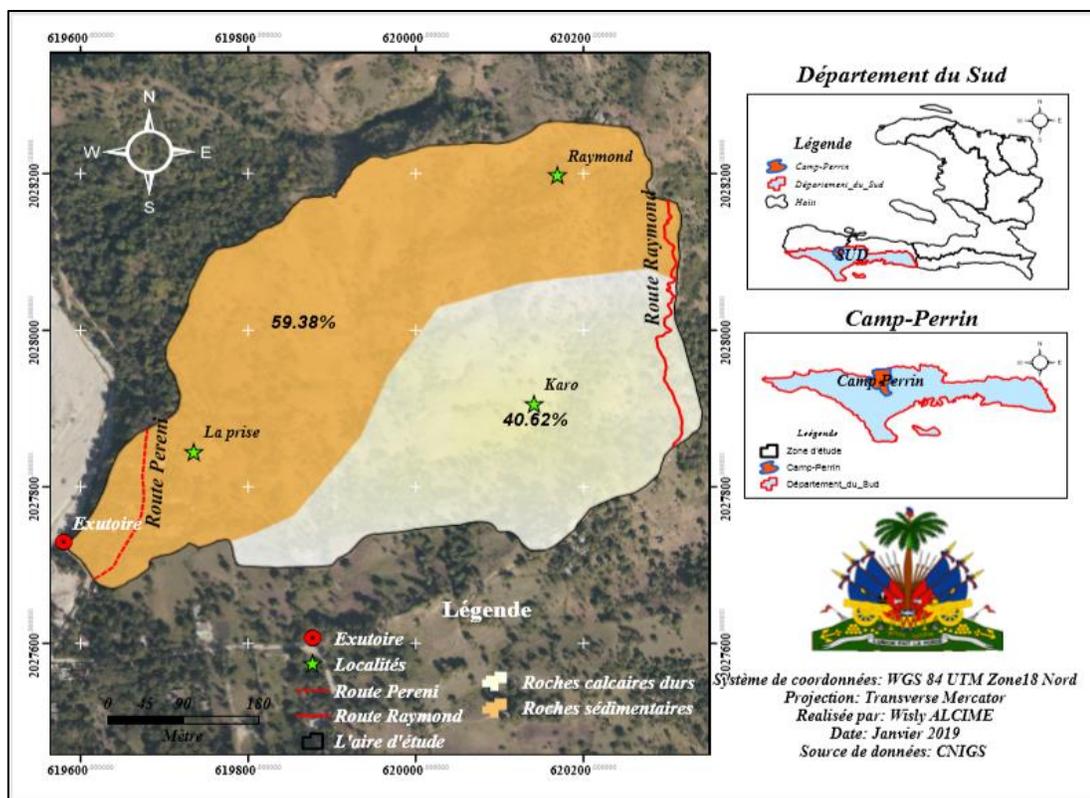


Figure 4: Carte géologique du micro bassin versant de Tiravine

3.2. Caractéristiques socioéconomiques

3.2.1. Population

La population de Camp-Perrin est estimée à 40 962 habitants et la densité est de 206 habitants/km² (IHSI, 2009).

3.2.2. Instruction

La commune Camp-Perrin présente des écoles primaires et des d'écoles secondaires (SECAL, 2018). Certains parents envoient leurs enfants aux Cayes ou dans la capitale, après leurs études classiques, pour entamer et boucler ses études universitaires.

3.2.3. Santé

Le Ministère de la Santé Publique et de la Population (MSPP) est représenté à Camp-Perrin par plusieurs centres de santé et dispensaires comme par exemple : le Centre d'Urgence Polyclinique(CUP) et l'Hôpital Saint-Anne de Camp-Perrin, sis à Laborde. Le tableau qui suit illustre les infrastructures de santé de la commune de Camp-Perrin.

Selon le rapport diagnostic du projet SECAL(2018), la commune de Camp-Perrin compte comme établissement de santé quatre(4) dispensaires, trois(3) cliniques et trois(3) centre de santé avec des lits.

3.2.4. Infrastructure

Selon des observations directes, la commune de Camp-Perrin est traversée par la route nationale #7 actuellement en asphalte amenant à Jérémie. Cette commune est dotée d'un commissariat, l'Electricité D'Haïti(EDH) est également présente et d'un système d'irrigation connu sous le nom d'Avezac. La prise sur berge de ce système a été construite en 1945 et réhabilitée en 2015 par le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural(MARDNR).

3.2.5. Religion

À Camp-Perrin, le Catholicisme et le protestantisme sont très pratiqués mais le vodou est également pratiqué (SECAL, 2018).

3.2.6. Loisirs

La commune de Camp-Perrin comporte plusieurs terrains de football, une place publique et des discothèques. Néanmoins, le plus grand centre de loisir est la prise sur berge du périmètre d'Avezac qui sert à accueillir les touristes et les camperinois(es) habituellement tous les week-ends.

3.2.7. Agro-industrie

On y retrouve des industries agroalimentaires comme l'Organisation de Réhabilitation de l'Environnement(ORE) et des petites activités privées qui transforment le maïs (*Zea mays*), l'arachide (*Arachis hypogaea*) et le sorgho (*Sorghum bicolor*).

3.2.8. Industrie extractive

Camp-Perrin n'a pas d'industrie d'extraction. Mais le lit de la rivière de la Ravine du Sud est une ressource minière pour les riverains.

3.2.9. Construction et transport

Dans de la commune de Camp-Perrin, les maisons sont généralement réalisées par des boss maçons. Il n'y a pas de firme de construction qui s'y installe. En ce qui a

trait au transport, le trafic motocyclette est très actif, très répandu et constitue une source d'entrée pour les jeunes.

3.2.10. Artisanat

Camp-Perrin possède des ateliers de broderie et des ateliers de sculpture sur bois et sur pierre.

3.2.11. Activités économiques

Tout comme pour le Département du Sud, l'économie de la zone est reposée sur le secteur primaire. Ayant comme principales activités : l'agriculture, l'élevage et l'arboriculture fruitière. Le petit commerce est aussi une activité importante. Il s'agit de la vente des produits de première nécessité.

D'après les visites de terrain, au niveau du micro bassin versant de Tiravine(MBVT), les exploitants y cultivent entre autre le haricot, le manioc, le maïs, le pois congo, la patate douce et l'arachide.

3.2.12. Tourisme

La commune de Camp-Perrin présente plusieurs sites touristiques comme Saut-Mathurine, le Fort la Coste et le Fort Counoubois.

3.3. Végétation

D'après Sorre(1929) cité par Robart(1984), la végétation des Cayes, en particulier celle de Camp-Perrin, est de type forêt de mousson et tropicale.

3.3.1. Physionomie

Au niveau des massifs du Sud de la République d'Haïti, les espèces endémiques qui suivent ont été observées par Robart(1984) : *Plethadenia granulata*, *Fuertesia domingensis*, *Haitia buchii*, *Ekmaniocharis crassinervis*, *Paratanthe ekmanii*, *Penelopeia suburceolata*, *Selleopphytum buchii*.

De l'aval vers l'amont, le micro bassin versant de Tiravine (MBVT) se divise en trois(3) strates : une strate supérieure constituée en majeure partie d'arbres forestiers et fruitiers qui se développent en zone plus ou moins fraîche ; une strate intermédiaire dominée d'arbustes et d'herbes de napier surtout et enfin une strate inférieure occupée par les lianes, les herbes et les massifs rocheux déboisés.

Tableau 1: Caractérisation des végétaux au niveau du MBVT

Spécificités	Noms vernaculaires	Noms scientifiques
Arbres et arbustes	Cèdre	<i>Cedrela odorata L.</i>
	Chêne	<i>Catalpa longissima</i>
	Mapou	<i>Ceiba pentandra (L.) Gaertn</i>
	Acacia	<i>Acacia lutea</i>
	Cacia	<i>Cassia siamea Lam.</i>
	Tchatcha	<i>Albizia lebeck (L Benth.)</i>
	Lilas, Neem	<i>Melia azedarach L.</i>
	De lin	<i>Leuceana glauca</i>
	Frène	<i>Simarouba glauca</i>
	Bois caca	<i>Capparis cynophallophora</i>
Arbres fruitiers	Chadèquier	<i>Citrus grandis</i>
	Citronnier	<i>Citrus angustifolia</i>
	Orange douce	<i>Citrus aurantium</i>
	Orange sure	<i>Citrus sensis</i>
	Goyavier	<i>Psidium guajava</i>
	Avocatier	<i>Persea americana</i>
	Manguier	<i>Mangifera indica</i>
	Corossolier	<i>Annona montana</i>
	Carambole	<i>Averrhoa carambola</i>
	Cachiman	<i>Annona reticulata</i>
Herbes	Herbe à gale	<i>Nepeta cataria</i>
	Herbe guinée	<i>Panicum maximum</i>
	Herbe de crabe	<i>Batis maritima</i>
	Herbe de napier	<i>Cenchrus purpureus</i>
	Herbe éléphant	<i>Pennisetum purpureum</i>
	Herbe fine	<i>Sporobolus indicus</i>
	Herbe guatemala	<i>Tripsacum laxum</i>
	Herbe sure	<i>Paspalum conjugatum</i>
Plantes médicinales	Assorossi	<i>Momordica charantia</i>
	Barbe à chat	<i>Polygonum virginianum</i>
	Langue à chat	<i>Eupatorium Odoratum</i>
Liane	Liane amitié	<i>Cassytha americana</i>
	Liane molle	<i>Cissus sicoides</i>

Source: SECAL(2018)

3.4. Élevage

À Camp-Perrin l'élevage est pratiqué à environ 70 à 80% au niveau des trois sections communales. On y rencontre l'élevage des bovins, cette activité est réservée généralement aux hommes adultes et aux jeunes. Mais l'élevage des volailles, des caprins, des ovins et des lapins est grandement observé. Cependant, l'espèce bovine

reste et demeure l'espèce la plus rencontrée au niveau des pâturages. Tenant compte de son rôle comme engin agricole pour les travaux de préparation des parcelles. En outre, la production animale joue un rôle important pour les agriculteurs en cas de mauvaise récolte. C'est sur eux les exploitants comptent au profit de la subsistance de leur famille.

3.5. Matériels

3.5.1. Matériels physiques

Pour réaliser et pour parvenir aux objectifs fixés dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé :

- ✓ D'appareil photographique pour la prise de vue de certains endroits faisant l'objet de la problématique de notre étude ;
- ✓ De récepteur GPS pour géolocaliser la ravine et ses affluents, les lignes de crêtes du MBVT et des sites de prélèvements;
- ✓ De carte topographique et géographique pour collecter certaines informations préliminaires.

3.5.2. Logiciels

- ✓ Excel pour réaliser les calculs ;
- ✓ Word pour la rédaction de ce travail ;
- ✓ DNRGPS, une application d'Open Source de la population DNRGarmin, pour télécharger les points d'extension .GPX et les transformer en format shape file d'extension .shp ;
- ✓ ArcGIS10.4 pour le traitement des paramètres biophysiques, la quantification des pertes de sol;
- ✓ Google Earth et Converter pour la réalisation du Modèle Numérique de Terrain(MNT) pour créer le modèle numérique de terrain(MNT).

3.6. Méthode de travail

Pour atteindre les objectifs fixés et pour tester les hypothèses de travail, la méthode suivante a été utilisée :

3.6.1. Recherche bibliographique

Pour se familiariser et mieux comprendre la thématique, on avait consulté la documentation disponible (les livres, les articles, les revues, les journaux, les mémoires de fin d'étude en rapport avec le sujet en question) et des sites d'internet.

3.6.1.1. But de la recherche bibliographique

Dans le cadre de ce travail, la recherche bibliographique a été faite dans le but de collecter les informations préliminaires (socioéconomiques, climatiques, géographiques et cartographiques etc..) de la zone d'étude et sur la thématique. Ces données sont collectées à travers les cartes, les livres, les journaux, les rapports d'études et des données numériques (Orthophoto, Modèle Numérique de Terrain).

3.6.2. Visite de reconnaissance

3.6.2.1. But de la visite de reconnaissance

La visite de reconnaissance du terrain se réalisait dans le bien-fondé de situer la zone d'étude, de faire une observation directe du MBVT. Celle-ci a donné également une idée sur la configuration physique de la surface d'étude. Dans le cadre de cette visite, on avait parcouru le paysage du MBVT afin d'observer les systèmes de culture existants et enfin de prendre un premier contact avec les personnes ressources.

3.6.3. Détermination des paramètres biophysiques

3.6.3.1. Hydrographie et ravinement

Cette partie s'accroît sur la géolocalisation de Tiravine et ses interfluves. À l'aide d'un récepteur GPS, nous avons pris des points tout au long des ravines tout en faisant une estimation de ses largeurs afin de prendre en compte les dimensions des structures de conservation. Ces points collectés ont été téléchargés en format shape file puis exporter sur ArcGIS 10.4 pour la numérisation. Cette dernière a été faite en superposant les points de format shape file recueillis sur l'orthophoto 2018 de CNIGS et nous avons utilisé l'outil editor de l'ArcGIS 10.4.

3.6.3.2. Délimitation du MBVT

La délimitation du micro bassin versant de Tiravine a été faite d'abord sur le fond topographique d'Haïti, elle est ensuite corrigée au moyen des points GPS recueillis le long de la ligne de crête communément appelée ligne de partage des eaux.

3.6.3.3. Caractéristiques géométriques

La détermination des caractéristiques géométriques du MBVT nous aidait à comprendre le comportement hydrologique de celui-ci. Ainsi, on avait comme caractéristique géométrique :

1) Aire et périmètre

L'aire désigne la portion plane délimitée par la ligne de crête, ou contour du MBVT. La mesure de l'aire du MBVT a été faite de façon automatique à l'aide de l'ArcGIS. Elle s'exprime en m² ou km².

Le périmètre désigne, lui-même, la longueur du contour du micro bassin versant. Dans le cadre de ce travail, il est mesuré de façon automatique sur le logiciel ArcGIS. Il s'exprime en m ou km.

2) La forme du micro bassin versant

La forme du micro bassin versant est une caractéristique pertinente qui a une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme mettant en relation le débit par unité de temps. De ce fait, la forme du MBVT a été déterminée à l'aide de l'indice de Gravélius et de Horton, ces indices ont été calculés par les formules suivantes :

Équation 1: Indice de Gravélius(K_G)

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_G : Indice de Gravélius sans unité,

P : Périmètre du micro bassin versant en km,

A : Surface du micro bassin versant en km².

Cet indice est aussi appelé indice de compacité. Il est l'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant.

Le coefficient K_G est égal à 1 pour un MBVT de forme circulaire, 1.12 pour un MBVT assimilable à un carré et de forme allongée ou irrégulière pour des valeurs supérieures à 1.12 (Dubreuil et al., 1975).

Équation 2: Indice de compacité de Horton(K_H)

$$K_H = \frac{A}{L^2}$$

A : Aire du micro bassin versant en km^2

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

Cet indice est inférieur à 1 lorsque le MBVT est de forme allongée et pour toute de cet indice supérieur à 1, le MBVT est de forme ramassée (Jean, 2017)

3) *Rectangle équivalent*

Le rectangle équivalent est aussi appelé rectangle de Gravélius. Il conduit à une transformation géométrique du bassin versant réel. Comme si le MBVT est rectangulaire. Car on conserve le périmètre, la surface et on tient compte du coefficient de Gravélius.

Pour toute valeur de K_G supérieure à 1.12, les formules qui suivent ont été appliquées pour la détermination de ses dimensions (FAYE, 2014) cité (Jean, 2017).

Équation 3: Longueur et largeur du rectangle équivalent

$$L = \frac{Kg\sqrt{A}}{1.12} * [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kg})^2}] \text{ et } l = \frac{Kg\sqrt{A}}{1.12} * [1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kg})^2}]$$

3.6.3.4. *Caractéristiques topographiques*

La détermination des caractéristiques topographiques nous a permis d'apprécier l'influence de la configuration du relief de Tiravine sur l'écoulement des eaux. Pour ce faire, nous avons mis l'emphase sur ces paramètres suivants :

1) *Relief*

Le relief est généralement caractérisé par la courbe hypsométrique qui traduit la distribution d'altitude au niveau du MBVT. Cette distribution décrit le pourcentage de la surface totale se trouvant au-dessus ou en dessous d'une hauteur bien déterminée

(Oscar, 2014) cité par (Jean, 2017). Le logiciel ArcGIS 10.4 et l'Excel ont permis de tracer la courbe hypsométrique (figure 9) en utilisant le Modèle Numérique de Terrain(MNT) Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) de la zone d'étude.

2) *Altitudes*

Les classes d'altitude du micro bassin versant de Tiravine ont été obtenues par la méthode de Jenks(1967) de l'ArcGIS 10.4 et les altitudes maximales et minimales ont été déterminées à partir du Modèle Numérique de Terrain(MNT) du MBVT.

L'altitude médiane se déterminait à partir de la courbe hypsométrique et elle est la valeur qui correspond à 50% de la surface du micro bassin versant. Alors que l'altitude moyenne a été calculée en appliquant la formule suivante (Oscar, 2014):

Équation 4: Altitude moyenne du micro bassin versant de Tiravine

$$h_{moy} = 1/A_{tot} [\sum A_i (h_i + h_{i+1})/2]$$

A_{tot} : Surface totale du micro bassin versant de Tiravine

A_i : Surface entre les deux hauteurs h_i et h_{i+1}

3) *Classes d'altitude et de pente*

Les classes d'altitude ont été créées par l'application de la méthode de Jenks(1967). Il s'agit d'une méthode dite optimisation qui sert à minimiser ou à maximiser la variance entre deux classes. Alors que les classes de pentes se généraient de façon automatique dans l'Arcgis en utilisant de l'extension Spatial Analyst.

4) *Coefficient de massivité*

Le coefficient de massivité met l'emphase sur l'altitude moyenne du micro bassin versant et de sa surface. Ce coefficient est inversement proportionnel à l'aire du MBVT. C'est-à-dire lorsque la surface du MBVT diminue, son coefficient de massivité augmente. Il est plus élevé dans le cas des bassins versants que dans le cas des sous et des micros bassins versants. Nous avons obtenu ce coefficient en divisant l'altitude moyenne du MBVT par sa surface.

Équation 5: Coefficient de massivité(C_m)

$$C_m = h_m/A$$

C_m : Coefficient de massivité,

h_m : Altitude moyenne du MBVT,

A : L'aire du MBVT.

5) *Coefficient orographique*

Le coefficient orographique, quant à lui-même, il peut être déduit à partir du coefficient de massivité par l'altitude moyenne. Cependant, il peut être obtenu aussi à partir de l'altitude moyenne du MBVT par sa superficie. Il varie dans le même sens que le C_m . Lorsque la valeur de C_o est supérieure ou égale à 6, elle traduit que le MBVT est susceptible à l'érosion.

Équation 6: Coefficient orographique(C_o)

$$C_o = h_m * C_m = \frac{(h_m)^2}{A}$$

C_o : Coefficient orographique,

h_m : Altitude moyenne du MBVT,

C_m : Coefficient de massivité du MBVT,

A : L'aire du MBVT.

6) *Pente moyenne du MBVT(S_{moy})*

La pente moyenne traduit l'influence de la configuration du terrain sur l'écoulement des eaux superficielles. Elle influence le ruissellement de surface. En d'autre terme, l'accélération des eaux de surface sur les versants. De plus, elle détermine en partie le temps de réponse des cours d'eau (Morell, 1999). Donc, la valeur élevée de cette pente justifie la présente d'érosion.

Équation 7: Pente moyenne du MBVT

$$S_{moy} = D * L_{cn} * A^{-1}$$

D : Équidistance entre deux courbes de niveau en m,

L_{cn} : Longueur total des courbes de niveau en m,

A : Surface du micro bassin versant en m².

Tableau 2: Description des classes de pente d'un micro bassin versant

<i>Classes de pente</i>	<i>Descriptions</i>
0 à 3%	Pente nulle
4 à 8%	Pente faible
9 à 15%	Pente douce
16 à 30%	Pente modérée
31 à 40%	Pente forte
> 41%	Pente excessive

Source : Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune de Québec(2012) cité par Jean(2017).

7) *Dénivelée*

La dénivelée du MBVT a été déterminée à partir de la courbe hypsométrique. Elle est la différence entre l'altitude de 5% et celle de 95%. Dans les vieux bassins versants, cette valeur peut toutefois être plus élevée que dans les jeunes bassins (très érosifs) et les bassins en équilibre (bassins matures) (Doliscar, 2018).

Équation 8: Dénivelée du MBVT

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

8) *Indice de pente globale(I_g)*

L'indice de pente globale décroît pour un même micro bassin versant suite à une augmentation de superficie. Cet indice a été obtenu en multipliant la dénivelée par la longueur du rectangle équivalent. Il nous a permis de déterminer la dénivelée spécifique. La valeur de I_g a été obtenu par l'équation ci-dessous.

Équation 9: Indice de pente globale(I_g)

$$I_g = D * (L_r)^{-1}$$

Avec :

D : Dénivelée en mètre(m)

L_r : Longueur du rectangle équivalent en mètre (m)

Tableau 3: Indice de pente global et caractéristique du relief

<i>Variation de I_g</i>	<i>Description du relief</i>
$I_g < 0.002$	Relief très faible
$0.002 < I_g < 0.005$	Relief faible
$0.005 < I_g < 0.01$	Relief assez faible
$0.01 < I_g < 0.02$	Relief modéré
$0.02 < I_g < 0.05$	Relief assez fort
$0.05 < I_g < 0.1$	Relief fort
$0.1 < I_g$	Relief très fort

Source : Classification du relief par la méthode de l'ORSTOM (Jean, 2017)

9) *Indice de Roche (I_r)*

L'indice de Roche traduit la forme générale de la déclivité du micro bassin versant. Il a été obtenu par la relation ci-dessous.

Équation 10: Indice de Roche (I_r)

$$I_r = \sqrt{\frac{I_g}{0.8}}$$

Avec:

I_r : Indice de roche

I_g : Indice global de pente

10) *Dénivelée spécifique du MBVT*

La dénivelée spécifique (D_s) est un paramètre de comparaison et dépend de la surface du micro bassin versant. Cet indicateur a été déterminé à l'aide de l'équation ci-dessous qui est fonction de l'hypsométrie (D) et de la forme du micro bassin versant (l et L).

Équation 11: Dénivelé spécifique du MBVT (D_s)

$$D_s = D * L^{-1} * \sqrt{(L * l)}$$

Avec :

D : Dénivelé en mètre (m),

L : Longueur du rectangle en mètre(m),

l : Largeur du rectangle équivalent en mètre(m).

Tableau 4: Relation entre dénivelée spécifique et caractéristique du relief

<i>Variations de D_s</i>	<i>Caractéristiques du relief</i>
Ds < 10 m	Relief très faible
10 m < Ds < 25 m	Relief faible
25 m < Ds < 50 m	Relief assez faible
50 m < Ds < 100 m	Relief modéré
100 m < Ds < 250 m	Relief assez fort
250 m < Ds < 500 m	Relief fort
500 m < Ds	Relief très fort

Source : Classification du relief par la méthode de l'ORSTOM (Jean, 2017)

3.6.3.5. Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du MBVT est constitué d'un cours d'eau principal et d'un ensemble d'affluents qui acheminent les eaux superficielles vers le point le plus bas appelé exutoire. Ces cours d'eau peuvent être naturels ou artificiels, permanents ou temporaires. Il est l'une des caractéristiques principales du comportement hydrologique d'un micro bassin versant.

1) Tracé du réseau hydrographique du MBV de Tiravine

Pour tracer le réseau hydrographique du micro bassin versant de Tiravine, nous avons parcouru la ravine principale et ses affluents en prenant des coordonnées géographiques à l'aide d'un récepteur GPS. L'ensemble des points collectés ont été ajoutés sur ArcGIS 10.4 puis numérisés sur le fond orthophotoplan 2014 de CNIGS. En ce qui concerne la classification du réseau hydrographique plusieurs méthodes existent mais, celle proposée par Strahler a été utilisée pour classer les cours d'eau du micro bassin versant de Tiravine. En outre, les drains de même ordre ont été unifiés à l'aide de l'outil merge, ceci a permis d'avoir la longueur totale respective de chaque cours d'eau.

2) Pente moyenne du cours d'eau principal ou pente hydrographique(P_{moy})

La pente hydrographique ou profil en long du cours d'eau principal traduit la vitesse avec laquelle l'eau s'achemine à l'exutoire. Plus cette pente est forte, plus le temps de concentration des eaux de ruissellement est faible. Ce qui permet à un micro bassin versant de réagir vite aux précipitations et, à moindre averse, l'eau de ruissellement arrive à l'embouchure ou l'exutoire. Pour déterminer ce paramètre, nous avons utilisé l'équation ci-dessous.

Équation 12: Pente hydrographique(P_{moy})

$$P_{moy} = \Delta H_{max} * L^{-1}$$

Où :

ΔH_{max} : Dénivellation maximale du cours d'eau principal (m)

L : Longueur du cours d'eau principal (km)

3) *Densité de drainage*

Rapport entre la somme des longueurs de tous les cours d'eau et de la surface drainée. La détermination de ce paramètre permet de supposer que tous les talwegs sont nettement marqués et empruntés par des écoulements temporaires sur des rivières non pérennes (Morell, 1999). Convention en conformité aux chenaux de drainage. On l'a obtenu par l'équation suivante.

Équation 13: Densité de drainage(D_d)

$$D_d = \Sigma L_i * A^{-1}$$

Avec :

D_d : Densité de drainage (km/km²)

ΣL_i : Longueur totale de tous les cours d'eau (km)

A : Superficie du MBVT (km²)

Elle est dépendante de la géologie, des activités humaines, des conditions climatologiques et des caractéristiques topographiques du micro bassin versant, la densité de drainage est comprise entre 3 et 4 pour des régions à développement très limité et donc favorable à l'infiltration, au-delà de 4 l'infiltration diminue et à partir de

1000 elle est quasi-inexistante et donc beaucoup plus favorable à l'érosion des sols (Jean, 2017).

4) *Temps de concentration (T_c)*

Le temps de concentration des eaux sur un bassin ou un micro bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le plus long chemin hydrologique, le point le plus éloigné de l'exutoire (Doliscar, 2017). Pour déterminer ce temps, nous avons utilisé la formule de Kirpich(1940) cité par (Jean, 2017).

Équation 14: Temps de concentration selon la formule de Kirpich

$$T_c = 0.000325 * L^{0.77} * (S_{moy})^{-0.385}$$

T_c : Temps de concentration en heures

L : Longueur du cours d'eau principal en mm

S_{moy} : Pente moyenne du MBVT en m/m

5) *Densité hydrographique*

Elle représente le nombre de cours d'eau par unité de superficie. Celle-ci a été calculée par l'équation qui suit.

Équation 15: Densité hydrographique(F) (Horton, 1945)

$$F = \sum N_i * A^{-1}$$

Où :

F : Densité hydrographique

N_i : Nombre de cours d'eau

A : Surface du micro bassin versant (km^2)

6) *Fréquence des cours d'eau*

Elle est déduite par l'équation 18 suivante.

Équation 16: Fréquence des cours d'eau

$$f = \sum \text{des cours d'eau d'ordre } 1 * A^{-1}$$

Avec:

f : fréquence des cours d'eau (km^{-2})

A : Superficie du micro bassin versant (km^2)

7) *Le coefficient de torrentialité*

Le coefficient de torrentialité est déduit par l'équation ci-dessous.

Équation 17: Coefficient de torrentialité(C_t)

$$C_t = D_d * f$$

Avec :

C_t : Coefficient de torrentialité (km/km^4),

D_d : Densité de drainage (km/km^2),

f : Fréquence des cours d'eau (km^{-2}).

3.6.3.6. Cartes de potentialités, d'occupation de sols, de géologie et de pédologie

Ces cartes ont été réalisées à partir des données du Centre National de l'Information Géo-Spatiale(CNIGS) et des données recueillies sur terrain. Pour collecter les données images, nous les avons téléchargées sur le www.haitidata.org alors que les données de terrain ont été recueillies par observation directe. Mais, en ce qui a trait à la carte géologique et de potentialité des sols, seules les données des études réalisées par le Centre National de l'Information Géo-Spatiale ont été utilisées et analysées pour la construction de ces cartes, et ces données ont été collectées à partir du service des ressources humaines du CNIGS.

Pour pouvoir réaliser les cartes d'occupation des sols, les images 2014 et 2018 de la zone d'étude et le logiciel ArcGIS 10.4 ont été utilisés. En outre, la nomenclature CNIGS/CIAT (2012) a été adoptée pour l'identification et la numérisation des unités d'occupation de sols. La surface et le pourcentage de chaque classe d'occupation de sols ont été calculés et comparés. La figure 5 suivante présente les procédures utilisées pour élaborer les cartes d'occupation des sols(OCS).

Pour classer les sols du micro bassin versant de Tiravine(MBVT), la classification de USDA (1975) cité par a été utilisée.

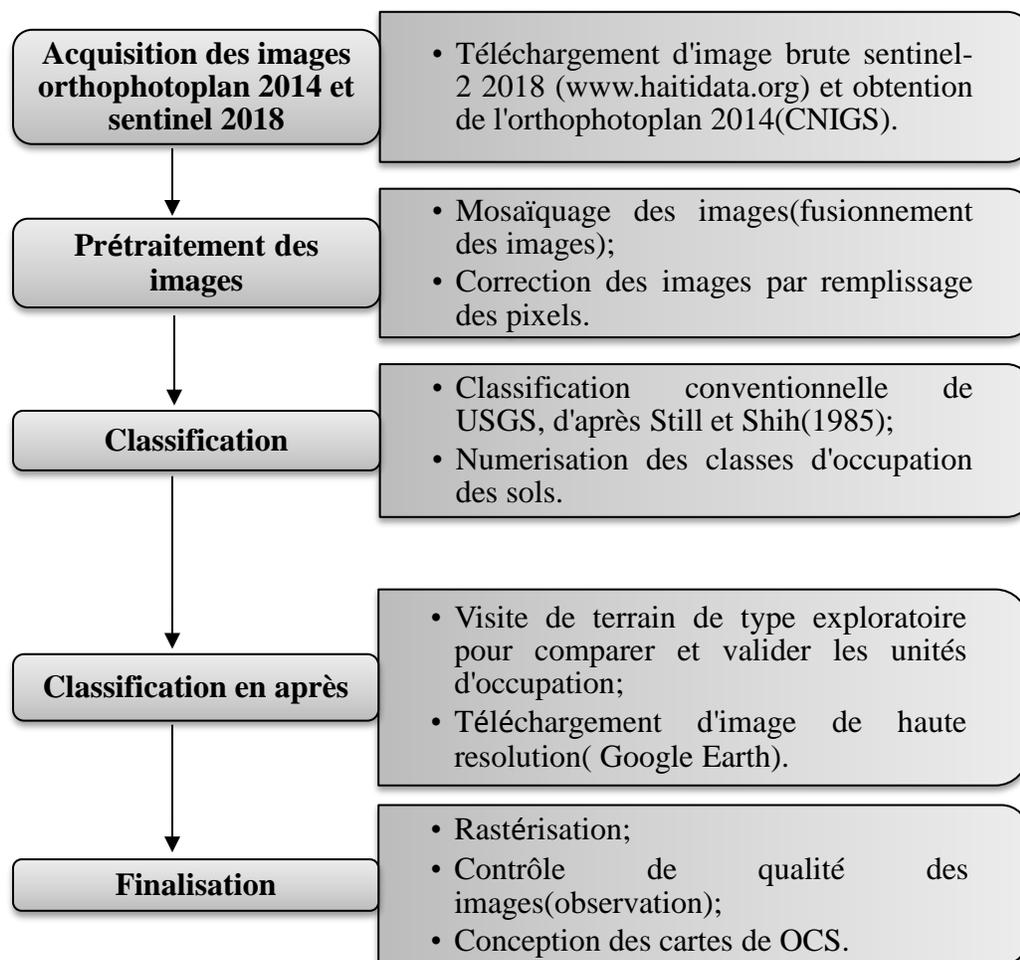


Figure 5 : Fluxogramme des cartes d'occupations des sols(OCS)

3.6.3.7. Transects

Nous avons effectué deux(2) transects qui ont permis de compléter les données relatives au couvert végétal et d'observer l'état actuel dans lequel le MBVT évolue. Sur chacun des transects des échantillons de sol ont été prélevés et identifiés par des numéros. Cinq(5) échantillons ont été prélevés et également géolocalisés. Il est à mentionner que les échantillons ont été collectés de façon aléatoire à 30 cm de profondeur.

3.6.3.8. Etudier et décrire les changements en terme d'occupation de sols au cours des années 2014 et 2018

L'étude des changements en termes d'occupation de sols a été faite dans le but de déterminer les modifications de la couverture de l'espace biophysique à partir d'une analyse diachronique des données résultant du traitement et de la cartographie des différentes classes d'occupation de sols du micro bassin versant de Tiravine. Cette étude a été portée sur l'analyse des données images Orthophotoplan 2014 et Sentinel-2 2018 de la zone d'étude.

3.6.3.8.1. Quantification du changement d'occupation de sols

Le taux moyen annuel d'expansion spatiale, le taux de changement global et la matrice de transition ont été calculés pour la période pour apprécier et quantifier l'évolution des unités d'occupation de sols.

1) Taux de changement

Le taux de changement annuel et le taux de changement global des surfaces des unités d'occupation de sols entre les années 2014 et 2018 ont été déterminés par l'application de l'équation proposée par la FAO(1996) et celle de Bernier(1992) cité par Tchamie(2016).

Ainsi, nous avons calculé la surface de chaque unité d'occupation de sols respectivement pour chacune des années précisées. Ensuite, ces formules de taux de changement global (T_g) et taux de changement annuel (T_c) ont été intégrées et calculées dans l'ArcGIS à l'aide de l'outil Field Calculator (Open Attribute Table/Field Calculator).

Équation 18: Taux de changement global(T_g)

$$T_g = \left(\frac{S_2 - S_1}{S_1} \right) * 100$$

S_1 : Surface d'une classe d'unité à la date 2014 ;

S_2 : Surface d'une classe d'unité à la date 2018.

Équation 19: Taux de changement annuel(T_c)

$$T_c = \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(t_2 - t_1) * \ln e} * 100$$

S_1 : Surface d'une classe d'unité à la date 2014 ;

S₂: Surface d'une classe d'unité à la date 2018.

Les valeurs positives de T_c et T_g représentent une progression de la superficie de la classe sur la période tandis que les valeurs négatives indiquent la perte de surface d'une classe entre les deux dates. Quant aux valeurs proches de zéro, elles expriment une relative stabilité de la classe les deux années.

2) Matrice de transition

Dans le cadre de cette étude, la matrice de transition a permis de mettre en exergue les changements que les différentes unités d'occupation de sols ont subis pour la période de 2014 à 2018. Pour obtenir cette matrice de transition, nous avons transformé les cartes de OCS de format Shape file en format image. Ensuite, ces cartes d'OCS de format image se sont croisées entre elles au moyen de l'outil Raster Calculator de l'ArcGIS 10.4 (Map Algebra/Raster Calculator).

3.6.3.9. Classes de sols du MBVT

Pour classer les sols du micro bassin versant de Tiravine(MBVT), nous avons basé sur la classification de l'United States Department of Agriculture(USDA) (1992). En effet, nous avons réalisé un diagnostic subsurface des horizons des profils verticaux déjà existés. Ce diagnostic a été basé sur des observations directes sur terrain et avait pour objectif d'identifier le degré de développement des horizons et les couleurs des horizons. Cette observation a été faite pour chacun des coupes verticales. Du coup, deux profils verticaux ont été trouvés et diagnostiqués.

3.6.4. Détermination des paramètres de l'équation universelle des pertes de sol (USLE)

À défaut des outils expérimentaux pour apprécier les pertes de sol, nous avons utilisé l'équation universelle de RUSLE pour déterminer les pertes de sol au niveau du bassin versant de Tiravine. Cette équation universelle de pertes de sol se présente sous la forme mathématique suivante : $A=R*K*LS*C*P$

1) Facteur R (érosivité de la pluie)

Le facteur R est le facteur climatique. Ce facteur est lié à la force érosive exercée par les gouttes de pluie sur les particules de sol. Il est également l'indice présenté par Wischmeier et Smith(1978) cité par Pierre-Louis(2014) et qui se définit comme la

somme des valeurs moyennes annuelles des précipitations. La présente étude ne tient pas compte de l'information ponctuelle des intensités maximales (I_{30}), de l'indice d'érosivité pour un événement et de l'énergie cinétique, mais nous avons utilisé l'expression qui en dérive générée par Cortés(1991). Cette expression a été choisie et intégrée dans l'ArcGIS 10.4 pour déterminer ce facteur R.

Pour évaluer l'érosivité de la pluie au niveau de la zone d'étude, nous avons utilisé les données pluviométriques minimale et maximale d'Haïti présentées sous format image. Ces données couvrent la période de 1998 à 2018. À partir de ces données minimale et maximale, la zone d'étude a été extraite à l'aide de l'outil clip de l'ArcGIS 10.4. Pour trouver la pluviométrie moyenne, à l'aide de l'outil raster calculator de l'ArcGIS 10.4 nous avons fait la moyenne de la pluviométrie minimale et maximale. En outre, l'intégration de l'expression générée par Cortés(1991) et de la pluviométrie moyenne annuelle dans l'ArcGIS 10.4 en utilisant l'outil raster calculator nous a permis de calculer l'érosivité de la pluie de l'aire d'étude

Cette expression se présente par l'équation 20 ci-dessous :

Équation 20: Indice annuel d'érosivité

$$Y = 2.8959 * X + 0.002983 * X^2$$

Avec :

Y : Indice annuel d'érosivité de la pluie en MJ mm/ha/heure ;

X : Précipitation moyenne annuelle en mm.

2) Facteur K (érodibilité des sols)

Ce facteur K illustre les caractéristiques du sol comme la résistance du sol face à l'érosion. Il dépend du type de sol. Par opposition à l'érosivité qui est liée à la structure physique du sol, l'érodibilité, elle-même, dépend de la texture du sol et de la matière organique du sol. Il existe plusieurs méthodes permettant de déterminer le facteur K relatif aux propriétés des sols du MBVT de Tiravine. Parmi lesquelles, nous avons la méthode de Wischmeier (1971), de Young et Mutchler (1977), d'EL-Swaify et Dangler (1976), de Romkens et al(1973) cité par Delusca(1998). Dans le cas de cette étude,

nous avons appliqué la formule de Williams qui est fonction de la texture et du pourcentage de carbone organique. De ce fait, nous avons prélevé cinq(5) échantillons de sol pour être analysés au laboratoire de la FAMV/UEH. Ainsi, l'évaluation de la texture a été faite sur les cinq(5) échantillons prélevés suivant la méthode d'analyse hydrométrique développée par Bouyoucos citée (KÉNEL, 1998). Cette dernière requiert la destruction de la matière organique contenant dans le sol. Sur ce, on a fait l'usage de sesquioxydes de fer et d'aluminium, des carbonates et de l'hexamétaphosphate de sodium comme agent de dispersion. Alors que le carbone organique a été déterminé à partir de la matière organique. La matière organique a été déterminée selon la méthode de Walkley-Black (2003). Elle repose sur l'oxydation du carbone organique dans le sol par le bichromate de potassium. Ces analyses de sol ont été réalisées sur : la texture et le carbone organique. Ensuite, pour chaque échantillon de sol prélevé un code et une coordonnée GPS les ont été attribués, ce qui a permis d'intégrer puis d'interpoler les résultats d'analyse de sol dans l'ArcGIS. Une fois analysée les échantillons de sols, nous étions en mesure d'évaluer la valeur de chaque sous facteur affectant l'érodibilité des sols. Ces sous facteurs étaient ensuite introduits dans l'ArcGIS 10.4 pour interpoler et déterminer le facteur K, respectivement à l'aide de l'outil interpolation et raster calculator de spatial analyst tools.

Équation 21: Indice d'érodibilité(K)

$$K = 0.1317 * (f_{\text{sable}} * f_{\text{linom}} * f_{\text{C.org}} * f_{\text{clay}})$$

Avec:

$$f_{\text{Sable}} = 0.2 + 0.3 * e^{-0.0256 * m_s * (1 - \frac{m_{\text{silt}}}{100})},$$

$$f_{\text{clay-limon}} = \left(\frac{m_{\text{silt}}}{m_c + m_{\text{silt}}} \right)^{0.3},$$

$$f_{\text{C.org}} = 1 - \frac{0.25 * C_{\text{org}}}{C_{\text{org}} + e^{(3.72 - 2.95 * C_{\text{org}})}},$$

$$f_{\text{clay}} = 1 - \frac{0.70 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + e^{[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)]}},$$

Avec:

f_{Sable} : Sable ;

f_{Limon} : Limon ;

$f_{\text{C.org}}$: carbone organique ;

f_{Argile} : Argile ;

m_s : % Sable ;

m_{silt} : % limon ;

3) *Facteur topographique (LS)*

Au-delà d'une pente de 2%, l'érosion connaît une croissance exponentielle (McCool et al. 1987) cité par (PRINTEMPS, 2007) due à la formation de rigoles et à l'augmentation, avec la vitesse de ruissellement, des taux d'érosion diffuse. La longueur(L) et l'inclinaison(S) du MBVT jouent un rôle important dans le phénomène érosif. Cependant, même si leur influence est connue, mais il est difficile de connaître le facteur qui relie ce phénomène. C'est en ce sens qu'on propose diverse formule, et il est à noter que le facteur topographique de Wischmeier et Smith a permis de donner des résultats jugés satisfaisants en matière de perte de sol. Ainsi, la présente étude a déterminé ce paramètre à l'aide de SIG en appliquant la formule de Velázquez(2008), de Foster(1977) et celle de McCOOLS(1991).

Pour calculer le facteur topographique LS. Le Modèle Numérique de Terrain de résolution spatiale 3.3175m par 3.3175m a subit une transformation à l'aide d'outil Fill Spatial Analyst Tools de l'ArcGIS 10.4, c'est la première étape. Cette correction du MNT a permis de combler les dépressions, zones virtuelles inactives conduisant le plus souvent à l'imprécision du MNT.

La seconde étape consistait à la détermination de la pente du MBV de Tiravine à partir du modèle numérique de terrain corrigé. Sur ce, nous avons utilisé l'outil Slope de Spatial Analyst Tools du logiciel ArcGIS et c'est la valeur de bêta (β) de S et F. Celle-ci a été calculée en degré.

La troisième étape c'était le calcul des paramètres m à F à l'aide de l'outil Raster Calculator de Map Algebra de Spatial Analyst Tools.

La quatrième étape s'occupait de la détermination de la direction des flux, communément appelée flow direction, puis l'accumulation des flux en utilisant l'image de la direction des flux (flow direction). Le calcul du raster flow direction se faisait en partant des pixels de plus forte altitude vers les plus faibles altitudes, ceci se faisait de façon automatique l'ArcGIS.

Nous avons calculé le sous facteur L à partir de flow accumulation et de l'outil Raster Calculator, c'est la cinquième étape.

La sixième étape a permis de calculer le facteur LS du MBVT par croisement de la couche du sous facteur L et S de format image.

Équation 22: Facteur topographique(LS)

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{m+1} - [A_{(i,j)}]^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.13)^m}, \text{ (UNDP, 2012)}$$

$$m = \frac{F}{1+F} \text{ et } F = \frac{\frac{\sin(\beta)}{0.0896}}{3 * [\sin(\beta)]^{0.8} + 0.56}, \text{ (Foster, 1997)}$$

McCOOLS (1991)

$$S_{(i,j)} = 10.8 * \sin(\beta_{(i,j)}) + 0.03, \text{ pour } \tan(\beta_{(i,j)}) < 0.09$$

$$S_{(i,j)} = 16.8 * \sin(\beta_{(i,j)}) - 0.5, \text{ pour } \tan(\beta_{(i,j)}) \geq 0.09$$

β : Pente de pixel en radian (doit être multiplié par 0.01745)

A : Flux d'accumulation au niveau des pixels (concentration en eau de ruissellement),

D : Capacité de résolution du Modèle Numérique de Terrain (dimension de côté de pixel) en m,

X : Coefficient de forme pour un système de pixel (x=1).

4) Facteur couverture végétale et pratiques culturales (C)

Le facteur C est le facteur qui permet de mettre en évidence l'impact de la couverture végétale et de la pratique culturale sur la perte de sol effective. En d'autres termes, il permet de comparer les impacts relatifs des options de gestion dans les plans

de conservation des sols. Ce facteur cultural permet en outre de savoir comment la couverture végétale et la pratique culturale affectent la perte de sol moyenne.

La pratique de certaine culture comme l'arachide, manioc et patate douce sur des pentes prononcées affecte le sol et conduit à des pertes de sol élevées.

La détermination du facteur C, nous avons intégré ce facteur dans l'ArcGIS en utilisant les valeurs de C associées à chaque culture du tableau 4 de référence établi pour le RUSLE, et le choix des valeurs de C a été fait par observations pertinentes faites sur terrain.

C met en exergue l'effet des plantes, la couverture du sol, la biomasse du sol et les mauvaises activités culturales dans les processus d'érosion. Les taux de perte de sol au niveau d'un micro bassin versant varient avec le temps, la couverture végétale, la rugosité du sol et la biomasse du sol. La valeur du facteur C exprime le système de gestion de la culture déterminée et indique la réduction de l'érosion dans les conditions de jachère continue. Pour réaliser la carte de répartition du facteur C, nous avons utilisé la carte d'occupation de sols de l'an 2018. Ensuite, la valeur de C appropriée à chacune des couvertures végétales et des pratiques culturales a été affecté à ces dernières.

La carte de la répartition de C a été obtenue par rastérisation de la carte d'occupation de sols 2018 incluant les valeurs de C.

5) Facteur des pratiques de conservation du sol (P)

Ce facteur prend en compte les pratiques de conservation du sol situant sur le MBVT. Il concerne toutes les pratiques antiérosives et les techniques culturales mises en place pour diminuer le ruissellement ou sa vitesse de chute et l'érosion. L'intégration de ce facteur dans l'ArcGIS se faisait en utilisant les valeurs de P du tableau 4 ci-dessous correspondant à chaque pratique et technique de protection des sols. Cette valeur a été choisie suite des observations qu'on faisait sur le MBVT. L'intégration des valeurs de C se faisait sous format vectoriel puis transformées en format matriciel.

Pour la réalisation de la carte du facteur P, nous avons utilisé les données des pratiques culturales de la zone d'étude et l'outil Feature Raster de l'ArcGIS 10.4. Sur

ce, la valeur de P a été affectée à chacune des classes d'occupation de sols de l'aire d'étude présentée dans le tableau 20.

Tableau 5: Les valeurs de référence de C et P

<i>Types de couvertures</i>	<i>Facteur C</i>	<i>Facteur P</i>
Cultures agricoles denses	0.33	0.8
Cultures agricoles moyennement denses	0.5	0.5
Végétations arborées et arbustives	0.001	1
Lits fluviaux et alluvions récents	0.01	1
Mangroves	0.05	1
Pâturages	0.12	0.5
Savanes	0.25	0.5
Sol nu	1	1
Savanes avec présence d'autres	0.2	0.8
Systèmes agroforestiers denses	0.08	1
Urbain continu	0.1	1
Urbain discontinu/Habitat	0.007	0.01
Zones humides	0.05	1
Plan d'eau	0.01	1

Source : CESVI-Haïti (2013) cité par PIERRE-LOUIS(2014), Construit par Wischmeier et Smith (1978).

3.6.4.1. Érosion potentielle

La perte de sol potentielle est celle qui ne prend pas en compte le couvert végétal et les types d'occupation de sols de la zone d'étude. En effet, pour déterminer la perte de sol potentielle du MBVT de Tiravine, une valeur a été adoptée pour C et P, et celle-ci est 1. Les facteurs C et P sont considérés comme des éléments neutres et, n'ont aucun effet sur le résultat de la perte de sol potentielle. Ce dernier, la perte de sol potentielle, a été obtenu par croisement de la couche d'érosivité R de la pluie du milieu, de l'érodibilité K des sols, des caractéristiques topographiques LS du terrain et des constantes de C et P. Le croisement de ces couches de format image a été réalisé à l'aide de l'outil raster calculator de Spatial Analyst Tools de l'ArcGIS 10.4. La carte d'érosion potentielle de type flottant, sans présence de table attributaire, a été intégrée et transformée en type générique avec présence de table attributaire. Pour ce faire, nous avons utilisé la fonction Int de l'ArcGIS 10.4. Ensuite, nous avons classé la perte de sol

potentielle en six(6) classes suivant la classification de FAO (Annexe 2). Pour créer les groupes, nous avons utilisé la méthode manuelle.

La carte de type générique a été transformée en table attributaire à l'aide de la fonction Zonal Geometry as Table. Par ailleurs, nous avons utilisé la colonne Value et Area de la table attributaire pour la construction graphique des types d'érosion potentielle. Pour la construction graphique, nous avons procédé par la méthode séquentielle, c'est-à-dire pour chaque classe ou séquence nous avons défini respectivement la surface et le pourcentage occupé par la classe.

3.6.4.2. Érosion effective

La carte d'érosion effective du MBVT, elle résulte par croisement des cinq(5) facteurs qui suivent : l'érosivité(R), l'érodibilité(K), facteur LS, le couvert végétal(C) et les structures de conservation(P). La figure 6 montre le fluxogramme du modèle qui a été utilisé dans le cadre de ce travail. De fait, l'outil raster calculator de Spatial Analyst Tools a été utilisé à cette fin. La carte de type flottant ainsi trouvée a été transformée en type générique puis en table attributaire. Les classes ont été générées de façon automatique par la méthode de Jenks(1967) sur ArcGIS 10.4.

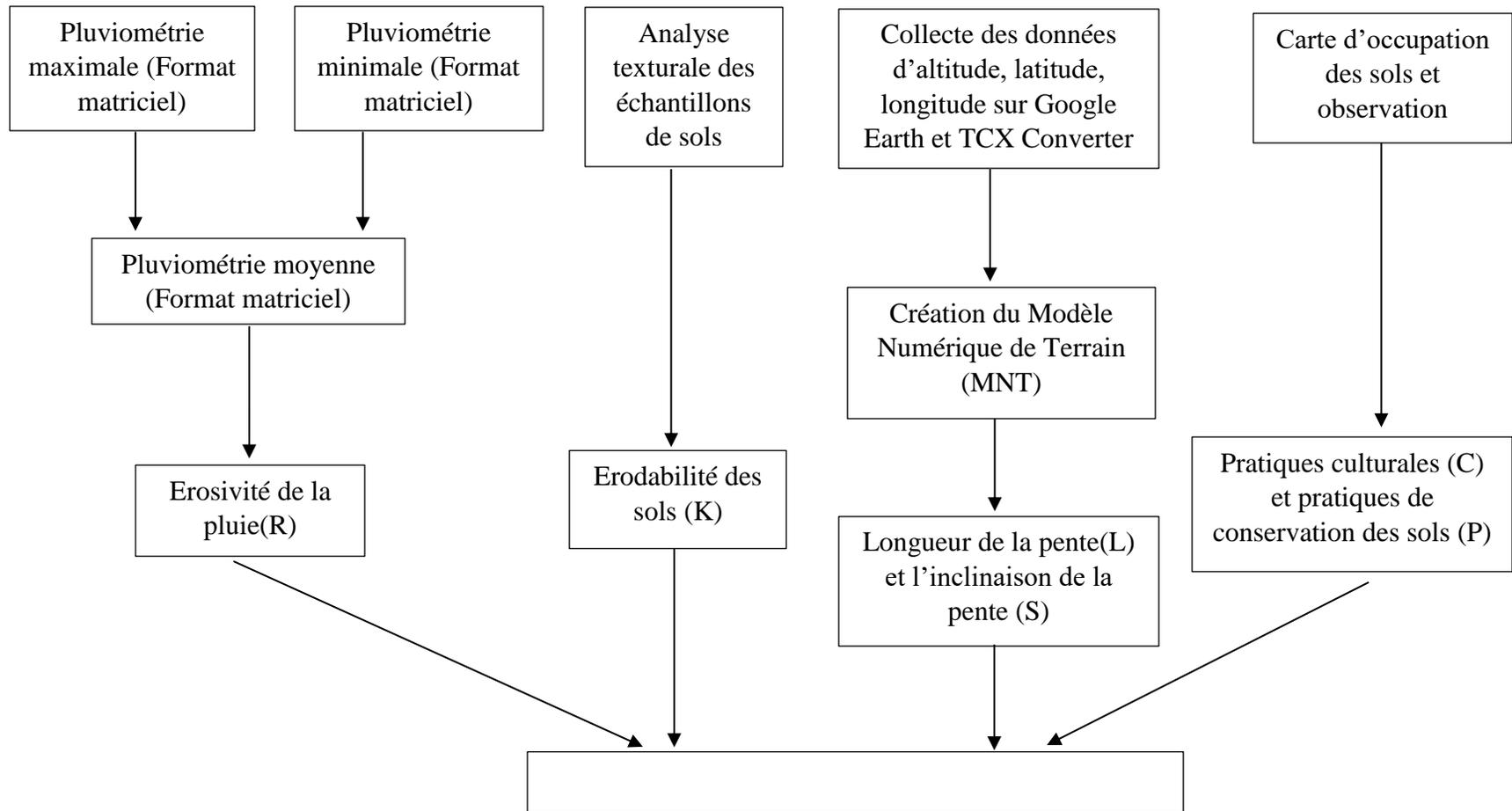


Figure 6: Fluxogramme du modèle

CHAPITRE IV

4. Résultats et discussions

4.1. Caractéristiques biophysiques du micro bassin versant de Tiravine

4.1.1. Analyse des paramètres géométriques

Pour comprendre et analyser le comportement hydrologique du micro bassin versant de Tiravine, l'obtention des paramètres physiographiques est primordiale. En effet, les principales caractéristiques morphométriques qui traduisent la forme du micro bassin versant de Tiravine sont présentées dans les paragraphes qui succèdent.

Le micro bassin versant de Tiravine a une superficie de 29.24ha et un périmètre de 2.36km, ce qui lui permet d'avoir un indice de Gravélius égal à 1.23. Ce MBV présente en conséquence une forme relativement allongée visant à favoriser une érosion régressive. De plus, par rapport à la forme d'un cercle, la forme du MBVT est irrégulière du fait que ce coefficient de Gravélius est éloigné de l'unité, ce qui provoque une augmentation du temps de concentration des eaux de ruissellement, des débits solides dans les drains et des infrastructures hydroagricoles en aval de Tiravine.

L'indice de Horton a été calculé et comparé avec la valeur référentielle. La valeur 0.79 de K_H étant inférieure à l'unité, cela nous a permis par conséquent de confirmer la forme allongée du MBVT. Donc, la capacité érosive de ce dernier est plus ou moins faible comparativement au MBV de forme arrondie. Les résultats relatifs aux paramètres géométriques se trouvent dans le tableau 6 ci-dessous. Certaines études menées montrent que la valeur de K_G varie pour divers bassins versants ; il s'agit entre autres du BV de la rivière de Barada présentant un coefficient de 1.78 (Barthélemy, 2008). En outre, Emmanuel (2017) a obtenu 1.24 comme indice de Gravélius pour le SBV de Barbois d'une aire de 1.63 km² et Valbrun (2007) a trouvé 1.48 pour le SBV de la rivière Canari à Ouanaminthe dont la superficie était de 74.27 km².

De plus, la longueur et la largeur du rectangle équivalent sont respectivement 688.23 m et 494.52 m. La longueur du rectangle équivalent du MBVT est 0.39 fois supérieure à sa largeur. Donc, les caractéristiques géométriques favorisent faiblement l'écoulement des eaux au niveau du micro bassin versant de Tiravine.

Les paramètres géométriques ne sont pas les causes fondamentales des pertes de sol constatées sur le micro bassin versant de Tiravine ainsi que du mauvais fonctionnement des ouvrages hydroagricoles du périmètre d'Avezac sur lesquels repose l'économie de la population de Camp-perrin.

Tableau 6: Tableau des paramètres géométriques du MBVT

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>	<i>Unités</i>
Superficie du MBVT(A)	292 449.00	m ²
Périmètre du MBVT(P)	2 365.51	m
Longueur du rectangle équivalent (L)	688.23	m
Largeur du rectangle équivalent (l)	494.52	m
Indice de Gravelius (K_G)	1.23	
Indice de Horton (K_H)	0.79	

Source : Calcul de l'auteur(2020)

4.1.2. Analyse des caractéristiques hydrographiques

Le réseau hydrographique du micro bassin versant de Tiravine se compose d'une source, d'une ravine principale et ses affluents. Et, la figure 6 présente le réseau hydrographique du micro bassin versant de Tiravine. L'eau de la source est utilisée pour les travaux domestiques et sert aussi de breuvage des animaux domestiques. Le réseau hydrographique présenté par la figure 6 comporte un cours d'eau principal d'une profondeur moyenne de 4m, d'une largeur 3.5m, d'une longueur de 0.60km et une pente hydrographique modérée de 4.96%. La pente moyenne du cours d'eau principal se trouve dans la classe de pente modérée, ce qui indique que l'écoulement superficiel est d'une accélération modérée, par comparaison aux résultats de Aubin(2017) et Emmanuel(2017) respectivement pour ce même paramètre pour le SBV d'Abraham et de Barbois, 14.15% et 9.70%. De plus, cette pente moyenne du cours principal entraine une diminution de la vitesse de l'écoulement des eaux de surface au profit de l'infiltration. Ce réseau hydrographique s'étend sur trois(3) localités. Il s'agit de localité Raymond, La prise et Karo. L'exutoire du réseau hydrographique se situe à 235m d'altitude dans la localité La prise.

La densité de drainage pour ce micro bassin versant a été calculée et vaut 11.37 km/km², et indique pour chaque km² on a 11.37 km de drains. C'est-à-dire pour

drainer 1km² du micro bassin versant de Tiravine, nous avons 11.37 km de ravine. La valeur de la densité de drainage étant nettement supérieure à 4, le micro bassin versant de Tiravine n'est pas donc une zone favorable à l'infiltration. Il est donc une zone réservée au ruissellement et à l'érosion. Selon Jean(2017), la valeur du coefficient de torrentialité et du temps de concentration était respectivement 24.86 et 42.33 minutes, et sa conclusion était les paramètres hydrographiques du sous bassin versant de Diny contribuent grandement à son érosion. Par comparaison, la densité hydrographique et du coefficient de torrentialité vaut respectivement 88.90 par km et 699.70 km/km⁴ pour 168 minutes comme temps de concentration prouve clairement que les paramètres hydrographiques participent grandement à l'érosion de notre aire d'étude et à l'encombrement des infrastructures du périmètre d'Avezac en sédiment.

Suite à la conclusion de Jean(2017), le coefficient de torrentialité et la densité de drainage ont une grande influence sur l'état actuel de ce bassin versant d'une part, et sur le mauvais fonctionnement des infrastructures hydroagricoles d'autre part.

Le tableau 7 et la figure 7 présentent respectivement les différents résultats des paramètres hydrographiques et le réseau hydrographique du MBVT. Les coordonnées géographiques des ravines sont présentées à l'annexe 10.

Tableau 7: Résumé des paramètres hydrographiques du MBVT

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>	<i>Unités</i>
Longueur du cours d'eau principal(L)	0.60	km
Ordre maximal des cours d'eau	4.00	
Longueur total des cours d'eau	3.30	km
Pente moyenne du cours d'eau principal	4.96	%
Densité de drainage (D_d)	11.37	km / km ²
Densité hydrographique (F)	88.90	km ⁻²
Fréquence des cours d'eau (f)	61.54	km ⁻²
Coefficient de torrentialité (C_t)	699.70	km/km ⁴
Temps de concentration (T_c)	168.00	mn

Source : Calcul de l'auteur(2020)

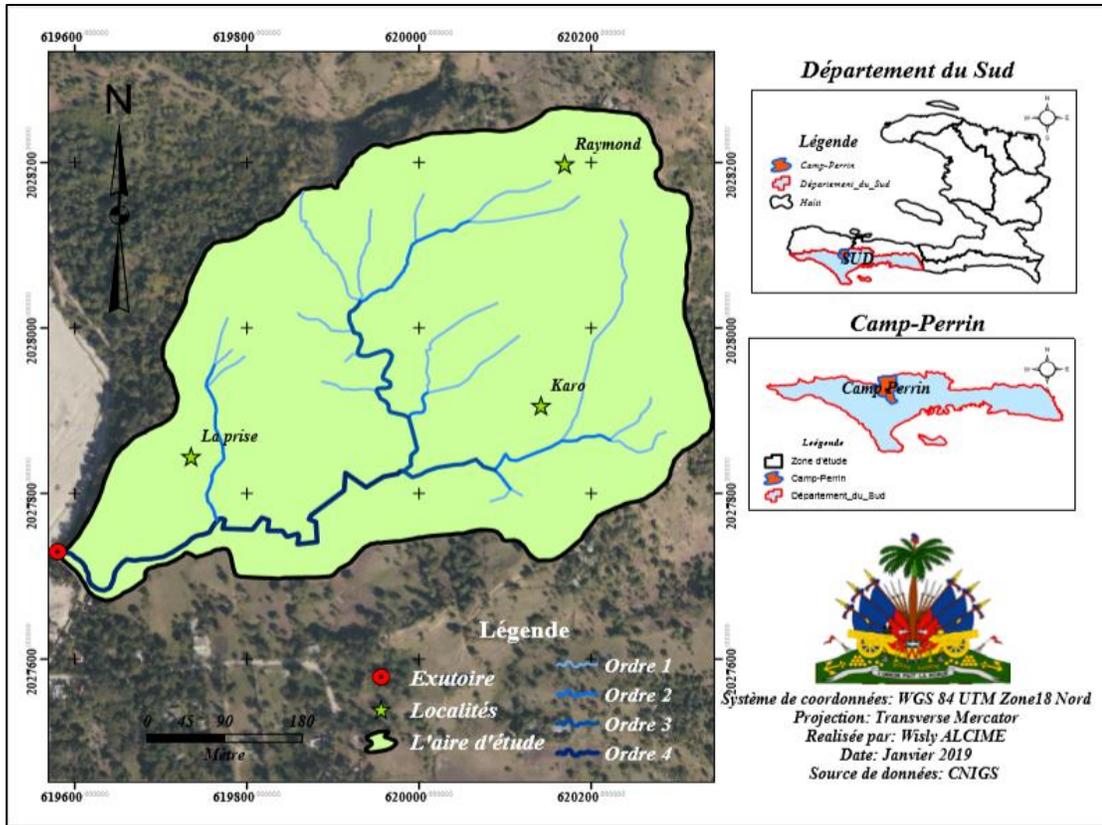


Figure 7 : Carte du réseau hydrographique du MBVT

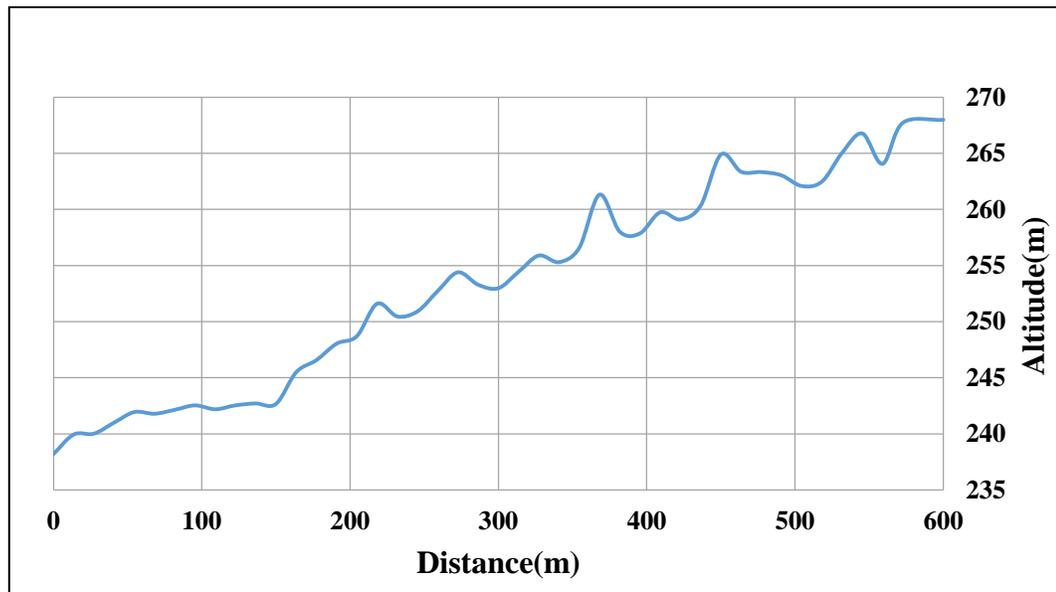


Figure 8 : Profil en long du cours d'eau principal

Défaut de présence des rivières sur le bassin versant de Tiravine, nous avons présenté le profil en log de la ravine principale. En effet, la figure 7 ci-dessus présente le profil en long de la ravine principale du micro bassin versant de Tiravine. Ce profil en long de Tiravine est caractérisé en partie par des ondulations et d'une allure irrégulière avec 5% comme pente moyenne hydrographique. La pente du micro bassin versant de Tiravine, étant comparée aux pentes des sous bassins versants de Barbois et de Diny qui sont respectivement 9.70%(Emmanuel, 2017) et 14.15%(Jean, 2017), indique que l'écoulement superficiel de Tiravine est d'une accélération moyenne. Cette dernière couplée à la structure du lit mineur de la ravine principale constituant sur toute sa longueur de couche imperméable de roche qui accélère le transport des débits solides au niveau de la Ravine du Sud, en particulier de la Prise du périmètre d'Avezac.

4.1.3. Analyse des paramètres topographiques

4.1.3.1. Classes d'altitude du micro bassin de Tiravine

Les classes d'altitude de Tiravine sont comprises entre les altitudes 238.20m et 402.92m. Les classes 238.20 à 273.08, 273.09 à 296.98, 296.99 à 325.40, 325.41 à 359.64 et 359.65 à 402.92 représentent respectivement 26.27%, 30.96%, 20.76%, 13.26% et 8.76% de la surface totale de l'aire d'étude. La figure 9 ci-après présente les classes d'altitude du MBVT. L'analyse portée sur la carte montre que le point le plus élevé du micro bassin versant de Tiravine se trouve au niveau de la localité Raymond qui occupe pour sa part la plus petite proportion de la zone d'étude. L'altitude moyenne du MBVT vaut 299.76m et se trouve dans la classe d'altitude 296.99m à 325.40m.

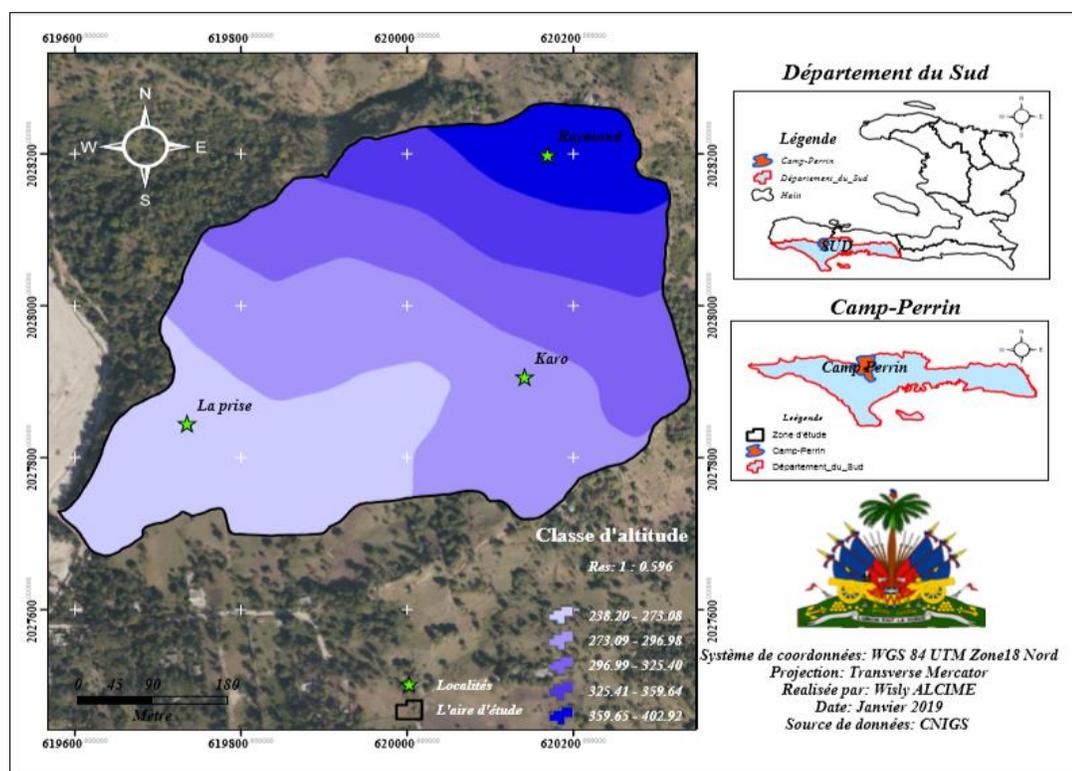


Figure 9: Carte de classes d'altitudes

4.1.3.2. Courbe hypsométrique du MBVT

L'une des caractéristiques physiographiques la plus importante d'un micro bassin versant est la courbe hypsométrique. La figure 10 ci-dessous représente la courbe hypsométrique du micro bassin versant de Tiravine. À partir de cette courbe, l'amplitude altimétrique et l'altitude médiane ont été déduites, ayant respectivement pour valeur 405m et 285m. Cette courbe montre que ce micro bassin versant présente un relief faiblement accidenté et varié. L'altitude moyenne et l'altitude médiane sont respectivement 299.76m et 285.00m. Ces dernières n'étant pas proches expriment donc présence de pente irrégulière au niveau du micro bassin versant de Tiravine. En effet, le relief accidenté et la pente irrégulière de Tiravine ont une influence cruciale sur son état actuel et l'ensédimentation des infrastructures hydroagricoles utilisée pour alimenter les parcelles des agriculteurs en eau.

En outre, l'allure de la courbe hypsométrique de ce micro bassin versant présente les caractéristiques des vieux bassins, comportant une plaine douce près du cours d'eau principal à partir duquel l'altitude varie très peu en dépit d'importante

superficie. Sur ce, le micro bassin versant de Tiravine peut être considéré pour un vieux bassin.

En plus de la courbe hypsométrique du micro bassin de Tiravine (figure 10), nous présentons aussi la carte hypsométrique à l'annexe 5. À partir de cette carte hypsométrique, nous avons déterminé la classe d'altitude la plus fréquente correspondant au maximum de surface du micro bassin versant de Tiravine. La classe d'altitude 273.09 à 296.98m est en effet la classe d'altitude la plus fréquente et occupe 30.96% de la superficie totale du MBVT. Par ailleurs, la classe d'altitude la moins fréquente varie de 359.65 à 402.92m et représente 8.76% de la surface totale du MBV de Tiravine.

Au niveau du sous bassin versant de la rivière Barbois à Port Salut, les altitudes varient de 78m à 260m avec une altitude moyenne de 155m (Emmanuel, 2017). À Moreau les altitudes sont comprises entre 205 à 885m (Mauricette, 2014). Tandis qu'au niveau du SBV d'Abraham, l'altitude minimale et l'altitude maximale sont respectivement 139m et 791m (Aubin, 2017). Pour le cas du micro bassin versant de Tiravine, l'altitude minimale et maximale sont respectivement 235m et 405m. De fait, ces différentes valeurs d'altitude laissent entendre une variabilité d'altitudes au niveau des bassins versants, des sous bassins versants et par conséquent des micros bassins versants du pays.

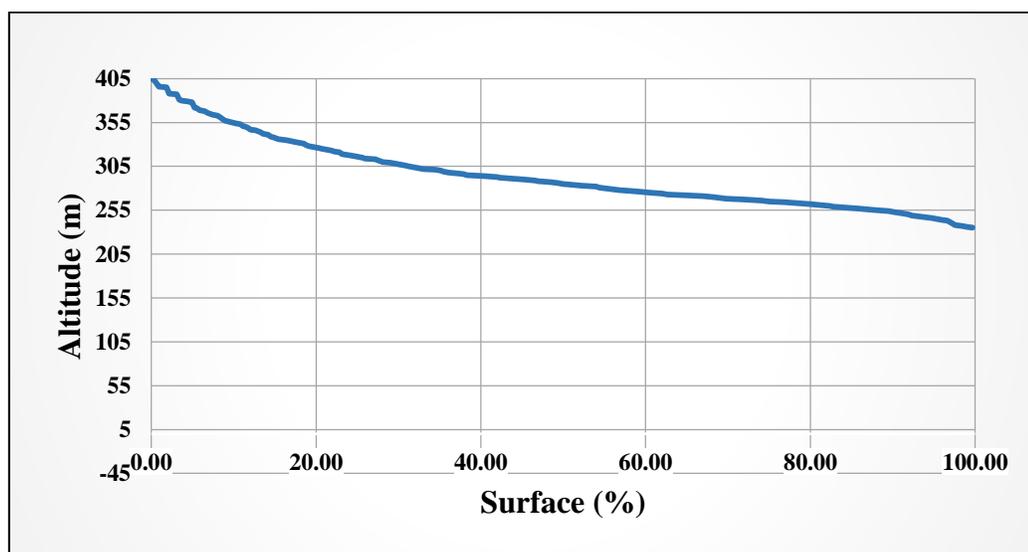


Figure 10: Courbe hypsométrique du micro bassin versant de Tiravine

4.1.3.3. Classes de pente

Le micro bassin versant de Tiravine (MBVT) présente une pente moyenne de 21.81% (tableau 2), ce qui ne confère pas à celui-ci un caractère érosif ; les localités La Prise et Karo sont les zones à pente faible et douce alors que la localité Raymond est à pente modérée. La figure 11 ci-après présente les différentes classes de pente du MBVT.

Ensuite, la superficie totale du micro bassin versant de Tiravine jouit d'une pente inférieure ou égale à 23.91%. Selon Aubin(2017), plus de 85% de la superficie totale du sous bassin versant d'Abraham ont une pente inférieure ou égale à 38%, et sa conclusion était que le SBV d'Abraham présente une faible vitesse d'écoulement des eaux superficielles qui ne favorise pas de l'érosion. Par comparaison à ces résultats ainsi qu'à sa conclusion, les classes de pente du MBVT ne favorisent pas l'érosion des sols en vertu de sa faible vitesse d'écoulement des eaux superficielles. De plus, les classes de pentes n'ont pas à la base de l'érosion des sols de Tiravine. Le coefficient de massivité et d'orographique valent respectivement 0.10m^{-1} et 30. La valeur du coefficient d'orographique du micro bassin versant de Tiravine, étant nettement supérieure à 6, indique que le relief de ce MBV est accidenté, ce qui lui rend susceptible à l'érosion. La valeur 6 est une valeur limite au-delà de laquelle le relief d'un bassin versant, d'un sous bassin versant ou d'un micro bassin versant est considéré comme accidenté (Oscar, 2014). Par ailleurs, Emmanuel(2017) avait trouvé pour le sous bassin versant de Barbois un coefficient de massivité égal à $1.50 \cdot 10^{-2}$ et un coefficient orographique égal à $95.1 \cdot 10^{-6} \text{m}^{-1}$.

La valeur de l'indice de pente global du MBVT est égale à 0.19 m/m et celle de l'indice de Roche vaut 0.48. Ces valeurs sont comparées aux valeurs de référence du tableau 4, on constate que le micro bassin versant de Tiravine a un relief très fort. Aussi, la valeur de la dénivelée spécifique vaut 111.89 m, et cette valeur est comparée aux valeurs du tableau 5 montre que le relief du micro bassin versant de Tiravine est assez fort. Donc, la valeur de l'indice de pente global et celle de la dénivelée spécifique attestent que le MBVT présente un relief susceptible à l'érosion. Jean(2017) a trouvé pour sa part pour l'indice de pente global 0.09 m/m et 425.4 m pour une

dénivelée spécifique (D_s), et a conclu que le sous bassin versant de Diny présente un relief fort susceptible à l'érosion.

En effet, la dénivelée spécifique, l'indice de pente global, le coefficient de massivité(C_m) et le coefficient orographique(C_o) montrent que la configuration topographique ou du relief sont à la base de la dégradation du micro bassin versant de Tiravine, ayant pour conséquence l'envasement des infrastructures hydroagricoles du périmètre d'Avezac. Le tableau 8 ci-dessous présente les paramètres topographiques de notre aire d'étude.

Tableau 8: Tableau résumant les paramètres topographiques du MBVT de Tiravine

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>	<i>Valeurs de référence</i>	<i>Unités</i>
Altitude maximale(H_{max})	405.00		m
Altitude minimale(H_{min})	235.00		m
Altitude moyenne(H_{moy})	299.76		m
Altitude médiane(H_{med})	285.00.		m
Coefficient de massivité(C_m)	0.10		m^{-1}
Coefficient orographique(C_o)	30.98	6	
Pente minimale(P_{min})	0.06	0	%
Pente maximale(P_{max})	23.91	>41	%
Pente moyenne(S_{moy})	21.81		%
Indice de pente global(I_g)	0.19		m/m
Dénivelé spécifique(D_s)	111.89		m
Indice de roche(I_r)	0.48		%

Source : Calcul de l'auteur(2020)

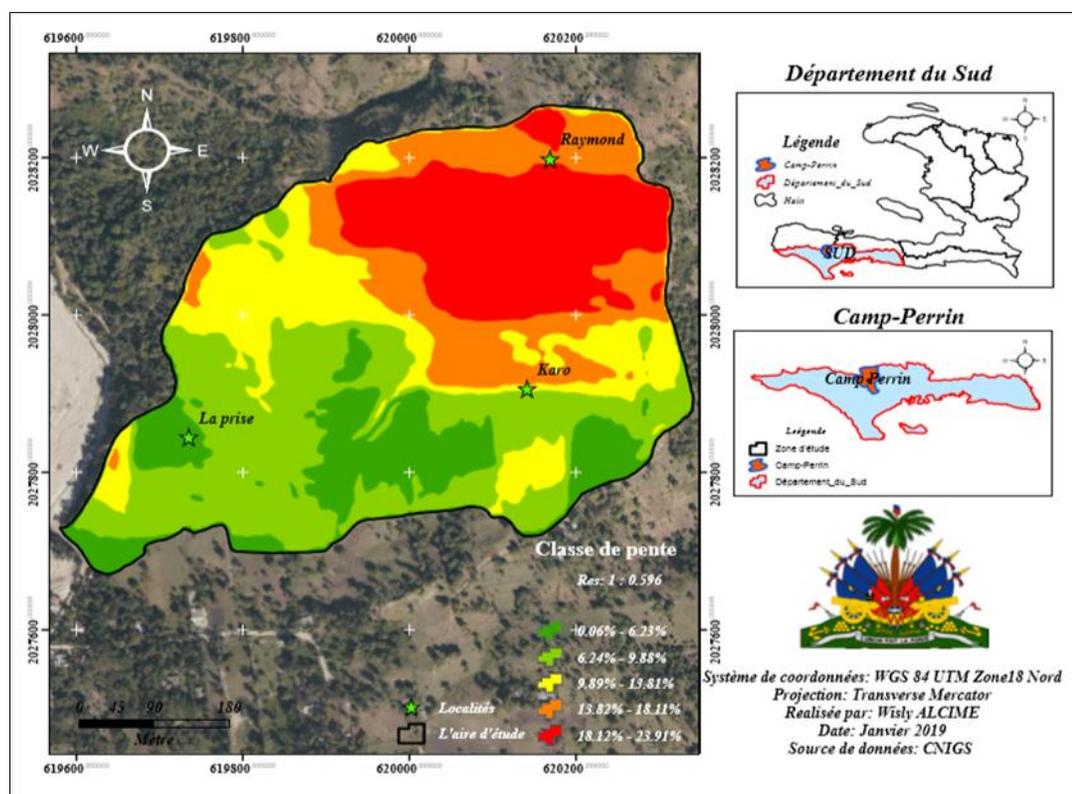


Figure 11: Carte de classes de pentes du MBVT de Tiravine

4.1.4. Pédologie

Les résultats des analyses des échantillons de sols prélevés relèvent qu'en aval du micro bassin versant de Tiravine la texture est limono-argilo-sableuse. En amont, la texture dominante est limono-argileuse. Alors qu'au niveau de la partie intermédiaire, on a une texture argileuse. Le tableau 8 ci-dessous donne les résultats l'analyse des échantillons de sol.

Etant donné que l'analyse de la texture des échantillons de sols du micro bassin versant de Tiravine justifie la présence des argiles, et tenant compte de la capacité des argiles à colmater la surface du sol en empêchant l'infiltration des eaux superficielles au profit du ruissellement. Donc, la texture des sols du MBVT joue en partie sur la dégradation du micro bassin versant de Tiravine(MBVT).

Tableau 9: Caractéristiques des sols du MBVT de Tiravine

<i>Coordonnées GPS</i>		<i>C.org (%)</i>	<i>Sable (%)</i>	<i>Limon (%)</i>	<i>Argile (%)</i>	<i>Texture des sols</i>
620251.852	2028258.716	1.44	50	20	30	Limono-argilo- sableuse
619589.338	2027692.664	2.07	35	25	40	Limono-argileuse
620006.987	2027944.950	1.87	45	10	45	Argileuse
619758.942	2028097.593	2.26	60	5	35	Argilo-sableuse
620276.233	2027809.267	2.30	40	15	50	Argileuse

Source: Analyse de laboratoire FAMV/UEH(2020)

4.1.5. Potentialité des sols du MBV de Tiravine

Nous avons cartographié trois(3) classes de potentialité de sols au niveau du MBV de Tiravine. Il s'agit de la classe de bonne, de moyenne et de faible potentialité comme s'est présentée dans la figure 12 ci-dessous. Les sols de bonne potentialité sont les sols des petites collines avec des pentes allant 5-8%; les sols de potentialité moyenne sur lesquels pratique une agriculture traditionnelle sur des pentes moyennes de 8-15% et sans aucune mesure de conservation de sols et les sols de faible potentialité où l'on pratique une petite agriculture de montagne très localement, sols de morne de faible profondeur, sols érodables et de pente allant de 12-30%.

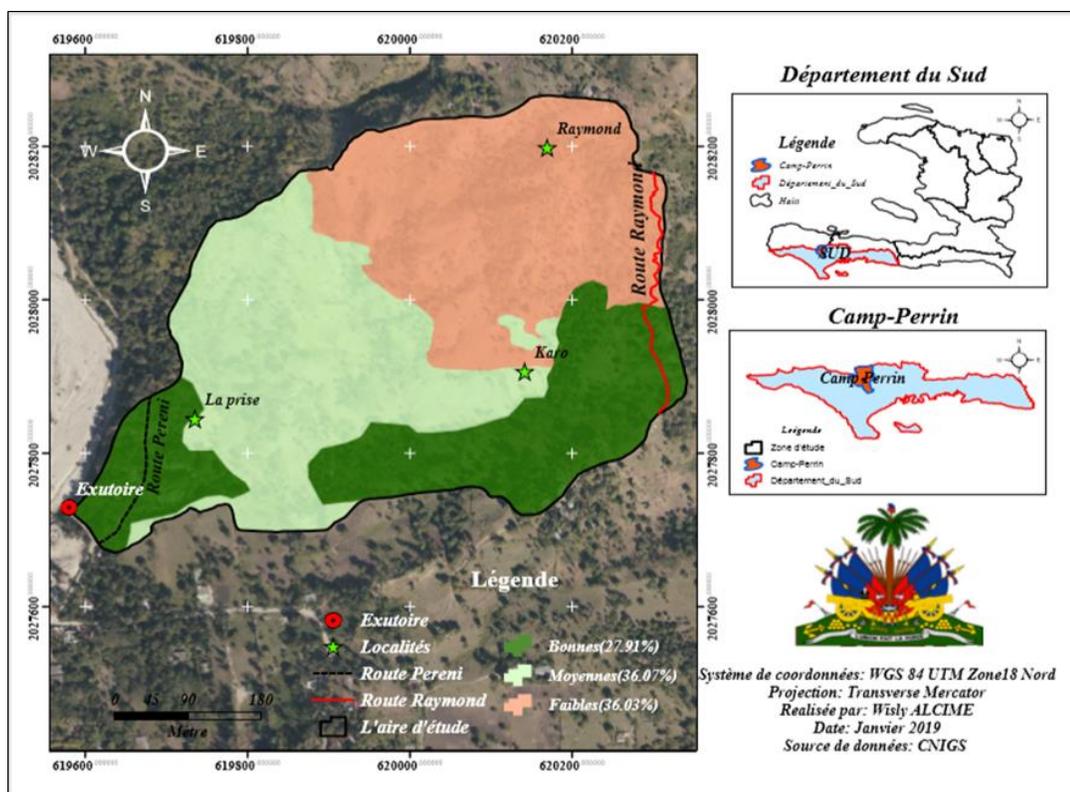


Figure 12: Carte de potentialité des sols du MBVT de Tiravine

La figure 12 ci-dessus montre la répartition de la potentialité des sols du micro bassin versant de Tiravine. Selon les possibilités d'utilisation agricole des sols du bassin versant de Tiravine, cela a permis d'avoir ces trois(3) classes de potentialités suivantes : les sols de bonne potentialité, de moyenne potentialité et de faible potentialité. En effet, les sols de bonne potentialité, de moyenne potentialité et de faible potentialité occupent respectivement 27.91%, 36.07% et 36.03% de la surface totale de la zone d'étude.

4.1.7. Evolution de l'occupation de sols de 2014 à 2018

La caractérisation du micro bassin versant de Tiravine en termes d'occupation de sols a permis de tracer en partie son évolution biophysique. Autrement dit, elle a permis de présenter les différents usages des sols de 2014 à 2018. Pour y parvenir, on a utilisé les différentes étapes de la figure 4. De fait, les images de ces années ont été utilisées et ont permis d'identifier et de délimiter les unités d'occupation de sols de la zone d'étude.

4.1.7.1. Cartographie de l'occupation de sols de l'année 2014

D'après la figure 4, l'orthophotoplan 2014 et les données de terrain, la zone d'étude a été catégorisée en cinq(5) classes d'occupation de sols. Il s'agit en effet de la classe de pâturages qui représente les espaces de pâturage des animaux domestiques ; la classe des habitats occupée par les maisons ; la classe de sols nus qui représente les espaces dépourvus de végétation; la classe de végétation arborée et arbustive indiquant les zones occupées par des arbustes et des arbres et enfin la classe de cultures agricoles moyennement denses représentée les espaces agricoles (cultures sarclées).

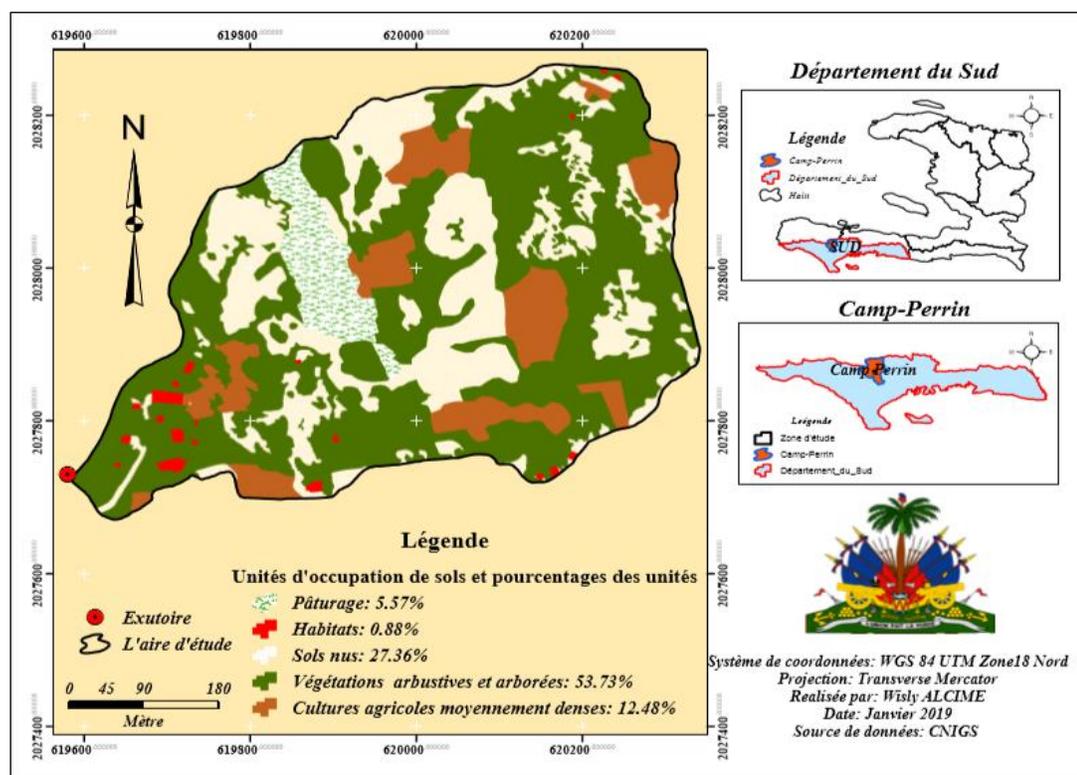


Figure 13: Carte d'occupation de sols du MBVT de Tiravine pour l'année 2014

L'opération portée sur l'orthophotoplan 2014 et des observations directes faites sur terrain ont permis de cartographier les cinq(5) classes d'occupation de sols, comme s'est indiquée la figure 13. Ces classes, pâturages, habitats, sols nus, végétations arbustives et arborées et cultures agricoles moyennement denses, occupent respectivement 5.57%, 0.88%, 27.36%, 53.73% et 12.48%. Les végétations arbustives et arborées représentent la classe dominante, car elle occupe, à elle seule, plus que la moitié de la surface totale du MBVT. La classe des végétations et la classe des habitats

ont permis de déduire un indice de couverture végétale égale à 0.53 et un taux d'imperméabilité égal à 0.88%.

4.1.7.2. Cartographie de l'occupation de sols de l'année 2018

Les opérations de la figure 4 menées sur l'image Sentinel-2 plan de l'année 2018, couplées aux données d'observations directes, ont permis de cartographier les classes d'occupation de sols qui suivent : la classe des pâturages, des habitats, des sols nus, des végétations et la classe des cultures agricoles moyennement denses. La figure 14 ci-dessous présente l'occupation de sols pour l'année 2018.

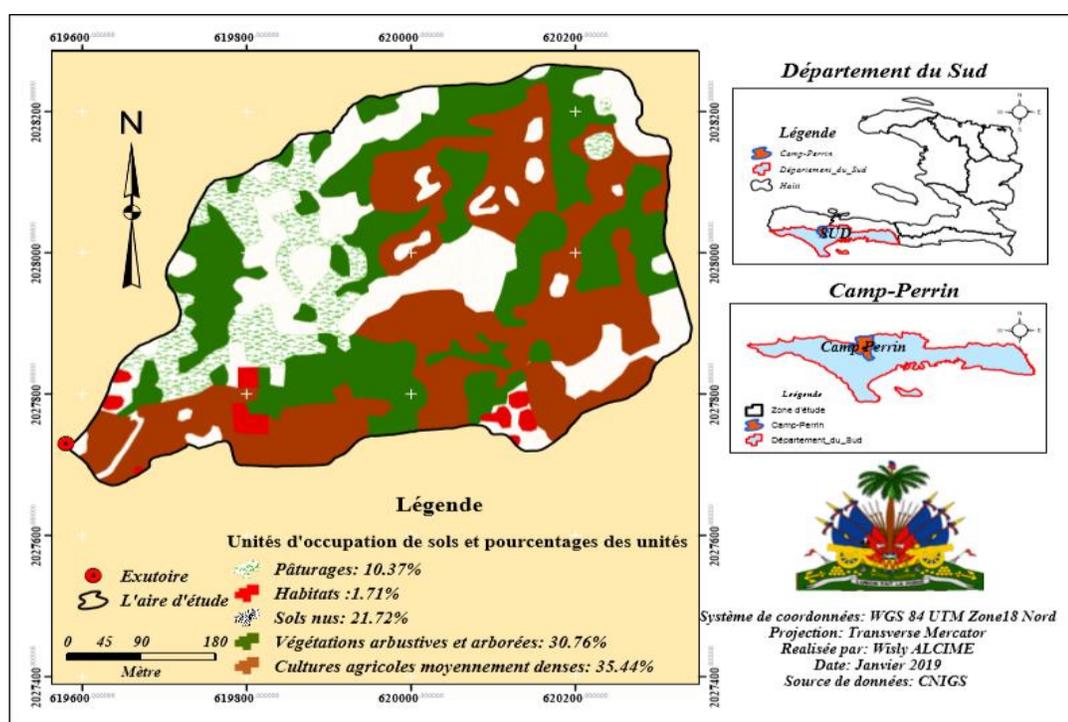


Figure 14: Carte d'occupation de sols du MBVT pour l'année 2018

Le tableau 10 ci-dessous montre qu'en 2018 l'unité pâturage occupe 10.37% de la surface du MBV de Tiravine; l'unité des habitats, 1.71% ; les sols nus, 21.72% ; les végétations occupent 30.76% et enfin 35.44% pour les cultures agricoles moyennement denses. Les cultures agricoles moyennement denses occupaient la plus grande part de la superficie totale de ce micro bassin versant. Pour cette même année, le MBV de Tiravine présentait un indice de couverture végétale de 0.35 et un taux d'imperméabilité 1.71% (Voir la formule à l'annexe 6), ce qui a des conséquences sur le ruissellement des eaux superficielles.

4.1.7.3. Dynamique de l'occupation de sols

La dynamique de l'occupation de sols consiste à caractériser les changements environnementaux. Dans la présente étude académique, la dynamique de l'occupation de sols a permis de décrire et de quantifier les variations survenues au niveau des unités d'occupation de sols. De ce fait, la méthode conventionnelle de Still et Shih(1985) a été utilisée.

4.1.7.3.1. Analyse de l'état de l'occupation de sols 2014 et 2018

La situation de l'occupation de sols 2014 et 2018 se présente dans le tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10: Superficie en m² et en pourcentage(%) des classes d'occupation de sols

<i>Type d'occupation de sols</i>	<i>État en 2014</i>		<i>État en 2018</i>	
	A (m²)	P(%)	A (m²)	P(%)
Unités d'occupation de sols				
Pâturages	16,285.90	5.57	30,297.80	10.37
Habitats	2,583.32	0.88	5,009.25	1.71
Sols nus	80,009.80	27.36	63,512.10	21.72
Végétation arborée et arbustive	157,129.00	53.73	89,960.40	30.76
Cultures agricoles moyennement denses	36,494.40	12.48	103,670.00	35.44
Total	292,449.00	100	292,449.00	100

Source : Données de l'auteur résultant du traitement de l'Orthophotoplan 2014 et de l'image Sentinel-2 plan 2018

D'après les données du tableau 10, nous assistons à une réduction de 23% de la couverture végétale du micro bassin versant de Tiravine pour la période de 2014 à 2018. Selon les témoignages des agriculteurs, l'ouragan Mathieu a occasionné des pertes environnementales énormes sur le micro bassin versant de Tiravine. Compte tenu des dégâts occasionnés par cet ouragan, il peut être considéré comme l'une des causes de la réduction de la couverture végétale au niveau du micro bassin versant de Tiravine.

Cette réduction de 23% de la couverture végétale traduit qu'il y a 23% de sol qui sont dépourvus d'arbres permanents, et deviennent fragile sous l'action des gouttes de

pluie. En conséquence, les débits solides enregistrés très fréquemment au niveau des ouvrages hydroagricoles peuvent souvenir en partie de ces 23% de sols dénudés suites aux mauvaises pratiques culturales adoptées par les agriculteurs et au passage de l'ouragan Mathieu. De plus, le MBVT accuse en 2018 une augmentation du taux d'imperméabilité, soit 0.83%. La carte d'occupation de sols générée à partir de l'image Sentinel-2 plan 2018 montre que les cultures agricoles moyennement denses forment la classe dominante et représentent 35.44% de la surface totale de notre zone d'étude avec une augmentation de 22.96% sur 12.48% en 2014. Les résultats d'occupation de sols 2014 comparés à ceux 2018 montrent une diminution de 5.64% de terres dénudées qui se sont transformées en d'autres unités. Cependant, les 2.62% de terres nues qui se sont converties en espaces boisés ne peuvent pas compenser les terres boisées qui se transforment en d'autres unités d'occupation de sols. Vu la réduction du couvert végétal, l'augmentation du taux d'imperméable et l'augmentation des parcelles agricoles. Le mode d'occupation des sols du micro bassin versant de Tiravine est l'une des causes de l'état l'actuel dégradé du micro bassin versant de Tiravine.

4.1.7.3.2. Evaluation de l'évolution de l'occupation de sols

L'évolution de l'occupation des terres du MBVT de 2014 à 2018 est présentée dans le tableau 11 qui suit.

Tableau 11: Superficies et taux de variation des classes d'occupation

Classe d'occupation de sols	Superficie (m ²)		Tg(%)	Tc(%)
	2014	2018		
Pâturages	16,285.90	30,297.80	86.04	15.52
Habitats	2,583.32	5,009.25	93.91	16.56
Sols nus	80,009.80	63,512.10	-20.62	-5.77
Végétation arborée et arbustive	157,129.00	89,960.40	-42.75	-13.94
Cultures agricoles	36,494.40	103,670.00	184.07	26.10

Tc : taux moyen annuel d'expansion spatiale ; Tg : taux de changement global

Le tableau 11 ci-dessus présente les différentes unités d'occupation de sols, les taux de changement global et les taux moyens annuels d'expansion spatiale de chacune des unités d'occupation de sols. Les valeurs négatives du taux de changement

global et du taux moyen annuel d'expansion spatiale représentent une régression alors que celles positives indiquent une progression. En effet, les taux de changement global et moyens annuels d'expansion spatiale de la classe des sols nus et de végétation arborée et arbustives font l'objet d'une régression alors que les autres classes d'OCS connaissent une progression. Concrètement, de 2014 à 2018, il y a une diminution du couvert végétal avec pour conséquence l'encombrement des ouvrages du périmètre d'Avezac en sédiment.

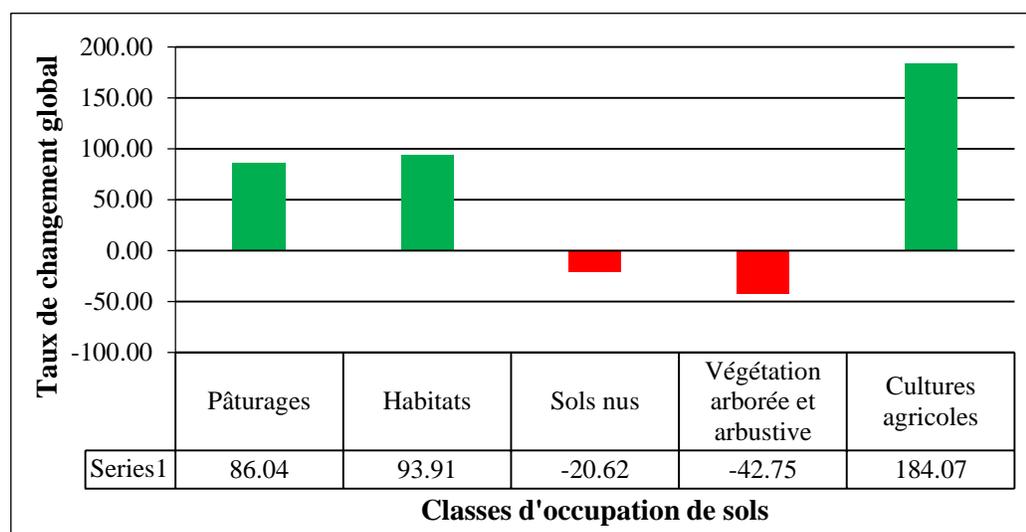


Figure 15: Bilan des changements des unités d'occupation de sols entre 2014 et 2018

Parmi les cinq(5) classes d'occupation de sols du MBVT présentés par le tableau 11, deux(2) d'entre elles ont subi une régression relativement importante. Il s'agit des classes de sols nus et de végétation arborée et arbustive. Ainsi, cette régression vaut respectivement 20.62% et 42.75%, soient 5.77% et 13.94% l'an. Cependant, les trois(3) autres classes d'occupation de sols à savoir la classe des pâturages, la classe des habitats et celle des cultures agricoles, quant à elles, ont connu une progression. La progression la plus importante est celle de la classe des cultures agricoles, avec un taux de changement global qui dépasse 150% (figure 15). La figure 15 ci-dessus illustre les changements (progressions et les régressions) obtenus par les différentes classes d'occupation de sols du micro bassin versant de Tiravine.

4.1.7.3.3. Matrice de transition de l'occupation des terres pour la période 2014 à 2018

Le tableau 12 ci-après représente la matrice de transition de l'occupation de sols pour la période 2014 à 2018. Ce tableau décrit les principaux changements qui se produisent au niveau des différentes unités d'occupation de sols du MBVT.

Tableau 12: Matrice de transition d'occupation des sols 2014 à 2018

<i>Situation 2014</i>	<i>Situation 2018</i>					Total
	Pa	Ha	SN	V	CA	
Pa	2.62	0.00	1.73	1.03	0.20	5.57
Ha	0.22	0.00	0.12	0.14	0.39	0.87
SN	1.86	0.18	7.38	9.57	8.36	27.36
V	4.61	1.37	10.79	15.89	21.06	53.72
CA	1.05	0.16	1.71	4.13	5.43	12.48
Total	10.37	1.71	21.72	30.76	35.44	100.00

Pa : Pâturages ; **Ha** : Habitats ; **SN** : Sols nus ; **V** : Végétations ; **CA** : Cultures Agricoles

Les résultats de la matrice de transition d'occupation de sols présentés dans le tableau 12 révèle que de 2014 à 2018 les sols nus ont connu une diminution de 5.63%. Sur les 27.36% des terres nues en 2014, 7.38% restent inchangéable, 1.86% s'est transformé en pâturages, 0.18% s'est converti en habitats et 9.57% et 8.36% se sont transformés respectivement en végétation et en culture agricole. Quant à la végétation, elle est passée de 53.72% à 30.76%, ce qui traduit une diminution de 22.97% de 2014 à 2018. Les 15.89% de la surface occupée par les végétations sont inchangées, 21.06% se sont converties en cultures agricoles, 10.79% se convertissent en sols nus, 1.37% se transforme en habitats et 4.61% sont changés en pâturages.

Par ailleurs, les autres unités d'occupation des terres à savoir les pâturages, les habitats et les cultures agricoles ont connu une progression pour cette période. L'augmentation de superficie occupée par les cultures pourrait être due à la pression démographique constatée sur le micro bassin versant de Tiravine. Du coup, les habitants pour se subsister exercent beaucoup plus de pression sur les versants. De plus, après le passage de l'ouragan Mathieu, les exploitants ont perdu leurs denrées et leurs cheptels. Pour se résilier, certains projets ont distribué des semences et des

animaux comme des caprins et des ovins aux agriculteurs. Ce qui peut être sans doute à la base de l'augmentation des pâturages et les cultures sur les versants de Tiravine.

De plus, l'analyse de ce tableau 12 montre que de 2014 à 2018, la classe des habitats a connu une progression et la totalité de cette classe a été transformée en d'autres unités d'occupation de sols. Cela sous-entend qu'après le passage de l'ouragan Mathieu en octobre 2016 les habitants ont gagné d'autres espaces pour se faire installer en raison que les maisons de ces habitants ont été détruites au passage dudit ouragan.

4.2. Détermination des pertes de sol du micro bassin versant de Tiravine

Les facteurs de l'équation de RUSLE ont permis de calculer les pertes de sol potentielles et effectives. L'érosion potentielle a été calculée en faisant de considération sur des paramètres C et P alors que pour l'érosion effective aucune considération n'a été faite.

4.2.1. Facteur R des précipitations (Érosivité des précipitations)

Les précipitations constituent le facteur principal de l'érosion hydrique, et c'est ce type d'érosion que nous visons dans le cadre de ce travail en utilisant le modèle de RUSLE.

Ainsi, la figure 16 montre la répartition du facteur R au niveau de la zone d'étude.

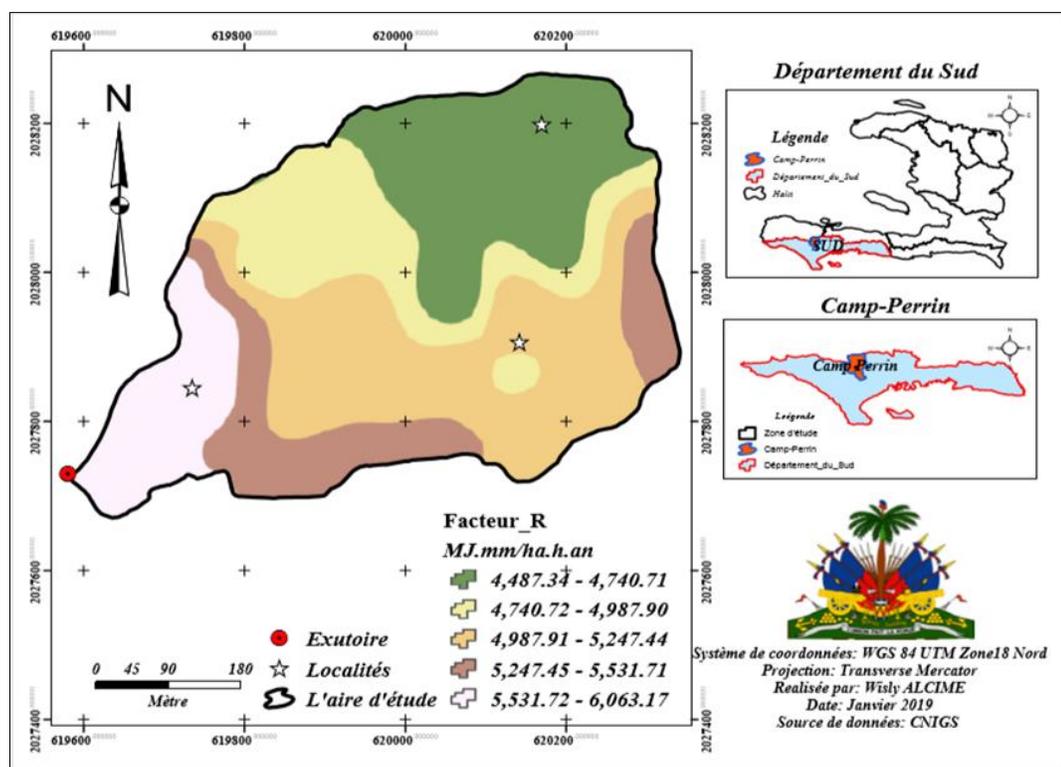


Figure 16: Distribution spatiale de l'érosivité de la pluie au niveau de la zone d'étude

Selon la figure 16, nous avons vu que les valeurs d'érosivité R varient dans le sens inverse des altitudes car les plus fortes érosivités se rencontrent en zone de faible altitude. En effet, sur le micro bassin versant de Tiravine, les zones de faible altitude ont un risque d'érosion beaucoup plus élevé que les zones de forte altitude. De plus, nous constatons que la distribution de l'érosivité suit la répartition pluviométrique de la zone d'étude. Car la Prise, étant la localité la plus pluvieuse, a un risque d'érosivité plus élevé que les autres localités. Sous une pluviométrie moyenne de 915mm/an, le micro bassin versant de Tiravine est caractérisé par une érosivité minimale de 4,486.21MJ.mm/ha.h.an et une érosivité maximale de 6,063.17MJ.mm/ha.h.an. Ces valeurs de R semblent être en conformité avec les résultats autres études pour ce même paramètre. Car, d'après Printemps(2007), l'érosivité de Toulouse vaut 1690MJ.mm/ha.h.an pour des précipitations moyennes de 664 mm/an et selon Delusca(1998) cité par Printemps(2007), l'érosivité d'Haïti est égale à 8098 MJ.mm/ha.h.an pour des précipitations moyennes de l'ordre de 1900 mm/an.

4.2.2. Facteur K des sols (Érodibilité des sols)

L'application de la formule de Williams a permis de déterminer le facteur K des sols du micro bassin versant de Tiravine. La distribution spatiale de l'érodibilité K des sols du micro bassin versant de Tiravine est présentée dans la figure 17 ci-dessous.

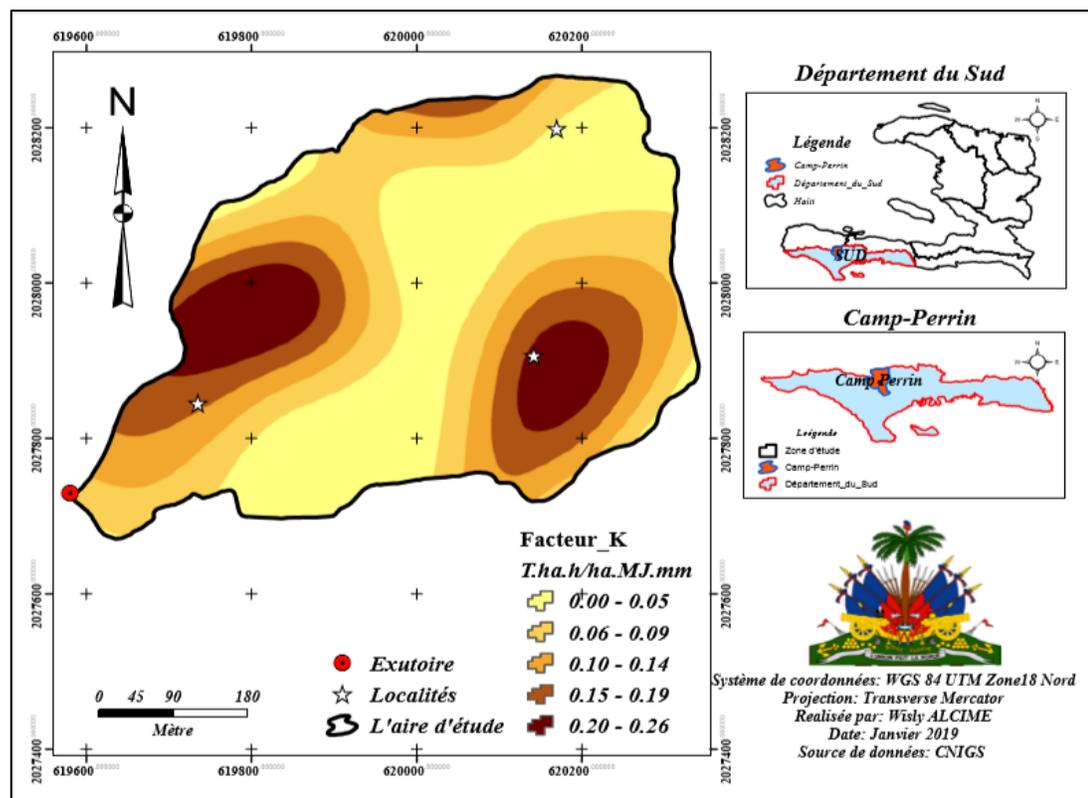


Figure 17: Carte de répartition du facteur K

La carte de répartition du facteur K est le résultat de la rasterisation des paramètres de la texture et du carbone organique des sols du micro bassin versant de Tiravine. L'observation de la figure 17 montre une hétérogénéité de la répartition de l'érodibilité des sols tant au niveau des formations calcaires que des formations sédimentaires (figure 8). Cette hétérogénéité observée s'explique par la sensibilité des sols à l'érosion, car la sensibilité des sols croît avec la valeur de K. En effet, l'érodibilité des sols du micro bassin versant de Tiravine est comprise entre 0 et 0.26. Le micro bassin versant de Tiravine accuse donc une érodibilité moyenne de 0.16 t.ha.h/ha.MJ.mm.

Selon la figure 17, la cinquième classe des légendes de la carte d'érodibilité accuse la plus forte valeur d'érodibilité. Ceci peut s'expliquer à cause de mauvais drainage sur des sols alluvionnaires. Car, selon Printemps(2007) les formations alluvionnaires accusent une forte valeur K.

D'après Printemps(2007), les valeurs d'érodibilité des sols en Nouvelle-Calédonie varient de 0.0053 à 0.0421. Alors que pour la ravine Balan d'Haïti Delusca(1998) a obtenu 0.026 à 0.052. Par comparaison, les sols du micro bassin versant de Tiravine sont moins érodables que ceux de la ravine Balan d'Haïti, mais plus érodables que les sols de la Nouvelle-Calédonie.

4.2.3. Facteur topographique LS

Le relief est la source de données la plus riche concernant les processus d'érosion (Printemps, 2007). Pour ce qui précède, le Modèle Numérique de Terrain(MNT) est l'élément déterminant voire même indispensable pour la prise en compte de cette source de données. De fait, le MNT de résolution spatiale 30m par 30m a été rééchantillonné afin de lui ramener à la même résolution spatiale (3.3175m par 3.3175m) que les autres facteurs. Cette transformation conduisait à une augmentation du nombre de pixel et permettant ainsi de mieux décrypter les données.

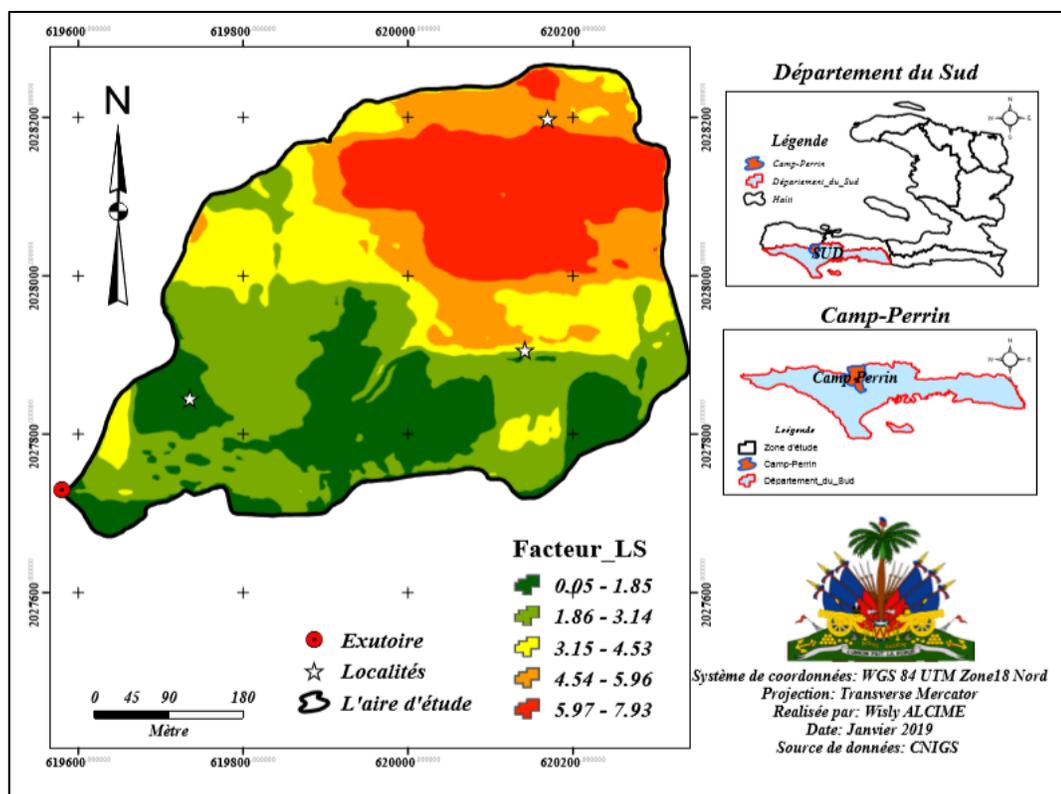


Figure 18: Carte de répartition du facteur topographique LS

Les valeurs du facteur LS du micro bassin versant de Tiravine sont comprises entre 0.05 et 7.93 (figure 18) pour une pente allant de 0 à 23.91% (figure 10). L'observation des figures 10 et 18 montre que la répartition du facteur topographique LS se fait dans le sens de l'inclinaison du terrain. Enfin, la Prise et Raymond sont respectivement les localités les moins et les plus sensibles à l'érosion hydrique. Donc, il y a contradiction entre l'érosivité et LS.

Selon DELUSCA(1998), les valeurs de LS du bassin versant de la ravine Balan varient de 0 à 102 pour des pentes allant de 0 à 60%. Par comparaison pour ce même facteur LS, le MBVT est moins sensible à l'érosion. Car les valeurs de LS du micro bassin versant de Tiravine sont nettement inférieures à celles de la ravine Balan et vont de 0 à 7.93, ce qui confirme que le bassin versant de la ravine Balan est plus érosif que le MBVT.

4.2.4. Facteur C (facteur des couvertures végétales et des pratiques culturales)

Les valeurs de C (tableau 19 ci-dessous) sont des valeurs moyennes annuelles et varient de 0 à 1 suivant l'occupation des sols de la zone. Les sols nus, sont les plus sensibles à l'érosion, présentent le facteur C le plus élevé tandis que les zones à faible risque d'érosion ont les facteurs C les plus faibles.

Tableau 13: Facteur C de la zone d'étude

Type d'occupation de sols	Facteur C
Pâturages	0.12
Habitats	0.007
Sols nus	1
Végétations arborées et arbustives	0.50
Cultures agricoles moyennement denses	0.50

Source: CESVI-Haïti (2013) cité par PIERRE-LOUIS(2014), Construit par Wischmeier et Smith (1978)

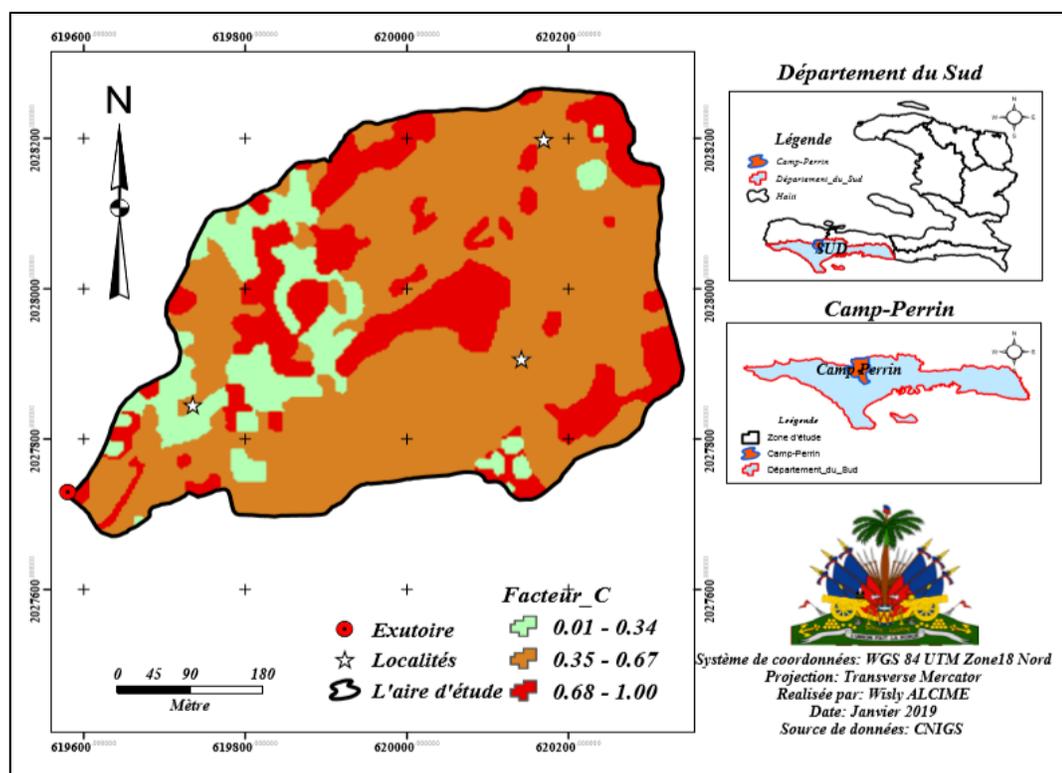


Figure 19: Carte de répartition du facteur C du MBVT

La carte de répartition du facteur C est le résultat de l'intégration des valeurs de C de la zone d'étude pour les types d'occupation de sols existants. En effet, la distribution de C ne présente pas une grande hétérogénéité. Car nous observons

seulement trois(3) classes pour la distribution de C (figure 19, légende facteur C) que nous pouvons classer comme les valeurs faibles, les valeurs modérées et les valeurs fortes respectivement pour les zones peu sensibles à l'érosion, les zones sensibles à l'érosion et les zones très sensibles à l'érosion. De plus, les zones peu sensibles à l'érosion occupent une faible taille comparativement aux zones sensibles et très sensibles. En effet, l'ensemble des sols du micro bassin versant de Tiravine sont donc sensibles à l'érosion. Sur ces sols, nous recommandons d'appliquer une agriculture de type conversationniste.

4.2.5. Facteur des pratiques de conservation du sol P

Le facteur P prend en compte les pratiques de conservations des sols. Autrement dit, il concerne les techniques et pratiques antiérosives mises en place sur les parcelles en vue de chuter ou casser la vitesse d'écoulement des eaux superficielles. Dans le cadre de cette étude, et en général, le facteur P représente les pratiques de conservation adoptées et pratiquées les versants. Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses et reboisements en banquettes sont les bonnes pratiques pour avoir des pertes en sol effectives acceptables. Cependant au niveau du MBVT aucune structure de conservation n'a été identifiée. Les activités rencontrées sont l'élevage des animaux et la production végétale comme la patate douce (*Ipomoea batatas*), le manioc (*Manihot sp*), le maïs (*Zea mays*) et le pois congo (*Cajanus cajan*). L'installation de ces cultures se fait de façon arbitraire et selon des pratiques traditionnelles comme sarclage dans le sens de la pente (de haut vers le bas) et la pratique sur brulure. De plus, les agriculteurs préparent leurs parcelles sans aucune structure antiérosive et restent en attente des pluies. Tout ceci risque d'augmenter la sensibilité des sols à l'érosion.

Tableau 14 : Facteur P de la zone d'étude

<i>Type d'occupation de sols</i>	<i>Facteur P</i>
Pâturages	0.5
Habitats	0.01
Sols nus	1
Végétations arborées et arbustives	1
Cultures agricoles moyennement denses	0.5

Source: CESVI-Haïti (2013) cité par PIERRE-LOUIS(2014), Construit par Wischmeier et Smith (1978)

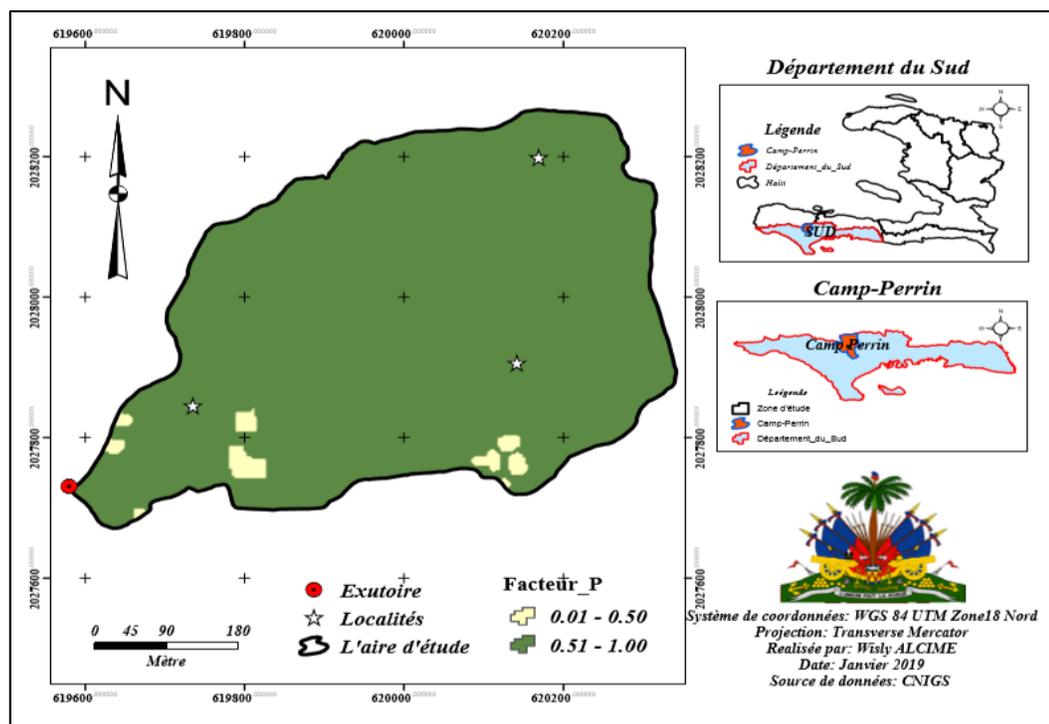


Figure 20: Carte de présentation du facteur P de la zone d'étude

La rasterisation de la carte d'occupation de sols 2018 incluant les valeurs de P (tableau 20) respectivement pour chacun des types d'occupations des sols montre presque une uniformité au niveau de la zone d'étude pour laquelle on a deux(2) classes de P. Donc, les valeurs de P pour les sols nus et les végétations arborées et arbustives sont égales à 1 et se trouvent dans l'intervalle de 0.51 à 1 (figure 20, carte de facteur P). En effet, le facteur P exprime l'effet des pratiques culturales sur le bassin versant de Tiravine.

4.2.6. Erosion potentielle du MBVT de Tiravine

La figure 21 suivante présente la répartition de la perte de sol potentielle.

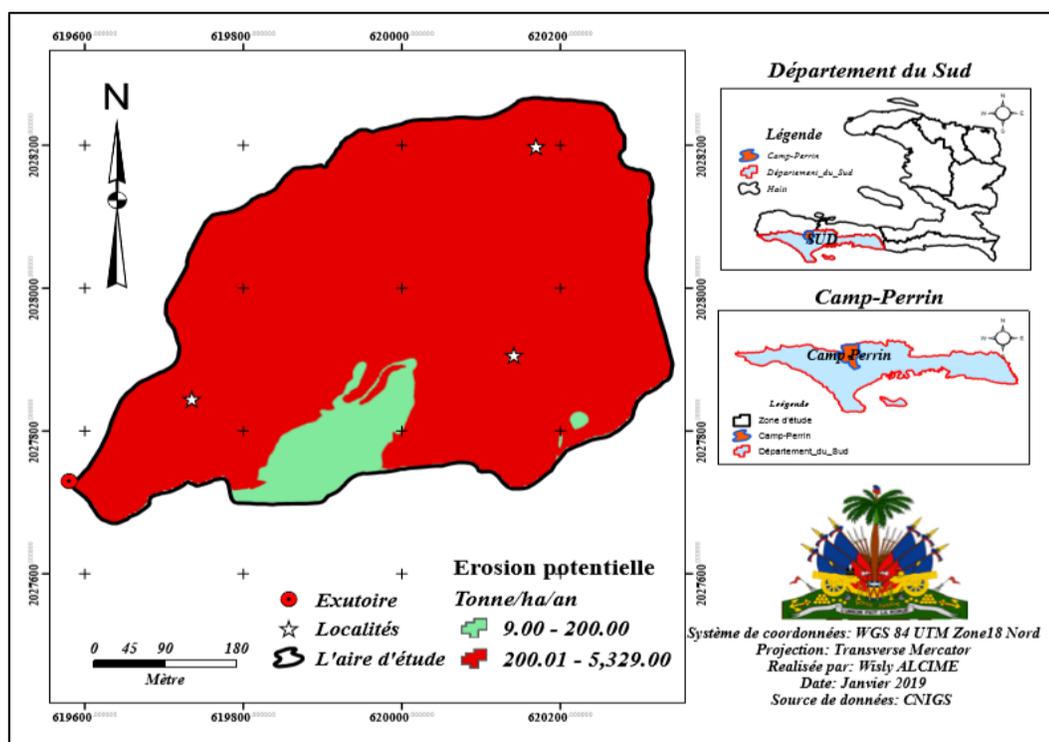


Figure 21: Carte de répartition de l'érosion potentielle du MBVT de Tiravine

La figure 22 ci-dessous présente les deux(2) types d'érosion potentielle (classification de FAO) relevés au niveau de Tiravine.

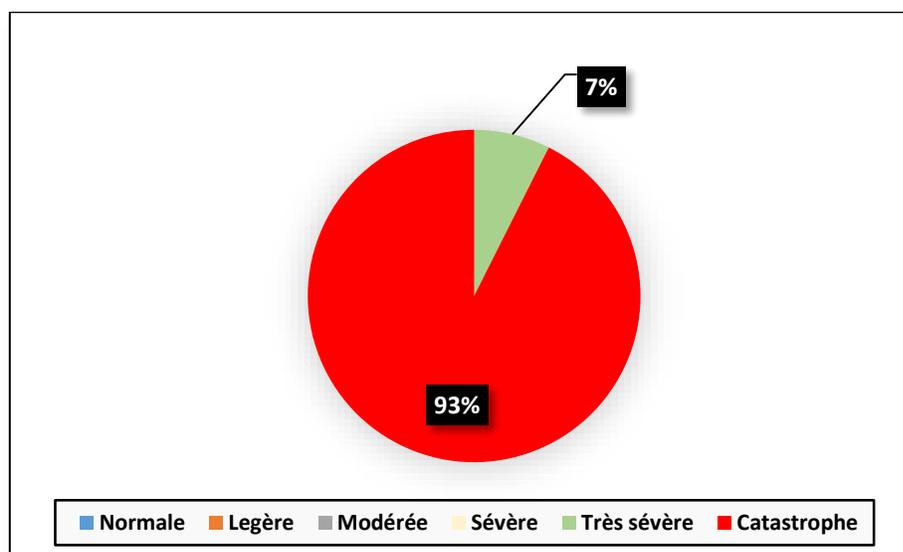


Figure 22: Proportions occupées par les types d'érosion potentielle du MBVT

D'après la classification de FAO nous avons six(6) types d'érosion. Mais, la figure 21 des pertes de sol potentielles montre les deux(2) types d'érosion potentielle rencontrés sur le micro bassin versant de Tiravine. Il s'agit d'érosion de type catastrophe et de type très sévère. Les érosions de type très sévère et catastrophique occupent respectivement 7% et 93% de la surface totale de Tiravine. La combinaison des facteurs d'érosivité, d'érodibilité et de la topographie du milieu montre que le MBV de Tiravine est très dégradé et 93% de sa surface totale se trouve dans un état catastrophique. Cet état dégradé peut s'expliquer par l'agressivité des précipitations sur la zone d'étude, la morphologie escarpée du terrain favorable à l'érosion et la présence de sol superficiel font que le MBVT est très sensible à l'érosion hydrique. Tout ce qui provoque comme conséquence le mauvais fonctionnement des ouvrages hydroagricoles du périmètre d'Avezac.

4.2.7. Erosion effective du MBVT

Dans le cadre de ce travail académique, le calcul de l'érosion effective a été obtenu par croisement de la couverture végétale des sols, les types d'occupation des sols et l'érosion potentielle. Les valeurs des facteurs C et P qui étaient égales à 1 en condition d'érosion potentielle sont alors différentes ou égales à 1 comme s'est indiqué dans le tableau 13 et 14. En effet, la figure 23 suivante présente la répartition de l'érosion effective sur le MBVT.

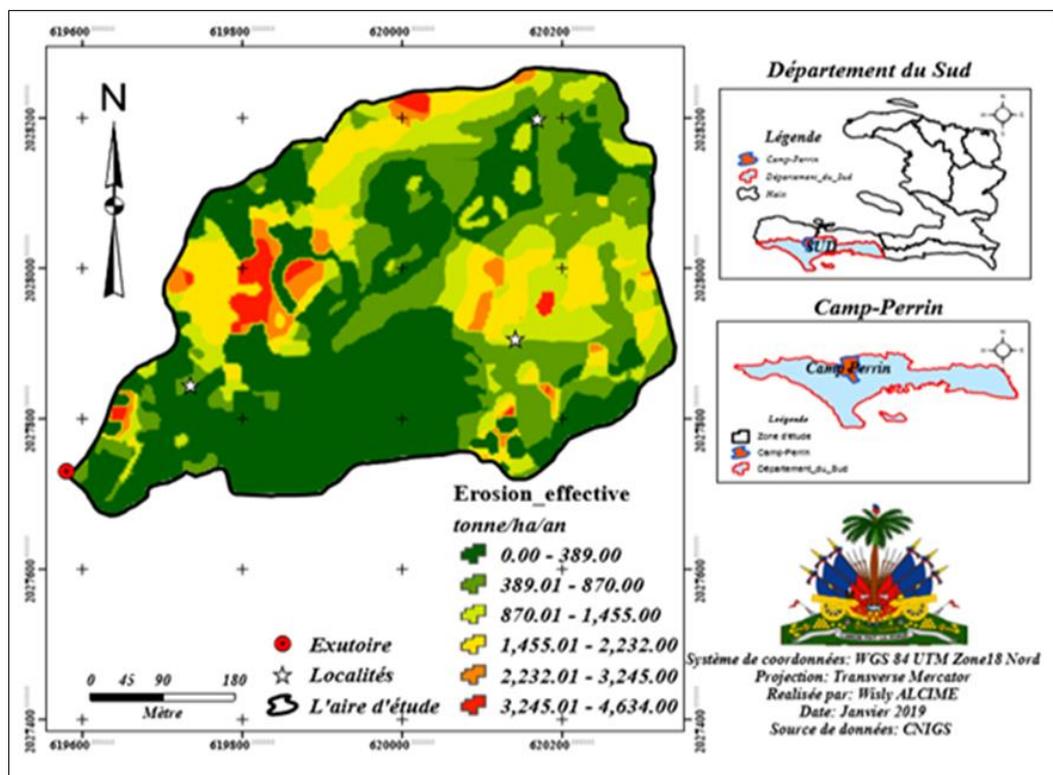


Figure 23: Carte de répartition de l'érosion effective au niveau du MBVT

Suivant la classification des types d'érosion de FAO, le micro bassin versant de Tiravine présente les six(6) types d'érosion qui suivent : Normale, Légère, Modérée, Sévère, Très Sévère et Catastrophique. La figure 24 suivante présente les proportions occupées par les types d'érosion au niveau du MBVT.

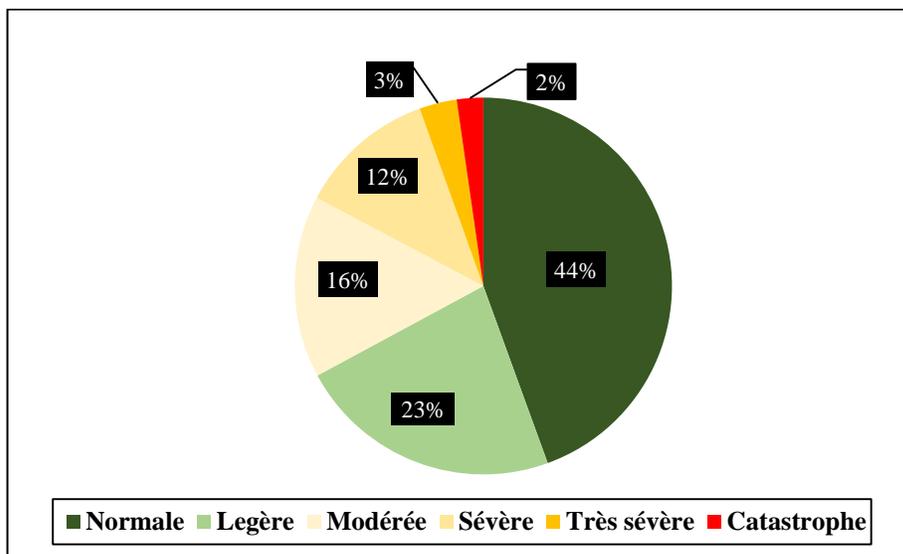


Figure 24 : Proportions occupées par les types d'érosion effective du MBVT

D'après la figure 24, 44% de la surface totale du MBVT accusent une érosion de type normale sur lesquels les pertes de sol vont de 0 à 389.00 t/ha/an, contre 2% de la surface totale du MBVT qui déclarent une érosion de type catastrophique avec des pertes de sol de 3,245.01 à 4,634.00 t/ha/an. Ces états érosifs du micro bassin versant de Tiravine, allant de type normale au type catastrophique, peuvent être expliqués par les mauvaises pratiques agricoles utilisées par les exploitants, l'ouragan Mathieu qui avait tout dévasté le Département du Sud et en particulier le micro bassin versant de Tiravine et la nature des sols.

Tenant compte de l'état dans lequel le micro bassin versant de Tiravine est actuellement trouvé avec des versants dénudés sur lesquels les agriculteurs pratiquent des cultures érosives couplées par des techniques culturales inadaptées à ces versants tendent à accélérer l'érosion des versants et l'ensédimentation des ouvrages hydroagricoles en aval. De plus, les vecteurs ne cessent pas d'alimenter la prise sur berge et le lit mineur de la ravine du Sud en sédiment, ce qui entrave en effet le bon fonctionnement des infrastructures hydroagricoles du périmètre d'Avezac. En réponse à ces problèmes, nous faisons des recommandations (Annexe 7) pour remédier la situation des versants et des vecteurs du micro bassin versant de Tiravine et pour protéger les infrastructures hydroagricoles du périmètre d'Avezac. En outre, la préservation de ces ressources (eaux et sols) passe par des activités d'aménagement sur les versants et les vecteurs. Ces aménagements visent la construction et la mise en place des biomécaniques tant au niveau des versants que des ravines.

CHAPITRE V

5. Conclusion

Ce travail visait à diagnostiquer l'état actuel du micro bassin versant de Tiravine et à déterminer les pertes de sol en vue de contribuer à une meilleure gestion et conservation des ressources naturelles eaux et sols sur le micro bassin versant de Tiravine. En effet, à l'issue de l'analyse et de l'interprétation des résultats, il a été déduit que la configuration topographique (relief) et le mode d'occupation de sols sont responsables de l'état actuel dégradé du micro bassin versant de Tiravine(MBVT). Par ailleurs, la nature des sols influence l'état actuel très érodé du micro bassin versant de Tiravine car ses sols peuvent être facilement altérés et emportés sous l'action de l'eau de pluie et de ruissellement. Cependant, les caractéristiques géométriques indiquent que la forme allongée du micro bassin versant de Tiravine n'influence pas son état érosif, ce qui a permis d'avoir un temps de concentration élevé à 168mn entraînant par conséquent des faibles débits de crue. Alors que les paramètres hydrographiques notamment la densité de drainage supérieure à 4, la densité hydrographique (F) égale à 88.90km^{-2} et le coefficient de torrentialité (Ct) égal à $699.70\text{km}/\text{km}^4$ attestent que le MBVT présente une roche mère imperméable, un faible couvert végétal et un relief montagneux. Il est donc susceptible à l'érosion. Mais, les paramètres topographiques à savoir l'indice de pente global ($I_g=0.19\text{m}/\text{m}$), la dénivelée spécifique ($D_s=111.89\text{m}$), la pente moyenne ($S_{\text{moy}}=21.81\%$), le coefficient orographique ($C_o=30.98$) et de massivité ($C_m=0.10\text{m}^{-1}$) confirment que le MBVT est une zone réservée et favorable à l'érosion hydrique. De plus, on assiste à une réduction de 22.97% de la couverture végétale de la zone d'étude, soient 53.76% et 30.76% comme couverture végétale respectivement en 2014 et 2018. Pour cette période le taux d'imperméabilité passe de 0.88% à 1.71%, soit une augmentation de 0.83%. À côté de ceci, nous avons assisté aussi à une augmentation de 22.96% des terres cultivées sur 12.48% de la surface totale cultivée en 2014. Ces parcelles sur lesquelles les agriculteurs adoptent de mauvaises pratiques agricoles continuent à alimenter les ouvrages hydroagricoles du périmètre d'Avezac en sédiment, ce qui entrave le fonctionnement normal des ouvrages hydroagricoles. Tout ceci confirme la première hypothèse à savoir que l'état actuel du micro bassin versant

de Tiravine est la conséquence du mode d'occupation des sols et la configuration topographique du terrain.

Le micro bassin versant de Tiravine a une superficie de 292,449.00m² et 2,365.51m de périmètre. Il comprend cinq(5) unités d'occupations de sol. Il s'agit d'unité des pâturages, des habitats, des sols nus, des végétations arbustives et arborées et l'unité des cultures moyennement denses. Les cultures moyennement denses occupent à elles seules 35.44% et constituent en majeure partie de manioc (*Manihot sp*) et de patate douce (*Ipomoea batatas*). Les espaces occupés par ces cultures accusent en partie des pertes de sol beaucoup plus élevées que les autres unités d'occupation de sols. À la lumière des résultats obtenus avec la méthodologie appliquée pour le calcul des pertes de sol, il est donc possible d'appliquer les formules existantes dans les conditions du micro bassin versant de Tiravine pour le calcul des pertes de sol. Par ailleurs, sur une surface totale de 292,449.00m², le MBVT accuse sous conditions actuelles une érosion potentielle moyenne de 2,299.11t/ha/an et une érosion effective moyenne de 1,798.60t/ha/an. Cependant, seulement 2.5% de la surface totale de ce micro bassin versant accusent une perte de sol effective inférieure à 11.5t/ha/an. Le micro bassin versant de Tiravine possède en ce sens un haut potentiel érosif du fait que 97.5% du MBVT font l'objet d'une perte de sol supérieure au seuil tolérable. D'où, la confirmation de la deuxième hypothèse stipulant que sous les caractéristiques de l'état actuel, la perte de sol effective moyenne du micro bassin versant de Tiravine dépasse le seuil tolérable de pertes de sol (11.5 t/ha/an). Car le micro bassin versant de Tiravine accuse certainement une perte de sol effective supérieure au seuil tolérable généralement admis. En fin, par comparaison des pertes de sol potentielles et effectives, le couvert végétal joue un rôle crucial pour le sol. Car il réduit l'impact des précipitations sur le sol.

5.1. Recommandations

Pour remédier à la situation des versants et des vecteurs du micro bassin versants de Tiravine et pour permettre une meilleure gestion de ses ressources naturelles des activités d'aménagement sont nécessaires. En effet, en fonction des résultats obtenus les recommandations qui suivent sont faites :

✓ **Au niveau du micro bassin versant de Tiravine(MBVT)**

1) Végétaliser les versants des zones critiques et corriger les vecteurs (ravines)

L'aménagement des versants des zones critiques poursuit un double objectif ; il s'agit de réduire les volumes de sédiments habituellement accumulés au niveau de la prise du périmètre et de la ravine du Sud d'une part et d'autre part celui de faciliter l'infiltration des eaux de ruissellement, ce qui permet de diminuer en partie les crues fréquentes de la ravine du Sud. En effet, le micro bassin versant de Tiravine détient plus de 20 % des versants ayant des pentes supérieures à 12%. Ces pentes si elles ne sont pas pourvues d'une couverture végétale adéquate augmentent la sensibilité des sols à l'érosion. Des zones critiques ont été identifiées à partir de la carte de synthèse de l'érosion effective puis vérifiées et validées à partir des données de terrain. Ces zones critiques représentent les zones d'intervention et occupent 82.20% de la surface totale du MBVT (Annexe 7).

Le réseau hydrographique de Tiravine est l'un des réseaux hydrographiques transportant plus de débit solide au niveau de la prise sur berge du périmètre d'Avezac. Leur traitement participe principalement dans la lutte contre l'ensédimentation de la prise, de la ravine du Sud, du tronçon de canal tête morte du périmètre d'Avezac et la protection des riverains contre l'inondation. De plus, les interventions sur Tiravine permettent aussi d'atténuer la turbidité des eaux de la prise et la perturbation des écosystèmes marins comme les herbes marines et les récifs coralliens par le dépôt de matériaux. À cet égard, une combinaison de structures biologiques et mécaniques est priorisée. À l'annexe 8, nous présentons les vecteurs à traiter.

2) Promouvoir des campagnes de reboisement

Dans le but de diminuer l'énergie des gouttes de pluie, de fournir l'alimentation familiale et des animaux avec possibilité de constituer une épargne sur le long pour les exploitants et de régénérer les espaces dégradés, nous recommandons de promouvoir des campagnes de reboisement. Cette campagne de reboisement se fait selon des espèces végétales adaptées aux conditions écologiques du micro bassin versant de Tiravine et d'après les besoins des exploitants. Nous proposons des arbres fruitiers

greffés afin d'obtenir une production plus rapides par rapport aux espèces de production sexuée.

3) *Promouvoir des pratiques durables et conservationnistes sur le micro bassin versant de Tiravine*

Le micro bassin versant de Tiravine(MBVT) assure et alimente la Ravine du Sud en eau et qui à leur tour alimente le périmètre d'Avezac en eau. Pour pallier à ce problème, nous proposons de promouvoir sur le MBVT des pratiques agricoles durables selon les courbes de niveau tout en respectant les aptitudes agricoles des parcelles, promouvoir également des pratiques agricoles conservationnistes par la mise en place des parcelles agroforestières.

4) *Renforcer de la capacité du sous-comité de gestion du sous bassin versant de la ravine du Sud*

Des actions de renforcement du sous-comité de gestion du sous bassin versant de la ravine du Sud en vue de gérer les structures mécaniques et biologiques au niveau du micro bassin versant de Tiravine permettent d'assurer la viabilité des infrastructures biomécaniques érigées et des infrastructures hydroagricoles en aval. Nous procédons à son renforcement afin de développer des mécanismes, des outils de suivi et de contrôle des ouvrages construits au niveau du MBVT.

Références bibliographiques

- ALEX B., 2010. *Historique des interventions en matière d'aménagement des bassins versants en Haïti et leçons apprises*, CIAT, 24 pages.
- AUBERT, G. et al, 1967. *Classification des sols*. Laboratoire de Géologie-Pédologie de l'E.N.S.A. de GRIGNON, 87p.
- AUBIN Ericson Yves L., 2017. *Diagnostic du sous micro bassin versant d'Abraham et proposition d'un plan d'aménagement y relatif*, Mémoire d'Ingénieur Agronome, Haïti, Damien, FAMV, 103p.
- BARTHÉLEMY, C. P. (2008). *Diagnostic de la dégradation du sous bassin versant de la rivière de Barada (Marmelade) et propositions à l'élaboration d'un plan d'aménagement*. Mémoire d'Ingénieur Agronome. FAMV, Haïti. Pages 2048.
- Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec Et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 2003. « *Détermination de la matière organique par dosage du carbone organique dans les sols agricoles : méthode Walkley-Black modifiée* » MA. 1010-WB 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 10p.
- Centre National d'Information Géographique Spatial(CNIGS), 2018, *Données vecteurs et images*. En ligne : « www.haitidata.org ». Consulté le 20 décembre 2018.
- Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire(CIAT), 2011, *Guide méthodologique pour les études de diagnostic des bassins versants*, Primature, Haïti, 53p.
- DÉLUSCA, Kénel. 1998. « Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols, 2ème édition ». In « *Estimation de l'érosion hydrique des sols à l'aide de l'Équation Universelle de Perte de Sol assistée d'un Système d'Information Géographique : Le cas du micro bassin versant de la ravine Man, Haïti* ». Thèse de maîtrise, Faculté des Études Supérieures et de la Recherche Université de Moncton, Canada, 96 p.

- DOLISCAR, G. 2016. Cours magistral d'aménagement des bassins versants, FAMV/UEH, Non publié. Pagination multiple.
- DUBREUIL, P. MORELL, M. et SECHET, P.1975. *Comportement et interaction des paramètres physiques de petits bassins versants semi arides et intertropicaux*. Cah. ORSTOM, 24 p.
- DUROGENE, R. 2014. *Etude de l'impact de la dégradation de l'écosystème végétal sur l'évolution du réseau hydrographique dans le contexte du micro bassin versant Limbé*. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Haïti, Damien, FAMV, 100p.
- EMMANUEL, J. W. 2017. *Étude diagnostique du Sous Micro bassin versant de barbois en vue de l'élaboration d'un plan d'aménagement*. Mémoire d'Ingénieur Agronome. Haïti Damien, FAMV, 86 p.
- FAO/PAM. 2005. Mission d'évaluation des récoltes et des disponibilités alimentaires en Haïti. Rapport institutionnel, 40p.
- FOX, Dennis. 2008. *Dégradation des sols dans le monde*, Université Nice. En ligne. « <http://unit.unice.fr/uoh/degsol/formes-erosion.php> ». Consulté le 26 octobre 2018.
- GANGBAZO, G. 2004. *Gestion Intégrée de l'eau par micro bassin versant*. Québec : concepts et application, Environnement, 58 p.
- GEORGES, Y. 2008. *Évaluation de l'érosion dans le micro bassin versant de la rivière Grise(Haïti)*, Faculté Universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. En ligne. « http://www.memoireonline.com/06/09/2109/m_Evaluation-de-lErosion-dans-le-bassin-versant-de-la-riviere-Grise-Haiti1.html ». Consulté le 23 novembre 2018.
- GLASOD. 1996. « Dégradation anthropique des sols/Sommet mondial de l'alimentation ». In Cours magistral d'amélioration des sols, Erick Junior VILMONT. Haïti, Damien, FAMV/UEH, non publié, pagination multiple.

- HILAIRE, S. 1995. *Le prix d'une agriculture minière*. Haïti : sans maison d'édition, 261 p.
- HUDSON, N. 1981. *Soil conservation*. New York: 2nd édition Ithaca, Cornell University press, 324 p.
- JEAN, J. D. 2012. *Guide de référence sur les pratiques de prévention et de lutte contre l'érosion dans le département Sud d'Haïti*. Haïti : sans édition, 26 p.
- JEAN, M. 2017. « Land capability classification (agriculture handbook No. 210) ». In « *Étude diagnostique du sous micro bassin versant de Diny en vue de la proposition d'un plan d'aménagement* ». Mémoire d'Ingénieur Agronome, Haïti, Damien, FAMV, 12-13p.
- JEAN, M. 2017. *Étude diagnostique du sous micro bassin versant de Diny en vue de la proposition d'un plan d'aménagement*. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Haïti, Damien, FAMV, 108 p.
- JENKS, George F. 1967. *The data Model Concept in statistical mapping*, International Yearbook of Cartography 7: 186-190 p.
- JOLLY, Curtis D. ; Shannon, Dennis A. ; Bannister, Michael; Flauretin Gardy; Dale John; Alvin Binns; Lindo Pauline; Badrie Neela, 2007. *Income efficiency of soil conservation techniques in Haiti*. P. 156-163. In N.Badrie (ed.).
- KOVDA, V.A. 1983. « Loss of productive land due to salinization ». *Ambio*, vol.12, 91-93 p.
- LEGOUT, C.2012. *Le micro bassin versant*. Cours Master 1, Université Joseph Fourier, 22 p.
- LEGROS, J.P. 2007. *Les grands sols du Monde*. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, 574 p.
- MAURICETTE, A. 2014. *Diagnostic du sous micro bassin versant de la rivière Moreau (Baie de Henne), en vue de son d'aménagement*. Mémoire d'Ingénieur-Agronome, FAMV, UEH, Damien, Haïti. 50 p.

- MORELL, Marc. 1999. *Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base/ Marc Morell, Bernard Thébé, Yann. L'Hôte.-Bucuresti : Éditura HGA, 14p.*
- OSCAR, T. 2014-2015. *Cours magistral d'hydrologie forestière, Haïti, Damien, FAMV/UEH, non publié, pagination multiple.*
- PASKETT C. And C. Philoctete. 1990. « Soil conservation in Haïti ». *Journal of Soil and Water conservation*, vol. 45, no 3, p.457-459.
- PIERRE L. O. 2018. *Travaux pratiques de SIG /Données vecteurs des potentialités des sols d'Haït, FAMV/UEH, non publié, pagination multiple.*
- PIERRE-LOUIS, O. 2014. *Évaluation des risques d'érosion hydrique par l'équation universelle des pertes en sol à l'aide d'un SIG (Cas du micro bassin versant de l'Artibonite, Haïti). Québec : École De Foresterie Université de Moncton, Campus d'Edmundston, 20p.*
- PRINTEMPS, Julia. 2007. « Une méthode de cartographie du risque érosif ». In « *Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie /Utilisation de l'équation universelle de perte de sol assistée d'un SIG sur les communes de Voh* ». Alpine : Université Joseph Fourier/Institut de Géomatique Alpine, 13p.
- PRINTEMPS, Julia. 2007. « Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Équation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du micro bassin versant de l'oued Boussouab ». In « *Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie /Utilisation de l'équation universelle de perte de sol assistée d'un SIG sur les communes de Voh* ». Alpine : Université Joseph Fourier/Institut de Géomatique Alpine, 13p.
- PRINTEMPS, Julia. 2007. *Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie /Utilisation de l'équation universelle de perte de sol*

- assistée d'un SIG sur les communes de Voh*. Alpine : Université Joseph Fourier/Institut de Géomatique Alpine, 80p.
- RÉGIS, G. et ROY, A. L. 1999. *Manuel pratique de conservation des sols*. CFAM, Limbé, 133 p.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K., YODER D.C. 1991. « *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* ». U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 404 p.
- ROBART, G. (1984), *Végétation de la République d'Haïti*. Thèse, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 213p.
- ROOSE, Éric. 1994. *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*, Bulletin pédologique FAO, Rome, vol.70, 420 p.
- ROOSE, Éric. SABIR Mohamed et LAOUINA Abdellah. 2010. *Gestion durable des eaux et des sols au Maroc/Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes*, 55p.
- Sécurité Alimentaire(SECAL). 2018. *Diagnostic et caractérisation physique et socioéconomique du sous micro bassin versant de la Ravine du Sud*, Haïti, DDAS, 113 p.
- SHENG, T. G. 1993. *Guide pratique d'aménagement des bassins versants*. Rome: *Étude et planification FAO*. En ligne. « <http://www.fao.org/docrep/006/T0165F/T0165F00.HTM> ». Consulté le 5 octobre 2018.
- STEVENSON, G., 1989. « The production, distribution, and consumption of fuelwood in Haiti ». *The Journal of Developing Areas*, vol.24, no 2, 59-76 p.
- STILL, D. A. et Shih, S.F. (1985). Using Landsat Data to classify land use for assessing the basinwide runoff index *Wat Res. Bull.*, 21(6), pp.931-940.

- TCHAMIE, Thiou Tanzidani K. 2016. « Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (Sud-Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire landsat ». *Revue des Sciences de l'Environnement, Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Études Environnementales* (Université de Lomé), vol.7, No.13, 137-156p.
- TERRY, Melanson et al. 2006. *Restauration écologique des habitats aquatiques dégradés : une approche à l'échelle du micro bassin versant*, 34p.
- UNDP. 2012. Rapport de l'étude sur l'érosion des sols MUSLE, Haïti, Unité hydrographique Aquin Saint Louis du Sud, 26 p. En ligne. «[http://www.undp.org/content/dam/haiti/docs/Protection%20de%20l%20environnement/rapport/etude%20sur%20l%20%C2%B4erosion%20de%20l%20%C2%B4unite%20hydrographique%20aquin-st%20louis%20du%20sud.pdf](http://www.undp.org/content/dam/haiti/docs/Protection%20de%20l%20environnement/rapport/etude%20sur%20l%20%C2%B4%C2%B4erosion%20de%20l%20%C2%B4%C2%B4unite%20hydrographique%20aquin-st%20louis%20du%20sud.pdf) ». Consulté le 2 décembre 2020.
- VALBRUN, O. 2014, *Diagnostic du bassin versant de la rivière Canari (Ouanaminthe) et propositions en vue de l'élaboration d'un plan d'aménagement*. Mémoire de fin d'études, FAMV, 75 p.
- VILMONT, E. 2018. *Cours magistral d'Amélioration des sols*, Haïti, Damien, FAMV/UEH, non publié, pagination multiple.
- USDA. 1992. *Keys to soil taxonomy*, Soil Survey, 541 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Quelques photographies du MBVT et du canal tête morte



1. Activité de production du charbon de bois



2. Lit de Tiravine rempli de sédiments grossiers



3. Cultures sarclées sur pente forte



4. Érosion en masse au niveau des versants du MBVT



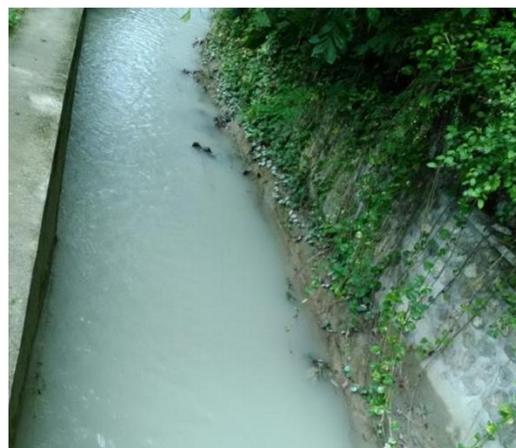
5. Réseau principal constitué de grosse pierre



6. Espace actuel dénudé



7. Sédiments au niveau du canal tête morte



8. Sédiments et herbes au niveau du canal tête morte

Annexe 2 : Classification des érosions selon FAO

Niveau	Classe de sol (tonne/ha/an)	Type d'érosion
1	<0.5	Normale
2	0.5-5.0	Légère
3	5.0-15.0	Modérée
4	15.0-50.0	Sévère
5	50.0-200.0	Très sévère
6	>200.0	Catastrophe

Source : Les types d'érosion (FAO, 1980).

Annexe 3 : Caractéristiques des classes de potentialités des sols

Classes de potentialités	Aptitude	Caractères physiques
I EXCELLENTE	<ul style="list-style-type: none"> -Grandes cultures mécanisées -Irrigation par gravité possible avec localement drainage -Productivité élevée 	<ul style="list-style-type: none"> -Sols alluviaux bien drainés -Topographie plane (pente 0-2%)
II TRÈS BONNES	<ul style="list-style-type: none"> -Cultures mécanisées -Irrigation possible -Bonne productivité 	<ul style="list-style-type: none"> -Sols bien drainés -Glacis ou collines douces (pentes 2-5%). -Sols alluviaux de textures lourdes (tendance verticale) ou grossière
III BONNES	<ul style="list-style-type: none"> -Petite mécanisation possible -Irrigation par aspersion avec précautions anti-érosives -Productivité moyenne -Choix des cultures limité 	<ul style="list-style-type: none"> -Sols de collines ou de glacis, de pente 5-8%, de profondeur moyenne -Sols alluviaux très caillouteux ou hydromorphes en profondeur

<p>IV MOYENNES</p>	<p><i>-Difficilement mécanisable</i> <i>-Petite irrigation de montagne localement</i> <i>-Agriculture traditionnelle avec mesure de conservation des sols</i></p>	<p><i>-Sols généralement peu profonds de collines et bas mornes, de pente moyenne 8-15 %</i></p>
<p>V LIMITÉES À LA RIZICULTURE OU MÉDIOGRES</p>	<p><i>-Marécages, parcours</i> <i>-Sous réserve d'aménagements hydro-agricoles importants (drainage, irrigation protection contre les crues), riziculture et cultures dessaisonnée à forte productivité.</i></p>	<p><i>-Marécages temporaires, sols temporairement hydromorphes ou inondables, généralement assez argileux, parfois salés</i></p>
<p>VI FAIBLES</p>	<p><i>-Petite agriculture de montagne très localement - Petite irrigation</i> <i>Parcours, boisement</i> <i>Parcours</i> <i>Localement riziculture si dessalement des sols possible</i></p>	<p><i>-Sols de morne de profondeur variable, érodables, pente moyenne 12-30%</i> <i>Sols érodés sur matériaux tendres</i> <i>Sols salins temporairement hydromorphes (nappe) ou inondables</i></p>
<p>VII LIMITÉES</p>	<p><i>-Cultures arboricoles - Petite agriculture avec conservation des sols - Parcours, boisement</i> <i>Parcours Drainage impossible en général</i></p>	<p><i>Sols de mornes peu profonds, très érodables, pente moyenne 30-60%</i> <i>" bad-lands" sur marnes</i> <i>Sols permanents, inondés hydromorphes salés, souvent</i></p>

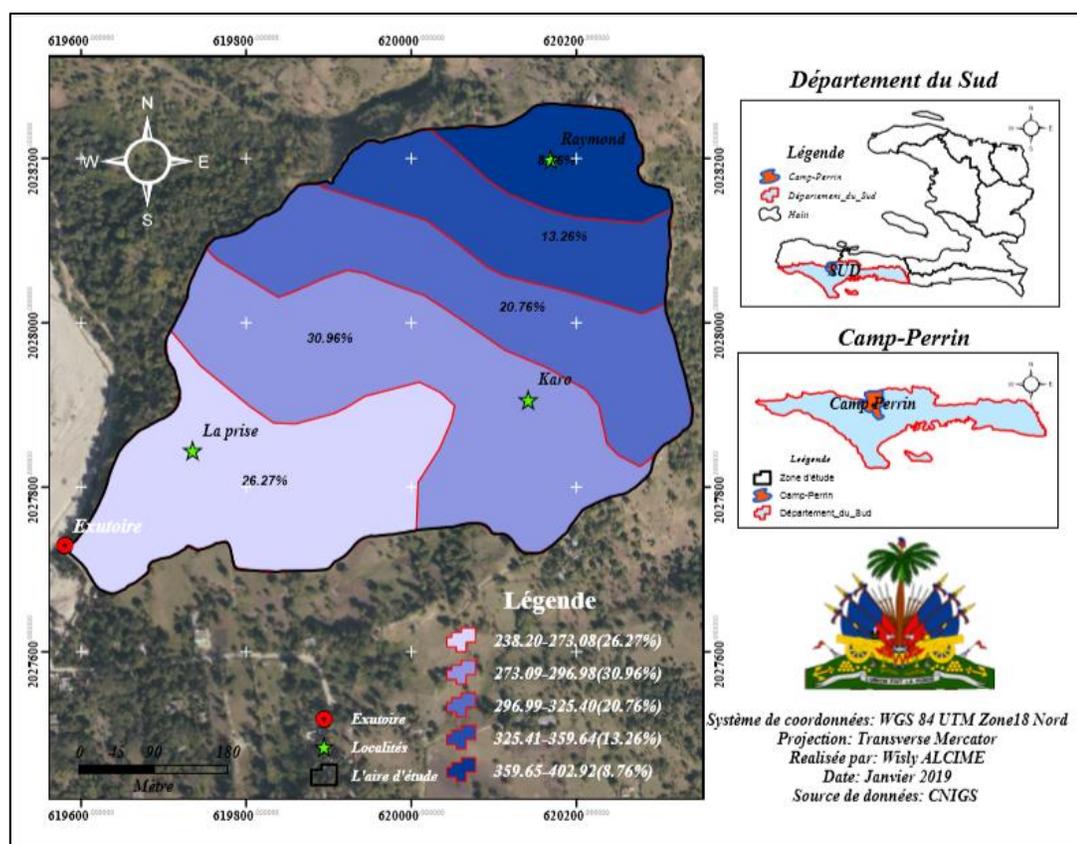
Source: KLINGEBIEL et MONTGOMERY (1973) cité par JEAN(2017)

Annexe 4 : Conversion des unités US en unités SI

To convert from	U.S. customary units	Multiply by	To obtain:	SI Units
Rainfall intensity, i or I	$\frac{\text{inch}}{\text{hour}}$	25.4	$\frac{\text{millimeter}}{\text{hour}}$	$\frac{1}{h} \frac{\text{mm}}{\text{h}}$
Rainfall energy per unit of rainfall, e	$\frac{\text{foot-tonf}}{\text{acre-inch}}$	$2.638 \cdot 10^{-4}$	$\frac{\text{megajoule}}{\text{hectare-millimeter}}$	$\frac{2}{\text{ha} \cdot \text{mm}} \frac{\text{MJ}}{\text{ha} \cdot \text{mm}}$
Storm energy, E	$\frac{\text{foot-tonf}}{\text{acre}}$	0.006701	$\frac{\text{megajoule}}{\text{hectare}}$	$\frac{3}{\text{ha}} \frac{\text{MJ}}{\text{ha}}$
Storm erosivity, Ei	$\frac{\text{foot-tonf-inch}}{\text{acre-hour}}$	0.1702	$\frac{\text{megajoule-millimeter}}{\text{hectare-hour}}$	$\frac{\text{MJ} \cdot \text{mm}}{\text{ha} \cdot \text{h}}$
Storm erosivity, Ei	$\frac{4}{\text{hundreds of foot-tonf-inch}} \frac{\text{acre-hour}}{\text{acre-hour}}$	17.02	$\frac{\text{megajoule-millimeter}}{\text{hectare-hour}}$	$\frac{\text{MJ} \cdot \text{mm}}{\text{ha} \cdot \text{h}}$
Annual erosivity, R^5	$\frac{\text{hundreds of foot-tonf-inch}}{\text{acre-hour-year}}$	17.02	$\frac{\text{megajoule-millimeter}}{\text{hectare-hour-year}}$	$\frac{\text{MJ} \cdot \text{mm}}{\text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{y}}$
Soil erodibility, K^6	$\frac{\text{ton-acre-hour}}{\text{hundreds of acre-foot-tonf-inch}}$	0.1317	$\frac{\text{metric ton-hectare-hour}}{\text{hectare-megajoule-millimeter}}$	$\frac{\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h}}{\text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}}$
Soil loss, A	$\frac{\text{ton}}{\text{acre}}$	2.242	$\frac{\text{metric ton}}{\text{hectare}}$	$\frac{\text{t}}{\text{ha}}$
Soil loss, A	$\frac{\text{ton}}{\text{acre}}$	0.2242	$\frac{\text{kilogram}}{\text{meter}^2}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

Source : RENARD et al., (1991)

Annexe 5: Carte hypsométrique du MBVT

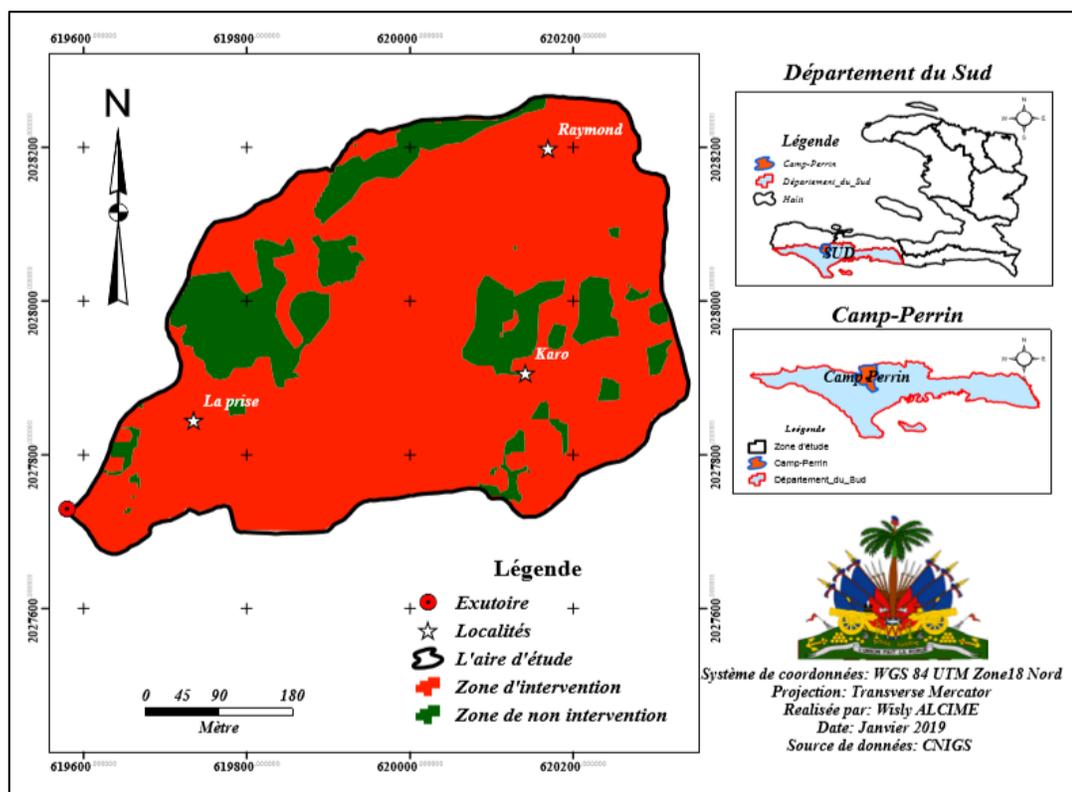


Annexe 6 : Équations d'indice de couverture végétale et du taux d'imperméabilité

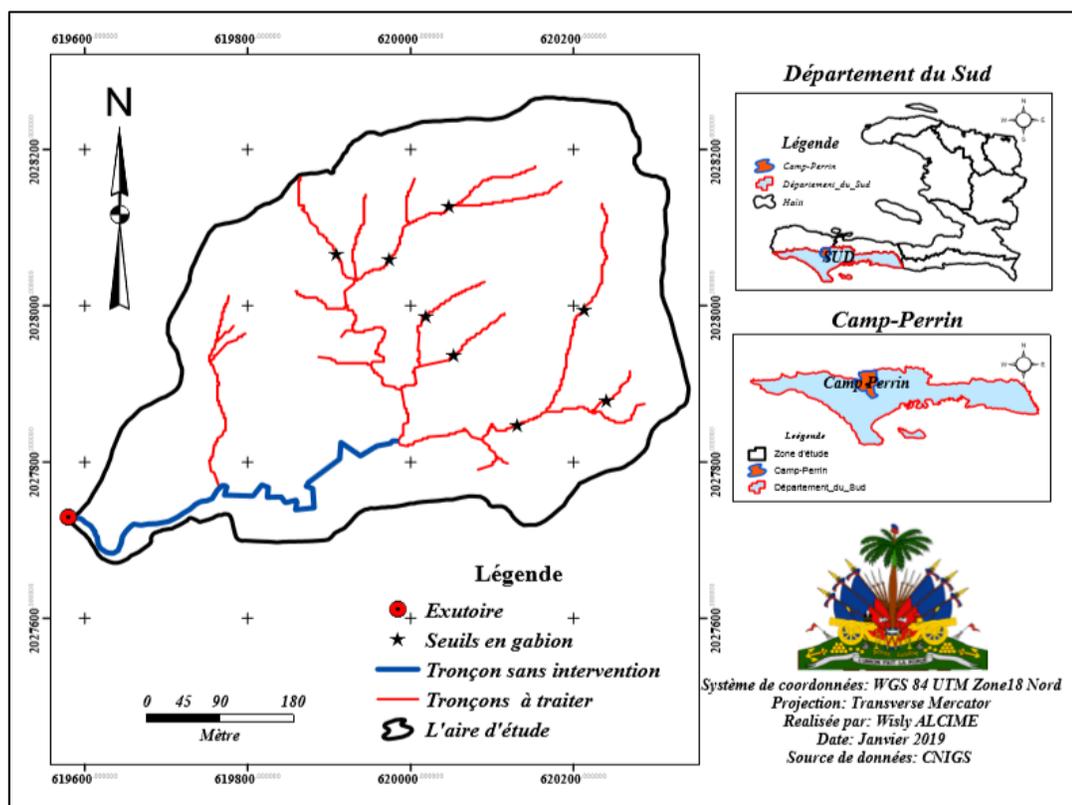
Explications	Équations
K : Indice de la couverture végétale	$K = \frac{\text{Surface de la couverture végétale}}{\text{Surface totale du MBVT}}$
t : Taux d'imperméabilité	$t = \frac{\text{Surface occupée par les habitats}}{\text{Surface totale du MBVT}}$

Source : CIAT (2011).

Annexe 7: Carte de zone d'intervention et zone de non intervention



Annexe 8: Cartes des vecteurs à traiter



Annexe 9: Coordonnées géographiques de la délimitation du MBVT

Code GPS	Coordonnées X	Coordonnées Y
211	619593	2027714
212	619602	2027702
213	619614	2027687
214	619624	2027689
215	619623	2027676
216	619627	2027674
217	619631	2027672
218	619640	2027671
219	619656	2027680
220	619679	2027694
221	619695	2027713
222	619707	2027715
223	619727	2027727
224	619764	2027733
225	619779	2027730
226	619782	2027725

227	619796	2027700
228	619838	2027696
229	619907	2027710
230	619951	2027741
231	620095	2027755
232	620097	2027743
233	620116	2027741
234	620127	2027728
235	620206	2027772
236	620237	2027800
237	620239	2027792
238	620255	2027791
239	620279	2027807
240	620304	2027849
241	620321	2027861
242	620330	2027871
243	620319	2027909
244	620312	2027899
245	620296	2027939
246	620293	2027970
247	620288	2027986
248	620305	2028000
249	620297	2028008
250	620297	2028017
251	620299	2028026
252	620308	2028076
253	620308	2028103
254	620300	2028116
255	620297	2028136
256	620275	2028189
257	620226	2028261
258	620202	2028287
259	620180	2028341
260	620146	2028263
261	620123	2028244
262	619997	2028227
263	619973	2028223
264	619965	2028221
265	619963	2028219
266	619947	2028221
267	619923	2028203

268	619904	2028174
269	619904	2028169
270	619897	2028171
271	619877	2028185
272	619860	2028163
273	619851	2028154
274	619841	2028139
275	619831	2028126
276	619850	2028077
277	619851	2028058
278	619837	2028031
279	619832	2028019
280	619838	2028006
281	619843	2028013
282	619872	2028011
283	619894	2028004
284	619908	2028000
285	619922	2027968
286	619915	2027964
287	619936	2027926
288	619933	2027926
289	619923	2027925
290	619902	2027931
291	619887	2027935
292	619862	2027933
293	619870	2027907
294	619842	2027828

Annexe 10: Coordonnées géographiques des ravines

Code GPS	Y_projection	X_projection
704	2027717	619588.9
705	2027714	619616.3
706	2027710	619620
707	2027700	619619.1
709	2027688	619627.1
708	2027691	619619.1
710	2027685	619629.8
712	2027713	619655.9
711	2027690	619638.5
713	2027717	619677.5

715	2027721	619703.6
714	2027721	619688.1
716	2027728	619715.1
717	2027739	619725.8
718	2027747	619728.1
719	2027752	619735.3
721	2027750	619744.2
722	2027750	619750.1
720	2027753	619739
723	2027770	619769
726	2027758	619771.7
725	2027768	619774.7
724	2027770	619773.2
727	2027756	619806.7
729	2027768	619825.3
728	2027771	619817.2
730	2027755	619824.2
733	2027748	619847
732	2027749	619845.7
735	2027749	619860.1
734	2027751	619859.2
736	2027739	619858.9
731	2027755	619841.5
741	2027804	619912.9
742	2027825	619914.7
740	2027774	619874.5
739	2027769	619872.2
738	2027766	619880.1
745	2027824	619974.7
737	2027741	619881.7
743	2027808	619938.4
744	2027821	619958.7
746	2027827	619977.5
747	2027827	619982.7