



HAL
open science

Etude de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, en milieu rural: cas de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé (sud du Congo)

Idriss Auguste Williams M'bouka Milandou

► To cite this version:

Idriss Auguste Williams M'bouka Milandou. Etude de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, en milieu rural: cas de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé (sud du Congo). Géomorphologie. Université Marien N'Gouabi (Congo), 2019. Français. NNT: . tel-03313152

HAL Id: tel-03313152

<https://hal.science/tel-03313152>

Submitted on 3 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright



UNIVERSITE MARIEN NGOUABI
FACULTE DES LETTRES, ARTS ET SCIENCES HUMAINES
(FLASH)
FORMATION DOCTORALE DE GÉOGRAPHIE



Année : 2018-2019

N° d'ordre : _____

THÈSE

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT

Domaine : Géographie
Formation Doctorale : Géographie
Option : Géographie physique
Spécialité : Géomorphologie dynamique

Présentée et soutenue publiquement

par:

Idriss Auguste Williams M'BOUKA MILANDOU

le 08 juin 2019

Titulaire du DEA de Géomorphologie

le 14 février 2013

**ETUDE DE LA DÉGRADATION DES ROUTES EN TERRE,
PAR L'ÉROSION HYDRIQUE, EN MILIEU RURAL :
CAS DE LA SOUS-PRÉFECTURE DE GOMA TSÉ-TSÉ
(SUD DU CONGO)**

Sous la direction de

Ibrahim BOUZOU MOUSSA

Professeur Titulaire des Universités (CAMES), Université Abdou Moumouni (Niger)

Marie Joseph SAMBA KIMBATA

Professeur Titulaire des Universités (CAMES), Université Marien Ngouabi (Congo)

JURY

Présidente : Yolande BERTON - OFOUEME, Professeur Titulaire (CAMES), UMNG, Congo
Rapporteurs : Michel BOKO, Professeur Titulaire (CAMES), Université d'Abomey – Calavi, Bénin

Florent BOUDZOU MOU, Maître de Conférences (CAMES), UMNG, Congo

Examineur : Léonard SITOU, Maître de Conférences (CAMES), UMNG, Congo

Directeurs de thèse : Ibrahim BOUZOU MOUSSA, Professeur Titulaire (CAMES), Université Abdou Moumouni, Niger
Marie Joseph SAMBA KIMBATA, Professeur Titulaire (CAMES), UMNG, Congo

SOMMAIRE

FICHE PRESENTATIVE DE LA THESE.....	4
DEDICACE.....	6
REMERCIEMENTS	7
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	9
RESUME.....	10
INTRODUCTION.....	12
PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE, METHODOLOGIE ET CADRE GENERAL DE L'ETUDE.....	14
CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET CONTEXTE DE L'ETUDE.....	15
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE, OUTILS DE TRAVAIL ET DIFFICULTES RENCONTREES	37
CHAPITRE 3 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE, DU RESEAU ROUTIER ET DES ROUTES CHOISIES COMME MATERIEL D'ETUDE	67
Conclusion partielle.....	107
DEUXIEME PARTIE : PRÉSENTATION DES RESULTATS	110
CHAPITRE 4 : TYPOLOGIE ET BILAN QUNATITATIF DE LA DEGRADATION ROUTIERE ET SES CONSEQUENCES DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE	111
CHAPITRE 5 : FACTEURS EXPLICATIFS DE LA DEGRADATION DES PISTES EN TERRE DANS LA SOUS- PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE.....	167
Conclusion partielle.....	263
TROISIEME PARTIE : DISCUSSION DES RESULTATS ET PROPOSITION DES SOLUTIONS DE REMEDATION A LA DEGRADATION DES ROUTES DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE.....	266
CHAPITRE 6 : DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS	267
CHAPITRE 7 : PROPOSITIONS DES SOLUTIONS DE REMEDIATION A LA DEGRADATION DES ROUTES EN TERRE DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE	283
CHAPITRE 8 : PLAN DE GESTION DURABLE DES PISTES EN TERRE DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE	303
Conclusion partielle.....	330
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	332
BIBLIOGRAPHIE	337
SITES WEB CONSULTES	356
LISTE DES FIGURES	358
LISTE DES TABLEAUX	361
LISTE DES PLANCHES DE PHOTOS	363
LISTE DES PHOTOS ISOLEES	364
LISTE DES IMAGES SATELITALES	365
ANNEXES	366
TABLE DES MATIERES.....	379

FICHE PRESENTATIVE DE LA THESE

Nom et Prénoms de l'auteur

M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams

Intitulé du travail :

Etude de la dégradation des routes en terre par l'érosion hydrique, en milieu rural : cas de la sous-préfecture de Goma tsétsé (Sud du Congo)

Encadrants :

Nom, prénoms et grade :

SAMBA KIMBATA Marie Joseph, Climatologue, Professeur Titulaire du CAMES

Laboratoire et institution : Laboratoire de Géographie physique, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université Marien Ngouabi (Congo)

Nom, prénoms et grade :

BOUZOU MOUSSA Ibrahim, Géomorphologue, Professeur Titulaire du CAMES

Laboratoire et institution : Laboratoire d'études et de recherches sur les territoires Sahélo-sahariens (LERTESS): Aménagement-Développement, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger)

Lieux de réalisation :

Laboratoire de Géographie physique, département de géographie de l'Université Marien Ngouabi au Congo.

Période de réalisation du travail: Octobre 2013 – Décembre 2016

CADRE DE COOPERATION OU SOUTIEN

- Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC), Ambassade de France (Congo);
- Faculté de Géographie et d'Aménagement (FGE), Université de Strasbourg (France) ;
- Laboratoire d'analyse des sols de la société des BTP Andrade Gutierrez (Congo) ;
- Laboratoire d'études et de recherches sur les territoires sahélo-sahariens(LERTESS): Aménagement-Développement, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger)
- Bureau de la sous-préfecture de Goma tsétsé (Congo)

Les résultats obtenus au cours de ce travail de thèse ont fait l'objet de 4 publications et 1 autre est en cours.

Articles publiés

M'BOUKA MILANDOU I ; SITOU L., SAMBA-KIMBATA M.J., (2016) : *Evaluation du ravinement sur la route de Linzolo, dans la sous-préfecture de Goma tsétsé (Congo) entre les périodes 2008-2009/2014-2015. Revue Ivoirienne des Sciences & technologie (Revist), 28 (2016) 349-366. ISSN 1813-3290.*

M'BOUKA MILANDOU I ; SITOU L., BOUZOU MOUSSA I. (2016) : *Analyse de l'érodibilité des sols dans la sous-préfecture de Goma tsétsé (République du Congo). Revue semestrielle de l'Université de Zinder : Territoires, Sociétés et Environnement, N°07 juin 2016, ISSN : 1859-5103, juin. pp.43-58.*

SITOU L. et M'BOUKA MILANDOU I. (2017) : *Etude de surcreusement des pistes rurales ou forestières, sur le plateau des Cataractes: cas des Routes Koubola - Kibossi et Koubola – Bissinza (République du Congo). European Scientific Journal, July 2017 Edition, Vol.13, No.21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.*

M'BOUKA MILANDOU I. & SITOU L. (2017) : *Degradation of Loumou Track through Ruts In Brazzaville Western Periphery: Forms Characterization, Traffic And Rainfall Aggressiveness Analysis (Republic Of Congo). International Journal of Basic Sciences & Applied Research. Vol. 6 (4), 291-302, 2017. Available online at <http://www.isicenter.org> . ISSN 2147-3749 ©2017*

Articles en cours

M'BOUKA MILANDOU I. & SITOU L., Amélioration et proposition des méthodes de lutte anti érosives et de gestion efficace des pistes rurales dans la sous-préfecture de Goma tsétsé au sud du Congo : *Application de l'approche HIMO par la mobilisation communautaire.* Contribution à paraître dans un ouvrage collectif, 2017-2018, Volume 2 «**Développement local en Afrique subsaharienne : Une compréhension à travers des études de cas** ». Revue Canadienne de Géographie Tropicale- Canadian Journal of Tropical Geography. RCGT (En ligne) / CJTG (Online) ISSN : 2292-4108. <http://laurentienne.ca/rcgt>.

DÉDICACE

A la mémoire de mes défunts parents :

Martine NSALA
et
Grégoire Williams M'BOUKA

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu être entrepris et mené au laboratoire de géographie physique de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université Marien Ngouabi, avec l'aide de la Coopération Française et grâce à l'encadrement des professeurs et des techniciens qui m'ont accompagné

J'adresse mes sincères remerciements :

aux Eminents professeurs du CAMES, Marie Joseph SAMBA KIMBATA et Ibrahim BOUZOU MOUSSA, pour leur encadrement scientifique et l'aide qu'ils m'ont apportée tout au long des quatre années de ce travail. Leur confiance envers ma modeste personne, m'a fortifié pour conduire à terme cette thèse ;

à l'Eminente professeure du CAMES, Yolande BERTON OFOUEME, Coordinatrice de la formation doctorale de géographie, qui m'a aidé à reformuler mon sujet de recherche dès ma première année d'inscription en thèse, tout en acceptant de présider le jury de cette thèse. Ses orientations et son assistance multiforme ont facilité la bonne conduite et la finalisation de cette thèse;

à l'Eminent professeur des Universités Françaises, Anne-Véronique AUZET, qui a pesé de ses relations auprès de l'Ambassade de France au Congo, pour l'obtention de la bourse de mobilité entre la Congo et la France pour une mise à niveau en SIG et télédétection et d'avoir accepté de nous accueillir au Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg (LhyGes) de l'Université de Strasbourg pour enrichir la bibliographie et améliorer la méthodologie utilisée dans ce travail. Ses orientations et ses conseils scientifiques m'ont permis de rehausser mon niveau de connaissance en géomorphologie ;

au Docteur, Maître-assistant du CAMES, Léonard SITOU, pour sa formation "continue" en géomorphologie dynamique, depuis la Licence, la Maîtrise et le DEA. Ses conseils et ses orientations scientifiques, ainsi que ses multiples accompagnements sur le terrain ont contribué à l'amélioration de la rédaction de cette thèse. De même ses aides multiformes et ses encouragements, m'ont beaucoup aidé à boucler enfin ce troisième cycle ;

au Gouvernement français (Ministère des affaires étrangères) à travers le Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) et le Campus France Congo, pour la bourse de mobilité de recherche qui m'a permis d'enrichir ma bibliographie, de mieux formuler la méthodologie de recherche et de me former en SIG, à la Faculté de Géographie et d'Aménagement de l'Université de Strasbourg en France ;

au terme de cette étude, nous remercions très chaleureusement les Eminents professeurs du CAMES Michel BOKO (Université d'Abomey Calavi, Bénin) et Florent BOUDZOU MOU (Université Marien Ngouabi, Congo), qui malgré leurs occupations, ont accepté d'être rapporteur interne et externe de mon travail.

Nous remercions également l'Eminent professeur du CAMES Bonaventure MENGHO (Université Marien Ngouabi, Congo), pour ses sages conseils et ses encouragements envers les jeunes chercheurs que nous sommes, dans la réalisation des travaux de recherche axés sur «la géographie congolaise » pour le bien du développement du Congo, l'Eminent professeur Dominique SCHWARTZ (Université de Strasbourg, France), pour ses orientations scientifiques pertinentes sur l'étude de l'érosion des routes rurales et forestières, Madame Françoise TRAUTMANN, responsable du laboratoire des sols de la Faculté de Géographie et d'Aménagement de l'Université de Strasbourg, pour ses conseils et ses orientations scientifiques dans l'échantillonnage et le traitement des sols au laboratoire et à tous les enseignants du département de géographie (actifs et retraités) pour leurs formations en géographie et leurs divers conseils.

Merci à mes enfants, Assael Rissy Warren M'BOUKA et Maïlys Divinah Winie M'BOUKA, à ma fiancée Benedie Djim MBOU MAMOUNA, à mon frère Israel M'BOUKA ainsi qu'à mes sœurs Aubierge, Maryum, Diane et Juanitah M'BOUKA, qui ont toujours été à mes côtés pour m'apporter leur affection et leur contribution multiforme.

Merci à tous mes collègues de travail de la Société Internationale de Linguistique au Congo qui, de près ou de loin, m'ont apporté un soutien multiforme nécessaire à la réalisation de ce travail.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

AFD : Agence Française de Développement
AGECO : Association des Géographes du Congo
AIPRC : Association Mondiale de la route
ANAC: Agence Nationale pour l'Aviation Civile (République du Congo)
BMP: Best Management Practices (Bonnes pratiques de gestion)
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CAMES: Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur
CEDEAO : Communauté Economique et Douanière des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CEE : Communauté Economique Européenne
CEMAC : Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale
CERGEC: Centre de Recherche Géographique et de Production Cartographique
CMR : Congrès Mondial de la Route
CRBC : China Road and Bridge Corporation
DEA : Diplôme d'Etudes Approfondies
DGT : Direction Générale du Trésor (République du Congo)
EPNAC : Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture
IDA : Association Internationale de Développement
IFEN : Institut Français de l'Environnement
IGN : Institut Géographique National (France)
INADES: Institut Africain pour le Développement Economique et Social
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
IPS : International Foundation for Science
IRGM : Institut de Recherches Géologiques et Minières
MAPM : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (Maroc)
MEDDTL : Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (français)
NSW Government : New South Wales Government (Gouvernement de la Nouvelle-Galles-Sud)
ONG : Organisation Non Gouvernementale
ORSTOM: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PDARP : Projet de Développement Agricole et de Réhabilitation des Pistes Rurales
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
PVD : Pays en voie de Développement
RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat (Congo)
RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation
S.A. : Sans Année
USAID: United State Aid
USDA: United State Department of Agriculture (USA)
UTM : Universal Transverse Mercator

Résumé

Depuis plus de deux décennies, le réseau routier de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé, dans le département du Pool au sud du Congo, est sévèrement affecté par une intense érosion hydrique dont l'étude des principaux processus et facteurs a été l'objectif principal de ce travail. Trois types d'opérations complémentaires combinant des approches qualitatives et quantitatives ont été menés pour atteindre cet objectif. Il s'agit de la collecte, du traitement et de l'analyse des données sur ce phénomène. La collecte des données qualitatives et quantitatives a été menée à la fois à travers les documents et sur le terrain où le travail a porté sur les observations, les enquêtes sociales, la quantification du phénomène, l'analyse de plusieurs variables considérées comme facteurs déterminants. Le traitement des données a été réalisé au laboratoire et au bureau. Ainsi, près de 93 % de routes de la zone d'étude sont en terre et les dégradations affectent d'abord les surfaces de roulement à partir de plusieurs formes mineures qui évoluent en ravinements longitudinaux et transversaux à la route. La densité moyenne de ravinement par kilomètre de route est d'un peu plus de 14 %. Les ravinements ont occasionné au total près de 98 750,32 tonnes de matériaux perdus. Ces dégradations sont causées à la fois par des facteurs humains dont les principaux sont les imperfections d'aménagement de route en terre, le manque de maîtrise de drainage des eaux de pluie sur les chaussées, la défaillance des méthodes de lutte antiérosive, le manque d'entretien des pistes, l'agressivité du trafic et l'occupation du sol, et des facteurs physiques dominés par une forte agressivité des pluies attestée par l'indice d'érosivité (R) estimés à 7 756,55 MJ.mm/ha.h.an, pour un volume moyen des précipitations annuelles de 1 466,85 mm entre 2005 et 2014, par l'érodibilité des sols autour des pistes, dont les indices (K) sont compris entre 0,10 et 0,45 t.ha.h/ha.MJ.mm, par un relief accidenté avec des pentes qui varient de 5 à plus de 25%. La solution à cet épineux problème réside dans la mise en place d'un plan de gestion des pistes rurales basé sur le système HIMO permettant de mobiliser et d'impliquer la main d'œuvre locale dans l'entretien et la protection du réseau routier. L'application de ce plan devrait intégrer la sensibilisation et l'initiation des populations aux techniques de maintenance et d'entretien de la chaussée et aux méthodes mécaniques et biologiques de traitement des ravines, avant que celles-ci ne puissent évoluer en ravins susceptibles de rétrécir ou de couper les pistes. Il est également prévu la gestion du trafic par les bureaux de contrôle et d'entretien des routes (BCER) dans le but de collecter les taxes d'utilisation des pistes (TUP) qui serviront de fonds nécessaire pour exécuter les travaux d'entretien et de protection des routes en terre de la zone d'étude.

Mots clés : Congo, sous-préfecture de Goma tsé-tsé, route en terre, dégradation, érosion hydrique.

Abstract

Since two decades, the Sub-prefecture of Goma tsé-tsé road network in Pool Department of southern Congo, is severely affected by intense water erosion, the study of the main processes and factors was the main objective of this work. Three types of complementary operations combining qualitative and quantitative approaches were conducted to achieve this objective. This is the collection, processing and data analysis about this phenomenon. The qualitative and quantitative data collection was conducted both through documents and in the field where the work focused on observations, social surveys, phenomenon quantification, several variables analysis considered as determining factors. Data processing was done in the laboratory and at the office. Thus, nearly 93% of roads in the study area are in the ground and degradations first affect the running surfaces from several minor forms that evolve in longitudinal and transverse gullies on the road. The average gully density per kilometer of road is just over 14%. The gullies resulted in a total of 98,750.32 tonnes of lost material,. These degradations are caused by both human factors, the main ones are the imperfections of road construction in the earth, the lack of control of rainwater drainage on roads, the erosion control methods failure, the lack of runway maintenance, traffic aggression and land use, and physical factors dominated by heavy rain aggression as evidenced by erosivity index (R) estimated at 7 756.55 MJ.mm/ha.h.year, for an average annual rainfall of 1,466.85 mm between 2005 to 2014, by soils erodibility around the slopes, whose erodibility index (K) are between 0,10 and 0,45 t.ha.h / ha.MJ.mm, by a rugged relief with slopes which vary from 5 to more than 25%. This thorny problem solution lies in the rural roads implementation management plan based on the HIMO system to mobilize and involve the local workforce in the road network maintenance and protection. This plan implementation should integrate the populations sensitization and initiation to the maintenance technics of pavement and mechanical and biological methods of gullies treatment, before they can evolve into gullies that may shrink or cut tracks. It is also planned traffic management by roads control and maintenance (RCM) in order to collect the tracks user fees (TUF) which will be used as funds necessary to carry out maintenance works and protection of study area.

Keywords: Congo, sub-prefecture of Goma tse-tse, road, degradation, water erosion, erodibility, erosivity

INTRODUCTION

La circulation des hommes et des biens constitue l'un des facteurs primordiaux de développement socio-économique aussi bien à l'échelle mondiale qu'au niveau de chaque pays. C'est pourquoi, presque chaque jour, dans le monde, des centaines d'équipements en infrastructures de communication sont aménagés pour faciliter la mobilité des personnes et de leurs biens. Parmi ces infrastructures figure en bonne place la *route*.

Aménagée au niveau du sol, pour permettre la circulation des véhicules et des personnes, la route présente le type d'infrastructure de communication le plus étendu dans le monde. En 2002, le réseau routier totalisait près de 32 millions de kilomètres dans le monde (B.D. Taylor & R. Goldingay, 2010, p321; E. Bochet, P. Garcia-Fayos & J. Tormo, 2010, p 18). Ce chiffre, qui aujourd'hui, est sans doute en hausse, ne cessera de croître dans le temps et dans l'espace en fonction de l'évolution de la population mondiale, car plus la population de la planète augmente, plus les besoins en espace et évidemment en routes augmentent également.

On comprend pourquoi les infrastructures de communication en général et la route en particulier constituent une préoccupation à l'échelle planétaire. Le CMR qui s'est tenu à Durban (Afrique du Sud) en 2003, a lancé un slogan qui stipule que « *La route du développement passe par le développement de la route* ». Les économistes, les sociologues, les géographes et d'autres chercheurs, acteurs de développement comme D. Wilkie *&al.*, 2000, A. E. Lugo & H. Gucinski, 2000, J. Fedderke *&al.*, 2005, M. Demir, 2007 cités par K.E. Seutloali, 2014, p 2 et S. Burningham & N. Stankevich, 2005, p 1, s'accordent pour dire que la route constitue un facteur de développement et de croissance économiques, en améliorant la qualité de vie des populations.

Cependant, pour qu'elle soit effectivement au service du développement durable, la route doit être elle-même durable et par conséquent bien construite et bien entretenue. C'est pourquoi la route constitue un sujet d'actualité sur lequel de nombreuses études sont consacrées.

En effet, en raison de la place qu'elle occupe dans le développement socio-économique des pays, la route fait l'objet de nombreuses recherches aussi bien sur les types que sur les caractéristiques techniques de sa construction. Les conditions et les facteurs de la durabilité des routes font également l'objet de plusieurs investigations. Dans le domaine des Travaux Publics il existe toute une branche consacrée à l'étude et la construction des routes.

Aujourd'hui, à cause de la dégradation parfois rapide des routes liée non seulement aux imperfections de construction mais aussi et surtout à l'agressivité des paramètres naturels surtout climatiques, il se développe en géomorphologie, une recherche sur les mécanismes et les facteurs de cette dégradation. Bien que récente, cette investigation est relativement avancée dans les pays anglo-saxons. Malheureusement elle demeure encore timide dans les pays en développement, surtout en zone francophone.

Pourtant, pour des raisons liées au coût d'investissement, dans ces pays, certains types de routes comme les pistes rurales, sont aménagées directement sur la roche en place. Ce type d'infrastructure qui, dans l'ensemble, présente une grande vulnérabilité, possède le réseau le plus étendue dans ces pays. Au Congo, par exemple, sur un total de 17 289 km de routes (www.bkconseil.com), près de 7 000 km soit un peu plus de 40% étaient des routes en terre jusqu'en 2012 (D.G.T Congo, 2012, p 1). Ce réseau routier subit aujourd'hui une dégradation très poussée. Ainsi, dans ces conditions, l'entretien des routes en général et des pistes rurales en particulier, constitue un défi auquel doit faire face la plupart des pays en développement. Cela est d'autant vrai que plusieurs de ces pays sont situés dans la zone tropicale où la chaleur et l'humidité se combinent pour rendre le climat très agressif et favorable à la dégradation des pistes.

Etudier la dégradation des routes en milieu tropical permet donc de contribuer non seulement à approfondir la connaissance de ce phénomène préoccupant mais aussi à la résolution de l'un des problèmes socio-économiques qui se posent dans les communautés rurales congolaises. La présente étude qui se veut à la fois fondamentale et appliquée s'intéresse à la dégradation des pistes rurales dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé à l'ouest de Brazzaville. Elle est subdivisée en trois parties principales :

- la première est consacrée au cadre théorique, à la méthodologie et au cadre général de l'étude ;
- la seconde partie présente les principaux résultats obtenus;
- la troisième et dernière partie traite de la discussion des résultats obtenus et des mesures à mettre en œuvre pour résoudre ce problème.

La conclusion générale fait la synthèse des différents résultats obtenus à l'issue de cette étude. Elle est complétée par des perspectives de recherches, dont la mise en œuvre pourrait enrichir la problématique de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, en milieu rurale au Congo.



PREMIERE PARTIE : **CADRE THEORIQUE, METHODOLOGIE ET CADRE GENERAL DE L'ETUDE**

Cette première partie est constituée de trois chapitres : le premier est consacré au cadre théorique de cette étude, le second décrit les différentes méthodes et les outils utilisés dans ce travail ainsi que les difficultés rencontrées, enfin le troisième chapitre présente le cadre physique et humain de la zone d'étude, son réseau routier et les routes choisies comme matériel d'étude.

CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET CONTEXTE DE L'ETUDE

Ce chapitre présente le cadre théorique et contextuel de l'étude en 5 sous-titres. Il s'agit de l'état de la question, de la clarification des concepts clés, de la problématique, du contexte et de la justification de l'étude, des questions de recherche, de l'orientation de l'étude ainsi que du choix de la démarche.

1.1. Etat de la question

C'est une revue de la littérature et des travaux consacrés à cette problématique de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, en milieu rural. A cet effet, trois (3) sous-thèmes ont été retenus pour cerner cette problématique. Il s'agit de la route et du développement socio-économique dans le monde, de l'érosion hydrique et la dégradation des routes en terre et enfin de la protection et de la conservation des routes en milieu rurale.

1.1.1. Route et développement socio-économique

Ce point a été traité en deux volets. Le premier présente quelques travaux traitant de l'importance de la route dans le développement d'un pays et le second analyse les études portant sur l'importance des routes en terre, dans le développement socio-économique des communautés rurales.

- Route et développement d'un pays

De toutes les infrastructures de communication, la route « terrestre » suscite le plus grand intérêt dans le monde. Chaque jour, des centaines de kilomètres de routes sont aménagés à travers le monde, pour une bonne mobilité des personnes et de leurs biens. B.D. Taylor & R. Goldingay, 2010, p 324; E. Bochet, P. Garcia-Fayos & J. Tormo, 2010, p 12 ont signifié que *“the surface of the earth is traversed by over 32 million kilometers of roads for the provision of effective transportation of both humans and merchandise”*. A cet effet, plusieurs chercheurs (scientifiques, économistes, sociologues, acteurs ou opérateurs de développement, etc.) établissent une relation entre la route et le développement et ont prouvé que le concept « route-développement » est indissociable du fait que sans les infrastructures de transport terrestre, il est difficile de parler d'un développement socio-économique d'un pays. Certains évoquent même l'impossibilité qu'un pays prenne de l'envol dans sa politique de développement socio-économique, sans l'existence d'un réseau routier performant qui permet de répondre à la demande croissante de mobilité des personnes et d'acheminement des quantités toujours plus importantes de marchandises échangées dans un système économique.

Dans les pays développés, les infrastructures routières ont déjà fait leurs preuves, le développement de ces pays a été boosté par la construction des réseaux routiers performants. La route, quelque soit sa caractéristique (bitumée, latéritique ou en terre), joue un rôle de catalyseur et facilite la réalisation des objectifs plus larges de croissance économique dans un pays ou même d'intégration sous-régionale et continentale. C'est pourquoi, au cours de nos travaux de recherche en DEA en 2013, sur « *l'étude de la dégradation des routes en milieu tropical chaud et humide* », nous avons soutenu cette idée en ces termes « *les routes demeurent jusqu'à nos jours, un facteur prépondérant de développement d'un pays* ».

Cette idée s'appuie sur le slogan du CMR tenu à Durban (Afrique du Sud) en 2003, qui stipule que « *La route du développement passe par le développement de la route* ». De ce slogan plusieurs auteurs et organismes soulignent, d'une façon ou d'une autre que la route demeure le moteur de l'économie d'un pays. Il s'agit entre autres de : D. Wilkie & al., 2000, et J. Fedderke & al., 2005, cités par K.E. Seutloali, 2014, p 1, qui déclarent en ces termes « *Road construction is one of the most important features of economic development worldwide* ». Le MEDDTL français dans son site <http://www.side.developpement-durable.gouv.fr>, a fait savoir dans un rapport d'étude en 2011 que « *les routes ont de tout temps constitué un facteur de développement des sociétés et des individus. Elles sont à la fois le support des échanges économiques et une réponse au besoin de mobilité des hommes* ». S. Burningham & N. Stankevich, 2005, p 1, spécialistes des transports à la Banque Mondiale, soutiennent, dans le « *transport notes* » que « *Les routes et les moyens de transport sont indispensables au développement et à la croissance économiques et procurent des avantages sociaux importants* », quant à A.E. Lugo & H. Gucinski, 2000, M. Demir (2007) cités par K.E. Seutloali, 2014, p 2, soulignent que « *Roads are essential for the development and maintenance of economic activity that is crucial for the quality of modern day life* ». Ce qui signifie que les routes sont essentielles pour le développement et le maintien de l'activité économique qui est crucial pour la qualité de la vie moderne.

De toutes ces analyses sur l'importance des routes dans le développement socio-économique des pays, ainsi que les résultats palpables observés dans les pays développés, plusieurs observateurs ont fait savoir que dans les PVD, quand on parle de la route, facteur de développement, on voit beaucoup plus les routes urbaines et les routes nationales, au détriment des routes rurales ou forestières. Ces dernières ne semblent pas intéresser les décideurs, pourtant elles ont la même importance et le même impact sur le développement d'un pays, qui passe également par le développement des communautés rurales.

- **Route rurale et développement communautaire**

Dans un article paru dans le journal numérique www.togoreforme.com du Togo, les spécialistes du développement notent qu'un réseau routier bien construit et bien entretenu est essentiel à la croissance économique et à la lutte contre la pauvreté dans les pays en développement. A ce propos, ils distinguent trois types de route ayant chacun son importance, il s'agit notamment des:

- routes internationales, qui permettent le développement des échanges commerciaux et la réduction des coûts de transport avec les autres pays ;
- routes urbaines, dont l'importance capitale est de réduire la cherté de la vie et de booster la fluidité des activités économiques ;
- routes rurales, qui désenclavent les zones de production en améliorant l'écoulement des marchandises vers les villes, ce qui réduit les coûts de transport, améliore l'accessibilité aux services de base et l'accès aux marchés des produits agricoles.

En effet, plusieurs travaux ou rapports d'études analysent l'importance socio-économique des routes en milieu rural, dans les PVD en général et dans les pays au sud du Sahara en particulier. Les différents acteurs de développement, notamment les ONG, s'accordent que les routes rurales dans la zone sub-saharienne, ont une même importance socio-économique que d'autres infrastructures routières bien loties (routes bitumées), car elles participent au développement des campagnes et des pays, en luttant contre la pauvreté des populations rurales et l'exode rural.

A cet effet, le Secrétaire Général du Syndicat des Transports de l'Est du Burkina Faso déclarait que « *Les pistes, c'est le nerf de la lutte contre la pauvreté, c'est comme les veines où le sang circule, ça permet aux populations de se déplacer pour diverses activités, de circuler et de vivre* ».

Le MAPM du Maroc, 1998, p 1, dans un rapport d'étude, a estimé que : « *la pauvreté demeure essentiellement un phénomène rural dans la mesure où les deux tiers des pauvres y vivent. Cette précarité est accentuée par le déficit en matière d'infrastructures et de services sociaux de base. C'est pourquoi l'aménagement des pistes constitue un facteur de rémédiation à travers l'amélioration des conditions d'accès aux services et aux équipements en milieu rural (logements convenables, éducation, emplois, santé et assainissement, par exemple)* ».

De même, la transformation structurelle d'une économie de subsistance en une économie de marché dépend des transports (J. Riverson, J. Gaviria & S. Thriscut, 1991, p 11). Dans ce même contexte, la République de Guinée, Direction Nationale du Génie Civil et USAID Conakry, 1991-1996, p 5, dans leur rapport définitif des études menées en Guinée, ont mentionnés quelques impacts des pistes rurales bien entretenues sur les marchés. Il s'agit entre autres: *des facilités d'accès au marché des producteurs ruraux, de l'accroissement de la production et de la productivité agricole, des changements plus ou moins profonds de la vie des populations rurales par une amélioration des conditions socio-économiques internes et de l'augmentation de la capacité à obtenir des contrats et de la disponibilité des crédits pour la réalisation des travaux de construction et d'entretien des pistes par les petits et moyens entrepreneurs privés.*

L'AFD, S.A., p 1 quant à elle, va plus loin dans sa réflexion, en déclarant que les routes ou les pistes rurales sont un élément essentiel de l'aménagement du territoire et aussi d'accompagnement des projets d'investissement. De même, elles dynamisent l'économie locale, car elles sont indispensables pour réduire la pauvreté, favorisent les échanges et la commercialisation des produits et sont aussi un moyen de prévention de l'apparition des conflits. Pour l'IDA, environ un milliard de la population la plus pauvre du monde vit toujours sans accès au réseau routier en milieu rural. Les $\frac{3}{4}$ de cette population vivent en Afrique et en Asie. Pourtant ce dernier œuvre dans le financement de l'aménagement et de la réhabilitation des routes rurales à hauteur d'environ 1 milliard de dollars par an. En plus, des 329 projets de routes rurales (entre 1991 et 2006) financés par l'IDA, 45 % se trouvaient en Afrique subsaharienne, suivis par l'Asie du Sud (16 %) et la région de l'Asie de l'Est et du Pacifique (15 %). Cet organisme n'intervient pas directement dans l'entretien des pistes. Cela émane des gouvernements bénéficiaires des financements routiers en milieu rural. Mais selon P. Pinstrop-Anderson & S. Shimokawa, 2007, p 55, dans la plupart de ces PVD, les gouvernements ne semblent pas donner la priorité à des investissements dans la construction de nouvelles infrastructures ou l'entretien des infrastructures existantes en milieu rural. Malgré les efforts de financement des projets routiers en milieu rural, des agences internationales cités ci-dessus, les fonds ne sont pas bien gérés et les résultats sont mitigés.

En effet, le développement socio-économique ne peut se faire avec des routes dégradées et mal entretenues, car les routes dégradées affectent la mobilité des personnes et des biens, mais causent également des problèmes hydrologiques, géomorphologiques et écologiques, dont le seuil le plus élevé est le ravinement.

Ce dernier causé par l'érosion hydrique, est l'œuvre des facteurs naturels et anthropiques, dont le plus important est la non maîtrise des ruissellements pluviaux sur la chaussée.

1.1.2. Erosion hydrique et dégradation des routes en terre

La problématique de l'érosion hydrique continue de faire l'objet de travaux de recherche dans le monde en général et en Afrique sub-saharienne en particulier. Mais bon nombre de ces travaux sont orientés beaucoup plus sur l'érosion « fine », consacrée à l'impact du phénomène sur les espaces agricoles et dans les centres urbains. Peu de travaux, surtout dans les pays francophones traitent de l'érosion hydrique des routes rurales ou forestières. Dans ces pays, la dégradation des routes est beaucoup plus traitée par les ingénieurs du génie civil, à l'opposé des pays anglophones, lusophones et asiatiques où les chercheurs en science de la terre et de l'environnement sont plus avancés dans cette problématique. Parmi les travaux pertinents analysés, on peut citer quelques uns.

Le rapport de l'AIPCR, 2006, p 2, sur « la dégradation des chaussées non entretenues », à Bamako (Mali). L'auteur définit la dégradation des routes en terre et/ou latéritiques, de trois manières : « *un processus d'usure par lequel la capacité fonctionnelle et structurale d'une chaussée diminue, un passage progressif de l'état acceptable de la route à un état plus mauvais* » sous les effets du trafic, du climat et de l'environnement et un désordre visible à la surface de la chaussée ». A partir de ces définitions, l'auteur présente les différentes formes mineures causées par cette dégradation (les nids-de-poule, les rigoles, les faïençages, etc.), avant de définir les causes de ce phénomène qui ne sont autre que le climat, l'apport de l'homme dans l'utilisation desdites routes en terre (le trafic) et le problème de conception de la chaussée. Les travaux de S. Salim, S.A., p 1, sur « *la perte de matériaux des pistes rurales* », effectués au Maroc, dans la province rurale de *Khémisset* et dans les petites villes de *Settat* et de *Sidi Kacem* rapportent que la perte de matériaux, constitue le facteur fondamental qui influence considérablement la dégradation des pistes rurales des localités citées et qu'il est clair que sa maîtrise améliore beaucoup le système dans sa globalité.

L'auteur soutient que la perte de matériaux n'est pas fonction d'un facteur unique, mais résulte d'un certain nombre de paramètres simultanés. Il s'agit notamment de la chute de pluie, du trafic, de la topographie et de la granulométrie du matériel remanié.

Le « *catalogue des dégradations des routes non revêtues* » conçu par Egisbeceom, 2009, p 7, décrit les différentes dégradations rencontrées sur le réseau routier malien, avec leur classification et leur niveau de gravité.

Ce cabinet soutient « *qu'une route commence à se dégrader dès sa mise en service* » et que les dégradations qui se caractérisent par des désordres divers sur les routes revêtues et les routes non revêtues, ont pour facteurs déterminant le climat, la qualité des sols et des matériaux (remaniés), le type de trafic et son intensité, le dimensionnement du système de drainage.

Les auteurs cités ci-dessus, ont traité les formes de dégradations mineures sur les routes en terre. De l'analyse desdits travaux et de bien d'autres non cités ici, le constat est que tous ces chercheurs s'accordent sur un certain nombre de causes et de facteurs responsables de la dégradation des routes par des formes mineures. Il s'agit entre autres des précipitations, de la qualité des sols et des matériaux, de l'utilisation des routes et de la qualité physique des routes (structures, système de drainage, etc.). Mais si le traitement desdites formes ne se fait pas en urgence ou quotidiennement, elles évoluent souvent en ravinements. Ces dernières sont les plus catastrophiques, du fait qu'elles constituent le seuil le plus élevé de la dégradation de tous les types de routes, en milieu rural ou urbain.

Plusieurs auteurs ont travaillé sur la problématique de l'érosion hydrique des routes dans le monde. Ces derniers s'accordent également sur un certain nombre de causes responsables de ce phénomène qui rend difficile la vie des populations des localités affectées. Il s'agit entre autres des précipitations, de la topographie, du type des sols et des divers aménagements anthropiques mal conçus. L. MacDonald, R. Sampson & D. Anderson, 2000, p 251, dans leur étude intitulée "*Runoff and road erosion at plot and road segment scales, Saint John, US Virgin Islands*", tout en appuyant sur les résultats de leurs propres travaux menés en 1997 à Porto Rico (Etats unis), montrent que l'érosion des routes en terre, est la cause primordiale de la sédimentation des bassins versants et des zones côtières. Ces auteurs ajoutent que: « *runoff from the road surface plots generally occurred when storm precipitation exceeded 6 mm* ». Cela signifie que les ruissellements sont dynamiques sur une route lorsque les précipitations dépassent 6 mm. C'est pour autant dire que, le facteur principal de l'érosion routière en milieu rural ou forestier, est le volume des précipitations.

Mais ce dernier combiné à d'autres caractéristiques pluviométriques, comme l'intensité et la fréquence, président à des ruissellements qui peuvent être diffus ou concentrés à la surface d'une route. Toute fois, les auteurs ont insisté sur le fait que les surfaces de roulement sont des espaces de prédilection des ruissellements qui y découpent et transportent les matériaux dans les bassins versants proches et lointains.

L. Cao, K. Zhang & Y. Liang, 2014, p 9, dans leurs travaux sur “*Factors affecting rill erosion of unpaved Loess roads in China*” ont montré que les surfaces des routes situées sur la ligne de partage des eaux, dans le plateau de Loess en Chine, sont facilement affectées par l'érosion hydrique à cause des activités anthropiques intensives. Les routes en terre dominant le réseau routier dans ce plateau sont victimes de ravinement de près de 49%. Pour ces chercheurs, l'homme et ses activités sont responsables de la prolifération des rigoles qui évoluent en ravines sur ces routes. L'occupation du sol, combinée à la sensibilité des pentes des sections routières, ainsi qu'à la non-maîtrise des ruissellements, sont également responsables de l'érosion ravinante desdites routes.

Selon K.E. Seutloali & H.R. Beckedahl, 2015, p 74 dans leur article “*Understanding the factors influencing rill erosion on roadcuts in the south eastern region of South Africa*”, l'érosion des déblais de routes est une préoccupation majeure, en raison de son potentiel sur la dégradation de l'environnement, avec des coûts économiques significatifs. A cet effet, il est essentiel de comprendre la relation entre les caractéristiques des déblais et l'érosion des sols pour aménager les déblais de routes moins vulnérables à l'érosion et faciliter les travaux de réhabilitation en cas de problème. Cette érosion routière qui débute par des rigoles, est causée par deux facteurs qui sont : les pentes (valeur et longueur) et la faible couverture végétale proche ou le long des routes.

Les travaux de M. Akbarimehr & R. Naghdi, 2012, p 165, intitulées : « *Reducing erosion from forest roads and skid trails by management practices* » en Iran, traitent de l'atténuation de l'érosion hydrique des routes et des pistes de débardage en milieu forestier par un bon management. Pour ces auteurs, l'érosion des routes de débardage est un problème majeur qui mine les forêts aménagées iraniennes et cause des problèmes environnementaux. Ils ont prouvé que c'est le climat, la qualité du sol (nature et densité apparente), le matériel remanié des routes, le trafic, la pente et la couverture végétale le long des routes, qui en sont les causes principales. Un bon management lié à l'entretien quotidien s'impose pour atténuer l'érosion et les dégâts environnementaux.

X. L. Xu, W. Liu, Y.P. Kong & al., 2009, p 499, dans leur article intitulé “*Runoff and water erosion on road side-slopes: Effects of rainfall characteristics and slope length*”, ont montré que l'érosion hydrique sur les pentes latérales des routes, dans le plateau tibétain (Chine), cause souvent des dommages aux remblais routiers où l'aménagement des routes et leur entretien est plus coûteux et difficile. Les préventions des taux d'érosion et le développement des mesures d'assainissement efficaces sont donc importants.

Concernant les causes de cette érosion hydrique, les auteurs ont déclaré en ces termes : « *Water erosion is, however, a complex process influenced by numerous factors such as rainfall intensity (A. Forsyth, K. Bubb&M. Cox, 2006, p 203) and terrain (L. MacDonald, D. Anderson&W.E. Dietrich., 1997, p 851) that complicate the accurate prediction of erosion rates* ». Cela signifie que l'érosion hydrique est un processus complexe, influencé par de nombreux facteurs tels que l'intensité des précipitations et la nature de terrain, qui complique, enfin de compte, la prévision précise des taux d'érosion.

Pour cette hypothèse, les auteurs ont établi des relations entre les caractéristiques des pluies, le ruissellement et la perte des sols, et entre la longueur des pentes, le ruissellement et la perte des sols des routes.

H.A. Katz, J.M. Daniels&S. Ryan, 2013, p 1, ont montré que l'érosion ravinante sur la route partiellement pavé de Pikes Peak Highway dans le Colorado, se manifeste sur les versants des vallées bordières et qu'elle est due à la concentration des eaux de ruissellement, du réaménagement défailant des systèmes de drainage le long de la route, et de l'érodibilité du matériel caractérisé par le granite. Cette érosion cause beaucoup des dégâts sur la qualité des eaux de la zone et la pollution des écosystèmes, par le dépôt des sédiments érodés et transportés par les ruissellements. Pour les auteurs, les ravinements sur les routes partiellement pavées ou non, bordant les vallées, ont pour causes: le ruissellement concentré des eaux générées par la route elle-même et déversées sur les pentes, la défaillance du système de drainage et le caractère érodible des matériaux remaniés.

En définitive, l'analyse des documents sur le ravinement des routes rurales ou forestières a permis de montrer non seulement les dégâts causés par cette érosion, mais également les facteurs y afférents. Parmi les causes naturelles et anthropiques retenus par les auteurs, on peut citer :

- l'agressivité climatique, responsable des ruissellements abondants sur les routes ;
- les valeurs et les longueurs des pentes routières et des pentes latérales bordant les routes ;
- l'érodibilité des sols et du matériel remanié des routes en terre ;
- l'occupation du sol le long des routes (labours, exploitation et destruction de la forêt) ;
- les caractéristiques de la plate-forme et la défaillance des systèmes de drainage des eaux ;
- le manque d'entretien des routes et des systèmes de drainage et l'inadaptation des méthodes anti-érosives.

Les dégâts évoqués par les auteurs sont d'ordre géomorphologique et hydrologique. Mais dans notre contexte, nous nous sommes appuyé sur les conséquences géomorphologiques et celles qui sont liées à la vie socio-économique des populations en milieu rural congolais en général et dans de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier.

Les trois derniers facteurs et causes cités ci-dessus (l'agressivité climatique, la topographie accidentée des sites routiers, la sensibilité des sols autour des pistes, l'occupation du sol le long des pistes, la qualité de la plate-forme et les défaillances du système de drainage des eaux, le manque d'entretien des routes, des systèmes de drainage et l'inadaptation des méthodes anti-érosives) , semblent être les piliers d'une bonne protection des routes en milieu rural ou forestier.

1.1.3. Protection des routes en terre

L'analyse des travaux relatifs à la protection des routes en milieu urbain, rural ou forestier démontre qu'elle dépend de l'aménagement des dispositifs de maîtrise des ruissellements et des travaux d'entretien divers. De ce fait, les chercheurs et les techniciens du génie civil s'accordent sur 3 points primordiaux pour protéger les routes, il s'agit : *d'un bon aménagement de la route et du système de drainage des eaux, en tenant compte des caractéristiques physiques du milieu, de l'entretien quotidien de la route et des systèmes de drainage et du planting ou de la conservation des végétaux sur les rebords des routes et des talus.*

Pour les organismes comme le NSW Government & Office of Environment and Heritage, 2002, p 38, du Canada, deux axes importants sont primordiaux pour réussir la protection efficace d'une route en milieu rural ou forestier. Il s'agit: *du contrôle de l'érosion des sols et des sédiments générés par les pistes et de l'entretien régulier et effectif des routes et des systèmes de drainage des eaux.* Selon ces organismes, cette opération permet de prévenir les érosions et d'éviter des réparations coûteuses sur des sections plus longues des pistes.

Certains auteurs proposent même jusqu'à 3 méthodes de protection routière. C'est le cas des propositions faites sur le site www.blm.gov/bmp, à savoir :

- les méthodes physiques caractérisées, par exemple, par des fossés blindés et par la couverture du sol ;
- Ces derniers permettent de contrôler les sédiments et l'écoulement des eaux, protègent la surface du sol proche des routes contre l'érosion, ou modifient la surface du sol pour la rendre plus résistantes à l'érosion ;

- les méthodes végétatives ou biologiques qui consistent à utiliser les herbes, les broussailles et les arbres le long de la route pour protéger les sols. Ces végétaux naturels contrôlent les ruissellements et permettent l'infiltration ;
- idéalement, la végétation doit être sélectionnée, en cherchant celle qui a une bonne croissance, la rusticité, la densité de couverture du sol et des racines profondes pour la stabilisation des talus ;
- enfin les méthodes biotechniques tels que les piquets et des haies de contour qui offrent une combinaison de structures de végétation pour la protection physique ainsi que le soutien supplémentaire à long terme des talus routiers.

Les deux dernières méthodes évoquées sont appuyées par E. Bochet, P. Garcia-Fayos & J. Tormo, 2005, p 1, dans leurs travaux intitulés "*Plant establishment and soil erosion in road slopes*". Ces auteurs pensent qu'une couverture végétale naturelle ou artificielle dense, peut contrôler ou atténuer l'érosion routière, qui se manifeste au début par les ravinelements latéraux des pentes avoisinant les routes. De même F. Rey & F. Berger, S.A., p 1, affirment que la végétation est un facteur important de maîtrise de l'érosion. Cela va de même pour la protection des routes rurales, sur les bordures, par des végétaux appropriés comme les vétivers, les gazons, les haies vives, etc. M. Rostedt, 2004, p 82, il propose la plantation des Vétivers pour stabiliser les ravins pouvant dégrader les routes.

Toutes ces méthodes d'aménagement anti-érosif, notamment les systèmes de drainage, ainsi que la plantation des végétaux le long des routes, ne peuvent garantir à elles seules, la protection durable des routes, l'entretien s'impose. C'est pourquoi en 2006, dans leur site internet www.haute-garonne.gouv.fr, le Conseil Régional de la Haute Garonne en France, table sur la nécessité d'entretenir les systèmes de drainage et restaurer toutefois les fosses en bordure de route pour permettre un bon drainage des eaux de ruissellement. Ce travail doit se faire de façon quotidienne pendant les saisons pluvieuses. Plusieurs chercheurs et organismes se sont intéressés à cette question.

Dans le site www.helvetas.org, il a été démontré qu'entretenir une route signifie la maintenir en bon état en faisant les travaux de réparation nécessaires. L'entretien routier consiste donc à garder la route dans l'état dans lequel elle a été livrée à la communauté. Il ressort que la bonne gestion de la route l'épargne d'une éventuelle détérioration, tandis que l'entretien la répare lorsqu'elle se dégrade.

De même, dans le site www.capafrica.org/egssaa, il est mentionné que le but principal de l'entretien routier respectueux de l'environnement est de garder la route en état viable d'utilisation tout en minimisant le dommage environnemental. Les bonnes pratiques d'entretien routier permettent de garder la route utilisable et durable. Le travail quotidien d'entretien routier consiste à l'ajustement de la surface routière et des structures de drainage pour contrôler l'écoulement de l'eau par-dessus et le long de la route.

A. Légaré & Associés Inc., 2005, p 13, dans leur étude sur « *l'entretien du réseau routier du Québec, l'exigence de solutions durables* », soutiennent que l'entretien préventif est le meilleur moyen de prévenir la détérioration des chaussées, de prolonger leur vie en service et de maximiser les redevances routiers pour assurer les fonds nécessaires à l'entretien, qui se font de plus en plus rares. Ils ajoutent que les travaux préventifs, de préservation et de remise en état effectués au bon endroit et au bon moment permettent de faire passer la durée de vie utile des routes d'environ 17 à 50 ans.

A cet effet, le site www.villesetcommunes.info, propose deux types d'entretien routier : l'entretien préventif et l'entretien curatif. Le premier est l'ensemble des tâches entreprises pour prévenir les dégradations pouvant apparaître sur la route et ses dépendances et le deuxième, l'entretien curatif, est l'ensemble des opérations à réaliser pour corriger les défauts apparents sur la route et ses dépendances. Ces deux types d'entretien se déclinent en deux catégories : l'entretien courant (normal et spécifique) et l'entretien périodique. Ce dernier englobe des opérations pluriannuelles de maintenance (telles que les renforcements et les revêtements). L'entretien courant consiste en la réalisation, chaque année, des tâches de strict entretien.

S. Burningham & N. Stankevich, 2005, p 2, vont dans le même sens que le site internet cité ci-dessus. Pour eux, trois types d'entretien permettent de protéger la route. Il s'agit de :

- l'entretien courant, qui comprend les travaux de faible ampleur effectués à intervalle constant, et pour objet « d'assurer à court terme la praticabilité et la sécurité quotidiennes des routes existantes et de prévenir leur détérioration prématurée » (AIPCR, 2006, p 15) ;
- l'entretien périodique qui inclut les activités sur un tronçon de route à des intervalles réguliers et relativement longs, dont l'objet est de « préserver l'intégrité structurelle de la route » ;
- l'entretien d'urgence qui concerne les réparations que l'on ne peut anticiper mais qui exigent une intervention immédiate.

Ces auteurs ajoutent que « *reporter à plus tard les travaux d'entretien des routes, entraîne des coûts directs et indirects élevés* ».

B. Rattanatray, 2009, p 1, va plus loin dans cette problématique de protection des routes. Il parle en termes de gestion des pistes rurales, pour globaliser la protection de ces dernières. Dans son étude au Laos (Asie), il a suggéré qu'il est important de recruter des cantonniers, qui seront formés au préalable pour surveiller l'état des pistes et réaliser les petites réparations, tels que combler des nids de poules, curer des caniveaux, déboucher des buses, etc. Chacun d'eux doit gérer un tronçon de route car en saison des pluies les détériorations peuvent être régulières, aussi, la surveillance doit-elle être permanente. Pour ce faire, une compétence à mesurer l'ampleur de la dégradation est nécessaire afin d'alerter les autorités en cas de besoin pour une intervention rapide.

Enfin, au regard de l'analyse de cette documentation non exhaustive, il convient de retenir que quelque soit la qualité de l'aménagement d'une route en milieu rural ou forestier, si les conditions permettant la maîtrise des eaux de ruissellement ne sont pas réunies et que l'entretien n'est pas régulièrement effectué, la route sera toujours vulnérable aux éventuels processus de dégradation, dont les plus dévastateurs sont les ravinements.

1.2. Clarification des concepts clés

la route

Le mot « route » dérive du latin (*uia*) *rupta*, littéralement « voie brisée », c'est-à-dire creusée dans la roche, pour ouvrir le chemin.

Mais dans le sens littéral, elle est une voie terrestre au niveau du sol ou sur viaduc, aménagée pour permettre la circulation des véhicules. Ce terme s'applique plutôt aux voies situées en rase campagne.

L'investigation documentaire que nous avons réalisée dans le cadre du DEA nous a permis de noter que dans les pays vastes et peu peuplés, à la fin du XX^e siècle, de nombreuses routes étaient encore des pistes de cailloux ou de sol damé (I.A.W. M'bouka Milandou, 2013, p 12).

De nos jours, il existe une diversité de routes. Il s'agit des routes bitumées, communément appelées « routes goudronnées », des routes pavées ou dallées, des pistes latéritiques, des pistes en terre etc. Mais en dehors de ces différents types de routes citées ci-dessus, le monde classe les routes par rapport à leurs importances économiques et régionales.

Dans les pays développés, il existe des autoroutes, des boulevards, des routes interurbaines, des routes intercontinentales, des routes frontalières, des routes ou avenues de secours dans les villes, des routes rurales, des routes forestières, des routes de montagne, des routes littorales, etc. Les autoroutes par exemple, relient deux régions ou deux cités urbaines. Elles ont plusieurs voies au sens opposé et disposées les unes à côtés des autres, leurs dimensionnements varient selon les pays. Les routes transfrontalières peuvent avoir les mêmes caractéristiques que les autoroutes, mais elles se distinguent des autoroutes par le fait qu'elles relient deux pays. Les boulevards sont localisés dans les centres urbains et ont aussi plusieurs voies, comme les autoroutes. Leurs largeurs et leurs longueurs varient selon les pays.

Toutes ces routes sont en général bien aménagées et entretenues dans les pays développés. Mais dans les pays en voie de développement, il se pose encore des problèmes d'aménagement et d'entretien routier, dans les cités urbaines et surtout en milieu rural.

La route, quelque soit sa caractéristique (bitumée, pavée, latéritique ou en terre) et le milieu dans lequel elle est aménagée (ville, milieu rural ou forestier) est l'une des infrastructures de communication le plus important dans le monde, qui facilite la mobilité des personnes et des biens. Lorsqu'elle est bien aménagée, protégée et entretenue, elle constitue l'un des facteurs de développement socio-économique d'un milieu (ville, campagne, pays, sous-région ou continent).

les pistes en terre

Les pistes en terre sont des routes où la couche de base est directement utilisée comme couche de roulement sans aucune protection (I. Tockol, 1993, p 13). Cette catégorie de route, qualifiée en général de "routes non revêtues" supporte généralement un trafic assez faible, mais constitue dans de nombreux pays, la plus grande partie du réseau routier qui forme en même temps l'ossature fondamentale pour le développement économique et social (M. Fancha, 1999, p 4).

Dans les PVD en général et au Congo en particulier, elles sont présentes à la campagne et sont appelées "routes rurales" ou « pistes rurales ». Ces infrastructures ne bénéficient que de très peu de travaux d'aménagement et d'entretien. Dans l'ensemble elles n'ont pas de système drainage des eaux. On comprend pourquoi elles se dégradent plus vite que les routes bitumées. En outre, M. Fancha, 1999, p 6, suggère que l'on classifie dans cette même catégorie de route non revêtue, *la route saisonnière et la route élaborée*.

Entre les deux routes, la première, bénéficie de quelques aménagements sur le plan du tracé comme l'indique son nom, elle est saisonnière car, en effet, liée à des activités économiques (généralement agricoles ou forestières). Elle supporte un trafic assez important qui atteint son seuil supérieur pendant les périodes de récolte par exemple. La seconde une chaussée structurée, pouvant être revêtue plus tard. Elle est capable de supporter un trafic relativement important. Dans ce contexte la piste en terre est une route dépourvue de couche de roulement caractérisée de bitume et de système de drainage des eaux pluviales. En dehors de certaines pistes qui bénéficient d'une couche de latérite comme surface de roulement, la plupart de ces infrastructures sont caractérisées essentiellement du matériel remanié issu des sols ou des formations géologiques en place. De ce fait, elles n'ont ni couche de base, ni couche de roulement. Ces deux couches se confondent et ne peuvent supporter de fortes charges automobiles. Elles sont très fragiles lorsqu'elles ne sont pas entretenues.

le PDARP

Le PDARP est un Projet de Développement Agricole et de Réhabilitation des Pistes Rurales au Congo, qui a pour but l'accroissement de la capacité des pauvres en milieu rural à augmenter leurs revenus. En plus d'un financement additionnel de la BM de plus de 5 milliards CFA, ce projet a reçu d'autres dons, tels que celui de l'IDA qui s'élevait à 20 millions de dollars US, afin de réaliser pendant 5 ans, les quatre composantes suivantes : renforcement des capacités du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, réhabilitation de pistes rurales et infrastructures de marchés, le support aux activités productrices et génératrices de revenus en milieu rural et la gestion et la coordination du projet.

Selon nos recherches, le volet le plus important a été la réhabilitation de près de 1 251 kilomètres de pistes ayant désenclavé près de 211 villages dans tout le Congo.

la municipalisation accélérée

C'est un concept mis au point par le gouvernement congolais qui consiste à moderniser tous les départements du pays, de façon rotative, à travers la construction des édifices publics, des infrastructures de base, tels que les hôpitaux, les écoles, les voiries urbaines et les routes départementales et nationales. Chaque département qui bénéficie de ce programme, accueille la célébration de la fête nationale du 15 août, sur l'indépendance du Congo. C'est une bonne politique de développement du pays, malgré quelques ratés surtout en matière de réhabilitation des pistes rurales. Le pool a bénéficié de ce programme en 2012, mais plusieurs voiries urbaines et pistes de certains centres n'ont pas été améliorées.

Celles-ci servent de connexion avec les deux routes nationales (1 et 2) et le CFCO. La Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, qui est notre zone d'étude est dans cette situation, aucune piste n'a été aménagée jusqu'à ce jour et l'érosion hydrique s'aggrave de plus en plus, avec des conséquences que l'on connaît.

l'érosion hydrique

Selon M.C. Girard, C. Walter, J.C. Rémy & *al.*, 2005, p 10, l'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité. Il est à la base des pertes de matériaux et/ou de sol suite aux différents agents bioclimatiques que constituent l'eau, le vent ou encore des organismes vivants (F. Fournier, 1960, p 132). Le processus de genèse et d'évolution s'effectue en trois phases : *le détachement, le transport et la sédimentation des particules déplacées*. L'érosion hydrique est celle dont l'agent principal est l'eau. Selon C. Paul-Hus, 2011, p 10, l'érosion hydrique se manifeste par deux principaux types

le ruissellement

Selon R.E. Horton, 1933, p 338, le ruissellement est la lame d'eau qui échappe à l'infiltration et circule à la surface du sol. Pour J.P. Missié, 1986 cité par B.A. Mayima, 2015, p 35, le ruissellement est le mouvement du surplus d'eau de pluie que le sol n'a pas pu absorber. Le ruissellement résulte entre autres des intensités des pluies, de la nature du sol, de l'imperméabilisation du sol par l'homme. Il est soit diffus c'est-à-dire plus ou moins étalé ou généralisé à la surface du sol, soit concentré le long d'un chenal d'écoulement. Le ruissellement diffus est responsable du décapage superficiel des sols qui déchausse les fondations des bâtiments, les terres arables dans les champs ou les plantations, les bordures des routes, les poteaux électriques, etc. Le ruissellement concentré est responsable du ravinement.

le ravinement

Le ravinement est le processus par lequel le ruissellement creuse des entailles ou des incisions plus ou moins profondes et allongées sur le sol. Il est aussi défini par la FAO, 2007, p 13, comme une dépression profonde, un canal, dont le paysage ressemble à une récente et active extension naturelle du système de drainage. Le ravinement constitue donc à la fois l'un des processus et l'une des conséquences de l'érosion hydrique. C'est un processus qui n'agit pas de manière uniforme à la surface de la terre (B.A. Mayima, 2015, p 151).

les surcreusements

Les surcreusements sont des ravinements rares, observés le long des routes en terre dans plusieurs départements au Congo. Selon L. Sitou & I.A.W. M'bouka Milandou, 2017, p 124, le surcreusement est une transformation progressive de la route en une tranchée plus ou moins profonde et longue ayant des parois tantôt abruptes, tantôt inclinées. Ils résultent du mauvais traitement des ornières laissées sur la route par les véhicules. La sensibilité du matériel remanié de la surface de roulement, d'une part et les ruissellements concentrés, d'autre part sont les principaux éléments qui favorisent ce phénomène. Les surcreusements se produisent beaucoup plus sur les routes d'interfluve dont la nature des sols est argilo-sableux, sablo-argileux ou argileux.

les formes mineures

C'est un concept que nous avons adopté au cours de nos travaux de DEA. Ce concept regroupe toutes les petites formes de dégradation qui affectent les routes et dont la profondeur est inférieure ou égale à 50 cm. Il s'agit principalement des têtes de chats, des traverses, des nids-de-poule, des faïençages, des ornières, des rigoles, des bourbiers et des pertes de matériaux. Les formes mineures sont souvent temporaires, mais constituent parfois le point de départ des ravinements. Elles résultent de plusieurs processus et ont été largement décrites et quantifiées par Egisbeceom, 2009, p 7, R. Tabbouchy, S.A., p 1, les a également décrites.

la dynamique actuelle

Selon le dictionnaire Larousse 2005, le mot « *dynamique* » est relatif aux forces et aux mouvements qu'elles engendrent. Dans notre contexte, ce mot est associé à l'érosion hydrique plus ou moins récente, dont les formes évoluent et dégradent les routes en terre, contrairement aux formes d'érosion figées comme les cirques anciens.

1.3. Contexte et justification de l'étude

Dans le monde, la route est l'un des principaux facteurs de développement socio-économique des pays, des sous-régions et même des continents. Un réseau routier bien aménagé, favorise la mobilité des personnes et des biens d'un lieu à un autre. Les pays européens, les Etats Unis et quelques pays émergents (Singapour, Brésil, Inde, Afrique du Sud, etc.) ont mis un accent particulier sur le développement de leur réseau routier et les résultats de leur développement socio-économique ne sont plus à démontrer.

Cette politique est en adéquation avec le slogan de la Conférence Mondiale de la Route, tenue en 2003 à Durban (Afrique du sud), à savoir « *la route du développement, passe par le développement des routes* » (CMR, 2003, p 1). En dépit de l'interpellation de ce slogan, les pays en voie de développement, surtout ceux de l'Afrique au sud du Sahara, accusent un grand retard dans ce domaine.

A cet effet, de nombreux acteurs de développement estiment que la construction des routes modernes en Afrique devient cruciale, car ce continent est encore en retard par rapport à d'autres parties du monde. C'est pourquoi il est facile de constater que, de nos jours, les pays africains élaborent pour certains et réalisent pour d'autres des projets d'infrastructures routières de grande envergure, dans leurs programmes de développement. Certains projets routiers sont nationaux, comme au Congo avec la connexion de Pointe-Noire à Ouesso, deux points extrêmes du pays reliés par deux routes nationales (RN1 et RN2), d'autres projets d'envergure sont à vocation « inter-état, sous-régionale et même continentale ».

Mais, si les efforts sont consentis dans le développement des infrastructures routières, on se rend compte que c'est souvent au détriment de l'entretien que celui-ci se fait. Les routes même nouvellement construites ne sont pas entretenues après leur livraison aux usagers. Cette situation est observée dans beaucoup de pays africains.

Le manque d'entretien des routes, quelque soit leurs caractéristiques (bitumées, latéritique, en terre, etc.) les exposent aux diverses formes de dégradations, qui les fragilisent par la perte de leur qualité et donc de la réduction de leur durée de vie.

Il est connu que la mauvaise qualité des routes, quelque soit le milieu (urbain ou rural) a des impacts socio-économiques directes sur la vie des populations et donc d'un pays, il s'agit notamment : des difficultés de mobilité des personnes pour accéder aux services de base (écoles, hôpitaux, lieux de travail) et de transport des marchandises d'un lieu à un autre, de la rareté et de la cherté des produits dans les marchés, de la pauvreté des populations, de l'enclavement des localités et même des quartiers en pleine ville et de l'exode rural.

La République du Congo n'est pas en marge de cette situation. Pourtant, l'un des projets phares à savoir la « municipalisation accélérée » de tous les départements du pays, met l'accent entre autres sur le développement des voiries urbaines, ainsi que des routes départementales et nationales. Mais hélas, après la construction, plusieurs de ces routes qui ont coûté des milliards de Francs CFA à l'état, ne sont pas entretenues et se dégradent très vite et ne dépassent pas souvent 5 ans de vie.

Ainsi, malgré de nombreux programmes de développement rural qui s'appuient également sur l'aménagement ou la réhabilitation des pistes, la République du Congo est en retard par rapport à certains pays d'Afrique subsaharienne. Le manque d'entretien et cette dégradation accélérée sont beaucoup plus marqués dans les zones rurales surtout les plus éloignées des villes.

En effet, dans ces milieux, la réalité est beaucoup plus désolante. Les dégradations sont sévères et graves. Cela est d'autant préoccupant que ce sont des routes ou des pistes en terre, dépourvues des systèmes de drainage.

La Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, située à 17 km de Brazzaville, est une illustration parfaite de cette situation. En effet, de nombreux axes routiers sont dans un état de dégradation très avancée. Cela menace d'enclavement certains villages et limite gravement la mobilité et le transport des biens dans d'autres villages. Ces difficultés de transport influent également sur la flambée des prix des denrées agricoles à Brazzaville et la faim dans certains villages, surtout dans la partie nord de la Sous-Préfecture. Les populations locales directement affectées, demeurent impuissantes. Les autorités administratives et politiques semblent débordées. Pourtant cette érosion dynamique qui a détruit totalement la route de Linzolo, l'une des 2 routes bitumées que comptait cette sous préfecture, perdure depuis près de deux décennies.

En dehors de notre mémoire de Maîtrise déjà évoqué, consacré à cette route de Linzolo, cette dégradation accélérée des routes de ladite Sous-Préfecture n'a pas encore fait l'objet d'une étude géomorphologique. Or, comprendre la dégradation de ce réseau routier, notamment cerner aussi bien les processus qui la sous-tendent que les facteurs aggravant permet de contribuer non seulement à approfondir la connaissance de ce phénomène préoccupant mais aussi à la résolution de l'un des problèmes socio-économiques qui se posent dans presque toutes les communautés rurales congolaises. La présente étude se situe donc dans cette perspective.

1.4. Problématique

L'étude de la dégradation du réseau routier de la sous préfecture de Goma tsé-tsé soulève une problématique majeure : celle de la maîtrise des processus responsables de ce phénomène et des facteurs qui l'ont déclenché et qui l'entretiennent. En effet, disposer des informations scientifiques indispensables à la recherche des solutions à cet épineux problème constitue la préoccupation essentielle de cette étude.

Située à proximité de Brazzaville, la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé se localise en plein plateau très accidenté des Cataractes taillé dans des sables très fragiles et surtout arrosé par un climat chaud et humide très agressif sur le plan géomorphologique. La Sous- Préfecture de Goma tsé-tsé, en raison de cette proximité avec Brazzaville connaît également une anthropisation qui s'accompagne d'une exploitation intense des ressources naturelles synonyme d'une fragilisation du milieu naturel. Tous ces faits géographiques font de cette entité administrative un espace très vulnérable.

Cerner ce phénomène implique donc une étude non seulement du phénomène proprement dit, notamment l'analyse des processus et la quantification de son évolution mais aussi des facteurs tant naturels qu'anthropiques qui le favorisent. Ainsi, cette problématique se résume par quelques questions de recherche.

1.5. Questions de recherche

1.5.1. Question Principale

Comment la dégradation des routes en terre, qui constitue un problème majeure de développement, se manifeste-elle dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé ?

1.5.2. Questions secondaires

- Quelles sont les caractéristiques physiques et l'importance socio-économique du réseau routier de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé ?
- Quels sont les types de dégradation qui affectent les routes en terre dans la zone d'étude et leurs impacts sur l'environnement et la vie socio-économique des populations locales ?
- Quels sont les causes ou les facteurs responsables de cette dégradation accélérée ?
- Quelles sont les moyens efficaces de lutte contre cette dégradation routière ?

1.5. Objectifs de recherche

1.5.1. Objectif principal

L'objectif principal a été d'étudier la dégradation des routes en terre par l'érosion hydrique et ses conséquences dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

1.5.2. Objectifs spécifiques

A partir de cet objectif principal, quatre (4) objectifs spécifiques ont été fixés. Il s'agit:

- de faire un état des lieux des routes à travers leurs caractéristiques physiques et leur importance socio-économique;
- de déterminer la typologie des formes de dégradation des routes en terre et quantifier et cartographier par un SIG les phénomènes les plus représentatifs;
- d'analyser les facteurs naturels et anthropiques qui favorisent et entretiennent cette dégradation routière ;
- de proposer des méthodes appropriées de lutte anti-érosive et un plan de gestion durable des routes en terre dans la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé.

1.7. Hypothèses de recherche

1.7.1. Hypothèse principale

Les routes en terre de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé sont l'objet d'une intense érosion hydrique qui freine le développement de cette zone rurale.

1.6.2. Hypothèses secondaires

- le réseau routier de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé est dominé par des routes en terre mal aménagées et non entretenues;
- les types de dégradation qui affectent le réseau routier de cette entité administrative sont liés essentiellement aux ravinements engendrés par des ruissellements abondants et responsables des coupures, des surcreusements et des rétrécissements des routes, mais également de la perte énorme des matériaux (terre et matériel remanié);
- l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, la sensibilité des pentes, l'occupation du sol, le mauvais aménagement des routes, le manque d'entretien, etc. sont autant de facteurs naturels et humains responsables du déclenchement et du maintien de cette dégradation des routes ;
- Il est possible de remédier à un tel phénomène avec des techniques ou des ouvrages mieux adaptés au contexte humain et naturel, appuyés par un plan de gestion des routes en terre basé sur la protection et l'entretien desdites infrastructures, impliquant les populations locales.

Tableau 1 : Cadre conceptuel de l'étude

Question principale de recherche : Comment la dégradation des routes en terre, qui constitue un problème majeure de développement, se manifeste-elle dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé ?				
Objectif principal de recherche : L'objectif principal a été d'étudier la dégradation des routes en terre par l'érosion hydrique et ses conséquences dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.				
Hypothèse principale de recherche : Les routes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sont l'objet d'une intense érosion hydrique qui freine le développement de cette zone rurale.				
Questions spécifiques de recherche	Objectifs spécifiques de recherche	Hypothèses spécifiques de recherche	Variables	Indicateurs objectivement vérifiables
Quelles sont les caractéristiques physiques et l'importance socio-économique du réseau routier de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé ?	Faire un état des lieux des routes à travers leurs caractéristiques physiques et leur importance socio-économique;	Le réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est dominé par des routes en terre mal aménagées et non entretenues ;	Routes en terre	Inventaire, typologie et cartographie des routes
Quels sont les types de dégradation qui affectent les routes en terre dans la zone d'étude et leurs impacts sur l'environnement et la vie socio-économique des populations locales ?	Déterminer la typologie des formes de dégradation des routes en terre et quantifier et cartographier par un SIG les phénomènes les plus représentatifs	les types de dégradation qui affectent le réseau routier de cette entité administrative sont liés essentiellement aux ravinements engendrés par des ruissellements abondants et responsables des coupures, des surcreusements et des rétrécissements des routes, mais également de la perte énorme des matériaux (terre et matériel remanié)	(A) Types de dégradations, (B) Fréquence, densité, volumes des ravinements et matériaux perdus, (C) Sensibilité des sols et du matériel remanié, (D) Volume des précipitations et agressivité climatique, (E) Sensibilité des pentes et profil topographique, (F) Coord.géo. des ravinements, des localités, le MNT 2014, les images satellitales, les fonds de cartes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	(A) Identification typologique des formes ; (B) Quantification des ravinements (dénombrement et cubage des formes, matériaux perdus), (C) Indice d'érodibilité des sols (K) , densité apparente des sols et du matériel remanié des pistes (D) Indice de Fournier (IF) et Indice d'érosivité des pluies (R), (E) degré de pente par le MNT, Facteur topographique (LS) et profil topographique des pistes ; (F) digitalisation de la carte de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, géolocalisation des ravinements sur les routes, cartes des pentes, du facteur topographique et de l'évolution diachronique de l'occupation du sol.
Quels sont les causes ou les facteurs responsables de cette dégradation accélérée?	Analyser les facteurs naturels et anthropiques qui favorisent et entretiennent cette dégradation routière	l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, la sensibilité des pentes, l'occupation du sol, le mauvais aménagement des routes, le manque d'entretien, etc. sont autant de facteurs naturels et humains responsables du déclenchement et du maintien de cette dégradation des routes		
Quelles sont les moyens efficaces de lutte contre cette dégradation routière ?	Proposer des méthodes appropriées de lutte anti-érosive et un plan de gestion durable des routes en terre dans la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé	Il est possible de remédier à un tel phénomène avec des techniques ou des ouvrages mieux adaptés au contexte humain et naturel, appuyés par un plan de gestion des routes en terre basé sur la protection et l'entretien desdites infrastructures, impliquant les populations locales	(A) Techniques curatives de lutte : Traitement mécanique, biologique et bio-mécanique, (B) Dispositifs préventifs de lutte : Plate-forme des routes ; Système de drainage des eaux ; Végétaux le long des pistes	Choix du matériel remanié d'aménagement des routes, qualité du système de drainage, qualité et densité de la couverture végétale, stabilisation des talus et des ravinements par les gabions, le remblayage et le compactage couplés aux précédés biologiques (planting des végétaux), selon le milieu physique et humain.
			Réhabilitation des pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé et la mobilisation communautaire par HIMO et formation des cantonniers	Réhabilitation des pistes en terre en tenant compte des normes standards des BTP , sensibilisation et formation des populations locales sur l'érosion des routes et les techniques de luttes, création des bureau de contrôle et d'entretien des pistes, entretien périodique de la surface de roulement, du système de drainage, contrôle de l'utilisation des pistes par les automobilistes et collecte des fonds pour la réhabilitation et l'entretien des pistes.

1.8. Orientation de l'étude et choix de la démarche

L'orientation de cette étude est basée sur deux cadres essentiels : le développement communautaire et la science. Dans notre contexte, le développement cadre avec l'aménagement consistant des pistes et leur bonne gestion après les travaux pour faciliter l'accessibilité des populations aux services socio-économiques, désenclaver les localités concernées et favoriser une croissance économique harmonieuse des communautés rurales de cette Sous-préfecture.

Aménager une piste, c'est respecter les normes standard d'aménagement qui tiennent compte du milieu physique de la zone, de la densité de la population et de l'occupation du sol qui influence largement l'utilisation de l'infrastructure. La gestion efficace des pistes après aménagement, nécessite l'entretien routier qui suppose l'implication des collectivités et communautés locales pour l'autofinancement local des travaux de réparation et dudit entretien.

Sur le plan scientifique, il s'agit d'enrichir la base de données sur l'érosion des routes au Congo et ouvrir la problématique de la dégradation des pistes par l'érosion hydrique en milieu rural, car la démarche et les méthodes utilisées ici peuvent être appliquées dans d'autres zones du pays.

Ce modèle est calqué sur les méthodes utilisées par les chercheurs anglophones qui ont travaillé sur l'érosion des routes forestières et rurales.

Nous l'avons amélioré en le combinant aux méthodes des SIG, afin de mieux représenter spatialement le phénomène, de concevoir quelques cartes thématiques et de faire l'analyse diachronique de l'occupation du sol de 1975 à 2015.

Ce chapitre a présenté de manière théorique, la problématique de l'érosion des routes dans le monde et sa contextualisation au Congo en général et dans la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé en particulier. Les questions de recherches posées, ont permis de fixer des objectifs à atteindre à partir des hypothèses de recherche émises. Pour atteindre lesdits objectifs, une méthodologie d'approche détaillée a été élaborée, tout en présentant les outils ou instruments de travail utilisés et les difficultés rencontrées.

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE, OUTILS DE TRAVAIL ET DIFFICULTES RENCONTREES

Ce chapitre présente les méthodes de recherche appliquées dans ce travail, les outils ou instruments de mesure utilisés ainsi que les difficultés rencontrées.

2.1. Méthodologie d'approche

La méthodologie appliquée a regroupé plusieurs opérations qui ont permis la collecte, le traitement et l'analyse des données. Ces opérations complémentaires ont été réalisées à travers la recherche documentaire, les travaux de terrain et les analyses de laboratoire.

2.1.1. Documentation utilisée

Les documents lus et analysés traitent du milieu physique et humain de la zone d'étude, du phénomène de l'érosion hydrique dans le monde et de la dégradation des routes par l'érosion hydrique. Elle a été obtenue dans les sites internet, les bibliothèques et chez les particuliers.

Elle est constituée d'articles, de mémoires, de rapports d'études, de journaux scientifiques, de thèses, etc. Elle a été complétée par l'analyse des données climatiques obtenues à l'ANAC et des données cartographiques obtenues au CERGEC et sur internet.

Toute cette documentation nous a permis de : réaliser l'état de la question et la problématique de l'étude, présenter le cadre général et fixer les buts à atteindre, à travers la vérification des hypothèses émises et les questions de recherches posées.

2.1.2. Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont constitué l'ossature des travaux de recherches. Plusieurs opérations y ont été menées à cet effet.

- **Etat des lieux des routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé**

Il a été fait à partir des observations directes de tout le réseau routier, afin d'apprécier de façon générale, les caractéristiques techniques des routes et l'état actuel de leur dégradation.

Cette appréciation a eu pour objet de choisir un certain nombre de routes, comme objet d'étude, en tenant compte des critères de choix préétablis.

- **Caractéristiques et état de dégradation des routes**

Pour déterminer ces paramètres, le premier travail a consisté à parcourir toutes les routes de la zone en véhicule, à moto et à pieds, pour observer sur les caractéristiques des surfaces de roulement, le système de drainage des eaux (canalisations, fossés, buses, etc.) et les dispositifs de lutte anti-érosive mis en place.

Les ouvrages de drainage et les dispositifs anti-érosifs ont fait l'objet d'observation directe, par contre les caractéristiques des surfaces de roulement ont fait l'objet d'observation, de mesure et d'évaluation de la densité apparente du matériel remanié (MR) constitutif.

L'observation a porté sur le MR, qui constitue la surface de roulement (SR) des pistes. Le but était d'apprécier la nature du MR et sa résistance face aux ruissellements et à l'érosion. Les mesures ont porté sur l'épaisseur et la largeur des surfaces de roulement. L'épaisseur de la surface de roulement de la piste latéritique et les largeurs moyennes de toutes les pistes en terre ont été mesurées en fonction de leurs longueurs totales. Le but est d'évaluer l'influence de ces deux caractéristiques physiques sur la concentration des ruissellements pluviométriques, car, d'une part, plus la route est petite, plus les ruissellements sont dynamiques et concentrés et le risque de dégradation par l'érosion est élevé ; d'autre part, lorsque la couche de roulement a une faible épaisseur ou si elle est nulle, elle est plus sensible à la dégradation par l'érosion.

L'évaluation de la densité apparente (da) du matériel remanié des routes, a permis d'apprécier la compaction et la porosité de la surface de roulement. Cette variable a permis également d'évaluer, par la suite, la quantité des sédiments perdus sur chaque piste.

Douze (12) échantillons ont été prélevés, à raison de trois (3) pour chaque route à l'exception de la route latéritique Mayitoukou-Goma tsé-tsé. Ces échantillons ont été prélevés sur les surfaces de roulement des routes (SR), à différentes sections routières, par la méthode de cylindre de 100 cm³ de volume, de 4 cm de diamètre et de 4 cm de hauteur. Ce cylindre a été utilisé en raison de la présence du taux des sables important dans les sols.

L'opération consistait à enfoncer le cylindre verticalement dans le matériel remanié de la route ; ensuite retirer délicatement le cylindre contenant l'échantillon, en arasant avec une truelle, le surplus du matériel remanié sur les deux parois du cylindre et enfin verser les échantillons dans les sacs en plastique référencés avant leur traitement au laboratoire.

Les échantillons séchés à l'étuve pendant 48 heures à 105°C, ont été pesés pour obtenir la masse sèche. Connaissant le volume total ($V_{tot.}$) du matériel remanié qui est celui du cylindre (100cm^3) et sa masse sèche (m_{sec}), la densité apparente a été déterminée avec la formule suivante :

$$da = \frac{m_{sec}}{V_{tot.}}$$

da : densité apparente (g/cm^3), m_{sec} : masse sèche du MR (g)
et $V_{tot.}$: volume du MR = volume du cylindre (cm^3)

Le second travail basé sur l'observation directe des pistes, avait pour but d'apprécier l'état actuel de dégradation de chaque route, afin d'avoir une première idée sur les formes mises en place par l'érosion hydrique et retenir quelques axes routiers comme matériel d'étude.

- Critère de choix des routes retenues comme matériel d'étude

Les routes retenues pour ces travaux de recherche, ont fait l'objet de sélection minutieuse par rapport aux critères de choix suivants :

- la typologie des routes dominantes dans la zone d'étude ;
- l'importance socio-économique de la route, notamment la fréquence d'utilisation par les automobilistes et l'importance des villages desservis ;
- la défaillance des caractéristiques techniques de la route comme les mauvais aménagements, la défaillance ou l'absence totale des systèmes de drainage des eaux de pluie.

Le travail de choix des routes, retenues pour cette recherche, a été suivi par les travaux d'évaluation et de cartographie du phénomène.

- Evaluation et cartographie du phénomène

Le travail sur l'évaluation et la cartographie du phénomène a pour but, d'une part, d'identifier les différentes formes d'érosion qui dégradent les routes, de quantifier les formes les plus évoluées, de vérifier les facteurs naturels et d'analyser les facteurs humains, responsables de cette dégradation routière dans la zone d'étude, d'autre part, de cartographier le phénomène à partir d'un SIG.

- Identification typologique des formes

Une approche méthodologique a été adoptée pour identifier les différents types de dégradations qui affectent les routes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

Cette approche méthodologique est la combinaison des méthodes de R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare & al., 2008, p 8, et de M. Tchotsoua, 1989, p 18, 1996, p 69. Beaucoup utilisée par les pédologues et les biogéographes, elle a été adaptée selon notre contexte.

Elle consiste à faire le pistage linéaire par poste kilométrique (PK) et le pistage transversal sur une bande de 500 m de part et d'autre de la route. Le principe est de marcher et de s'arrêter à chaque fois pour identifier chaque cas d'érosion. Le but de ce travail a été de réaliser une typologie des formes de dégradation des routes, à partir de leur catégorie et en tenant compte de leurs processus de genèse et d'évolution, ainsi que de leurs dispositions sur les chaussées.

- **Quantification du phénomène**

L'opération de quantification des formes a été réalisée après celle de l'identification typologique, en suivant le même protocole. Elle a consisté à dénombrer et à cuber les formes de dégradation ou d'érosion les plus évoluées et les plus représentatives le long des routes par PK et de part et d'autre des chaussées, sur une bande de 500 m de chaque côté.

Le dénombrement : il a concerné les formes de dégradations les plus évoluées, au détriment des formes petites, non dénombrées pour deux raisons :

- le manque de dispositif VIZIROAD utilisé par les bureaux d'études en bâtiment et travaux publics (BTP), capable de faire le dénombrement automatique des petites formes ;
- leur dynamisme dans le temps et l'espace, car à tout moment, elles peuvent disparaître avec le passage des véhicules, des piétons et même suite aux petits travaux de remblayage effectués par les populations. Elles n'évoluent que lorsque la route affectée est abandonnée. La fréquence des formes évoluées ou importantes, a été utilisée comme indice d'appréciation de l'ampleur du phénomène sur les routes.

A cet effet, la formule utilisée est celle de la « fréquence relative » en statistique. Elle a été adaptée selon notre contexte : la taille de classe représente le nombre total des formes d'érosions évoluées (FEE) par PK et la taille de la population représente le nombre total des dites formes sur toute la route. Ainsi nous avons :

$$Fréquence (Taux) = \frac{\sum FEE \text{ par PK}}{\sum FEE \text{ sur toute la route}}$$

Pour des raisons de précision de la fréquence des FEE, les densités de chaque FEE ont également été évaluées par route.

La formule utilisée est également l'adaptation de la densité des populations en démographie : la population est considérée comme le nombre des FEE, et la superficie est considérée comme étant la longueur totale de la route (LTR). Ainsi nous avons :

$$Densité = \frac{\sum FEE}{LTR}$$

Cette densité est évaluée pour l'ensemble des FEE, sur chaque route et par type de dégradation.

Cubage des formes d'érosions évoluées : il a consisté à mesurer directement les longueurs, les largeurs et les profondeurs des formes d'érosion. Les FEE sur les routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, ont été mesurées avec un double décimètre pour les formes de dimensions moyennes et avec une corde en nylon, pour les formes de dimensions importantes.

Ces formes d'érosion évoluées, ont été mesurées en tenant compte de la méthode de la FAO, 2007, p 13, qui consiste à sectionner les formes en dégagant les différentes figures géométriques qu'ils présentent sur le plan spatial afin de faciliter les mesures.

Le but de cette opération est d'évaluer les volumes des vides laissés par les FEE et déterminer, par estimation, la quantité des matériaux perdus (terres et matériel remanié), en tenant compte des valeurs de la densité apparente des matériaux en place.

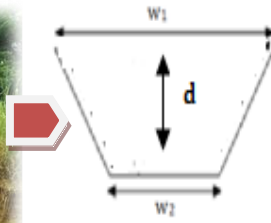
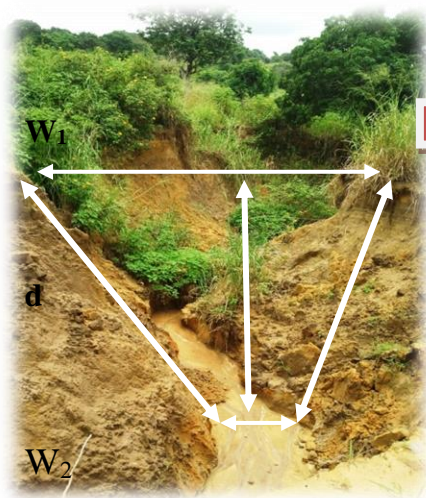
Lors de l'identification du phénomène sur les routes, il a été constaté que les ravinelements sont piriformes. Mais leurs sections prennent beaucoup plus trois (3) formes géométriques ou morphologiques. Ces trois (3) formes sont illustrées dans le tableau 2 de codification.

Tableau 2: Codification morphologique de FEE

Morphologie des ravinelements	Caractéristiques	Code
Prisme trapézoïdal	Ouverture béante, planché plat et rétréci, talus à pentes inclinées (figure 1)	TPZ
Prisme rectangulaire	Même largeur entre ouverture et planché, talus à pentes verticales (figure 2)	REC
Prisme triangulaire inversé	Ouverture béante, planché pointu, talus à pentes raide, très inclinés (figure 3)	V

A cet effet, les mesures de largeur maximale (w), de profondeur maximale (d) et de longueur (L) ont été enregistrées pour chaque ravinelement à partir des aires des différentes sections (figures 1, 2 et 3), calculées à partir des formules mathématiques suivantes :

(i) Les formes d'érosion évoluées en trapèze (FEE-TPZ)



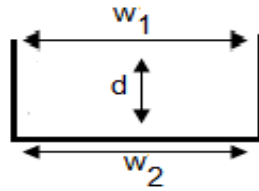
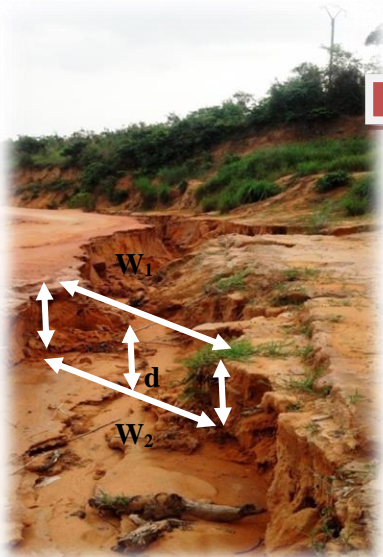
Aire d'une section:
Avec $W_1 \neq W_2$

$$A = \frac{(W_1 + W_2) \times d}{2}$$

W_1 : largeur moyenne supérieure (m) ; W_2 : largeur moyenne de la base (m) ; d : profondeur (m) ; A : aire (m^2) .

Figure 1: Coupe transversale d'une section de FEE-TPZ

(ii) Les formes d'érosion évoluées rectangulaires (FEE-REC)



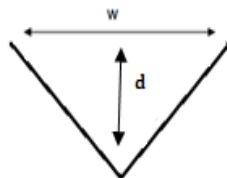
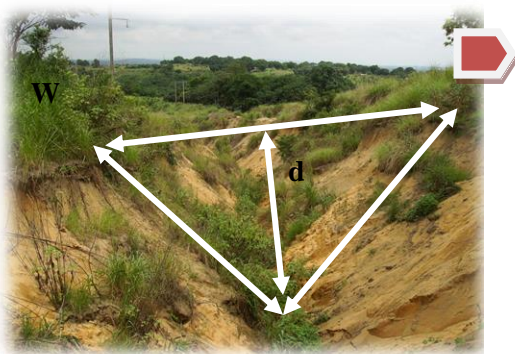
Aire d'une section:
Avec $W_1 = W_2 = W$

$$A = W \times d$$

W : largeur moyenne supérieure(m) ; d : profondeur (m) ;
 A : aire (m^2)

Figure 2 : Coupe transversale d'une section de FEE-REC

(iii) Les formes d'érosion évoluées en triangle inversé ou V (FEE-V)



Aire d'une section : $A = \frac{W \times d}{2}$

W : largeur moyenne supérieure(m) ; d : profondeur (m) ;
 A : aire (m^2) .

Figure 3 : Coupe transversale d'une section de FEE-V

En mesurant la longueur totale de chaque ravinement, les différentes aires (A) évaluées à partir des largeurs (W) et des profondeurs maximales (d), ont permis d'estimer les volumes maximaux des ravinements à partir de la formule empirique ci-après :

$$V = \sum A * L \quad \text{ou} \quad V = (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) * L$$

V : volume de chaque forme (m³) ; A₁ ; A₂ ; A₃..A_n : aire des sections de chaque forme (m²) ;
L : longueur totale de chaque forme (m) ;

Cependant, à partir de cette formule, les volumes maximaux (V_m) des ravinements ont été également calculés, à partir du modèle de H.A.Katz, J.M. Daniels & R. Ryan, 2013, p 5 schématisée dans la figure 1.

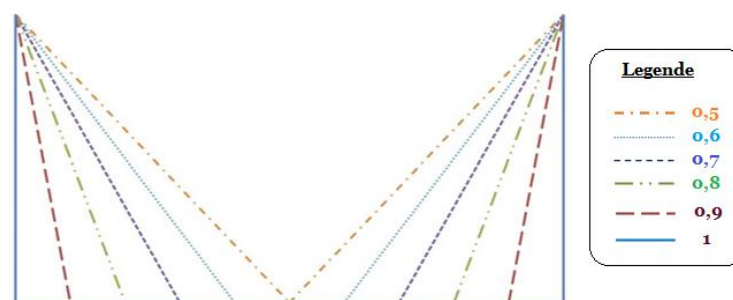


Figure 4 : 6 morphologies potentielles de sections transversales des ravinements avec les coefficients (β) associés

Le principe est de multiplier le volume maximal (V) par un coefficient (β) relatif à la morphologie générale du ravinement, dépendant largement des morphologies des sections constitutives. Ainsi, l'équation utilisée est la suivante :

$$V = \beta * \sum A * L \quad \text{ou} \quad V = \beta * (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) * L$$

V : volume de chaque forme (m³) ; β : coefficient morphologique du ravinement ;
A₁ ; A₂ ; A₃..A_n : aire des sections de chaque forme (m²) ; L : longueur totale de chaque forme (m)

Grace aux témoignages des populations sur la période (année) de genèse de quelques ravinements, certains d'entre eux ont fait l'objet d'évaluation de volume en m³.an⁻¹. Il a fallu d'abord calculer l'âge moyen de chaque ravinement par la formule :

$$A_R = A_{G_R} - A_{P_M}$$

A_R : âge du ravinement ; A_{G_R} : année de genèse du ravinement ; A_{P_M} : année de prise de mesure

Ensuite, le volume de ravinement en m³.an⁻¹ a été obtenu avec la formule suivante :

$$V = \frac{V}{A_R}$$

V : Volume de ravinement en m³.an⁻¹ ; V : volume de ravinement en m³ ; A_R : âge du ravinement

Mais étant donné qu'il a été difficile d'évaluer l'âge moyen de tous les ravineurs par manque d'information sur la période (année) de genèse de toutes ces formes, il n'a pas été possible de calculer la totalité de la perte en matériaux (sols et MR) causée par ces ravineurs en $\text{tonne}\cdot\text{an}^{-1}$, sur toutes les pistes. De ce fait, seul la perte en matériaux (P) en tonne a été calculée par la formule suivante :

$$P = V \cdot \rho$$

La densité apparente (ρ) a été assimilée au poids spécifique du sol noté ρ (poids spécifique du sol ou du matériel remanié) et converti de g/cm^3 en T/m^3 ; P : poids (tonne) ; V : volume de ravinement (m^3).

Le poids spécifique n'est autre que la densité apparente des sols, pour les ravineurs transversaux aux routes et la densité apparente des terres pour les ravineurs longitudinaux aux routes. Pour l'obtenir, dix (10) échantillons, soit 2 par piste, ont été prélevés, par secteur de piste. Le cylindre de 4 cm de diamètre et de 4 cm de hauteur (100 cm^3) utilisé est le même que celui opté pour la détermination de la densité apparente du MR de la surface de roulement des pistes. Le protocole d'échantillonnage, le traitement des échantillons des sols au laboratoire et la formule de calcul de la densité apparente des sols par secteur de piste, sont les mêmes que ceux utilisés dans la détermination de la densité apparente du matériel remanié des pistes (réf. page 36). Les valeurs obtenues en g/cm^3 ont été converties en T/cm^3 . Le travail a été effectué au même moment au laboratoire d'Andrade Gutierrez.

- **Cartographie du phénomène**

Cartographier le phénomène, c'est le représenter sous format d'une carte, c'est-à-dire, illustré pour chaque route étudiée, les formes d'érosion évoluées (FEE) en terme de typologie et de fréquence. Pour ce faire, un SIG a été conçu, afin de recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter les données spatiales et géographiques.

Ces données constituées des coordonnées géographiques (X, Y et Z) des entrées et des terminus de routes ; des villages importants et des FEE dénombrées et cubées, ont été relevées sur le terrain à partir d'un GPS portable. Ensuite, un fond de carte de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé au 1 : 250 000e, constitué des voies de communication (routes et chemin de fer), des localités (Goma tsé-tsé gare, villages et PK ferroviaires), et de l'hydrographie, obtenue sous format calque au CERGEC en 2014, a été utilisée. Elle a été scannée et insérée dans ArcGis.10.1, installée sur un ordinateur portable. La carte ainsi convertie en format *Grid*, a été géoréférencée et calée sur ArcCatalog, en tenant compte des coordonnées géographiques des quatre extrémités de la zone d'étude.

La vérification de la situation exacte de la carte par rapport au Congo, a été effectuée en superposant la carte de la zone d'étude calée, sur la carte de Brazzaville et les environs au 1 : 250 000e, réalisée par l'IGN & l'ORSTOM en 1975. Cette dernière a été également géoréférencée au préalable. A l'issue de cette opération, s'en est suivie la digitalisation de la nouvelle carte, c'est-à-dire, redessiner la couche de contours (limites de la zone d'étude) de la carte sur ArcMap et ensuite créer d'autres couches (routes, villages, hydrographie).

Pour terminer l'opération, il a fallu insérer les coordonnées géographiques (X et Y) de chaque type d'érosion dans une nouvelle couche et la superposer sur les autres couches sur ArcMap. Cette opération a réussi grâce à la technique de transfert des données de chaque type d'érosion d'un tableur Excel, vers ArcMap.

Bien que les données obtenues ont permis de faire la typologie des formes, d'estimer la quantité des matériaux (terres et matériel remanié) perdus sur les routes et de cartographier le phénomène, elles ne nous ont pas permis de vérifier les causes et les facteurs de cette dégradation routière dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, en se référant aux hypothèses émises dans la première partie de ce travail ; c'est l'objet du sous-titre suivant.

- **Evaluation des facteurs responsables de la dégradation des routes**

Trois (3) opérations ont été effectuées pour évaluer les facteurs responsables de cette érosion des routes. Il s'agit des enquêtes de perception des populations sur les causes et les conséquences de ce phénomène ; de l'analyse des facteurs naturels et anthropiques à partir de quelques indices et/ou des paramètres y relatifs

Enquêtes de perception auprès des populations sur la dégradation des routes enterrées

Ces enquêtes ont consisté à interroger, à partir d'un questionnaire bien ciblé, les populations de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé, par axe routier, sur leur connaissance du phénomène érosif qui détruit le réseau routier. Au total 136 personnes ont été questionnées. Cet échantillon de personnes était réparti sur 13 villages pour tous les axes routiers, selon les catégories socioprofessionnelles. Il est constitué par des cadres (CR) âgés de 25 à 60 ans (étudiants en vacances, personnel des ministères de l'Etat et de la Sous-préfecture), des élèves (E) de 12 à 25 ans (collège et lycée), des agriculteurs, des exploitants de forêts, des chasseurs et des pêcheurs, de tous âges, regroupés sous le sigle ACEP.

Le but de ces enquêtes était d'avoir les points de vue, bien que divergents, des populations sur les causes de la dégradation des routes dans cette zone, les conséquences socio-économiques causées, ainsi que les techniques de lutte antiérosive mises en place.

Techniques d'enquêtes et collecte d'informations

Ces techniques sont basées sur l'approche perspective des populations et les techniques utilisées dans les pays tropicaux, en se référant à la technique d'enquête de M. Diane, 2005, p 9. C'est une méthode active de recherche participative (MARP) : un processus continu d'apprentissage pour une meilleure connaissance des avis des populations sur la dégradation des pistes par l'érosion et ses conséquences.

A cet effet, un outil de la « triangulation » a été développé. Il consiste à recueillir les points de vue de différentes personnes sur une même question et à tirer une conclusion issue de croisement des données ainsi obtenues. C'est une approche anthropologique du fait qu'elle s'appuie sur la connaissance de l'érosion par les populations. Elle met en évidence les virtualités d'auto développement en faisant ressortir les opportunités et les contraintes du milieu par rapport à l'état des pistes. Etant donné qu'avec la MARP, le nombre d'interviews est généralement limité, nous avons procédé à la stratification des unités d'observations, afin de pouvoir intégrer la diversité des points de vue. Le choix des unités d'observation peut être fait de manière raisonnable ou de manière aléatoire suivant les situations selon O. Guène & *al.*, 1999, cité par M. Diane, 2005, p 10.

Un questionnaire en forme de guide d'entretien a été utilisé pour la circonstance. Il est constitué d'une partie réservée pour les entretiens avec les populations, et une autre réservée pour les autorités locales. Le questionnaire a tourné autour : des causes de l'érosion qui détruit les routes, des conséquences induites et les techniques de lutte anti-érosive utilisées.

Ces enquêtes nous ont permis également, d'avoir une première appréciation des populations, de quelques facteurs humains et naturels qui sont effectivement responsables de la fragilisation et/ou de la dégradation des routes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

Identification et analyse des facteurs anthropiques

Les différents auteurs cités dans le premier chapitre de cette étude, notamment sur l'état de la question, ont montré que les facteurs physiques à eux seuls, ne peuvent expliquer l'érosion des routes rurales ou forestières. Les facteurs anthropiques jouent également un rôle, parfois

de premier plan, dans la fragilisation des infrastructures routières et l'aggravation des formes engendrées par l'érosion hydrique.

L'identification et l'analyse des facteurs humains ont été faites directement sur le terrain, à partir des observations. Elles ont porté sur :

- ✓ **la qualité des routes**, qui a été appréciée à travers les observations directes de la surface de roulement et de la couche de base ou fondation, constituant la structure des routes. Ce travail a été complété par l'appréciation de la nature du matériel remanié (MR) de chaque route et leurs densités apparentes, l'épaisseur et la largeur des surfaces de roulement ;
- ✓ **dispositifs de maîtrise des eaux de ruissellement**. Il s'agissait de vérifier l'existence des systèmes de drainage des eaux sur les routes et d'en apprécier la qualité dans la capacité à maîtriser les ruissellements des pistes ;
- ✓ **la lutte anti-érosive**, appréciée à travers l'existence ou non des méthodes curatives et préventives et à travers la qualité de celles existantes. Elle a d'abord fait l'objet d'observations et d'appréciation face aux différents événements érosifs sur les routes. Ensuite, quelques enquêtes ont été menées sur chaque axe routier, de façon simultanée avec celles de la perception des populations face à l'érosion des routes. Le but a été d'apprécier également ces méthodes à travers la perception par les populations locales des dites méthodes et de leur efficacité ou leur défaillance réelle face à la dynamique érosive routière ;
- ✓ **l'entretien des routes**, a été évalué à travers des observations directes des travaux d'entretien effectués ou non sur les routes et la bonne ou la mauvaise utilisation quotidienne des routes par les automobilistes. L'observation de l'usage des routes a été couplée aux enquêtes menées sur le type de trafic et le dénombrement des véhicules sur les cinq (5) axes routiers étudiés. Le but est de connaître les types et les catégories des véhicules (berlines, 4x4 et poids lourds) et le nombre moyen journalier, mensuel et annuel d'automobiles qui empruntent ces routes, au départ des parkings à Brazzaville et hors parking, ceci afin d'évaluer l'agressivité du trafic sur la dégradation des routes dans la zone d'étude. Ici la méthode utilisée est celle de S. Salim, S.A., p 4. Elle permet de classer le trafic journalier sur les routes étudiées, entre 2014 et 2015. Elle tient compte de la valeur de 50 véhicules par jour (50V/J), comme indice d'évaluation du trafic sur une route non revêtue. Si le trafic moyen par jour (**TMJ**) est $\leq 50V/J$, le trafic est faible à moyen ; par contre si le **TMJ** est $\geq 50V/J$, le trafic est moyen à fort ;

✓ **l'occupation du sol influencée par la croissance démographique(CD).** Ces deux facteurs sont liés et ont été analysés ensemble. Le travail a consisté à analyser les données démographiques du Pool de 2007 à 2015 pour apprécier la croissance de la population dudit département qui influencent directement celle de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé. La CD impacte largement l'occupation du sol. Elle est caractérisée par le besoin croissant des populations pour des espaces agricoles, de construction de cases, d'aménagement des sentiers ruraux, mais également de la destruction de la couverture végétale (forêt et savanes) avec des buts précis. Ces activités ou opérations affectent directement et indirectement les routes de la zone. L'occupation du sol a fait d'objet d'une cartographie sur ArcGis 10.1, à travers une analyse diachronique sur près de 40 ans, de 1975 à 2015. Le travail a consisté à traiter l'image produite par l'IGN en 1975, de Brazzaville et les environs où se situe la zone d'étude, ainsi que des portions d'images satellites téléchargées sur Google Earth Pro 2015. Les premières portions sont des images Landsat Copernicus de 1995 obtenues sur une altitude de 10 km, quant aux secondes qui datent de 2015, ce sont des images @DigitalGlobe 2016 obtenues à une altitude de 10 km. La carte de 1975 a été directement calée et géoréférencée sur ArcGis 10.1, avant de réaliser une digitalisation dans le but de créer des couches des espaces occupées, des zones de forêts et de savanes boisées (FSB), en enfin des secteurs de savanes basses et clairsemées (SBC).

Les portions d'images Landsat Copernicus 1995 et @DigitalGlobe de 2015 ont été importées sur ArcGis 10, ensuite elles ont été callées, géoréférencées et collées pour avoir deux images, l'une de 1995 et l'autre de 2015. Ces images ont fait l'objet de digitalisation dans le but de créer des couches des espaces occupées, des FSB, en des secteurs de SBC.

Le but principal était de créer des cartes d'occupation de sol sur des intervalles de 20 ans, afin de montrer le recul du couvert végétal (FSB et SBC) et de l'étalement des zones occupées par l'homme (habitat, plantations, routes, etc.) par hectare, en kilomètre et en pourcentage par rapport à la superficie totale. Les couches des grands villages et des gares ou PK du CFCO, ainsi que des routes étudiées, ont été superposé sur ces cartes, ceci afin de montrer l'exposition des routes face à l'occupation du sol, l'un des facteurs humains de l'érosion qui affecte directement et indirectement lesdites routes. La plupart de ces facteurs ont la capacité de fragiliser directement ou indirectement les routes de la zone face à l'érosion, et participent à la dynamique du processus érosif responsable de la dégradation précoce des routes.

C'est pourquoi les facteurs humains ne peuvent être considérés comme seuls responsables de ce phénomène.

L'analyse et la détermination des facteurs naturels, dont certains ont été évoqués par les populations locales, s'imposent, car ils sont également responsables de la genèse et de l'évolution (aggravation) des formes de dégradation qui affectent les routes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

Vérification et détermination des facteurs naturels

D'après nos hypothèses qui tiennent compte des travaux de K.E. Seutloali & H.R. Beckedahl, 2015, p 73, K. Idhoko, 2015, p 941, L. Cao, K. Zhang & Y. Liang, 2014, p 1, H.A. Katz, J.M. Daniels & R. Ryan, 2013, p 5 et X. L. Xu, W. Liu, Y.P. Kong & al., 2009, p 497, la dégradation des pistes rurales ou forestières par l'érosion hydrique est due à un certain nombre de causes ou facteurs naturels, qui ne sont autres que les sols, la pluie et la topographie. Etant donné que les multiples études énumérées plus haut ont prouvé à suffisance le rôle des facteurs cités ci-dessus sur l'érosion des routes, le but de ce travail était donc de vérifier leurs variables caractérisées par l'érodibilité des sols, l'agressivité des pluies et la sensibilité des pentes. Ces variables déterminent la sensibilité du milieu sur lequel les routes ont été tracées.

✓ **Erodibilité des sols par secteur de pistes et sa cartographie**

Toutes les routes en terre sont aménagées ou tracées sur le sol. C'est pourquoi le sol est selon I. Tockol, 1993, p 13, la couche de base et souvent utilisée directement comme couche de roulement sans aucune protection. Ainsi, il était important de déterminer la sensibilité des sols des secteurs routiers, qui représentent également le support des routes face à la pression du trafic et des ruissellements pluviométriques. La sensibilité des sols a été évaluée à partir de l'indice d'érodibilité (K) par secteur de route. Pour ce faire, un certain nombre de variables a été déterminée. Il s'agit de la texture et de la nature des sols, de la teneur en matière organique (MO), de la structure et de leur perméabilité. Ces variables sont suffisantes pour évaluer K.

- **Texture des sols et teneur en matière organique (MO)**

Cette variable a été vérifiée grâce aux travaux d'échantillonnage des sols sur le terrain et les analyses granulométriques réalisées au laboratoire.

Le but est d'analyser en termes de pourcentage, la composition physique des sols de la zone d'étude, notamment le pourcentage des sables (fins et grossiers), des limons (fins et grossiers), des argiles et la teneur en (MO).

Les résultats obtenus sont utilisés, dans un premier temps, pour la détermination de la des sols. Quant à la MO, elle a été directement utilisée dans la détermination de l'érodibilité des sols par secteur.

✓ **Echantillonnage des sols par secteur : protocole**

Cette opération a abouti au prélèvement de 18 échantillons de sols de part et d'autre des pistes, en se référant aux cartes pédologique et topographique réactualisées au 1 : 250 000^e sur ArcGis 10.1.

Les cartes ont permis de choisir les sites échantillonnés en tenant compte des types de sols et de la topographie des sites.

L'échantillonnage a aussi tenu compte du découpage par section que nous avons réalisé sur le terrain. Il s'agit du secteur 1 (SEC1), couvrant la sortie du village Bissinza jusqu'à Linzolo, le secteur 2 (SEC2) englobe la zone de Samba Alphonse - Mabenga – Touboula – Massissia – et l'entrée du village Bissinza et la zone de Koubola-Bissinza et le secteur 3 (SEC3) couvrant la zone de Koubola-Kibossi et de Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare et village.

Le secteur 4 (SEC4) couvrant la partie nord n'a pas fait l'objet d'échantillonnage des sols à cause des données de textures déjà existantes. Pour chaque échantillonnage, 500g de sols ont été prélevés, en tenant compte de 3 types de déterminants pour le choix des sites de prélèvement: la distance entre les sites, les types de sols et la situation topographique. Les prélèvements ont été effectués :

- de part et d'autre des pistes à près de 10 à 20 m, dont les sols ne sont ni perturbés, ni remaniés ;
- selon les différents types sols de la zone d'étude ;
- selon les unités topographiques le long des routes: *les secteurs plats* (zones basses), *les montées* (flancs des collines) et enfin *les descentes* (versants des vallées).

Pour ce faire, deux méthodes de prélèvement de sols ont été utilisées : (i) Le prélèvement direct (PD) et (ii) le prélèvement par creusement de fosse (PCF).

✓ Prélèvement direct (PD)

Ici les prélèvements ont été effectués directement sur les parois des FEE de plus de 2 m de profondeur et des talus routiers de plus de 2 m de hauteur. Cette technique a été utilisée sur les axes dont la densité des formes de dégradations est élevée. Les profils des parois des FEE et des talus ont été observés, afin d'identifier les différents horizons du sol, ensuite nettoyer, avec la pèle ou la truelle, pour dégager les impuretés. Ce nettoyage permet d'obtenir un échantillon remanié humide.

Le prélèvement de l'échantillon a été effectué à 15 cm, 50 cm, 1 m et 2 m de profondeur et/ou de hauteur, dans le cas des profils homogènes. Pour les profils hétérogènes, les échantillons ont été prélevés sur chaque horizon jusqu'à 2 m de profondeur ou de hauteur. Ces derniers ont été conservés dans les sacs en plastique transparent référencés : niveau de profondeur/horizon, lieu, coordonnées géographiques, date et couleur du matériel.

✓ Prélèvement par creusement de fosse (PCF)

Le PCF a été utilisé de part et d'autre de quelques sections de routes moins affectées par les FEE, mais plutôt dégradées par les formes mineures. Le prélèvement s'est effectué à des distances considérables des routes (10 à 20 m), pour éviter d'obtenir des échantillons pollués, tout en respectant la stratégie protocolaire de prélèvement énoncée plus haut. A cet effet, des fosses à ciel ouvert de 2 m de profondeur ont été creusées, avec des ouvertures de 0,80 x 1,50 m (Photos 1 et 2, Planche n°1), avant de procéder au prélèvement de sols, en respectant le même protocole que le PD.

PLANCHE N° 1 : Echantillonnage des sols par creusement de fosse



Photos 1 et 2: fosse creusée loin de la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé
© Idriss M'bouka Milandou (2015)

2.1.3. Travaux de laboratoire et de bureau

- Analyse granulométrique (AG) : protocole expérimental

Un stage au laboratoire de la société brésilienne des BTP *Andrade Gutierrez* nous a permis de traiter les échantillons de sols, avec l'assistance des techniciens du laboratoire. L'analyse granulométrique est réalisée suivant la méthode normalisée AFNOR NF X31-107. 500 g de chaque échantillon ont été séchés à l'étuve et pesés à la balance électronique, dans des gamelles tarrées auparavant, pour avoir le poids net sec. Ensuite, chaque échantillon a été transféré dans le tamis de 8 mesh (2,380 mm), en fermant le couvercle. Ce premier tamis est placé sur d'autres, formant ainsi une colonne qui commence par le bas, à partir du tamis de 325 mesh (45 µm), de 250 mesh (63 µm), de 140 mesh (106 µm), de 100 mesh (150 µm), de 80 mesh (180 µm), de 35 mesh (500 µm), de 9 mesh (2,00 mm) et enfin celui de 8 mesh (2,36 mm) contenant l'échantillon. La série des tamis a été placée sur l'agitateur mécanique, avec un marteau et fixé solidement. L'agitation a pris 15 minutes, avant le retrait du montage. Ensuite chaque tamis a été retiré avec son contenu, et les tamisas (fraction de l'échantillon) ont été pesés à la balance électronique pour obtenir le poids de chaque refus cumulé. Ces résultats ont permis de calculer les pourcentages des cumulés et ceux des passants avec les formules suivantes :

$$\% \text{Poids cumulé} = \frac{\text{poids cumulé} - 100\%}{\text{Poids net sec}} \% \text{ Passant} = 100\% - \% \text{ Poids cumulé}$$

✓ Séparation des limons et des argiles

L'analyse granulométrique de la fraction fine (limons et argiles) a été réalisée par les techniciens du laboratoire. Elle se déroule classiquement en quatre phases : le traitement préliminaire destiné à éliminer les agents de cimentation et de liaison du sol (principalement les matières organiques et les carbonates de calcium, ainsi que le gypse et les sesquioxydes de fer d'aluminium), la dispersion des échantillons pour une mise en suspension homogène, la détermination par sédimentation des fractions fines (<50 µm), le temps et la profondeur de prélèvement sont déduits de la loi de Stokes (principe de la pipette Robinson), la séparation des sables par tamisage sous l'eau sur tamis de 50 et 200 µm.

✓ Détermination de la teneur en MO par incinération

Pour obtenir la teneur en MO, le laboratoire a utilisé la méthode de perte de feu (PAF). Celle-ci permet de mesurer directement la MO dans le sol avec le protocole suivant :

l'échantillon de sol doit être broyé et tamisé à 2 mm (10 mesh), ensuite il doit être séché pendant une nuit (16 heures) à 150 °C. Le travail suivant consiste à nettoyer les creusets en les chauffant au rouge, puis laisser refroidir au dessiccateur pendant 10 minutes, prendre le poids du creuset vide. Ajouter 10 g de sol séché. Noter le poids final, calciner le sol au four à moufle à 375 °C pendant 16 heures et enfin laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le creuset contenant les cendres. Le calcul et l'expression des résultats sont effectués à partir de l'équation suivante :

$$\%M.O. = \frac{((P_1 - P_0) - (P_2 - P_0))}{P_1 - P_0} \times 100$$

M. O. : matière organique; P₀ : poids du creuset vide; P₁ : poids final;
P₂ : poids du creuset contenant les cendres.

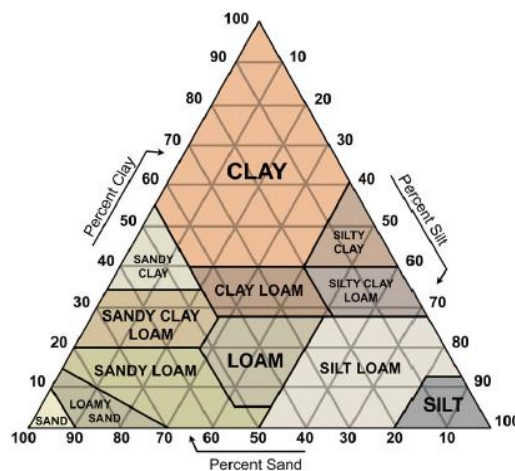
La régression pour faire une équivalence entre les résultats par la méthode de perte au feu (PAF) et la méthode Walkley Black (WB) pour une étendue de 0 à 8 % de matière organique :

$$\% M .O. (PAF) = 0,9932 \times M .O.(WB) + 0,587$$

Bien que la texture des sols et la teneur en MO permettent d'évaluer l'érodibilité des sols, il faut d'abord confirmer la nature et la structure des sols, qui sont des caractéristiques liées à la morphologie des formes d'érosions évoluées (FEE).

- Confirmation de la nature des sols par secteur de route

Les résultats de la texture ont permis de déterminer la nature des sols, à partir du triangle des textures USDA (R.B. Brown, 2003, p 1) (Figure 5).



Source : nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053289.pdf

Figure 5 : Diagramme triangulaire des textures des sols selon USDA

Le principe est de réévaluer les taux moyens des sables (Sand), des limons (Silt) et des argiles (Clay). La somme des trois valeurs de texture doit faire 100%. A partir des taux réévalués, on repère le pourcentage des sables sur la base du triangle et on suit une ligne remontant vers la gauche, du coté des argiles. Ensuite on repère le pourcentage des argiles le long du coté gauche du triangle et on suit une ligne horizontale jusqu'à croiser la ligne précédente des sables. Ce point de rencontre entre les deux lignes est le point O, qui confirme la texture et/ou la nature du sol. La vérification du point O, se fait en suivant une ligne partant dudit point en remontant vers la droite jusqu'à atteindre le pourcentage des limons du coté droit du triangle. La ligne des limons doit se situer exactement sur sa valeur réévaluée pour confirmer la nature des sols. La nature des sols a permis d'évaluer, en même temps, l'indice de porosité (IP) afin d'apprécier la porosité des sols dans les quatre (4) secteurs routiers. Il est évalué par la formule suivante :

$$IP = \frac{\% \text{ Sables grossiers}}{\% \text{ Argile}}$$

Les résultats ont tenu compte de la classification suivante de B. Dridi & A. Dilmi, 2011, p 249: si $IP < 3$, la porosité est défavorable (moins d'aération) et si $IP > 3$, la porosité est favorable.

- Analyse de la structure des sols

Le but de l'analyse de la structure des sols par secteur de route, est de déterminer les classes et les codes y afférents, nécessaires à l'application de l'équation de régression de W.H. Wischmeier, C.B. Johnson & B.V. Cross, 1971, p 191, pour l'évaluation de l'érodibilité des sols.

A cet effet, une partie de chaque échantillon prélevé lors des campagnes d'échantillonnage, à 100 cm de profondeur (ravinement) ou de hauteur (talus routier), a été mis à l'écart (hors traitement granulométrique) et observé pour savoir si la terre forme des agrégats. Ensuite ces échantillons ont été testés dans l'eau pour apprécier leur résistance. Le principe de ce test consiste à déposer chaque échantillon de terre constitué d'agrégats dans un verre rempli d'eau, puis laisser reposer. Si après 2 minutes l'agrégat ne s'est pas effondré, remuer doucement le verre en un mouvement circulaire à l'aide du poignet :

- si les agrégats sont encore là, c'est qu'il y a une forte cohésion : l'édifice est stable. On parle de structure forte, compacte ou massive (particules prises en masse, d'un seul bloc),

- si les agrégats sont fissurés, on parle de structure modérée, grumeleuse ou fragmentaire (le sol s'organise en une hiérarchie d'agrégats),
- si les agrégats sont effondrés ou n'existent pas, il y a peu ou aucune cohésion entre les particules. La structure est faible, particulière ou « sans structure ».

Les résultats obtenus après cette opération ont été analysés selon la classification de L. Bellon, 2009, p 14 qui attribue un code à chaque structure de sols (tableau 3).

Tableau 3 : Classification des codes par structure de sol

Code (b)	Structure du sol
1	Très fine
2	Fine
3	Moyenne ou grossière
4	Massive

Source : Bellon, 2009

Mais la texture, la teneur en matière organique et les codes de structure de sols ne suffisent pas pour évaluer l'érodibilité des sols, la détermination de la perméabilité des sols par secteur de routes et les codes y afférents s'imposent.

- **Perméabilité des sols autour des pistes**

Cette variable est obtenue à partir du test de perméabilité du sol sur le terrain qui permet d'évaluer la vitesse d'infiltration des eaux dans le sol à partir du coefficient de perméabilité (K).

✓ **Tests de perméabilité *in situ*: protocole**

Le but des tests de perméabilité est non seulement de déterminer les caractéristiques hydriques des sols, comme annoncé ci-dessus, mais également de déterminer la classe de perméabilité des sols et les codes y afférents, permettant enfin d'évaluer l'indice d'érodibilité (K) des sols par secteur de route dans la zone d'étude.

Les tests ont été réalisés de part et d'autre des routes, en tenant compte des types de sols selon la carte pédologique au 1 : 250 000e et de la théorie de Beer Kan, simplifiée par L. Fourrié, J. Peigné, H. Veldie & al. , 2013, p 133. Cette théorie consiste à promouvoir les tests de perméabilité pendant la saison sèche, qui est la période « non saturée ». Pendant cette période, les sols n'ont plus assez d'eau, sauf dans les horizons plus profonds. C'est la période la plus favorable pour évaluer la vitesse et le temps d'infiltration des eaux, car dès le début de la première averse, les sols sont quasi perméables sur des espaces dénudés ou nus, les eaux s'infiltreront plus qu'elles ne ruissellent.

Mais ce n'est qu'après l'intensification des volumes de pluie et leur fréquence que les sols deviennent imperméables à cause soit de la limite de saturation atteinte ou de la formation des croûtes de battance. Ainsi la quantité d'eau versée dans le dispositif expérimental, à chaque opération, représente les premières pluies naturelles, ce qui permet d'analyser le comportement des sols dès les premières averses. Par contre en pleine saison des pluies, les sols sont souvent saturés et les tests ne serviront pas à grand chose.

Les tests ont été réalisés en adaptant l'essai de Porchet, à faible profondeur avec un tuyau PVC. Cet essai ne pouvait être utilisé totalement à cause des taux de sables assez élevés dans les sols, car dans ces conditions, il est difficile de creuser un trou et le garder stable.

Les tests sont répartis en deux étapes :

- la première consiste à mettre en place le dispositif expérimental sur le sol naturel, de part et d'autres des pistes. Le dispositif est constitué d'un tuyau PVC de 10 cm de diamètre et 34,5 cm de hauteur (Photos 3 ; 4 et 5, Planche n°2), installé sur chaque site nettoyé au préalable sans perturber les sols, car certains sont pollués par l'homme. Ensuite le tuyau PVC a été enfoncé de moitié dans le sol, soit 17,5 cm. L'autre moitié est émergée ;
- la deuxième étape a consisté à verser 1 litre d'eau dans la partie émergée du tuyau et chronométrer le temps d'infiltration dès le début du versement de l'eau et relever le temps d'infiltration totale dans le sol. Cette deuxième étape a été réalisée deux à trois fois sur chaque site.

PLANCHE N° 2 : Tests de perméabilité des sols dans des parcelles autour des pistes



Photo 3: dispositif expérimental sur un talus à Kibossi ;
Photos 4 et 5 : dispositif expérimental à Mayitoukou.
© Idriss M'bouka Milandou, 2015

✓ **Détermination du coefficient de perméabilité (K)**

Ce coefficient a été déterminé en tenant compte de la méthode utilisée par l'EPNAC, 2013, p10, avec la formule la suivante :

$$K = \frac{V}{S * d}$$

Avec K : coefficient de perméabilité (m/s) ; V : volume d'eau introduite dans le tuyau (m³) ; S : surface de la colonne du sol = surface d'infiltration (m²) ; d : durée de l'infiltration des eaux dans la surface de colonne du sol (heure) ou (seconde).

La surface du cylindre qui est égale à la surface de la colonne du sol ou de la partie du cylindre enfoui dans le sol (S) a été calculée avec la formule :

$$S = \pi * d \left(h + \frac{d}{2} \right)$$

Avec S : surface du tuyau ou cylindre (m²) ; d : diamètre du tuyau (cm)
et h : hauteur ou longueur de la partie du cylindre enfui dans le sol (cm) ; $\pi = 3,14$.

Pour concrétiser ces notions de perméabilité exprimée en minutes par seconde (m/s), nous avons utilisé le tableau des classes de perméabilité des sols, correspondant à la typologie, à la nature et à l'aptitude à l'infiltration des eaux d'EPNAC, 2013, p 9 (Tableau 4).

Tableau 4 : Classe de perméabilité des sols, correspondant à la typologie à la nature et à l'aptitude à l'infiltration des eaux

Perméabilité		Typologie du sol	Nature du sol	Aptitude à l'infiltration
m/s	mm/h ⁽²⁾			
K < 10 ⁻⁶	K < 4	Sol très peu perméable	Argile	Nulle
10 ⁻⁶ < K < 3.10 ⁻⁶	4 < K < 11	Sol peu perméable	Sol argileux	Mauvaise
3.10 ⁻⁶ < K < 10 ⁻⁵	11 < K < 36	Sol de perméabilité médiocre	Sol limoneux	Faible
10 ⁻⁵ < K < 2.10 ⁻⁵	36 < K < 72	Sol assez perméable	Sable très fin	Bonne
2.10 ⁻⁵ < K < 5.10 ⁻⁵	72 < K < 180	Sol perméable	Sable fin	
K > 5.10 ⁻⁵	K > 180	Sol très perméable	Sable moyen	Très bonne

Source : EPNAC, 2013

Les codes de perméabilité des sols ont été déterminés à partir du tableau de W.J. Rawls, D.L. Brakensiek & K.E. Saxton, 1982, p168, qui classifie et donne les codes de perméabilité pour chaque type de sol (Tableau 5).

Tableau 5 : Codes de perméabilité des sols par rapport à la texture

Texture	Classe de perméabilité (K)	Code (c)
Limono-argileuse et Argile	Très lente (nulle)	6
Limono-argilo-terreuse et Sable-argileuse	Lente (mauvaise)	5
Sable, argile terreuse et argile limoneuse	Lente à modérée (faible)	4
Terreau limoneuse	Modérée (faible)	3
Limoneuse et sablo-limoneuse	Modérée à rapide (bonne)	2
Sableuse	Rapide (très bonne)	1

Source : Rawls & al., 1982

Ce tableau qui établit un lien entre la nature des sols et les codes par classes de perméabilité, a été associé à celui d'EPNAC, 2013, p 9, pour trouver directement les codes de perméabilité des sols, permettant enfin de compléter les variables constitutives d'évaluation de l'érodibilité des sols par secteur de route.

- Evaluation de l'érodibilité des sols (K) par secteur

Selon E.Roose & J.M. Sarrailh, 1990, p 11, l'érodibilité d'un sol se traduit par la résistance inhérente au détachement et au transport des particules par l'eau. En d'autres termes, elle exprime la vulnérabilité du sol à être érodé par la pluie. Ce facteur dépend des propriétés physiques et chimiques du sol, notamment la texture, l'agrégation, la stabilité structurale, la porosité, la teneur en MO, etc. L'acquisition des résultats de la texture, de la teneur en MO, des codes de la structure et de la perméabilité des sols, permettent d'appliquer l'équation de régression de W.H. Wischmeier, C.B. Johnson & B.V. Cross, 1971, p 191, pour estimer la valeur de K. Ce principe a été développé par les mêmes auteurs, après plusieurs tentatives pour relier cet indice aux propriétés du sol, avec un Nomogramme permettant d'évaluer cet indice avec une précision acceptable, au cours de ses travaux sur 13 sols dans le Midwest américain.

$$100K = 2,1 * 10^{-4} * M^{1,14}(12 - MO) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)$$

M est le facteur granulométrique ; MO : matière organique ; b : code de structure de sol et c : classe de perméabilité du profil ; M, est déterminé par la formule :

$$M = [\text{Sable fin}(\%) + \text{Limon}(\%)] \times [100 - \text{argile}(\%)]$$

Cette formule est valable pour les états unis, mais adaptée au contexte du milieu tropical comme le nôtre, les résultats sont encourageants.

Les résultats ont été analysés en tenant compte de la classification des valeurs de K face à l'érosion, selon A. Bollinne & P. Rosseau, 1978, p 138, (Tableau 6).

Tableau 6 : Indice d'érodibilité et sensibilité des sols à l'érosion hydrique

Valeurs de K	Sensibilité des sols à l'érosion hydrique
K < 0,10	Sols très résistants à l'érosion
0,10 à 0,25	Sols assez résistants à l'érosion
0,25 à 0,35	Sols moyennement sensibles à l'érosion
0,35 à 0,45	Sols assez sensibles à l'érosion
> 0,45	Sols très sensibles à l'érosion

Source : Bollinne & Rosseau, 1978

Après analyse, une cartographie de l'érodibilité des sols par secteur a été réalisée à l'Université de Strasbourg, par la méthode de K. Délusca, 1998, p 46.

Sa réalisation a consisté à intégrer les valeurs de l'érodibilité des sols de chaque secteur de route dans le logiciel SIG IDRISI. L'intégration de ces valeurs dans la base de données spatiales, a été réalisée en suivant le processus ci-après :

- numérisation à l'ordinateur des superficies représentées par chaque échantillon (pour ce faire, on s'est inspiré de la carte des sols de la zone d'étude) ;
- conversion du fichier vectoriel issu de la numérisation en format matriciel (fichier image) en utilisant le module *POLYRAS* ;
- création d'un fichier de valeur à l'aide du module *DATABASE WORKSHOP*, et ;
- utilisation du module *ASSIGN* afin de faire la liaison entre l'image contenant les attributs géographiques et celle contenant la valeur de l'érodibilité de sols.

Ainsi la carte donne une idée des valeurs de l'érodibilité des sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, mais l'érodibilité des sols n'a de sens que lorsque le climat est jugé agressif par rapport au volume des pluies. Cette théorie est soutenue par E. Roose, 1975, p 20, qui affirme que la sensibilité des sols est fonction de l'agressivité climatique, mais également de la résistance du milieu (pente, couvert végétal, occupation du sol et méthodes anti-érosives).

C'est pourquoi l'évaluation de l'indice d'agressivité climatique de la zone d'étude s'impose.

- **Evaluation de l'agressivité climatique**

La pluie est l'un des principaux agents climatiques responsable de l'érosion hydrique et de la dynamique du relief, comme le soutient M. Costea, 2013, p 313 en ces termes « *climate aggressiveness is the one of the most important factors in relief dynamic* ». L'agressivité climatique est évaluée à partir du volume des précipitations qui agit par les ruissellements, représentant la quantité d'eau qui échappe à l'infiltration, lors de la saturation du sol ou de la formation de la croûte de battance.

En dehors des données de 1980 à 2014, concernant le volume, la fréquence, l'intensité des pluies et les températures, analysées dans le cadre général de cette étude, l'agressivité climatique a été évaluée par l'indice de Fournier (IF) et l'indice d'érosivité des pluies (R) à partir des données de volume pluviométrique de 2005 à 2014. Ces deux indices sont évalués à partir des données de volume pluviométrique d'une zone donnée.

Dans le cas de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, dépourvue d'une station climatique ou pluviométrique en fonction, ce sont les données pluviométriques de la station climatique de Brazzaville, à 17 km de la zone d'étude, qui ont été traitées.

- **Collecte et traitement des données pluviométriques**

Les données pluviométriques collectées à la station de Maya-Maya, concernent les années 2005 à 2014, soit 10 ans. Cette période, courte qu'elle soit, a permis de déterminer, comme annoncé ci-dessus, la capacité érosive du climat, à partir des indices de Fournier, et d'érosivité des pluies (R) en tenant compte de la formule simplifiée de K.G. Renard & J.R. Freimund, 1994, cités par D. Douay & E. Lardieg, 2010, p 13.

✓ **Indice de Fournier (IF)**

C'est l'un des indices d'érosivité de pluies qui permet d'évaluer le caractère agressif du climat vis à vis des sols. Il a été utilisé dans de nombreuses régions du monde (M. Meddi, 1992, V. Ferro & al., 1999, K. Odura-Afrive, 1996 cité par M. Meddi, 2015, p 317, pour estimer les pertes en sol et dans les projets d'aménagement. F. Fournier, 1960, p 187 l'a défini comme étant le rapport entre les précipitations du mois le plus pluvieux de l'année (p) et le total des précipitations annuelles (P) en utilisant la formule suivante :

$$IF = \frac{p^2}{P}$$

Avec p = pluviométrie du mois le plus humide ; P = pluviométrie annuelle

Comme annoncé plus haut, ce sont les données pluviométriques de la station climatique de Maya-Maya de 2005 à 2014 qui ont été utilisées. Les résultats ont fait l'objet d'analyse pour évaluer le degré ou la gravité de cet indice à Brazzaville et ses environs, notamment dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, à partir du modèle proposé par M. Meddi, 2015, p 326, dans ses travaux en Algérie du Nord (tableau 7).

Tableau 7 : Classes, description et catégorie de l'Indice de Fournier

Classes	Description	Catégorie FI
1	Très faible	<60
2	Faible	60-90
3	Moyen	90-120
4	Elevé	120-160
5	Très élevé	>160

Source : Meddi, 2015

Ce modèle est un tableau de 5 classes distinctes, beaucoup utilisé avec l'indice de Fournier modifié (IFM).

Les résultats obtenus ont servi à établir un lien avec les volumes de précipitations moyennes annuelles des 10 ans. Ces mêmes résultats ont été vérifiés à partir de l'évaluation de l'indice d'érosivité des pluies (R) avec les mêmes données pluviométriques de Maya-Maya.

✓ **Indice d'érosivité des pluies (R)**

L'évaluation de l'érosivité des pluies s'impose dans cette étude pour confirmer l'agressivité des précipitations selon les valeurs de l'indice de Fournier obtenues. Cet indice se définit comme étant l'aptitude d'une pluie à provoquer l'érosion hydrique. Il dépend surtout de l'intensité de la pluie ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (P. Stengel & S. Gelin, 1998, p 158). Cette énergie découle du diamètre des gouttes et de leur vitesse de chute. C'est un paramètre très important du fait que l'énergie cinétique des pluies donne la force à la goutte de pluie de désagréger les agrégats du sol à travers l'effet splash. D'après la méthode de RUSLE (W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1965, p 38), l'érosivité des pluies, qui varie entre 100 et 2000 MJ.mm/ha.h.an intègre dans son calcul l'intensité de la pluie, l'énergie délivrée durant l'épisode pluvieux et le volume d'eau mobilisable pour le ruissellement. Il est donc nécessaire de connaître la pluie totale et les intensités maximales sur 30 minutes des épisodes pluvieux sur une période de 30 ans. Mais étant donné que nous ne disposons pas du deuxième paramètre, nous avons cependant utilisé la formule proposée par K.G. Renard & J.R. Freimund, 1994, cités par D. Douay & E. Lardieg, 2010, p 13. Cette formule simplifiée intègre uniquement la hauteur des pluies annuelles moyennes (P) en mm, dont les données nous ont été fournies par l'ANAC. Etant donné que $P > 850$ mm à la station climatique de Maya-Maya, couvrant Brazzaville et ses environs (Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé), l'équation utilisée est la suivante :

$$R = 587,8 - 1,219 P + 0,004105 P^2$$

R : paramètre d'érosivité (MJ.mm/ha.h.an) ; P : précipitation annuelle (mm)

Les résultats obtenus ont été analysés par rapport à la classification d'indices d'érosivité de D. Douay & E. Lardieg, 2010, p 13, (tableau 8).

Tableau 8 : Classes des indices d'érosivité (R) des pluies

Classe	Erosivité (R)		Vulnérabilité des sols
4	> 5000	Forte érosivité	Très élevée
3	4000 à 5000		Elevée
2	3000 à 4000		Modérée
1	2000 à 3000		Faible
0	0 à 2000	Faible érosivité	Très faible

Source : Douay & Lardieg, 2010

Un lien a été établi avec les données des précipitations moyennes annuelles pendant les 10 ans, afin de vérifier la viabilité des résultats. Ensuite, un croisement a été faite entre les volumes de précipitations moyennes annuelles, l'indice de fourrier (IF) et l'érosivité des pluies (R), afin d'établir un lien et une corrélation permettant de fiabiliser les résultats obtenus. Mais l'érodibilité des sols et l'agressivité climatique n'ont pas suffi pour prouver la vulnérabilité du milieu face à la dégradation des routes en terre par l'érosion hydrique, les pentes et leurs caractéristiques jouent également un rôle important dans la dynamique de la dégradation routière dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

- **Evaluation de la sensibilité des pentes**

Le but de cette évaluation est de déterminer le rôle des pentes sur la dégradation des routes en terre par l'érosion hydrique à partir du facteur topographique.

Selon plusieurs auteurs, les pentes sont les facteurs les plus étudiés en géomorphologie dynamique à travers leur inclinaison et leur longueur. Il s'agit entre autres de A. Abdourhamane Toure, 2011, p 32 qui a soutenu que « *les formes d'érosion sont très fréquents près des plateaux où les pentes, plus abruptes, augmentent la vitesse de ruissellement responsable de l'érosion hydrique* », de N. Hudson, 1973, p 248 qui a écrit que « *l'érosion croit de façon exponentielle avec l'inclinaison de pente* », de R.P. Stone & D. Hilborn, 2000, p 1, qui ont affirmés que « *plus la pente est forte et longue, plus élevé est le risque d'érosion* ». L. Khali Issa, K. Ben Hamman, Lech-Hab & al., 2016, p 2786, ont indiqué que le critère de pente est également utilisé pour mettre en évidence la capacité d'un ruissellement à détacher et à transporter des particules de sols : « *plus la pente est importante, plus le ruissellement érodera le sol* ».

Suite à l'importance donnée aux pentes sur l'érosion hydrique en général et la dégradation des routes en terre en milieu rural ou forestier en particulier, il était nécessaire d'analyser à la fois les valeurs des pentes en pourcentages de la zone d'étude et sa variable qui est le facteur topographique (LS) à travers une cartographie réalisée à partir d'un Model Numérique de Terrain (MNT) sur ArcGis 10.1. Ce travail a été complété par l'analyse de la situation topographique de quelques sections de route.

- **Cartographie des pentes sur le MNT**

Elle a été réalisée à partir de l'extraction du modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude.

Cette opération a été réalisée sur ArcGis 10.1 et a permis de créer une couche des pentes classifiée par plages. Cette première étape a permis d'illustrer spatialement et d'interpréter globalement les valeurs des pentes de toute la zone d'étude.

La deuxième étape a consisté à superposer la couche des grands villages et des routes étudiées sur la couche des pentes, dans le but d'interpréter la situation de certaines sections de pistes dégradées et d'autres en situation de risque.

- Facteur topographique (LS) par le MNT

Le calcul du facteur LS est issu de la RUSLE (K.G. Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies & al., 1997, p 31). Le facteur LS ou facteur topographique est constitué de l'inclinaison de la pente (S) et de sa longueur (L). L et S sont calculés séparément.

L est à égal à $(L/22.1)^m$ où L est la longueur de la pente en mètre, 22.1 la longueur de la parcelle expérimentale, m un exposant qui intègre l'inclinaison de la pente (θ) et la rugosité du sol.

L'exposant m est égal à $\beta/(1+\beta)$. β est égal à $(\sin \theta/0.0896)/(3.0(\sin \theta)^{0.8}+0.56)$. Sin θ est en degré, mais pour éviter des valeurs négatives, on convertit en radians en le multipliant par 0.01745.

Pour calculer S, on distingue les pentes inférieures à 9% ou 5.1° et celles supérieures ou égales à 9%. Deux types de pentes sont calculés.

$$S1 \text{ (pentés inférieures à 9\%)} = 10.8 \sin \theta + 0.03.$$

$$S2 \text{ (pentés supérieures ou égales à 9\%)} = 16.8 \sin \theta - 0.50.$$

$$S = S1 + S2$$

- Analyse de la situation topographique des routes

Elle a portée sur les observations des sections de routes en situation d'interfluve, c'est-à-dire, en sommet de colline ou sur des lignes de partage des eaux, des sections en situation de terrasse, c'est-à-dire des tronçons de routes taillées sur les flancs des collines et les versants des vallées, des sections de routes au pied des collines ou dans les bas-fonds des vallées. Cette opération a été appuyée par quelques relevés directs des pentes sur les sections de routes.

Le but est d'apprécier la vulnérabilité desdites sections de routes face aux ruissellements et à l'érosion. Cette vulnérabilité des sections des pistes en situation topographique accidentée a été illustrée à partir de quelques profils topographiques réalisés sur Google Earth Pro, version 2015.

2.2. Outils de travail et instruments de mesure

Les outils de travail et les instruments de mesure sont constitués de :

- un véhicule 4X4 pour les sorties de terrain, des cartes au 1 :500 000^e et au 1 : 250 000^e de la zone d'étude, obtenues au CERGEC en 2014, représentant le réseau routier, les villages et l'hydrographie, les sols et la géologie.

La première a été utilisée pour des besoins de pré-enquêtes et de précision des routes et localités de la zone d'étude lors des sorties de terrain et la deuxième comme image de fond pour la production des cartes thématiques par le Système d'Information Géographique (SIG);

- un appareil photo de marque *SONY* (16 mégapixel) pour la prise des photos de l'état des routes, les formes de dégradation, les parcelles expérimentales, les dispositifs de lutte anti-érosive et les activités liées à l'occupation du sol;
- un GPS de marque *Magellan*, pour relever les coordonnées géographiques;
- une corde en nylon, graduée en mètre, pour mesurer les formes de dégradations majeures;
- une pelle pour creuser les fosses et nettoyer les profils des espaces échantillonnés et un double décimètre pour la mesure de la profondeur ou de la hauteur des espaces échantillonnés;
- une truelle pour prélever les échantillons de sols voués aux analyses au laboratoire Andrade Gutierrez ;
- un cylindre de 100 cm³ qui a permis de prélever les sols et le matériel remanié des pistes pour déterminer les densités apparentes y afférentes ;
- des sacs en plastique pour la conservation des échantillons de sols et de matériels remaniés avant leur traitement au laboratoire;
- un tuyau PVC gradué en cm, pour les tests de perméabilité, des bouteilles en plastique de 1 litre d'eau et un chronomètre d'évaluation du temps d'infiltration des eaux dans le sol ;
- un clinomètre de poche *SUUNTO* pour mesurer les pentes des routes ;
- un dictaphone pour enregistrer les avis des populations sur leur perception de l'érosion des routes ;

- le logiciel ArcGis 10.1 installé sur un ordinateur et les fichiers MNT de 2014 pour la cartographie thématique.

Les données et toutes les informations issues des enquêtes et des observations relatives à notre problématique, collectées sur le terrain, ont été enregistrées tantôt sur des grilles et des fiches d'enquêtes, tantôt sur un bloc note.

2.3. Difficultés rencontrées

Ce sous chapitre retrace les difficultés rencontrées au cours de nos travaux de terrain et de laboratoire. Certains travaux prévus n'ont pas été effectués à cause de quelques manquements dans l'acquisition des données ou d'informations et de quelques difficultés de réalisation cartographique. Il s'agit :

- du manque des documents sur la dégradation des routes dans les bibliothèques des Universités Marien Ngouabi (Congo) et de Strasbourg (France). Pour ce faire nous avons utilisé internet pour enrichir notre base documentaire sur cette problématique.
- de la rareté d'informations sur la zone d'étude, notamment les limites administratives, le nombre des villages, les travaux d'aménagement ou de réhabilitation des pistes. Quant aux données démographiques, nous nous sommes contentés de traiter celles du RGPH 2007 obtenues sur <https://www.cnsee.orget> chez les particuliers.
- des difficultés d'acquisition des données climatiques spécifique à la zone d'étude. Pour combler cette lacune, nous nous sommes contentés d'utiliser celles de la station de Maya-Maya à Brazzaville, qui peuvent couvrir, tant soit peu, d'une bonne partie de sa périphérie ouest du Pool, qui est la zone d'étude
- de la rareté des données cartographiques sur la zone d'étude. Celles qui existent sont assez vieilles et ont été redessinées par les cartographes du CERGEC. Nous avons été obligés d'élaborer une nouvelle carte à partir de ces vieilles cartes du CERGEC, avec des techniques du système d'information géographique.
- des difficultés des enquêtes sociologiques auprès des populations, pour obtenir leurs avis sur les causes et les conséquences du phénomène. Bien que plusieurs personnes aient accepté de répondre aux questionnaires, malgré quelques réponses farfelues, une bonne partie des gens ont refusé de se prêter à l'exercice pour diverses raisons.
- des difficultés dans la quantification complète du phénomène sur les routes, par manque du dispositif VIZIROAD utilisé par les sociétés de BTP pour quantifier les formes de dégradations mineures, plus denses que les grands ravinements.

- des difficultés dans la réalisation de quelques cartes thématiques, notamment celle de l'érodibilité des sols et du facteur topographique (LS). Pour palier à cette lacune nous avons sollicité les services des collègues à l'Université de Strasbourg (France) et de notre co-directeur, à l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger). De même l'acquisition des images satellites *Landsat* à partir du site earthobservatory.nasa.gov/, a quelque peu affecté la réalisation des cartes de l'occupation du sol. Nous étions obligés de traiter l'image de Brazzaville de 1975 et télécharger les images de Google Earth de 1995 et de Google Earth Pro 2015, qui n'ont pas assez de données, pour réaliser l'analyse diachronique de l'occupation du sol.

Mais, malgré ces quelques difficultés, on peut affirmer que sur 100% des résultats attendus, au moins 95% ont été atteints.

L'approche méthodologique élaborée à partir des objectifs fixés et des hypothèses émises, est la combinaison d'un certain nombre de méthodes utilisées à travers le monde, dans la problématique de la dégradation des routes en terre en milieu rural ou forestier. Cette approche nous a permis, non pas seulement de planifier les sorties de terrain pour la collecte des données à partir des observations, des enquêtes, des prises de mesures et des travaux expérimentaux in situ, mais également de les traiter au laboratoire et au bureau pour pouvoir présenter les résultats.

Mais ces résultats ne peuvent être présentés, sans pourtant connaître les caractéristiques du cadre général de l'étude, la nature du réseau routier, ainsi que les routes choisies comme matériel d'étude. C'est l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 3 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE, DU RESEAU ROUTIER ET DES ROUTES CHOISIES COMME MATERIEL D'ETUDE

Ce chapitre présente les cadres physique et humain de la zone d'étude, son réseau routier et les différentes routes étudiées. Il s'agit de la présentation, d'une part, de la situation et des limites de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé ainsi que des caractéristiques (fragilité, sensibilité, rudesse, densité, etc.) des éléments physiques constitutifs du milieu naturel qui interagissent avec les routes (géologie, topographie, sols, climat, végétation et hydrographie), de la dynamique ou de l'impact de l'homme et de ses activités sur la fragilité desdites routes et d'autre part, des caractéristiques techniques et du rôle socio-économique du réseau routier, et enfin des quelques routes choisies comme matériel d'étude.

3.1. Un cadre naturel fragile

Le cadre naturel est constitué de la géologie, du relief, des sols, du climat, de la végétation et de l'hydrographie. Ces différentes variables influent sur l'aménagement ou la construction (bitumage), l'utilisation et le vieillissement des routes dans le temps. Elles interagissent avec les routes en milieu rural.

Au Congo, le cadre naturel dans les campagnes proches des grandes villes, subit une grande pression anthropique, à tel point que la protection qu'on lui réserve est largement inférieur au regard des problèmes. La Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est une illustration parfaite de cette situation, car elle partage avec Brazzaville, des limites administratives communes.

3.1.1. Situation et limites de la zone d'étude

Autrefois appelé région du Djoué, ensuite district de Brazzaville de 1944 à 1957, puis district de Ngamaba en 1973, cette zone qui est actuellement une Sous-Préfecture, a hérité du nom de sa gare ferroviaire "Goma tsé-tsé" en 1985. Elle se situe dans le département du Pool, au sud-ouest du Congo et s'étend entre 3°50' et 4°30' de latitude sud et entre 15°00' et 15°20' de longitude est. Avec une superficie d'environ 1 411,97 km², Goma tsé-tsé compte parmi les 13 Sous-Préfectures du département du Pool. Elle est limitée au nord-est par la Sous-Préfecture d'Igné, au nord-ouest par celle de Mayama, à l'ouest par la Sous-Préfecture de Kinkala, à l'est par la ville départementale de Brazzaville, au sud-est par le majestueux fleuve Congo, frontière entre le Congo et la RDC et au sud-ouest par la Sous-Préfecture de Mbandza-Ndouna (Figure 6).

A cet effet, la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est une zone d'intersection entre Brazzaville (Capitale du Congo) et la partie septentrionale du pays. Cette situation est l'un des facteurs qui fragilisent le milieu naturel et les infrastructures routières de la zone, à cause d'une pression anthropique accrue.

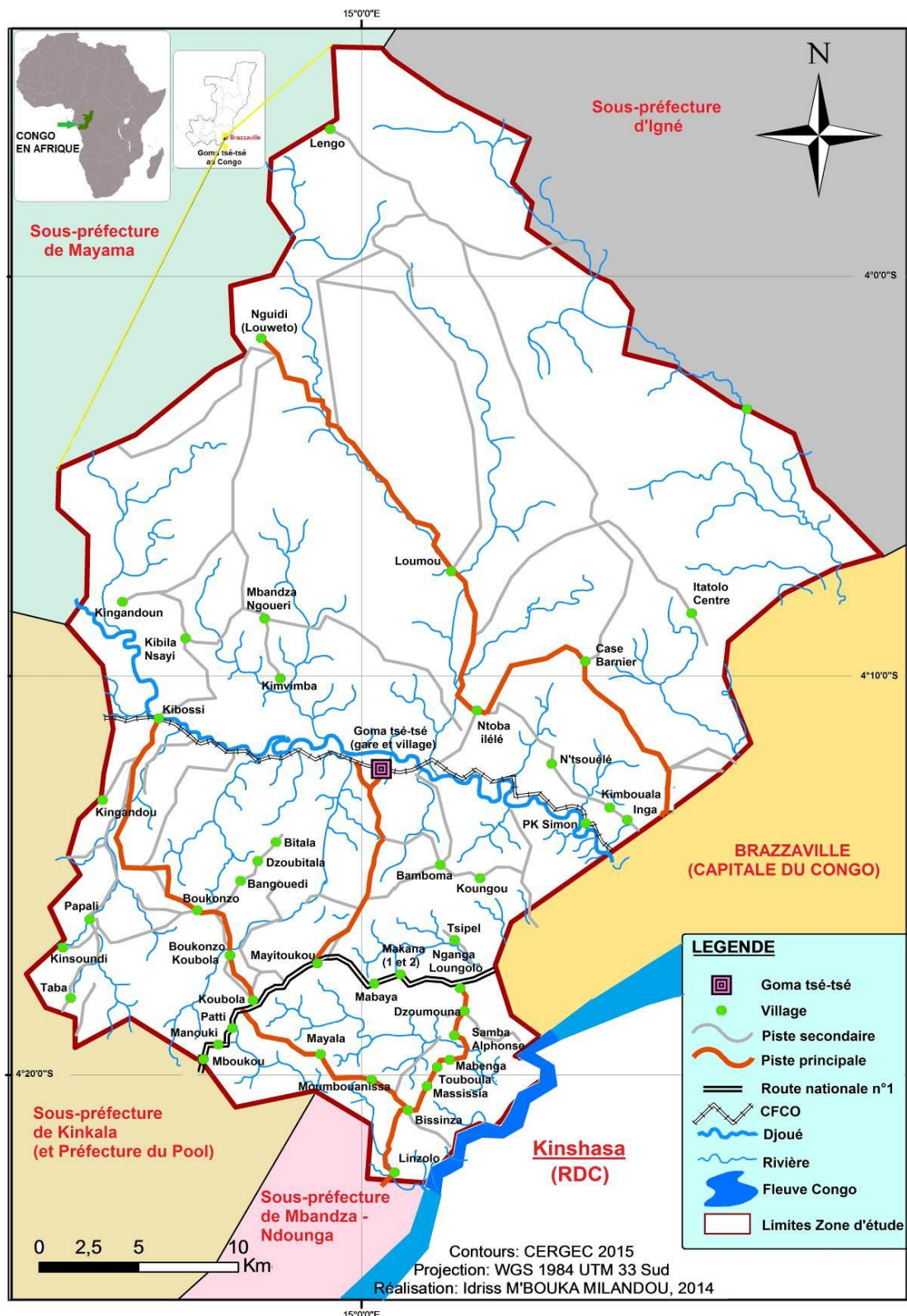


Figure 6 : Situation et limites de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

3.1.2. Relief de plateaux disséqués et géologie dominée par des sables

La zone d'étude s'étend sur les plateaux très découpés de Mbé et des Cataractes qui se partagent inégalement l'espace et occupent respectivement le nord et le sud (Figures 7A, 7B et 8). Ces deux unités géomorphologiques ne se différencient pas assez par rapport à leurs altitudes (Figure 8) et leurs assises géologiques (Figures 7A, 7B et 9).

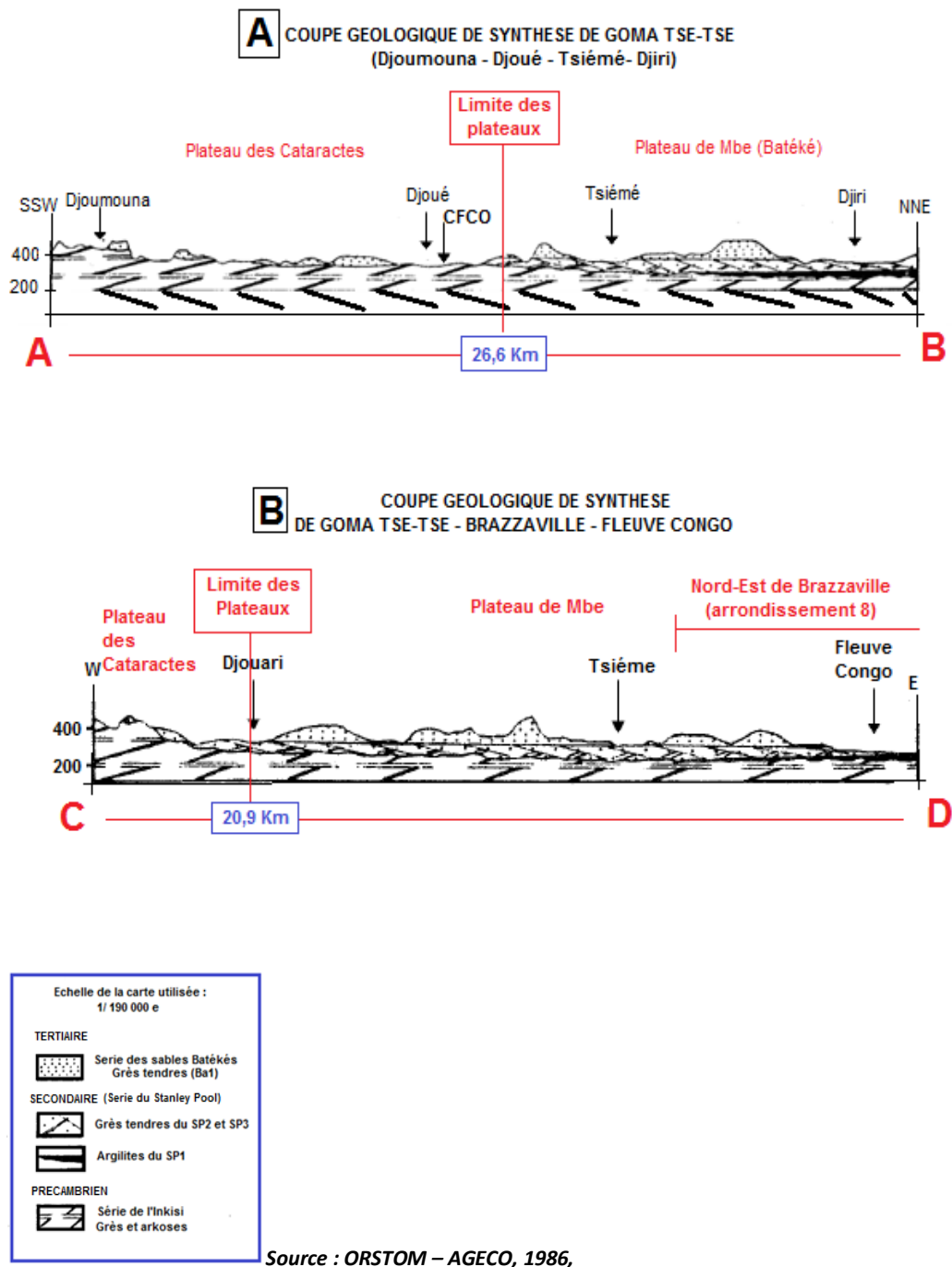


Figure 7 : Coupes géologiques de synthèse de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé



Figure 8 : Carte topographique de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

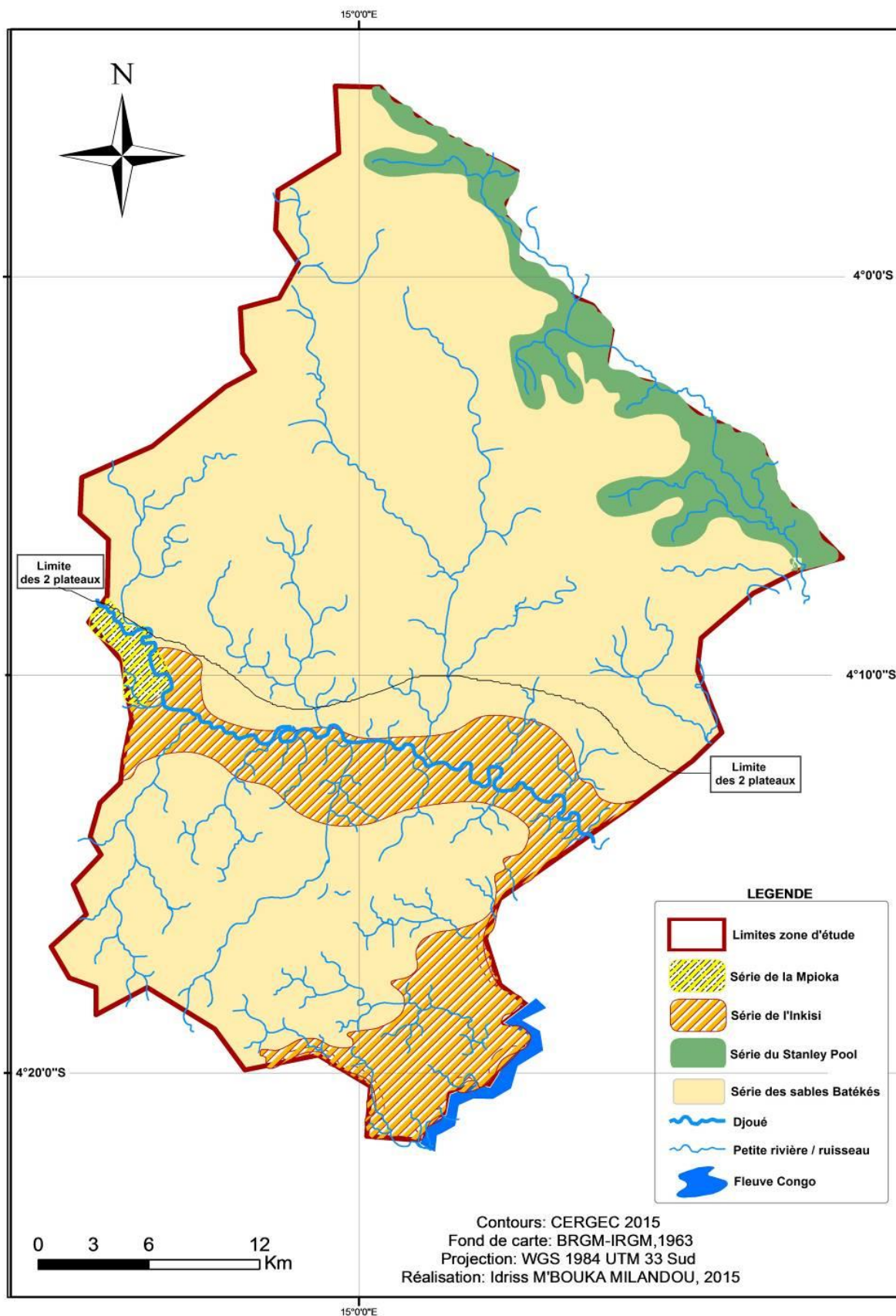


Figure 9 : Carte géologique de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Le binôme « topographie-géologie » joue un grand rôle dans la durée de vie des infrastructures routières. C'est pourquoi la présentation du relief est suivie de celle de la géologie pour chacune de ces deux entités géomorphologiques.

- **Le plateau des Cataractes**

• **Une topographie hétérogène et disséquée**

Le plateau des Cataractes occupe la partie centrale de la Sous-Préfecture, à la limite du plateau de Mbé, sur les bordures du bassin versant du Djoué, le long du CFCO et toute la partie sud, jusqu'au fleuve Congo, sur une superficie moyenne de 445 km² (Figure 8). Ce plateau couvre la majeure partie du sud du Congo et s'étend au-delà, sur la rive gauche du fleuve Congo, en RDC, où les sommets atteignent parfois 800 m d'altitude. Il se termine sur la dépression du Niari, par des escarpements abrupts que les cours d'eau franchissent en formant des cascades.

Dans la zone d'étude, notamment sur les axes routiers Nganga Loungolo – Linzolo, Nganga Loungolo – Mboukou (bitumé) et le long du CFCO, les sommets varient entre 300 et 500 m d'altitude environ (Figure 8). Le relief est par ailleurs marqué par une alternance des collines hautes et généralement arrondies (Photo 6, Planche n°3) ainsi que de profondes et vastes vallées. Ces dernières sont drainées par des cours d'eau pérennes dont les gabarits, dans l'ensemble moyens ou petits, contrastent avec l'ampleur des vallées. Les flancs des collines, ainsi que les versants des vallées sont échantonnés par des cirques d'érosion figés ou semi-actifs (Photo 7, Planche n°3) auxquels G.Sautter, 1969, p 629 a consacré une étude approfondie sur toute la partie sud du Congo.

PLANCHE N° 3:Caractères hétérogène et disséqué de la topographie du plateau des Cataractes



Photo 6 : vue d'une colline vers Kibossi
©Idriss M'bouka Milandou, 2015



Photo 7 : vue d'un cirque figé sur le flanc
d'une colline de Mayala.
©Idriss M'bouka Mlandou. 2008

Ce trait explique l'hétérogénéité de la surface topographique de ce plateau marquée par le contraste ‘*vallées profondes et drainées- collines hautes et douces*’. Dans le secteur des gares ferroviaires de Goma tsé-tsé et de Kibossi, on remarque une inclinaison tantôt légère, tantôt très forte du plateau en direction du bassin versant du Djoué, dans lequel se jette une bonne partie des cours d'eau de la région. La même situation est observée entre les villages Samba-Alphonse, Mabenga et Linzolo, où les rivières et les ruisseaux, forment de petits bassins versants qui se jettent dans le fleuve Congo. Les valeurs des pentes varient entre 1 et 45 % sur des espaces naturels, et 1 à près de 10 % sur les sections des pistes en terre. Ce plateau présente dans son ensemble, des phénomènes de ravinements actuels, qui s'emboîtent parfois dans les formes anciennes. On les trouve sur presque toute la partie centrale et méridionale de la zone d'étude, dont près de $\frac{3}{4}$ de ces derniers affectent les routes. Certains ravinements taillent les zones d'interfluve, les versants des vallées et les flancs des collines sur lesquels les routes ont été aménagées.

- **Des formations géologiques dominées par les grès et les sables**

Le relief ci-dessus décrit est taillé dans des formations datant du Précambrien et du Tertiaire (Figures 7A et 7B ; 9).

- ✓ **Le précambrien**

Le précambrien est caractérisé en général par la Protérozoïque (2 500 à 541 Ma), l'Archéen (-4000 à -2500 Ma) et la Hadéen (-4 600 à -4 000 Ma). Mais dans cette partie du plateau, n'affleure que 2 assises géologiques gréseuses. La première qui domine le soubassement de la zone d'étude c'est l'Inkisi, d'âge paléozoïque (-541 à -252,2 Ma), constitué d'arénite feldspathique (arkose) rouge violacée et des galets de roches diverses (P. Alvarez & al, 1995, cités par G. Ganza Bamulezi, T. Mugaruka Bibentyo & E. Mugisho Birhenjira, 2014, p 184 et la Mpioka (525 à 450 Ma) qui apparaît à peine à l'extrême ouest du plateau, sur la rive droite du Djoué au delà de la Gare de Kibossi (Figure 9, réf. page 66).

- **l'Inkisi**, date de – 541 à – 252,2 millions d'années et comporte 2 étages (niveaux I et II), subdivisés en 5 sous étages (niveaux I₀, I₁, I_{2a}, II_{2b}, II_{2c}) (J. Kœchlin, 1961, in I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 18). Mais de tous ces sous-étages, seul le I₀, constituant naturellement le début de la série et formée par un conglomérat de base d'épaisseur comprise entre 0 et 15 m, apparaît partout.

Il est visible le long des cours d'eau, notamment le Djoué et dans le secteur de Nganga Loungolo, au sud de Brazzaville, jusqu'à Linzolo au sud-est, sur une superficie estimée à 159 km².

- **La Mpioka**, diffère de la série précédente, par son faciès lithologique plus fin. De plus, le passage d'une série à l'autre est nettement marqué par la présence du **I₀** (B. Denis, 1974, p 11). Elle date de près de 900 MA (J. Kœchlin, 1961, in I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 18), et est à peine visible à l'extrême ouest de la zone, le long du Djoué. Elle compte trois (3) étages, selon la classification de P. Dadet, 1969, in I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 18, à partir de la carte géologique de la République du Congo au 1 : 500.000°. Il s'agit : des étages **P_{II}**, **P_{Ibc}** et **P₀-P_{Ia}**.

Mais de ces trois étages, seul le **P_{II}** est visible. Ce dernier est constitué de trois sous-étages distincts : le **P_{IIc}**, le **P_{LLB}** et le **P_{IIA}**. De même parmi ces 3 sous-étages, seul le **P_{IIc}** apparaît. Ce dernier repose directement sur l'Inkisi et se situe à une altitude voisine de 450 mètres. Il comprend une succession de niveau de shales rouges à mauves micacés, de grès feldspathiques à grains moyens, ou de grès quartzeux à grains fins, le tout d'une puissance de 260 mètres environ. Dans l'ensemble, la Mpioka présente une succession avec des alternances répétées de schistes et de quartzites feldspathiques (P. Vennetier, 1966, p 17), dont les grès rouges violacés du Djoué sont dominants. Enfin, dans ce plateau, les 2 assises géologiques sont couvertes par les sables Batékés du Tertiaire d'une puissance d'environ 300 m, ce qui rend vulnérable à l'érosion hydrique, les sols sablonneux de la zone. Dans ces conditions, les routes quelque soit leurs caractéristiques, sont exposées au phénomène érosif dynamique.

✓ **Le Tertiaire**

Le tertiaire fait partie des formations sédimentaires de couverture, dont la couche visible dans la zone d'étude est la série des sables Batékés. Il repose sur l'Inkisi (Figure 7A et 7B, réf. page 65).

- **La série des sables Batékés**, couvre une superficie d'environ 45 km², sur la rive gauche du bassin versant du Djoué (Figure 9, réf. page 66). Il s'agit d'un ensemble de couches dominées par une puissante série détritique, d'origine continentale, que l'on désigne localement par l'expression « *sables Batékés* ». Mais elle repose sur l'Inkisi et a des sédiments qui se sont accumulés depuis le Secondaire dans l'ère de subsidence de la cuvette congolaise. Ces sables couvrent environs 80 000 km² sur l'ensemble du territoire national, dont le plateau de Mbé, n'occupe qu'une faible superficie.

D'origine éogène, avec des grès polymorphes d'une puissance de 280 m, ces sous-couches comprennent des grès tendres à grain fin et régulier de teinte variable avec, au sommet, des niveaux silicifiés, des grès quartzeux et calcédonieux en bancs lenticulaires discontinus. D'une manière générale, le niveau le plus visible est le B_{a1} avec : *les grès, les grès silicifiés et les limons sableux*, comme couches marquantes (Figures 7A et 7B, réf. page 65). Les deux dernières couches sont vulnérables aux ruissellements et à l'érosion hydrique.

- **Le plateau de Mbé**

• **Une topographie disséquée par des vallées drainées et sèches**

Le plateau de Mbé fait partie des quatre plateaux Batékés qui couvrent une superficie d'environ 11 200 km². Mais il est le plus vaste de tous (Koukouya : 450 km² ; Nsa-Ngo : 3 000 km² ; Djambala : 1 250 km²) et s'étend sur 6 500 km² (P. Venetier, 1966, p 28). Dans la zone d'étude, il couvre une superficie d'environ 720 km² à partir du bassin versant du Djoué et s'étend à l'extrême nord de la zone, à la limite des Sous-Préfectures de Mayama et d'Igné (Figure 9). Subtabulaire et légèrement incliné du sud-ouest vers le nord-est en direction de la cuvette congolaise, il domine la ville de Brazzaville, dans les quartiers Ngamakosso, SOPROGI et Itatolo. Ce plateau est fortement disséqué par des vallées drainées et sèches plus ou moins encaissées de 300 à 700 m d'altitude et de vastes plaines et collines herbeuses à sommets arrondis, dont les altitudes varient entre 300 et 700 m (Photo 8, Planche n°4). Les valeurs des pentes sont presque les mêmes que dans le plateau des Cataractes, elles tournent autour de 3 à 40 % en moyenne et les pentes des routes dépassent parfois 10 %. Les vallées sont drainées par quelques cours d'eau affluents du Djoué et des affluents du fleuve Congo. Ce plateau est marqué par des cirques d'érosion figés et semi-actifs, visibles sur les flancs des collines (Photo 9, Planche n°4).

PLANCHE N° 4: Caractéristiques disséquées du plateau de Mbé



Photo 8 : vue d'une colline herbeuse, en arrière plan, vers Loumou.
©Idriss M'bouka Milandou, 2014



Photo 9 : vue d'un cirque sur le flanc d'une colline vers Nguidi.
©Idriss M'bouka Milandou, 2014

Les formes récentes ne sont pas nombreuses. Elles sont visibles à la sortie de Brazzaville, dans le quartier Sadelmie, vers le poste de l'armée congolaise « Case Barnier » et au Village Ntoba Ilélé. Elles se manifestent par des ravinements qui érodent les pentes des collines et les versants des vallées de la zone, pendant les saisons pluvieuses. La topographie accidentée de ce plateau est une illustration des caractéristiques géologiques du milieu.

- **Une assise géologique dominée par les sables Batékés**

Le plateau de Mbé est géologiquement dominé par le tertiaire et une infime bretelle du secondaire (Figure 9).

- ✓ **le Tertiaire**

Le Tertiaire est caractérisé par les sables Batékés, la même série décrite plus haut, dans le plateau des Cataractes et situé sur la rive gauche du bassin du Djoué. Ici elle couvre près de 635 km² et repose sur l'Inkisi (Figures 7A, 7B et 9).

- ✓ **le Secondaire**

Le secondaire est constitué de la série du Stanley Pool et se situe dans le bassin versant de la Djiri et couvre près de 65 km². C'est le niveau SP, constitué des grès tendres, des argilites, et des marnes, qui apparaissent sur ce plateau, le long de la rivière Djiri (Figure 7A, 7B et 9). C'est ce même niveau qui longe la rivière Léfini, plus au nord du département du Pool (Atlas Jeune Afrique, 1977, p 9). Selon B. Guillot & B. Peyrot, 1979, p 206 ces grès présentent aussi dans l'ensemble, une stratification entrecroisée de type éolien, avec des indices d'interruption de ce processus. Ces indices correspondent à des submersions lagunaires ou lacustres.

Enfin, malgré les caractéristiques gréseuses de l'Inkisi et la large couverture de la zone par le tertiaire, les sols ont une caractéristique sablo-argileuse, ce qui explique d'une manière générale, la relative fragilité du milieu face aux cycles d'érosions hydriques qui affectent les routes, surtout au sud de la zone d'étude.

3.1.3. Des sols sablonneux sensibles à l'érosion hydrique

Les sols de la zone d'étude, dépendent de l'altération des assises géologiques des deux plateaux, dominées par les sables Batékés. De ce fait, ils sont constitués des sables et des argiles. On comprend bien qu'ils sont le résultat d'une évolution très ancienne, qui altère les roches sur des épaisseurs considérables (P. Vennetier, 1966, p 52). Ce même auteur décrit les facteurs de la morphogénèse responsable de la formation de ces sols, il s'agit :

- du climat chaud et humide qui favorise le lessivage des horizons supérieurs et les activités biochimiques ;
- de la nature des roches, qui sont plus ou moins perméables ;
- de la végétation, qui apporte des matières organiques ;
- du relief, à travers la pente, qui favorise le transport des produits issus de l'altération, au lieu de s'accumuler tout en rajeunissant les profils en permanence ;
- enfin de l'homme, à travers ses activités directes et indirectes sur la végétation, par les amendements qu'il peut apporter, selon les outils utilisés.

Quant aux couches arables ou *topsoil*, elles sont résistantes à l'érosion hydrique grâce à leur richesse en matières organiques héritées de la densité de couverture végétale.

Mais lorsqu'elles sont dépourvues de cette couverture, dégradée par l'occupation du sol, elles deviennent vulnérables à l'érosion hydrique. Enfin, cette zone comprend essentiellement trois types de sols : les sols hydromorphes, les podzols ou sols podzoliques et les sols ferrallitiques fortement désaturés (Figure 10).

- **Les sols ferrallitiques fortement désaturés**

Ces sols sont classés en deux sous groupes, classifiés selon leur nature et/ou leurs caractéristiques, ainsi que leur localisation dans la zone d'étude : les sols argilo-sableux ou sols modaux et les sols sur grès Batékés ou sols psammiques (Figure 10).

✚ **les sols argilo-sableux ou sols modaux :** encore appelés sols remaniés (J.A. Houabaloukou, 2002, p 114), se caractérisent par un mélange des sables et des argiles issus de l'altération des grès de l'Inkisi. Ce sont des grès roux violacés, qu'on rencontre sur les collines et affleurant le long de la vallée du Djoué (J.F. Mabiala, 1973, cité par I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 13). On les trouve également sur les deux rives du Djoué, de Kibossi jusqu'à Goma tsé-tsé gare. Ils sont également présents le long de quelques affluents du Djoué et sur la RN1 (B. Denis, 1974, p 105) (Figure 10);

✚ **les sols sur grès Batékés:** ils sont de couleur jaune et sont issus des grès ou sables Batékés (B. Denis, 1974, p 105). Certains de ces sols, notés « sols sur grès Batékés 1 » sur la figure 10, occupent un grand espace de la zone d'étude, du nord au sud et de l'est à l'ouest. Ils se rencontrent sur les pentes des plateaux et des collines. D'autres sols, notés « sols sur grès Batékés 2 », se présentent sous forme de lambeaux isolés au nord et au sud. Ils se localisent sur les plateaux et les sommets des collines.

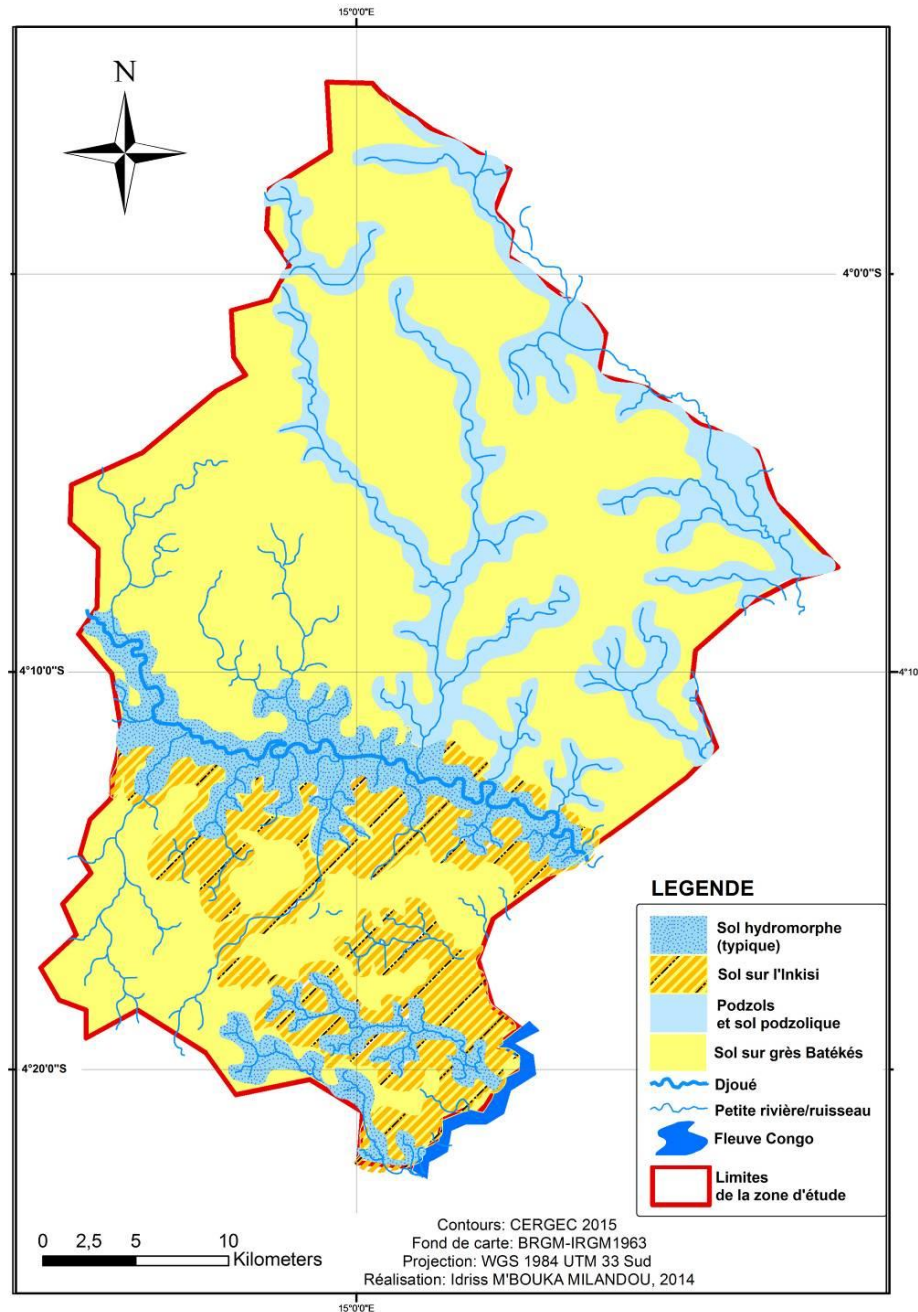


Figure 10 : Les sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

- **Les sols hydromorphes**

On classe les sols hydromorphes en deux (2) sous-groupes : les sols minéralogiques et moyennement organiques.

✚ **les sols minéralogiques** à pseudo-gley avec des tâches d'une part et à Gley de profondeur, d'autre part, le tout sur matériau sableux à sablo-argileux (B. Denis, 1974, p 30). Ces sols sont visibles le long du *Djoué* et son affluent *Bitala* au centre. Au sud, on les rencontre sur l'axe Nganga-Loungolo- Linzolo, plus précisément, le long des rivières *Djournouna* à l'entrée du village Samba-Alphonse et le long de *Mfoumou-Ndoulou*, à Linzolo (Figure 10);

✚ **les sols moyennement organiques**, de type humique à Gley et à Anmor acide sur matériau sableux (B. Denis, 1974, p 63). Ces derniers sont localisés sur la route Brazzaville - Loumou et le long de la rivière Loumou jusqu'à Nguidi village (Figure 10).

- **Les podzols et les sols podzoliques**

Les podzols sont des sols à *mor* enrichis en *sesquioxides*. Certains sont dépourvus d'horizon à Gley de profondeur et sont de type podzolique ferrugineux sur matériau sableux. Les sols podzoliques sont, par contre, pourvus d'horizon à Gley de profondeur. Ce sont des sols à pseudo-podzols de nappe, sur matériau sableux également (B. Denis, 1974, p 63). On les rencontre dans le secteur de Loumou, le long de la rivière et à Nguidi (Figure 10). D. Schwartz, 1987, p 33, a étudié les podzols de *Lousseke* de Nganga Loungolo, situé à l'entrée de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, à 17 km de Brazzaville. Pour cet auteur, ces podzols hydromorphes sont soumis à l'action d'une nappe perchée sur les horizons spodiques qui affluent temporairement pendant la saison des pluies et disparaissent à la saison sèche.

En définitive, tous ces sols, sont dominés par les sables Batékés et les grès de l'Inkisi. Les premiers sont sensibles à l'érosion hydrique, principale cause de la dégradation des routes dans la zone d'étude. Les deuxièmes sont quasi résistants à l'érosion hydrique et sont donc favorables pour l'aménagement des pistes. Mais la fragilité de ces sols est causée par l'agressivité climatique, à travers les pluies abondantes qui agissent sur la topographie accidentée de la zone.

3.1.4. Un climat agressif

La zone d'étude est située dans le domaine du climat tropical chaud et humide ou de type bas-congolais. C'est un climat caractérisé par l'alternance, au cours de l'année, de deux saisons distinctes du point de vue précipitation et température : *la saison des pluies et la saison sèche* (M.J. Samba Kimbata, 1978, in P.M.J Ngazzi, 2017, p 64).

- **Une longue saison des pluies intenses et agressives**

Les données des précipitations de 1980 à 2014, obtenues à la station climatique de Maya-Maya qui couvre Brazzaville et une bonne partie de la zone d'étude, nous ont permis d'apprécier le rôle non seulement de la durée de la saison mais également du régime pluviométrique qui agit sur la dégradation des routes.

La saison des pluies est la période la plus chaude de l'année, avec des températures moyennes sous-abri (TMoySA) qui oscillent autour de 25°C, les températures maximales moyennes sous abri (TMaxMoySA) qui varient entre 29 et 32°C et les températures moyennes minimales (TMoyMinSA) qui varient entre 21 et 23°C entre 2003 et 2014 (Figure 11).

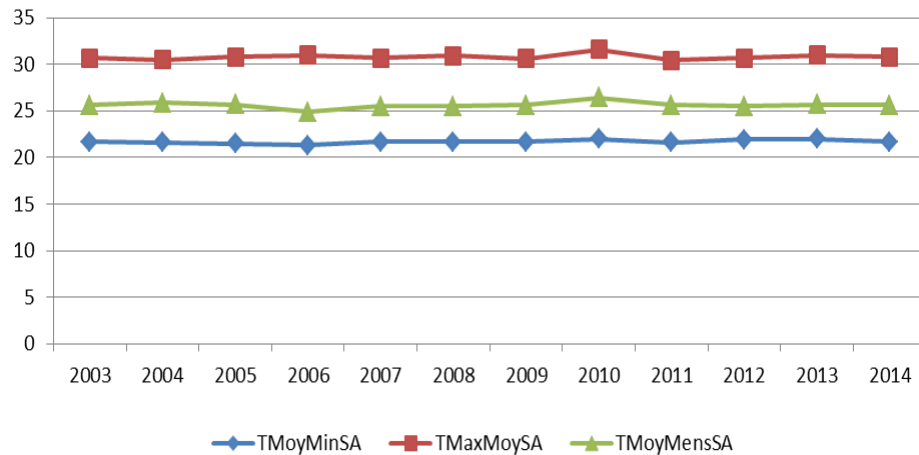


Figure 11 : Températures moyennes, minimales et maximales de Brazzaville et les environs (2003 à 2014)
Source données : ANAC,2015

En effet, cette saison est marquée par l'importance des volumes des précipitations, de leur intensité et de leur fréquence. Ce régime pluviométrique explique le caractère agressif de ce climat sur le substrat géologique et les sols.

Cette idée s'appuie sur l'analyse de M. Costea, 2013, p 313, qui pense que: « *the regime of rainfall reflects the aggressiveness of pluvial denudation on the geological substrate and soil through the volume, duration and intensity of rain* »

En effet, la saison des pluies s'étend en moyenne sur huit mois et demi, soit de la mi-septembre à la mi-mai, contrairement à la saison sèche qui ne dure que quatre mois et demi (mi-mai à mi-septembre).

La période pluvieuse est marquée par un volume important des précipitations, qui participent à l'érosion hydrique des pistes, fragilisées auparavant par les caractéristiques des pentes, la sensibilité des sols et l'occupation des sols. Pendant les périodes pluvieuses de 1980 à 2014, les mois les plus marqués sont novembre, décembre, mars et avril, avec en moyenne 180 à 260 mm d'eau (Tableau 9 et figure 12).

Tableau 9 : Précipitations moyennes mensuelles de 1980 à 2014 à Brazzaville et les environs

Mois	Juil	Août	Sep t	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Jui n	Total
P(mm)	1,9	6,4	31,0	138,6	263,5	182,8	146,5	138,3	184,5	183,91	125,0	7,9	1410,31

Source données : ANAC, 2015

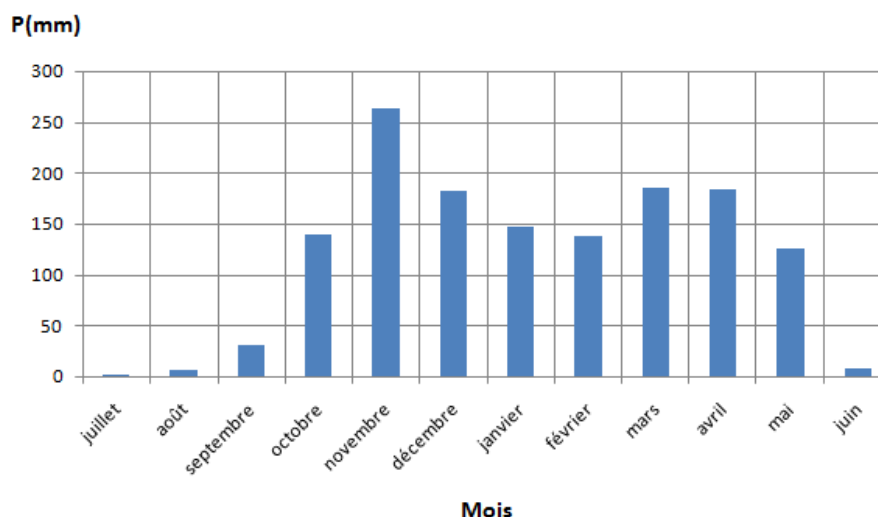


Figure 12 : Diagramme de précipitations moyennes mensuelles de 1980 à 2014 à Brazzaville et les environs

Le volume pluviométrique influe sur le binôme « ruissellement - érosion » qui affecte les routes en terre et latéritisées. Il est également appuyé par l'intensité et la fréquence des pluies qui participent aux décapages des sédiments de la surface de roulement des routes en terre. E. Baird, W. Floyd, L. V. Meerveld & al., 2012, p 4, vont dans le même sens et pensent que « *the frequency and intensity of precipitation affects sediments generation from road surfaces* ».

Quant à l'intensité des pluies, la station climatique de Maya-Maya a enregistré entre 1980 et 2014, des volumes de précipitations maximales qui vont de 40 à plus 70 mm d'eau en 24h, pendant les périodes pluvieuses (octobre à mai). Les pics sont atteints en novembre, décembre, mars et avril avec respectivement 76,0 mm, 65,6 mm, 57,6 mm et 54,0 mm de pluies en 24h (Tableau 10 et Figure 13).

Tableau 10 : Précipitations maximales en 24h de 1980 à 2014 à Brazzaville et les environs

Mois	juil.	aout	sept	oct.	nov.	dec.	janv.	fev.	mars	avril	mai	juin
P (mm) moyenne en 24h	2,0	5,0	15,2	42,1	76,0	65,6	47,8	45,6	57,6	54,0	43,1	6,0

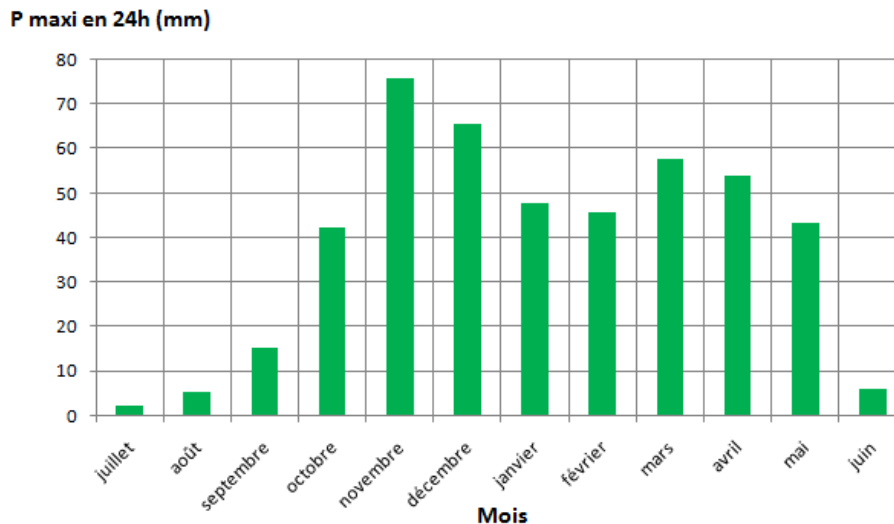


Figure 13 : Moyennes des précipitations maxi en 24h, de 1980 à 2014, Station de Maya-Maya (Brazzaville)

Ces volumes dépassent largement 12 mm des pluies en 24h que E. Roose, 1978 cité par B.A. Mayima, 2015, p 55, qualifie de seuil justifiable pour qu'une pluie soit érosive, donc intense, lors de ses études réalisées en Afrique de l'ouest. Dans ces conditions, ces pluies ne laissent pas souvent au sol le temps de se ressuyer avant l'averse suivante. Cette situation qui engendre une saturation des sols est un facteur important de régulation, car au fur et à mesure que le sol se ré-humidifie, la vitesse d'infiltration baisse et le ruissellement augmente.

Selon E. Roose, 1973 et 1977 cité par B.A. Mayima, 2015, p 20 et 23, les pertes en sol et les ruissellements intenses ont lieu aux moments où les sols sont gorgés d'eau et soumis au rythme de précipitations peu ordinaires.

Cela a été prouvé par les résultats du bilan hydrique obtenus par G. Samba & D. M'baye, 2000, p 3, dans la région du Pool entre 1951 à 1990. Selon ces auteurs : « d'une façon générale, dans la région du Pool, la période d'excédent hydrique concerne les mois d'octobre à mai, exception faite de Boko où cette période concerne les mois de novembre à avril ». Quant à P.M.J. Ngazzi, 2017, p 71 qui a analysé cette variable entre 2004 et 2013 dans la zone de Brazzaville, il a indiqué que « les mois de décembre à mai, sont des périodes de saturation des sols, donc de ruissellements instantanés et d'érosion, car le moindre apport d'eau ne peut s'infiltrer à cause de la saturation des sols. Cette saturation réduit sensiblement la cohésion du sol en liquéfiant les liants naturels des différentes particules d'où leur mobilisation facile par les gouttes de pluie et le ruissellement » (Figure 14).

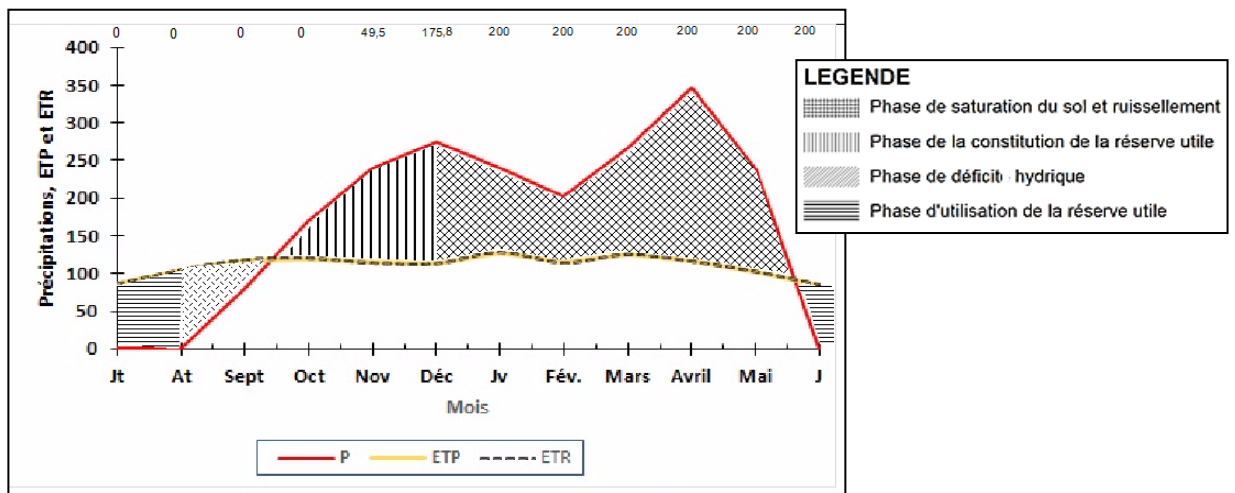


Figure 14 : Bilan hydrique simplifié du sol à Brazzaville de 2004 à 2013
 Source: Ngazzi, 2017

En tenant compte des résultats de G. Samba & D. M'baye, 2000, p 3 et de P.M.J. Ngazzi, 2017, p 72, la différence de saturation des sols est d'un mois (octobre) entre le Pool où se situe la zone d'étude et Brazzaville situé à l'est de ladite Sous-Préfecture. Mais cette saturation continue jusqu'en mai, ce qui concorde avec la période d'octobre à mai où les précipitations en 24h oscillent entre 40 et plus de 70 mm entre 1980 à 2014 (Tableau 10 et figure 13). Ainsi, pendant ces périodes, les espaces naturels ou habités, dénudés le long des pistes en terre ou éloignés subissent les processus d'érosion hydrique. Quant aux pistes en terre dont les surfaces de roulement sont déjà compactées et imperméabilisées par les passages répétés des véhicules et des piétons, le ruissellement est plus dynamique.

Cependant, une partie des matériaux (terres et matériel remanié des pistes) transportée par les ruissellements est captée ou retenue par la couverture végétale sur les flancs des collines et les versants des vallées. Une autre partie atteint les bas-fonds drainés, sédimentent les eaux et polluent le biotope.

La sédimentation et la pollution des cours d'eau causent des inondations qui engloutissent des gués, des ponceaux et même des habitations proches des cours d'eau.

- La fréquence des pluies

Les pluies enregistrées à la station de Maya-Maya, ne laissent pas souvent au sol le temps de se ressuyer avant les prochaines averses, ce qui favorise les ruissellements intenses responsables des dégradations, sur la surface de roulement des pistes en terre quasi-imperméabilisées.

Les données des précipitations enregistrées à la station de Maya-Maya entre 1980 et 2014, hormis les demi-mois de septembre et de mai, montrent qu'il a plu près de 92 fois, soit en moyenne 13 jours de pluies pour chaque mois. Le pic a atteint 17 jours de pluies en 30 jours pendant le mois de novembre (tableau 11 et figure 15).

Tableau 11 : Moyennes mensuelles des fréquences de pluie entre 1980-2014

Mois	mi-sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	mars	avril	mi-mai
Fréquence des pluies	2	12	17	14	12	11	12	14	5

Source données : ANAC, traité par nous

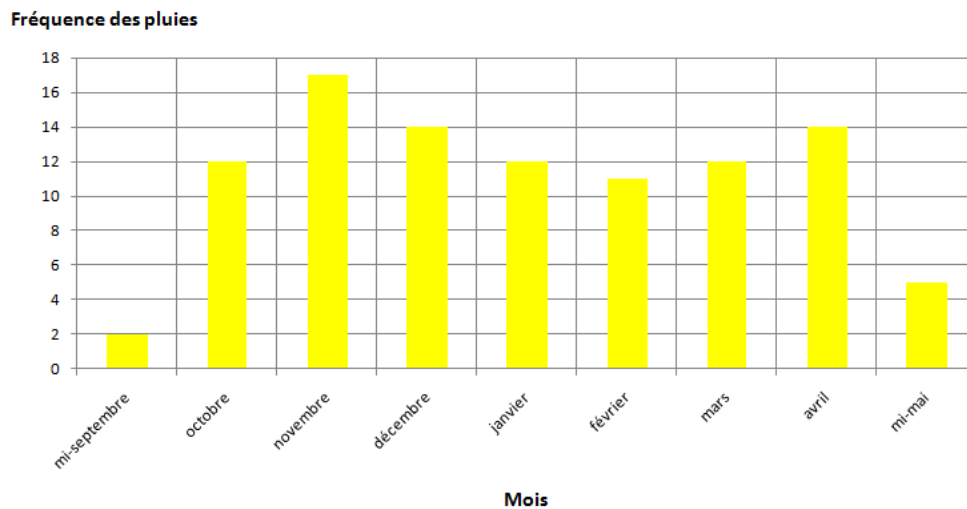


Figure 15 : Diagramme des moyennes mensuelles de fréquences de pluies entre 1980 et 2014

Pendant cette période, le matériel remanié des pistes, compacté et imperméabilisé par les automobiles et les piétons, est affaibli par la fréquence des pluies qui renforce l'intensité des ruissellements concentrés, responsables des ravinements routiers, même quand les précipitations sont faibles.

3.1.5. Un réseau hydrographique dense

La Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est drainée par un réseau hydrographique dense et diversifié. Tous les cours d'eau coulent dans des vallées encaissées, respectant ainsi la structure topographique des plateaux Batékés et des Cataractes (Figure 13). Ce réseau est dominé par près de 3/4 de rivières et ruisseaux à faible importance qui s'organisent autour de deux cours d'eau majeurs: la rivière Djoué et le majestueux fleuve Congo. Ces cours d'eau majeurs, forment les deux principaux bassins versants qui se partagent inégalement la zone d'étude.

- **Le bassin versant du Djoué**

Avec une superficie totale estimée à 6 785 km² (J.A. Houabaloukou, 2002, p 165), le bassin versant du Djoué couvre en moyenne une superficie de 605 km² dans la zone d'étude. Plus vaste que le bassin de la Loufoulakari (2980 km²), le Djoué est le deuxième plus grand bassin du Pool après celui de la Léfini (16.880 km²). Le cours d'eau principal est le Djoué. Il draine une grande partie de la zone d'étude sur environ 27 km d'ouest en est, en direction de Brazzaville. Il prend sa source dans les plateaux Bembés, avant d'atteindre la Sous-Préfecture de Mayama au nord-ouest de Loumou. Sa longueur totale est de 175 km depuis sa source jusqu'au fleuve Congo, avec un débit moyen de 140 m³/s (A. Laraque, A. Pandi, M.G. Berthelot & al., 1994, p 157). Il coule avec pérennité dans la zone d'étude, où il forme des méandres le long du CFCO à partir de la gare de Kibossi à l'ouest, jusqu'à traversé la gare de Goma tsé-tsé au centre et le PK Simon à l'est, avant de drainer Brazzaville sur des formations schisto-gréseuses de l'Inkisi. Il se jette dans le fleuve Congo, sur une zone de cascades tapissées de roches granitiques, après avoir drainé Brazzaville dans les arrondissements de Madibou, Mfilou et Makélékélé. Le Djoué, est alimenté par un réseau très dense de petits cours d'eau, qui forment une véritable toile d'araignée. Il est renforcé au nord et à l'ouest par de petites rivières à écoulement pérenne, et de petits ruisseaux à écoulement périodique et saisonnier. Parmi les cours d'eau importants, qui coulent sur les sables Batékés, dans les deux plateaux (Cataractes et Mbé), on peut citer le *Djouari*, long d'environ 30 km, renforcé par le *Loumou*, avec environ 17 km de longueur, le *Loumé* (25 km), le *Bouamboudi* (12 km). D'autres rivières et ruisseaux renforcent le *Djoué* au sud, il s'agit entre autres de *Bitala* (15 km), de *Manguenango* (7 km). Ces rivières sont renforcées, elles-mêmes, par des dizaines de ruisseaux qui drainent des vallées humides, colonisées par des forêts galerie des Plateaux de Cataractes et de Mbé.

- **Le bassin versant du Congo**

Ce bassin versant domine la zone d'étude sur une superficie de 521 km². Il est constitué de plusieurs cours d'eau. Le majestueux fleuve Congo est le deuxième fleuve le plus puissant du monde, après l'Amazonie en Amérique du Sud, avec un module interannuel de 40 600 m³.s⁻¹ (A. Laraque, A. Pandi, M. Berthelot & al., 1994, p 154).

Dans la zone d'étude, il draine la partie sud-est, dans l'axe Nganga Loungolo – Linzolo et se situe à près de 3 km de la bourgade de Linzolo.

Il coule sur environ 10 km dans une zone des Cataractes. Parmi ses affluents, on peut citer entre autres : la *Djiri* au nord-est (35 km), la *Tsiémé* (7 km) au nord, ainsi que la *Loua* (4 km), le *Dzoumouna* (13 km), le *Mfoumou-Ndoulou* (12 km) et le *Linzolo* (10 km) au sud.

Dans l'ensemble le fonctionnement du réseau hydrographique de la zone d'étude est tributaire du climat. Ainsi les rivières atteignent parfois des niveaux importants après des précipitations abondantes, engloutissant parfois les gués, les ponceaux et même certaines habitations proches de leurs lits. Le rôle géomorphologique des bassins versants du Djoué et du Congo, est important. Ils reçoivent les sédiments érodés en amont par l'érosion hydrique et les évacuent plus en aval, vers l'océan atlantique. Ils contribuent de ce fait à la dynamique érosive. Ce rôle a déjà été relevé par plusieurs chercheurs parmi lesquels B. Carey, 2006, p 1 qui stipule que « *the suspended sediments, which may have attached nutrients and pesticides, can adversely affect water quality. These fine, colloidal clay particles remain in suspension and may clog groundwater aquifers, pollute water courses and affect aquatic life* ».

3.1.6. Une végétation sous pression anthropique

La couverture végétale de la zone est constituée des formations herbeuses qui dominent largement les formations ligneuses beaucoup plus exploitées par l'homme. Mais cette flore est tributaire des caractéristiques topographiques, climatiques et géologiques des deux plateaux cités plus haut, qui jouent le rôle de la répartition des principaux types de végétaux (B. Descoings, 1975, p 93).

- Des formations herbeuses denses et diversifiées

Les formations herbeuses couvrent beaucoup plus l'extrême nord, domaine des sables Batékés et le centre de la Sous-Préfecture, domaine des grès de l'Inkisi, recouvert par endroits par les sables Batékés. Elles sont constituées : d'une savane à *Loudetia demeusii* qui ne dépasse pas 1, 5 m de hauteur, d'une savane à *Loudetia arundinacea*, parsemée d'une espèce arbustive dominante, *l'Annona arenaria* (*moulolo*) ; *Bridelia ferruginea* (*kikolokoto*) et de *l'Hymenocardia-acida* dont la hauteur varie entre 2 et 4 m, enfin d'une savane de *Trachypogon thollinii*, avec *Hymenocardia acida*, *Annona arenaria* et de *Bridelia ferruginea* (H.F. Dzamitika, 2005, cité par I.A.W. M'bouka Milandou, L. Sitou & M.J. Samba Kimbata, 2016, p 352). Ces végétaux colonisent les dépressions, les replats, les flancs des collines et les versants des vallées de Loumou, de Nguidi et de Lengo. Elles se rencontrent aussi sur les collines, de part et d'autre du bassin versant du Djoué et le long du CFCO.

Les gares de Goma tsé-tsé et de Kibossi sont également colonisées par ces végétaux (Photo 10, Planche n°5), qui alternent néanmoins avec la forêt mésophile, beaucoup plus présente au sud. Bien que moins touffues que la forêt, la savane joue un rôle important dans la lutte contre l'érosion hydrique des routes. Mais elle est également très agressée par les actions anthropiques pour des besoins d'espaces agricoles.

- **Des formations ligneuses moins étendues**

Moins étendue que la savane, la forêt est beaucoup plus présente au sud, à cause d'un sol assez complexe, issu de la superposition à différents endroits des grès de l'Inkisi et des sables Batékés. Cette complexité pédo-géologique confère à la zone, des forêts de type mésophile semi caducifolié qui alternent avec la savane à *Aristida dewildemanii* sur les grès de l'Inkisi (J. Kœchlin, 1961, in I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 18). Mais dans cette partie de la localité, la forêt subit de nombreuses agressions anthropiques liées à l'occupation du sol et à l'exploitation de la forêt pour des besoins en bois de chauffe, en bois de construction, en bois sec voué à la commercialisation et à la fabrication du charbon de bois. A cause de cette pression, la forêt est presque partout secondaire avec très peu de grands arbres mais des sous bois touffus. La forêt naturelle est présente néanmoins le long des cours d'eau et dans certains bas fonds des vallées drainées et marécageuses. A ces endroits, on trouve encore d'importantes galeries forestières très denses et riches en espèces ligneuses.

De même, le long du fleuve Congo s'est développé un massif forestier à *Gilbertiodron dewevrei* (J. Kœchlin, 1961, in I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 18). Elle est renforcée par les arbres fruitiers qui sont plantés en grand nombre dans les villages où ils forment de véritables vergers (Photo 11, Planche n°5).

PLANCHE N° 5 : Formations ligneuses moins étendues



Photo 10 : vue d'une colline colonisée inégalement par des savanes basses, hautes et boisées à Mayitoukou.



Photo 11 : Vue d'une forêt dans un bas-fond de vallée à Loumou (Présence des essences forestières et arbres fruitiers).

La présence desdits arbres dans la quasi-totalité des parcelles d'habitation, donne à chaque village l'allure d'un bosquet, vu de loin.

En définitive, ce milieu naturel déjà sensible par les pentes fortes et l'agressivité des pluies, subit une forte pression anthropique, accentuée après les conflits armés de 1997 à 2001 et les retombées socio-économiques de la municipalisation accélérée du Pool débutée en 2012.

3.2. Un cadre anthropique dynamique

Le cadre physique est marqué par la présence de l'homme et la pression qu'il exerce sur ce milieu naturel. Cette pression aggrave le phénomène érosif, qui est la principale cause de la dégradation précoce et accélérée des routes dans la zone d'étude.

3.2.1. Une démographie décroissante

La population de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, pourtant proche de Brazzaville et Kinkala, n'évolue pas, elle a au contraire diminué. En 1984, la population était de 35 888 habitants selon le RGPH. En 2007, soit 23 ans après elle est passée à 15 615 habitants avec une densité de 14 hab./km² (Tableau 12), soit une réduction de plus de 20 000 habitants. La principale cause de cette décroissance démographique est le conflit armé qui a affecté le Pool pendant la période 1998 - 2002.

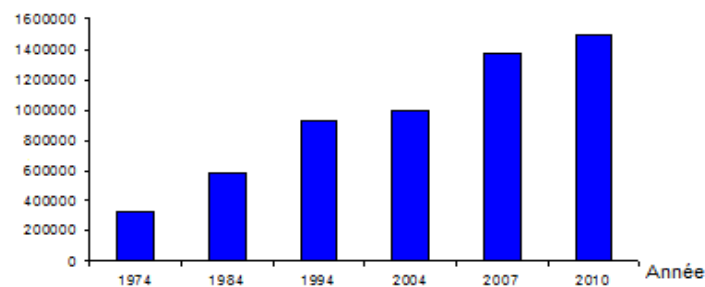
Tableau 12 : Caractéristiques de la population de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 2007

Age \ Sexe	0 – 19 ans	20-45 ans	50 ans et +	Totaux
Masculin	3 671	2 571	1 344	7 586 (48,58%)
Féminin	3 522	2 642	1 865	8 029 (51,42%)
Total	7 193	5 213	3 209	15 615 (100%)

Source données: CNSEE, 2007

En effet, cette période de violence a été marquée par la fuite des populations vers Brazzaville. Mais ces départs massifs vers la ville s'expliquent aussi par la pauvreté liée à l'enclavement de certaines localités par manque d'infrastructures de base, tels que les routes, les écoles, les hôpitaux, etc. Toutefois, un nouveau recensement s'impose pour évaluer la croissance démographique, qui selon nos observations, devrait être revue à la hausse si on tient compte des indicateurs socio-économiques, tels que la paix et les effets de la municipalisation accélérée du Pool en 2012. En effet, le Pool a bénéficié, comme d'autres, des travaux liés à cette politique gouvernementale de modernisation des départements.

Quelques retombées de cette politique gouvernementale sont palpables dans la zone d'étude, parmi celles-ci, le retour des populations dans des zones entre-temps enclavées, suite à la dégradation de la RN1 (Brazzaville - Kinkala) aujourd'hui réhabilitée. Grâce à la remise en état de la RN1, la population de Brazzaville, elle même en pleine croissance (Figure 16), afflue dans les zones rurales, pour des activités de commerce, d'exploitation forestière, de chasse, etc.



Source : RGPH, CNSEE et PNUD: 1974 ; 1984 ; 1994 ; 2004 ; 2007 et 2010

Figure 16 : Evolution de la population de Brazzaville de 1974 à 2010

Par ailleurs, malgré le mauvais état des autres pistes en terre, le retour massif des populations est aussi dû à la proximité de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé à Brazzaville, soit 17 km. Toutefois, l'attraction des populations est beaucoup ressentie dans la zone sud, qui, même avant la municipalisation accélérée, bénéficiait déjà de quelques infrastructures de base bien qu'en mauvais état (routes, chemin de fer, hôpitaux, écoles, ...), de nombreux villages et d'une hydrographie denses. Elle est donc plus peuplée que le nord. Cette dernière est pauvre en matière d'infrastructures, ce qui justifie le « *vide humain* » qui existe dans cette partie de la Sous-Préfecture. On peut parcourir des kilomètres de routes sans voir un village ou croiser des personnes. Mais ces retombées de la municipalisation accélérée du Pool en général et de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier ont des conséquences sur les pistes mal aménagées et non entretenues. Les conséquences se justifient par l'occupation du sol, à travers diverses activités économiques, tournées beaucoup plus vers l'exploitation forestière et les labours dans les zones de savane.

3.2.2. Des activités anthropiques fragilisant le milieu naturel

Bien que partageant les mêmes limites administratives avec Brazzaville, la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est avant tout un milieu rural. De ce fait, les populations résidentes et flottantes pratiquent des activités liées beaucoup plus à l'exploitation forestière. Les activités telles que l'agriculture, la chasse et l'élevage sont de moins en moins exercées.

- Une pression intense sur la végétation

La végétation de la zone d'étude dominée par des savanes, comme énoncé plus haut, subit une forte pression ces dernières années. Les lambeaux de forêts encore présentes dans les vallées et le long des cours d'eau, sont exploitées intensément, pour des besoins : en bois de chauffe, en bois de construction des habitations semi-traditionnels, en bois sec voué à la vente dans les marchés de Brazzaville et pour la fabrication du charbon de bois, dont la demande est toujours en hausse dans les ménages à Brazzaville. Tous ces besoins, favorisent la destruction non seulement des lambeaux forestiers le long des routes, mais aussi la dégradation des savanes arbustives. La savane, est régulièrement détruite (Photo 12) par les feux de brousse allumés par les hommes pour les besoins des activités agricoles et de chasse « au feu » aux ruminants comme *l'aulocode*.



Photo 12: Vue d'une pente défrichée pour l'agriculture à Linzolo
©Idriss M'bouka Milandou. 2011

Cette destruction a un impact sur la fragilité non seulement des infrastructures routières, mais également sur les sols, qui en devenant nus ou dénudés, favorisent la formation de la croûte de battance. Ces dernières imperméabilisent les sols et facilitent les ruissellements qui déclenchent les ravinements, souvent de type régressif, soit le long des pistes, sur les versants des vallées ou sur les flancs des collines. L'exploitation de la forêt et l'agriculture ont un intérêt commun pour les habitants de la contrée : le commerce.

- Le commerce : un facteur de pression sur les pistes

Tous les produits évoqués ci-dessus, font l'objet de commerce à travers des navettes intravillageoises ou entre les villages de la Sous-Préfecture et d'autres localités telles que Brazzaville et Kinkala. Ce trafic a un impact non seulement sur l'économie de la localité mais également sur la dégradation des routes. Le réseau routier dominé par des pistes en terre mal aménagées, subit une pression croissante des automobiles qui transportent de lourdes charges.

En dehors du tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) bien lotie et préparée pour de lourdes charges, les plates formes des pistes ne sont pas consistantes pour ce genre de trafic qui demande un bon aménagement. Cela est à la base de la prolifération des formes mineures qui se développent les FEM, causant ainsi l'impraticabilité des pistes en terre.

3.3. Présentation du réseau routier de la zone d'étude

Le réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est très diversifié, car on y trouve un tronçon de route bitumée, une piste latéritique et plusieurs pistes en terre (Figure 17)

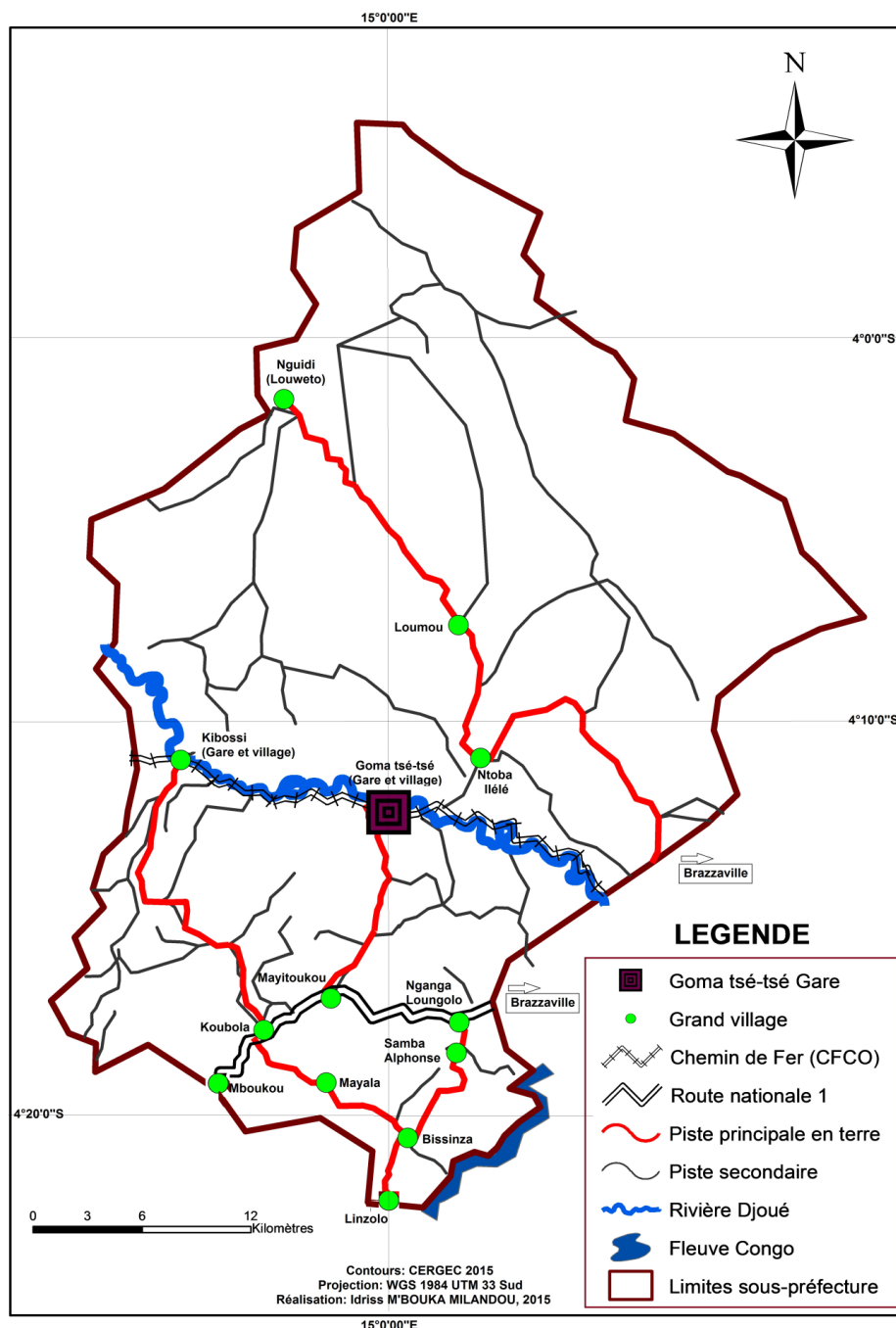


Figure 17 : Le réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Les routes ou pistes en terre mal aménagées et non entretenues, dominent l'ossature de ce réseau, estimé à environ 386 km, soit 24,92 km des routes bitumées, 11,43 km de route latéritique, 68 km de pistes principales en terre et enfin 281,42 km de pistes secondaires. Par manque de pont sur la rivière Djoué, qui sépare les parties nord et sud de la Sous-Préfecture, ces routes sont scindées en deux sous-réseaux. Les deux étant complètement indépendants l'un de l'autre (Figure 17).

3.3.1. Les routes du nord et leurs rôles socio-économiques

Le réseau routier de la partie nord de la sous-préfecture est plus dense que celui du sud, mais moins exploité. En terme de kilométrage, il totalise environ 227 km, soit un tronçon bitumé de 5,75 km entre Sadelmi -Case Barnier, une piste principale en terre Case Barnier – Loumou – Nguidi de 39,96 km et enfin 180,89 km de pistes secondaires. Le tronçon Sadelmi-Case Barnier permet aux populations de Brazzaville et de la Sous-Préfecture d'atteindre rapidement la piste Case Barnier-Loumou- Nguidi qui dessert, bien que difficilement la partie nord de la zone d'étude et au-delà, notamment les Sous-Préfectures voisines d'Igné et de Mayama. La facilité de mobilité sur cette route peut impacter le développement des activités socio-économiques de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, notamment l'accès au centre de santé, aux écoles, aux marchés, etc.

La piste en terre la plus importante est celle de Sadelmi (sortie de Brazzaville) – Loumou – Nguidi 45,75 km. Elle est constituée de trois tronçons : le premier est celui de Sadelmi-Case Barnier (5,76 km), le deuxième tronçon commence à la Case Barnier jusqu'à Loumou, en passant par le village Ntoba Ilélé, il est en terre (24,35 km) et enfin le troisième va de Loumou à Nguidi (15,61 km), il est très sablonneux.

Ces pistes en terre, auraient due être bien aménagées afin de desservir certains villages presqu'enclavés, tels que Lengo et Nguidi et même Loumou. Malheureusement elles sont abandonnées et sont de ce fait en mauvais état : *ensablement et dégradations mineures (rigoles, ornières, etc.)*.

Cet état de dégradation des pistes a des conséquences palpables du point de vue socio-économique dans cette partie de la Sous-Préfecture: difficulté de mobilité, rareté des produits de première nécessité (médicament, pain, pétrole, etc.), famine, exode de la main d'œuvre valide vers Brazzaville (exode rural), non accès au centre de santé qui n'existe pas.

3.3.2. Les routes du sud et leur importance socio-économique

Ces routes constituent un réseau d'environ 164 km, moins dense que celui du nord, mais plus exploité que ce dernier, car il est constitué de près de 5 routes très prisées par les automobilistes. Le tronçon bitumé de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) a environ 19,17 km, de Brazzaville (Nganga-loungolo) à Mboukou. Cette route a boostée les activités socio-économiques dans les villages qu'elle dessert.

Les populations riveraines et leurs marchandises peuvent atteindre facilement Brazzaville et Kinkala. Mais les autres routes principales en terre, comme Nganga Loungolo – Linzolo (13,46 km) auparavant bitumée mais détruite par l'érosion, la piste latéritique Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare (11,43 km) en pleine dégradation, la route Koubola- Kibossi (18,95 km) et enfin la route Bissinza-Mayala-Koubola (11,10 km), facilitent tant soit peu le mouvement des personnes et des biens, parce qu'il arrive que celles-ci soit coupées par les formes d'érosion évoluées ou couvertes de sables ou encore affectées par des bourbiers, ce qui les rend parfois impraticables pendant certaines périodes de l'année. Les autres pistes secondaires ne sont pratiquement pas utilisées par les automobilistes, malgré leur réseau qui s'étale sur près de 100,53 Km. Pourtant, si l'ensemble de ces routes était bien aménagé et constamment entretenu, elles devraient jouer pleinement un rôle salvateur pour les populations locales, du point de vue socio-économique, car certaines d'entre elles aboutissent directement à Brazzaville, capitale du Congo. D'autres débouchent à Kinkala (préfecture du Pool), sur le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) et sur quelques gares ou PK du CFCO (Figure 17).

Le caractère dégradé des routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, est lié aux types desdites routes. Leur état dépend du matériel remanié des pistes, des ouvrages liés au drainage des eaux de ruissellement, mais également de la situation topographique de leurs tracés respectifs. Du point de vue socio-économique, ces routes reflètent la réalité des réseaux routiers des pays sub-sahariens en général et de leurs milieux ruraux en particulier.

Au Togo par exemple, d'après A.K. Mensah, 2010, p 1, les routes rurales représentent, non seulement la grande partie du réseau routier du pays, mais elles jouent un rôle très important sur le plan socio-économique dans la mesure où elles permettent aux populations rurales d'écouler leurs produits agricoles, les rapprochent des structures sociales comme les centres de santé, les écoles, les hôpitaux, les centres de loisirs etc. Ce réseau constitue non seulement un lien entre les villages mais aussi un lien entre certains axes routiers.

Malheureusement ces dernières ne sont pas entretenues, elles sont soumises à de multiples dégradations, ce qui rend leur praticabilité difficile voire impossible à certaines périodes de l'année comme pendant les saisons pluvieuses. Cet état de chose a un effet très négatif sur la vie de la population rurale.

Au Burkina-Faso, selon M. Diane, 2004, p 16, et le site internet www.helvetas.org, le Gouvernement considère l'amélioration du transport en milieu rural comme un outil efficace de développement socio-économique et de lutte contre la pauvreté. C'est pourquoi, l'exécution du programme Pistes Rurales-Désenclavement à l'Est du Burkina Faso (*PrEst*) en 2004 a permis, grâce à la méthode HIMO, de réaliser plus de 300 km de pistes et de désenclaver 500 000 habitants d'environ 50 villages répartis dans 11 communes de la région de l'Est du pays. Le *PrEst* a permis de relier de manière durable des localités quasiment inaccessibles entre elles durant la période des pluies.

Le MTP Maroc, 1995, p 5, qui a mené une étude traitant du même problème au Maroc, a spécifié que plusieurs enquêtes et études ont porté sur l'impact socioéconomique des routes rurales au Maroc et en ont montré les importantes retombées positives pour la population concernée. En 1996, le Département de l'évaluation des opérations de la Banque Mondiale a montré que l'amélioration des routes rurales a produit des impacts positifs substantiels sur la réduction des coûts de transports et des accès moins coûteux et meilleurs aux services et aux marchés, l'augmentation des récoltes, l'augmentation du nombre des consultations médicales et la meilleure qualité des services, l'augmentation des inscriptions et du maintien en place des professeurs, etc.

Au Madagascar, le Projet de réhabilitation de pistes rurales *FIFAMANOR*, financé par la Norvège, a eu, selon M. Van Imschoot & Y. D'Hont, 1994, p 67, des impacts sur l'augmentation de la production agricole, le développement des échanges et par conséquent des revenus, l'accès aux services de toutes sortes et l'amélioration des conditions de vie.

Enfin en RDC, selon le site internet <https://www.afdb.org/>, la réhabilitation des pistes rurales, dégradées à cause de leur abandon pendant la période de la crise économique des années 1980 et aggravée par les conflits armés des années 1990, a amélioré le cadre socio-économique du milieu rural, en désenclavant les zones de production, en réduisant très sensiblement le temps de parcours, en facilitant l'accès des zones désenclavées à tous types de véhicules, des voitures aux camions de grand tonnage.

Pendant qu'elles étaient en piteux état, elles ont entraîné la diminution de la productivité, les difficultés d'approvisionnement en intrants et en équipements agricoles, ainsi qu'un enclavement accru des zones de productions, conduisant à l'insécurité alimentaire.

Tout ceci montre que les routes rurales, si elles sont bien entretenues, elles impactent directement le développement socio-économique des campagnes. Mais, si elles sont dégradées et abandonnées par le manque de réhabilitation et d'entretien les populations des zones desservies souffrent. C'est le cas aujourd'hui du réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, située à peine 17 km de Brazzaville (17 km).

3.3.3. Typologie des routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Les routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sont de 3 catégories du point de vue qualité du matériel de la plate-forme de la surface de roulement et du système de drainage des eaux.

✚ **la première catégorie** est représentée par des routes bitumées, appelées communément routes goudronnées. Il s'agit du tronçon de la route nationale n°1, de Nganga-Loungolo à Mboukou. L'aménagement de cette route a été fait dans les règles de l'art, respectant ainsi les normes d'aménagement d'une chaussée goudronnée. Le matériel principal est constitué du bitume, reposant sur du tout venant. La structure générale est caractérisée par une chaussée de 7 m avec des accotements et des canalisations de type campagne (Photos 13 et 14, Planche n°6).

PLANCHE N° 6 : Caractéristiques des routes bitumées dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé



Photos 13 : Section de la route Brazzaville-Kinkala, à l'entrée de la commune de Kinkala (2012) ; Photo 14 : Section de la de la route Brazzaville-Kinkala vers Koubola (2015).

©Idriss M'bouka Milandou

Ce type de route existe partout au Congo et dans le monde où elles sont classifiées par rapport à leurs importances économique et régionale, selon les caractéristiques illustrées par les figures 18 et 19.

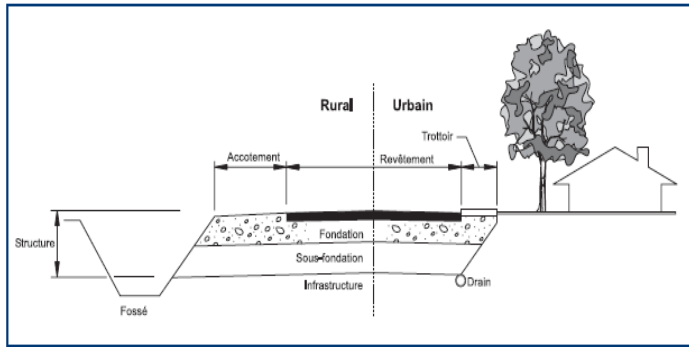


Figure 18 : Illustration d'une chaussée en milieu rural et urbain

© Ministère des transports du Québec, Canada, 2002

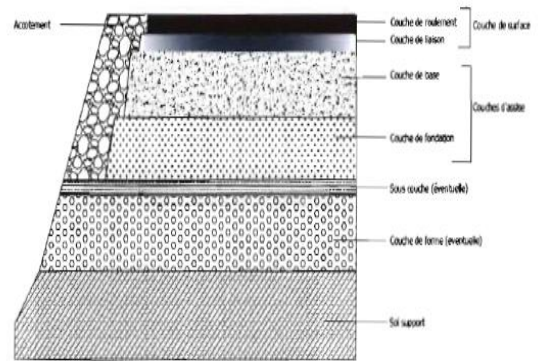


Figure 19 : Différentes parties d'une route bitumée

© Lo & Ndiaye, 2009

En effet, il existe des autoroutes, des boulevards, des routes interurbaines, des routes intercontinentales, des routes frontalières, des routes ou avenues de secours dans les villes, des routes rurales, des routes forestières, des routes de montagne, des routes littorales, etc. Les autoroutes par exemple, en occident (Union Européenne, Etats-Unis, etc.), relient en général deux régions ou deux cités urbaines. Elles peuvent avoir plusieurs voies en sens opposé et disposées les unes à côtés des autres, leurs dimensionnements varient selon les pays. Les routes transfrontalières peuvent avoir les mêmes caractéristiques que les autoroutes, mais elles se distinguent des autoroutes par le fait qu'elles relient deux pays. Les boulevards sont beaucoup plus localisés dans les centres urbains et ont aussi plusieurs voies, comme les autoroutes. Leurs largeurs et leurs longueurs varient selon les pays.

Au Congo et dans beaucoup de pays sub-sahariens, il n'existe pas d'autoroutes, il n'existe que des routes nationales et départementales. En Afrique de l'ouest il existe des routes régionales qui relient les pays de la CEDEAO, ce qui n'est pas encore le cas dans la zone CEMAC. En général toutes ces routes sont mal entretenues surtout dans les pays au sud du Sahara. Ce manque d'entretien est plus marqué en milieu rural où elles sont souvent abandonnées, et ce malgré la présence des postes de Péage comme ceux de Nganga-Loungolo à la sortie sud de Brazzaville et de Mengo à l'entrée de Pointe-Noire dont les fonds générés devraient servir à l'entretien des routes. Il existe également le fonds routier dont l'un des objectifs est l'entretien des pistes agricoles. Malheureusement ses effets ne se font pas sentir sur le terrain. Le réseau routier en milieu rural est au contraire abandonné à son triste sort. Dans ces conditions, la durée des routes dépend avant tout de leurs caractéristiques techniques qui malheureusement sont souvent défectueuses par manque de respect des normes de construction.

✚ **la deuxième catégorie** et la seule route latéritique (Photo 15), est située au sud de la Sous-Préfecture, sur la rive gauche du bassin versant du Djoué.



Photo 15 : Piste latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare et village
© Idriss M'bouka Milandou 2015

Seule sa surface de roulement a été aménagée en latérite. Sa plate-forme est constituée du matériel local, constitué de sols sablonneux. Elle n'a pas bénéficié des fosses, ni d'autres ouvrages hydrauliques pour la maîtrise des eaux de ruissellement des pluies. Ce deuxième type de route relativement durable et résistant aux trafics et à la dégradation, est également répandu en Afrique sub-saharienne à cause de l'abondance des latérites. Mais au Congo elles ne sont malheureusement pas très répandues, malgré l'abondance des latérites dans le plateau des Cataractes et ailleurs dans d'autres endroits du pays. D'ailleurs le rapport d'étude de la CEE datant de 1976, p 5, montre que les bassins intérieurs du Niger, du Tchad, du Congo, de l'Angola et du Kalahari sont constitués d'un bloc huronien dont la partie ancienne comporte une série de zones d'envoyage qui sont essentiellement constituées de sables et d'argile. Cet avantage peut faciliter la réalisation ou la construction des chaussées économiques en Afrique, à partir des latérites.

La Compagnie d'Etudes du Congo et le Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics ont publié dans la série « Développement de l'Outre-mer » des études de la CEE pour montrer l'importance des latérites dans la stabilisation des chaussées surtout en milieu rural.

Z.P.B. Bohi, 2008, p 16 qui fait une étude sur la « *caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : le cas de la région de l'Agnéby en Côte d'Ivoire* » a montré, après analyse de plusieurs travaux sur la latérite en Afrique, que les sols les plus utilisés en construction routière en Afrique, au sud du Sahara, sont des sols latéritiques, qu'il s'agisse de graveleux latéritiques, d'argiles latéritiques, de carapaces ou de cuirasses latéritiques. Ces sols ont été utilisés pour la construction des routes dans les programmes de développement des infrastructures des pays tropicaux. Son but était de contribuer au progrès des techniques de construction routière.

De même M. Guetcho Takedo, 2010, p 3 qui a réalisé une étude sur la stabilisation des pistes par la latérite au sud et à l'Ouest de Ouagadougou, au Burkina Faso, a montré que les routes reliant les zones rurales peuvent être stabilisées à base de latérite rouge, en utilisant les techniques traditionnelles, ceci afin de rendre plus praticable ces dernières et faciliter l'accès des populations aux marchés, aux dispensaires, et autres localités un peu plus développées. Pour F. Sikalf & D. Mir-Emarati, S.A., p 280, l'utilisation en construction routière des graveleux latéritiques présente un intérêt évident dans les pays tropicaux et tout particulièrement au Cameroun, en raison de leur abondance dans ce pays, soit 70% environ de la sa superficie. Celle-ci les rend économiquement intéressants même si leurs performances mécaniques s'avèrent parfois médiocres et surtout variables. Enfin, selon l'ONG ARCADE (www.arcade-vivre.asso.fr), l'utilisation des latérites dans la réhabilitation des pistes favorise le désenclavement des zones enclavées, avec des techniques simples, maîtrisées par les entreprises locales. Pour cette ONG, les avantages desdits matériaux par rapport au goudron sont : l'utilisation de matériaux locaux ; la facilité d'entretien par les populations (pelle, pioche, etc.) et la pérennité dans le temps. Un bon entretien, une piste latéritique peut durer près de 15 ans, comme c'est le cas des 6 km de piste latéritique Dembella au Mali, qui sont quasiment indemnes après 12 années de service.

✚ **la troisième catégorie** est constituée de pistes en terre. Celles-ci ne font pas l'objet de conception standard des pistes en milieu rural comme illustré par la figure 20.

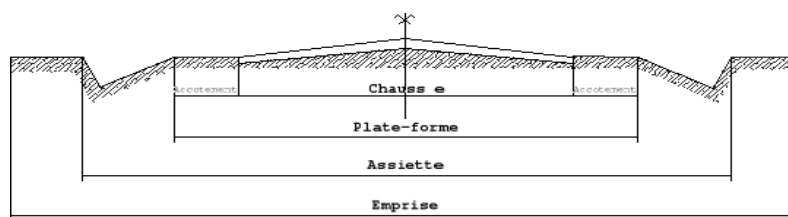


Figure 20 : Coupe transversale courante d'une piste
Source : Mensah, 2010

Les plates-formes et les surfaces de roulement sont constituées du matériel remanié en place (sols, sédiments, cailloux, pierres, etc.). Elles n'ont pas de système de drainage des eaux, capable de maîtriser les ruissellements superficiels. Ces dernières dominent l'ossature des réseaux routiers africains. Au Congo elles sont plus représentatives dans les campagnes, où elles sont dites "pistes rurales" et elles dominent le réseau routier national.

Selon le site internet www.portail242.info, le Congo a bitumé près de 3 000 km de routes en 2015, contre moins de 1 000 km au début de l'année 2000, sur un réseau prioritaire de près de 17 289 km de route (www.bkconseil.com). Le reste du réseau est dominé par les routes en terre, y compris quelques pistes latéritiques mal entretenues. Cependant, de part leur tracé par rapport au relief du milieu, 4 types de topographie (TP) routière ont été observés dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, sur lesquels les routes ont été tracées. Mais certaines routes traversent, 2, 3 ou 4 types de relief cités ci-dessous.

- Les tracés de routes sur les sommets de colline, encore appelées route d'interfluve, car leurs tracés surplombent la colline, dont les pentes de part et d'autre de la chaussée sont souvent très inclinées (Figure 21 A) ;
- Les tracées de routes aménagées sur les terrasses taillées sur les flancs de colline ou les versants des vallées. Ici, les routes sont caractérisées d'un côté, d'un talus et de l'autre côté, d'une pente (sur le versant ou le flanc) (Figure 21 B) ;
- Les tracés de routes dans les bas-fonds des vallées en situation de bas-fond des dépressions, notamment des vallées ou même entre deux collines (Figure 21 C) ;
- Les tracés de routes dans les zones « planes » ou des pistes qui logent les zones basses et planes, dépourvues des collines et des vallées.

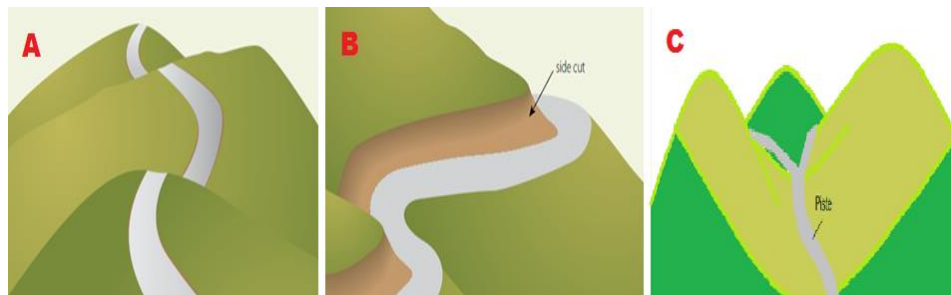


Figure 21 : Situation topographique des routes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé (A: route en situation d'interfluve, B: route en terrasse, C: route en situation de bas-fond de vallée)

© Idriss M'bouka Milandou. 2016

3.4. Présentation des axes routiers étudiés

Trois types de routes ont été retenus, en fonction des critères de choix fixés. Ce choix a porté sur : (1) la typologie des routes dominantes dans la zone d'étude, en tenant compte du matériel de la plate-forme ; (2) la surface de roulement, du système de drainage des eaux ; (3) l'importance socio-économique de la route, qui tient compte de son utilisation et l'importance des villages desservis ; (4) et la défaillance des caractéristiques techniques de la route : mauvais aménagement, défaillance ou absence totale des systèmes de drainage des eaux de pluie.

Au total cinq (5) axes routiers ont été retenus. Il s'agit de: la route Nganga Loungolo – Linzolo (P1); la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé (P2) ; la piste Koubola– Mayala- Bissinza (P3) ; la piste Koubola –Kibossi (P4) ; la piste Sadelmie-Case Barnier-Loumou-Nguidi (Louweto) (P5) (Figure 22).

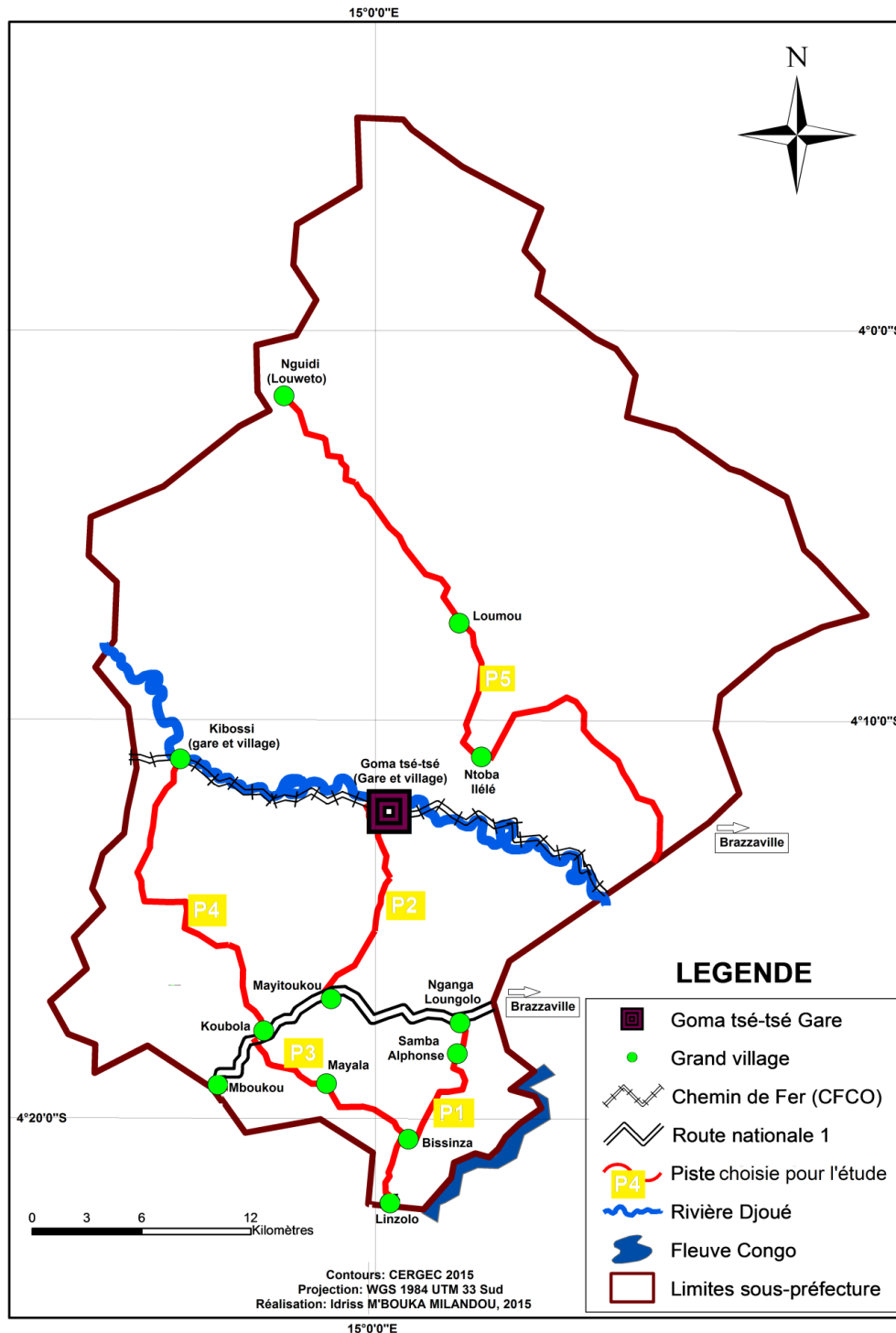


Figure 22 : Carte des routes retenues pour cette étude

3.4.1. La route Nganga Loungolo – Linzolo (P1)

La route Nganga Loungolo – Linzolo est une piste en terre, qui au départ était bitumée, entre les années 1970 et 1990. Elle est longue de 13,46 km avec une largeur moyenne qui varie entre 6 et 10 m (Photos 16 et 17, Planche n°7). Encore appelée « route de Linzolo », elle se situe au sud-est de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, sur une zone géographique dominée par des collines et des vallées, dont les altitudes varient entre 200 et 500 m environ.

PLANCHE N° 7 : Vue de 2 tronçons de la piste Nganga Loungolo- Linzolo



Photos 16 (2015) et 17 (2011) : Tronçons de la route de Linzolo
© Idriss M'bouka Milandou, 2011

Son tracé commence à Nganga-Loungolo ($4^{\circ}19'53,7''S$ et $15^{\circ}08'34,5''E$) à 293 m d'altitude. A l'instar de presque toutes les routes de la zone d'étude, son tracé est très sinueux. Elle passe sur des terrasses, des zones d'interfluve, dans des bas-fonds des vallées et dans des dépressions entre des collines. Elle traverse les cours d'eau tels que la Dzoumouna, Le Mfoumou Ndoulou et le Linzolo. Elle traverse une savane arbustive touffue et une savane basse clairsemée. C'est une route dont l'importance socio-économique, remonte au temps de l'installation de la première mission catholique du Congo vers 1880. Elle permettait aux populations de Brazzaville et des villages environnants d'accéder facilement à cette localité pour des raisons religieuses (christianisme) et de commerce. De ce fait, elle est restée jusqu'à nos jours, une route stratégique du fait qu'elle constitue un raccourci pour l'accès à Brazzaville en partant des Sous-Préfectures de Boko, de Loumo et de Mbandza Ndounga à l'extrême sud-est du département du Pool. En dehors de la RN1 non prise en compte dans cette étude, cette route dessert le plus grand nombre de village. Il s'agit entre autres des villages de Samba-Aphonse ($4^{\circ}21'56,2''S$ et $15^{\circ}08'33,6''E$, 346 m d'altitude), de Mabenga ($4^{\circ}22'18,4''S$ et $15^{\circ}07'57''E$, 346 m d'altitude), de Bissinza ($4^{\circ}23'22,0''S$ et $15^{\circ}07'19,5''E$, 444 m d'altitude) et de Linzolo ($4^{\circ}25'01,1''S$ et $15^{\circ}06'41,1E$, 307 m d'altitude).

De nos jours, elle a perdu toute sa plate-forme et sa surface de roulement en bitume. Cette perte est due à une dégradation sévère, entretenue par l'érosion hydrique. Dans le cadre de la municipalisation accélérée du Pool en 2012, elle a bénéficié des travaux de correction des poches d'érosion. Mais malheureusement, elle n'a pas bénéficié de l'aménagement des dispositifs pour la maîtrise des ruissellements et de lutte antiérosive.

Quelques sociétés détenant des licences d'exploitation des carrières des pierres, situées à près de 3 km de Linzolo, effectuent régulièrement des travaux d'entretien contre les dégradations liées à l'érosion dans le seul but de faciliter le passage de leurs moyens roulants qui transportent du sable et des pierres de construction exploités dans leurs carrières. Ces aménagements n'ont jamais été accompagnés de la mise en place de canalisations pour la maîtrise des ruissellements.

3.4.2. La piste Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare (P2)

Longue de 11,43 km sur 7 m de large en moyenne, cette route commence au village Mayitoukou (4°19'18,3''S et 15°04'42,2''E) à 390 m, sur la RN1 (Photo 15, réf. page 91). Elle traverse un réseau de collines et de vallées dont les altitudes varient entre 300 et 400 m environ.

En dépit d'un tracé moins sinueux que le tronçon précédent, cette route est marquée par la présence de plusieurs sections inclinées. On ne peut parcourir 1 km sur cette route, sans pourtant escalader ou descendre une pente de colline. Elle ne traverse aucun cours d'eau et la végétation observée le long de cette route est dominée par une savane arbustive touffue en quelques endroits et clairsemée dans d'autres. Cette route est d'une grande importance, car elle relie deux voies de communication très importantes pour la Sous-Préfecture : le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) et le CFCO (Figure 22). Elle est beaucoup utilisée par les passagers des trains voyageurs et marchandises pour vite atteindre les marchés de Brazzaville sud afin de vendre leur produits de commerce. La circulation y est dense, en toutes saisons. Mais elle ne traverse aucun village de Mayitoukou jusqu'à Goma tsé-tsé gare (4°13'49,0''S et 15°06'22,2''E) situé à environ 360 m d'altitude.

Autrefois dégradée par les ravinements et les ensablements, la piste a été aménagée en 2013, dans le cadre de la poursuite des travaux de la municipalisation accélérée du Pool. Elle a bénéficié d'une couche de latérite rouge de moins de 10 cm, qui lui a permis de résister un peu, mais aujourd'hui, les ravinements ont pris le dessus.

Aucun système de drainage des eaux n'a été aménagé le long de cette piste, seuls quelques impluviums observés à des zones où ils n'auraient pas dû être aménagés.

3.4.3. La route Koubola – Mayala- Bissinza

La route Koubola – Mayala- Bissinza est une piste de près de 11,10 km, qui commence au village Koubola (4°20'11,0''S et 15°08'34,5''E) à 411 m d'altitude, sur le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) et débouche à Bissinza (4°23'20,95''S et 15°07'06,02''E), à 432 m d'altitude, sur l'axe de Linzolo à l'extrême sud-ouest de la Sous-Préfecture (Figure 22) (Photos 18 et 19, Planche n°8).

PLANCHE N° 8 : Vue de 2 tronçons de la piste Koubola-Bissinza



Photos 18 et 19 : Tronçons de la route Koubola- Bissinza
© Idriss M'bouka Milandou, 2015

Vieille de près de 50 ans, elle a été tracée directement sur la roche en place (sols sablo-argileux issus des grès de l'Inkisi, de couleur jaune et ocre). Elle traverse tantôt des flancs des collines sur des terrasses, tantôt des sommets des collines et des bas-fonds des vallées. Son profil longitudinal est moins accidenté entre les villages Mayala et Moumbouanissa. Elle ne traverse aucun cours d'eau dans son parcours. Elle parcourt une savane arbustive clairsemée, alternée par les arbres fruitiers et une savane basse.

Du point de vue socio-économique, elle relie le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) et l'axe Nganga Loungolo-Linzolo, deux routes importantes de la zone. Elle est beaucoup prisée, du fait qu'elle constitue un raccourci pour les populations locales et les camionneurs transporteurs de bois voué à la vente et de charbon de bois, qui évitent le poste de péage de Nganga-Loungolo et les agents des eaux et forêt. Cette piste n'a bénéficié d'aucun aménagement dans le cadre du programme de municipalisation accélérée. Le système de drainage des eaux est inexistant, d'où le manque de maîtrise des ruissellements.

Aucun travail d'entretien n'est effectué, sauf les camionneurs qui remblaient les ornières pour éviter le blocage de leurs véhicules. Mais ce remblaiement donne naissance à un ravinement rare qui met la route en situation de tranchée : *le surcreusement de la route*.

3.4.4. La route Koubola – Kibossi Gare

La route Koubola – Kibossi Gare est une piste en terre de 18,95 km, qui commence au village Koubola, à l'ouest du tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) (04°20'11.0'' Sud et 015°08'34.5'' Est) à une altitude de 411 m (Figure 22) (Photos 20 et 21, Planche n°9). Elle est constituée tout simplement du matériel naturel de la zone, notamment des sols sablo-argileux et des sables des plateaux Batékés. A certains endroits, comme à l'entrée de Kibossi (4°12'26,2''S et 15°00'25,1''E, 343 m d'altitude) on observe des podzols. Son tracé traverse des pentes, des sommets et des terrasses des collines, ainsi que des bas-fonds des vallées tantôt sèches, tantôt drainées sur une altitude qui varie entre 300 et 450 m en moyenne.

PLANCHE N° 9 : Vue de 2 tronçons de la piste Koubola-Kibossi gare



Photos 20 et 21 : Tronçons de la route de Kibossi, en tranchée
© Idriss M'bouka Milandou 2014

La végétation dominante est la savane haute et touffue. Certains secteurs sont dominés par une savane basse clairsemée. Cette piste lie également le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) et le CFCO, elle est donc d'une importance capitale, malgré son abandon due aux ensablements et aux surcreusements. Pour aider les populations de Kibossi à se ravitailler en quelques denrées alimentaires et produits manufacturiers, certains automobilistes bravent quelque soit les saisons, les sables et les talus instables le long de la piste. Cette situation favorise la création de beaucoup de déviations, qui sont pourtant abandonnées les unes après les autres quand les ensablements deviennent gênants. Le système de drainage des eaux et les travaux d'entretien sont inexistants. Certains transporteurs luttent contre les ornières qui griffent les sections de piste sur les collines de sables, pour pouvoir circuler.

Ces ornières évoluent en surcreusement, puis en arasements, ce qui met la route en situation de tranchée à beaucoup d'endroits.

3.4.5. La route Sadelmi – Loumou – Nguidi (Louweto)

La route Sadelmi – Loumou – Nguidi est une vieille route qui servait de connexion entre Brazzaville et la Sous-Préfecture voisine de Mayama à l'extrême nord-est du département du Pool (Figure 22) (Photos 22 et 23, Planche n°10). Longue d'environ 35,46 km et de 7 m de largeur en moyenne à certains endroits, elle commence vers Sadelmi (quartier est de Brazzaville) et termine à Nguidi, un village de bas-fond d'une vallée qui délimite la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé et celle de Mayama, au nord. Comme annoncé plus haut, le premier tronçon Sadelmi – Case Barnier (poste de l'armée) à la sortie de la Cité des 17 (4°13'27,8'' S et 15°13'54,5'' E) est goudronné depuis les années 80, sans système de canalisation. Mais l'état de la chaussée est en cours de dégradation par de multiples formes d'érosion.

PLANCHE N° 10 : Vue de 2 tronçons de la piste Sadelmi-Loumou-Nguidi



Photos 22 : Vue du tronçon Case Barnier -Loumou



Photo 23 : Tronçon Loumou-Nguiri

© Idriss M'bouka Milandou, 2014

Le deuxième tronçon, est en terre et commence à la Case Barnier et s'étend jusqu'au village Loumou (04°09'22.4'' S et 015°08'56.1'' E) à 332 m d'altitude, en traversant le village Ntoba Ilélé (4°11'33'' S et 15°08'52'' E) à 360 m d'altitude. Elle est longue de 24,35 km et est caractérisée par un sol sablonneux issu de la série des plateaux Batékés. Elle ne dispose d'aucun système de drainage des eaux. Elle a été remblayée en 2013 par la société des BTP Chinoise CRBC.

Le troisième tronçon, est l'un des deux axes qui commencent à Loumou, juste après le ponceau de la rivière Loumou, et s'étend vers le nord-ouest en direction de Nguidi, situé à la limite entre les Sous-Préfectures de Goma tsétsé et de Mayama. Il est sablonneux et dépourvu de dispositif de maîtrise des eaux de ruissellement, suit la rivière Djouari, sur sa rive gauche sur une distance d'environ 15,61 km. Il est plus ancien et plus dégradé par les bourbiers, les ensablements et quelques cirques d'érosion témoignant d'une activité érosive dynamique du passé. Dans l'ensemble, elle est à la fois une piste de sommets des collines, ensuite elle est en situation de terrasses taillée sur les collines, elle traverse également une vallée drainée par la rivière Djouari, la plus importante de la zone, enfin elle traverse une grande plaine herbacée de Loumou, appelée « *Sessé dia Mouyambala* », dont sa largeur se réduit strictement aux traces des pneus de roues des véhicules. La végétation dominante le long de la piste est caractérisée par une savane haute et basse. Les bosquets de forêt sont observés le long des fonds de vallées. La route n'a aucun système de drainage des eaux et à part quelques travaux de remblaiement effectués par une société chinoise de BTP, CRBC en 2013, aucun autre travail d'entretien ne se fait. Elle est donc à l'abandon total. A partir du village Nguidi, le tronçon du côté de la Sous-Préfecture de Mayama, est affecté par un ravinement qui se manifeste sur le flanc de la colline 'rouge' de Nguidi, de loin ces ravinements montrent une sorte de murs griffés. La piste de Loumou est l'une des routes les plus importantes que les populations et transporteurs de produits vivriers empruntaient jusqu'à la fin des années 90, pour joindre Brazzaville et la Sous-Préfecture voisine de Mayama, à l'extrême nord. C'est un raccourci qui, à partir de Sadelmi, permet de joindre rapidement Mayama, Kindamba, Vindza, etc. Mais elle est très dégradée, les automobilistes préfèrent faire le contour en passant par le village Olympique de Kintélé, ensuite en prenant la Nationale 1 (Pool nord), traverser toute la Sous-Préfecture de Igné avant d'atteindre les localités de Mayama, Kindamba et Vindza. Par souci de faire vivre les populations des villages enclavés, certains automobilistes bravent les sables pour atteindre Nguidi et la Sous-Préfecture de Mayama.

La problématique du mauvais état des pistes en milieu rural n'est pas la seule exception pour le Congo, plusieurs pays subsahariens y sont confrontés. C'est le cas du Tchad, où selon R. Schmid, 2012, p 2, l'état des routes est piteux et freine le développement socio-économique. De même au Cameroun, selon l'Institut National de la Statistique (www.statistics-cameroon.org), après une crise économique dans les années 80, il y a eu crise de dégradation dynamique des routes, dont certaines ont totalement disparu à cause du manque d'entretien.

Cette dégradation routière a enclavé plusieurs localités rurales, avec des difficultés de mobilité et d'écoulement de leur production sur les marchés des centres urbains. Cette situation est similaire à celle de la RDC entre les années 80 et 90, qui selon le site www.afdb.org/fr, a été affecté par la dégradation des pistes rurales à cause du déficit d'entretien desdites infrastructures. Les conséquences sont les mêmes.

La Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, comme d'autres milieux ruraux cités ci-dessus, n'a bénéficié que de la réhabilitation d'une seule piste, celle de Mayitoukou-Goma tsé-tsé. Les autres axes importants comme ceux de Nganga Loungolo – Linzolo, Koubola-Kibossi et Sadelmi-Loumou- Nguidi, n'ont pas été réhabilités.

Le milieu naturel caractérisé par un climat bas-congolais, ou tropical chaud et humide, est jugé agressif de par ses hauteurs de pluies et sa température. Ces pluies qui érodent les routes en terre de la zone d'étude, exploitent la topographie accidentée du site, dans laquelle les 05 routes choisies parmi tant d'autres, ont été aménagées sur les zones d'interfluve, des terrasses et des bas-fonds de vallées. Cette caractéristique assez sensible du milieu, est aggravée par la présence de l'homme qui exploite avec pression ces routes, dépourvues des systèmes de drainage et ne bénéficiant par des travaux d'entretien, mais aussi le milieu naturel pour ses besoins socio-économiques diverses. Dans ces conditions le réseau routier est exposé aux multiples dégradations, de façon directe et indirecte.

Conclusion partielle

Cette première partie a présenté le cadre théorique de l'étude, la méthodologie utilisée et le cadre général de l'étude.

A cet effet, il était question de présenter la problématique de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, dans le monde en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier. La justification de la faisabilité de cette étude qui s'appuie sur la crise de l'érosion routière, depuis plus de deux décennies, dans cette zone rurale pourtant très proche de Brazzaville, a permis de se poser certaines questions sur les types et l'importance des routes affectées, les conséquences induites de ce phénomène, mais également les moyens de rémediation possible à mettre en place pour protéger les routes, mais également les villages.

A partir des questions posées sur cette problématique, des hypothèses ont été émises sur la qualité des routes dominantes dans la zone d'étude, les types de dégradation qui affectent les routes en terre, les facteurs explicatifs qui sont à la base de ce phénomène et les possibilités de rémediation par les techniques qui tiennent compte du milieu. A cet effet, à partir des 4 hypothèses, 4 objectifs spécifiques ont été fixés, il s'agit : de faire un état des lieux des routes à travers leurs caractéristiques physiques et leurs rôles socio-économiques, d'étudier les processus, la typologies et la quantification des formes d'érosion engendrées, de déterminer les facteurs de cette dégradation et afin de proposer des méthodes de lutte anti-érosive des routes, renforcé par un plan de gestion des infrastructures routières en milieu rural au Congo.

Toutes ces étapes de réflexion scientifique ont permis, en fin de compte, d'élaborer la méthodologie de recherche utilisée dans cette étude. Cette méthodologie, est la combinaison des méthodes fondamentales et appliquées en géomorphologie dynamique, mais surtout dans le domaine de la dégradation des routes en terre, en milieu rural ou forestière et ce repartie en trois étapes : (1) les observations et les enquêtes de terrain, (2) les prises de mesures et les essais expérimentaux *in situ* et (3) le traitement des données au laboratoire et au bureau. Comme évoqué supra. Comme annoncé supra, le but est de vérifier les hypothèses émises à partir des objectifs fixés et annoncés ci-dessus et d'atteindre les objectifs fixés.

Après la méthodologie, une présentation détaillée de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé a été faite, dans le but d'analyser la stabilité ou la sensibilité du milieu. Ce milieu est caractérisé par l'agressivité climatique marquée par le volume important des pluies, les fortes intensités et les fréquences remarquables au cours des saisons pluvieuses. Ces pluies exploitent les pentes des routes dont les valeurs varient entre 1 et 15%, ainsi que espaces naturels proches des routes, qui atteignent des pentes de 45%. Cette exploitation se justifie par l'intensité des ruissellements concentrés, qui érodent le matériel remanié des pistes, mais aussi les sols des espaces naturels dépourvus de végétation. Cette situation est due à la saturation des sols autour des pistes entre les mois d'octobre et de mai, selon le bilan hydrique évalué à Brazzaville et les environs. Mais la sensibilité ou la stabilité du milieu naturel ne suffit pas à elle seule pour justifier les causes de la dégradation des routes. La mauvaise conception des routes, l'inexistence ou la défaillance des systèmes de drainage des eaux, les fortes charges de véhicules, les désordres du trafic dans la création des déviations et l'occupation des sols, à travers la destruction de la végétation le long de routes, sont aussi des facteurs humains qui expliquent la genèse et l'évolution rapide des dégradations.

Enfin, pour une bonne illustration de la dégradation des routes en terre dans ce milieu rural, il était question de présenter d'abord les caractéristiques du réseau routier et son importance socio-économique et ensuite faire un choix minutieux de quelques axes routiers à étudier, sur la base de certains critères établis au préalable. Ce travail a montré que le réseau routier de la zone d'étude est dominé par les routes en terre ou pistes, soit les $\frac{3}{4}$ de son ossature. Leurs importances socio-économiques ont été présentées du point de vue septentrional et méridional. Ces routes qui sont mal aménagées, dépourvues des drains d'évacuation d'eau et non entretenues, traversent les terrasses et les sommets des collines, les bas-fonds des vallées, et quelques zones planes, ce qui les met naturellement en situation de risque de dégradation. Même la végétation qui constitue une protection naturelle des pistes est très agressée par l'homme. A cet effet, la route Nganga-Loungolo –Linzolo (P1), la piste latéritique Mayitoukou-Goma tsé-tsé, les pistes Koubola-Bissinza (P3) et Koubola-Kibossi (P4) et enfin la route Sadelmie (Brazzaville)-Loumou-Nguidi (P5) ont été retenues et constituent de ce fait le matériel d'étude.

A l'issue de cette étape importante de la recherche, il est question de présenter les résultats obtenus pour évaluer l'ampleur du phénomène qui perdure depuis plus de 20 ans, dans la zone d'étude. C'est l'objet de la deuxième partie de cette étude.



DEUXIEME PARTIE : **PRÉSENTATION DES RESULTATS**

Cette deuxième partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus au cours de cette recherche et de la discussion. Elle compte 2 chapitres: le premier traite de la typologie et du bilan quantitatif des formes de dégradation qui affectent les routes en terre et leurs conséquences et le deuxième chapitre détermine et analyse les facteurs explicatifs responsables de cette dégradation routière dynamique.

CHAPITRE 4 : TYPOLOGIE ET BILAN QUANTITATIF DES DEGRADATIONS ROUTIERES ET LEURS CONSEQUENCES DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE

Ce chapitre fait un état des lieux de la dégradation, par l'érosion hydrique, des routes rurales de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Il présente dans un premier temps, les processus et la typologie des formes engendrées ainsi que leurs conséquences sur les routes. Dans un second temps, il fait l'évaluation des pertes en sédiments sur chaque piste et enfin, les conséquences ou les impacts du phénomène sur la vie des populations et de façon succincte sur l'environnement.

4.1. Processus et typologie des formes de dégradation des pistes

L'érosion hydrique est le principal agent de la dégradation des routes rurales de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Il est connu que ce phénomène engendre une diversité de formes, selon les espaces ou les milieux dans lesquels il se manifeste (Y. Le Bissonnais, P. Thorette, C. Bardet & al., 2002, p 10), dont l'agent principal est le ruissellement. Ce dernier génère soit l'érosion diffuse, qui est à la fois l'œuvre de l'effet splash et de transport des particules décapés par ce phénomène, soit l'érosion linéaire ou concentrée, qui résulte d'un ruissellement concentré et rapide, dont la conséquence principale est la formation des rigoles qui évoluent en ravines puis en ravins. Mais l'érosion hydrique qualifiée par D. Pimentel, 2006, p 119, comme étant l'un des sérieux problèmes de la dégradation de l'environnement et de la santé publique dans la société, fait l'objet de nombreux travaux de recherche à travers le monde, dans l'espoir de trouver des solutions de rémédiation. Ces travaux sont consacrés tantôt à l'étude de l'érosion fine dans les espaces agricoles, les zones de reboisement (Eucalyptus, etc.), tantôt à l'érosion ravinante en milieu urbain, au détriment de l'érosion des routes ou des pistes. Cette dernière est peu étudiée, surtout dans les pays francophones. Mais dans les pays anglophones, lusophones, asiatiques, etc. (Afrique australe, Australie, Etats Unis, Chine, etc.), elle fait l'objet de plusieurs travaux de référence, très intéressants.

Les différents types d'érosion hydrique évoqués ci-dessus présentent des réalités quasi-différentes par rapport à l'érosion des routes, du point de vue genèse et disposition des formes engendrées sur les chaussées. Sur les routes rurales, les principales zones de prédilection du phénomène sont : *la chaussée elle-même et les espaces situés de part et d'autre de ladite chaussée*. On comprend bien qu'ici, la route est elle-même le principal pourvoyeur des eaux de ruissellement.

L'énergie de ces ruissellements dépend des valeurs (en degré ou en %) et de la longueur des pentes des sections routières. Si le système de drainage des eaux est défaillant, les eaux de pluie non maîtrisées peuvent se déverser de façon diffuse ou concentrée de part et d'autre de la chaussée pour stagner (zone de plane) ou atteindre les zones basses (pieds de colline ou bas-fond des vallées).

Dans tous les cas, les conséquences sont connues : genèse et évolution de multiples formes d'érosion hydrique. Ces formes sont de diverses catégories.

- les premières sont qualifiées de formes de dégradation mineure (FDM), par rapport à leur faible volume et à leur moindre ampleur sur les routes en terre (I.A.W. M'bouka Milandou, 2013, p 31). Certaines sont très dynamiques : genèse, stabilisation et disparition naturelle ou sous l'action de l'homme, d'autres par contre sont dynamiques : genèse et évolution en formes d'érosion évoluées (FEE) avec des volumes importants ;
- les deuxièmes, notamment les FEE citées ci-dessus, sont les résultats de l'évolution de certaines FM. Elles sont caractérisées par les ravinelements. Ces derniers prennent de l'ampleur avec le temps, si les travaux de traitement ne sont pas effectués.

4.1.1. FDM et leurs conséquences sur les pistes

Elles sont dynamiques et se manifestent à la surface de roulement des routes en terre. Elles résultent de deux processus de dégradation : la dégradation structurelle, qui affecte la structure superficielle de la piste, caractérisée à la fois par la surface de roulement et la plateforme et la dégradation par défaut de drainage-assainissement, qui résulte soit d'une mauvaise conception ou du manque du réseau de drainage, le tout couplé par un manque d'assainissement (Egisbeceom, 2009, p 17). Les formes engendrées par ces deux processus sont illustrées par le schéma ci-dessous (Figure 23), selon le classement de *Viziret* (Egisbeceom, 2009, p 6).

Ce schéma tient compte des types de routes observées dans la zone d'étude et des formes engendrées.

- Formes de dégradations structurelles (FDS)

Les formes de dégradations structurelles sont causées par plusieurs facteurs, tant naturels qu'anthropiques. Elles constituent un paramètre de viabilité d'une piste, caractérisé par la vitesse moyenne de parcours qui peut décroître également à la fois du fait du trafic, des ruissellements et des types de matériel remanié. Parmi ses formes observées, on peut citer : les déformations, les nids-de-poule, les tôles ondulées et les rigoles.

Toutes ces formes ont été observées au sud de la zone d'étude, notamment sur les pistes Mayitoukou - Goma tsé-tsé et Nganga Loungolo – Linzolo. Sur la première piste, toutes les formes citées ont été observées, du fait que cette route a bénéficié des travaux de latéritisation en 2013 et depuis, elle n'a pas fait l'objet d'entretien et de traitement des formes.

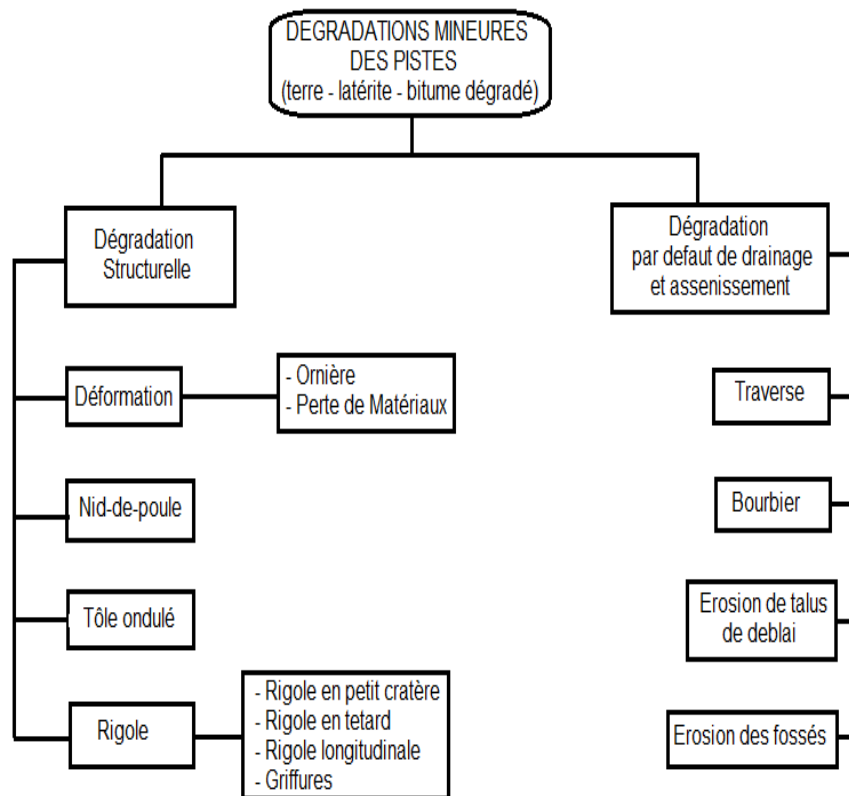


Figure 23 : FDM sur les pistes en terre, latérite et bitumées dégradées
Adapté selon le modèle de Egisbeceom (2009),
in Idriss M'bouka Milandou, 2012

La prolifération des déformations, des nids-de-poule, des tôles ondulées et des rigoles, dont l'inconfort se ressent pendant la circulation des automobilistes, ne surprend plus les usagers de cette route, qui pourtant facilite la liaison entre Brazzaville, la RN1 et le Chemin de fer, à partir de la gare de Goma tsé-tsé La seconde route qui mène à Linzolo à partir de Nganga-Loungolo, était bitumée jusqu'en 1999, mais avec quelques dégradations qui gênaient déjà la circulation.

Le manque d'entretien et de traitement urgent des formes a aggravé la dégradation de la chaussée jusqu'à la perte de près de 98% de la composition « bitume et tout-venant ».

Actuellement, quelques déformations, des nids-de-poule et des rigoles y prolifèrent. Sur d'autres pistes en terre, ce sont beaucoup plus les déformations et les rigoles qui multiplient.

- **Déformations des pistes dans la zone d'étude**

Les déformations des pistes sont des phénomènes qui prolifèrent sur les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé caractérisées par : les ornières et la perte de matériaux.

✚ **Les ornières**, sont des traces enfoncées des roues de véhicules (Photos 24 ; 25 et 26, Planche n°11). Pour Egisbeceom, 2009, p 8, ce sont des déformations permanentes longitudinales en creux, présentes dans les bandes de roulement. Pour d'autres auteurs, les traces de roues dépassant 200 millimètres de profondeur sur une section de route de 20 m de longueur, peuvent être qualifiées d'ornières (NSW-EPA, 2012, p 73). Elles apparaissent sur les pistes rurales ou forestières, lorsque le ruissellement emprunte les traces des roues, sous le poids des automobiles lors de leurs passages répétés sur la chaussée dont le matériel remanié est saturée ou humide, pendant ou après quelques minutes de pluies.

PLANCHE N° 11 : Les ornières et leurs conséquences sur les pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé



Photo 24 : Blocage d'un camion dans une ornière de gravité 2 vers Nguiri ; Photo 25 : Ornières de niveau 3 sur une piste abandonnée vers Kibossi ; Photo 26 : Ornières de niveau 3 vers Case Barnier.
© Idriss M'bouka Milandou, 2014

Selon Egisbeceom, 2009, p 8, leur gravité est mesurée en trois niveau : *le premier est défini si la flèche est inférieure à 5 cm sous la règle de 1,50 mètre; le second est acceptable si la flèche est de l'ordre de 5 à 10 cm sous la règle de 1,50 mètre et enfin le troisième est défini si la flèche est supérieure à 10 cm sous la règle de 1,50 mètre.* Ces formes conduisent à l'abandon des pistes, à cause de leur niveau de gravité qui ne permet plus au véhicule de circuler. Ainsi des déviations sont créées parfois dans la savane, pour permettre aux véhicules de circuler. Mais quand l'homme intervient pour les traiter, en les rasant afin de permettre le passage des automobiles, le processus de surcreusement de route commence et qui s'aggrave par les ruissellements concentrés. Ce processus aboutit à la formation de tranchées. Ces formes classifiées parmi les FEE sont plus graves que d'autres.

✚ **La perte de matériaux** est un processus mécanique d'extraction des particules fines de la couche superficielle du sol, par les moyens roulants. Elle se caractérise par des levées des poussières, surtout sur les routes Nganga Loungolo-Linzolo et Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare en pleine dégradation (Photo 27).



Photo 27: Perte des matériaux (levée de poussière) sur la piste de Mayitoukou
© Idriss M'bouka Milandou, 2015

Les causes principales de cet arrachement sont les passages répétés des véhicules et la dégradation de la surface de roulement de piste (R. Tabbouchy, S.A., p 2). Trois niveaux de gravité ont été également déterminés par le bureau d'étude international Egisbeecom, 2009, p 9. Il s'agit : du niveau 1, caractérisé par la levée de poussière faible et assez vite dissipée qui ne dérange pas un usager en voiture, le niveau 2 est une aggravation moyenne de levée de poussière persistant, atteignant la hauteur d'un homme et obstruant totalement la visibilité d'un piéton ou d'un cycliste et enfin le troisième niveau, c'est l'absence totale de visibilité pour un conducteur de véhicule à moteur, au cours de la levée de poussières. Le deuxième et le troisième niveau de gravité provoquent beaucoup d'accidents en saison sèche, même en pleine journée sur les routes poussiéreuses.

- **Les tôles ondulées**

Les tôles ondulées sont des déformations permanentes et linéaires de type ondulations régulières et rapprochées, perpendiculaires à l'axe de la chaussée (Egisbeecom, 2009, p 13,) (Photo 28).



Photo 28 : Exemple des tôles ondulées sur une route au Mali.
© Anonyme, 2006

Visibles sur la piste latéritique de Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare, elles sont créées par la ségrégation engendrée sur la couche de roulement par l'action des masses non suspendues des véhicules

La cause principale de ces formes est la nature du matériau et non de son épaisseur. Mais, la cohésion insuffisante du matériau de surface, la vitesse élevée des véhicules sur la route, l'agressivité du trafic et le défaut de plasticité du matériau utilisé pour la couche de roulement, peuvent être les causes secondaires de ce phénomène.

Classés parmi les phénomènes structurels du fait qu'elles affectent l'épaisseur minimale de la chaussée aux emplacements des creux de la tôle, leur gravité se caractérise par sa flèche. Plus la flèche de la tôle ondulée est forte, plus l'inconfort ressenti par l'utilisateur est important (R. Tabbouchy, S.A., p 2). Mais Egisbeceom, 2009, p 13, a tout de même classé ces formes en 3 niveaux distincts : le niveau 1 avec la flèche dont l'ondulation sinusoïdale est inférieure à 2 cm, le niveau 2, la flèche de l'ondulation sinusoïdale est comprise entre 2 et 5 cm et le niveau 3 avec la flèche de l'ondulation sinusoïdale supérieure à 5 cm.

Ces formes ont pour conséquences : l'inconfort ressenti par les automobilistes et les passagers lors des mouvements répétitifs et accentués faisant bouger la coque et le moteur du véhicule, les dommages que ces mouvements peuvent causer sur le dispositif mécanique de l'automobile, qui à force de circuler sur des routes affectées par ces formes, la durée de vie du véhicule sera réduite et enfin le retard du flux de transport des personnes et des biens d'un lieu à un autre.

- **Les nids-de-poule**

Les nids-de-poule sont considérés comme des désordres structurels par Egisbeceom, 2009, p 11, et affectent gravement les pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, avec une propagation rapide sur les chaussées. La route de Linzolo (Photo 29) et celle de Mayitoukou – Goma tsé-tsé sont les premières victimes. Les nids-de-poule se présentent sous forme de cavité ou marmite circulaire qui se creusent dans la chaussée, à cause de l'enlèvement des matériaux provoqué par la déformation des routes ; ils sont aussi la conséquence d'un mauvais compactage de la piste lors des travaux d'aménagement. Selon R. Tabbouchy, S.A., p 2, leur niveau de gravité est beaucoup plus lié à leur densité qu'à leur diamètre et profondeur. Mais selon Egisbeceom, 2009, p 11, leur gravité peut être évaluée à partir de la longueur de la chaussée, soit sur chaque 50 mètres.



Photo 29: Nids-de-poule sur la route de Linzolo, en plein dégradation et en cours de transformation en piste en terre, par la perte des matériaux vers Touboula
© Idriss M'bouka Milandou, 2013

Trois (3) niveaux ont été déterminés : le niveau 1, avec un nombre faible et de petite taille, moins de 5 nids-de-poule de diamètre inférieur à 50 cm, le niveau 2, caractérisé par un nombre important ou de grande taille, entre 5 et 20 nids-de-poule de diamètre inférieur à 50 cm, ou moins de 5 nids-de-poule de diamètre supérieur à 1 m, enfin le niveau 3 se caractérise par le nombre et la taille justifiant la reconstruction, plus de 20 nids-de-poule de diamètre inférieur à 50 cm ou plus de 5 nids-de-poule de diamètre supérieur à 1 mètre.

Les nids-de-poule, quelque soit leur densité sur la route, rendent difficile la circulation des automobilistes. Ces derniers ont tendance à toujours contourner ces formes qui créent l'inconfort si les pneus de véhicules passent dessus.

Les déviations des automobilistes affectent les espaces bordiers des routes et fragilisent ces milieux en créant des faïençages et la stagnation des eaux de pluie. Les nids-de-poule évoluent beaucoup plus en rigoles, si le traitement n'est pas effectué.

. **Les rigoles**

Ce sont de petites incisions souvent temporaires, dont les profondeurs sont estimées à 50 cm ou moins (G. Riou, 1990, p 75). Ce sont souvent les nids-de-poule et des ornières évoluées. De par leur petite dimension, elles ont été classées parmi les formes de dégradation mineure.

Elles sont denses sur toutes les pistes de la zone d'étude. Elles ont été réparties en 4 catégories : les formes en petits cratères, les formes en têtard, les formes longitudinales et les griffures.

✚ **les formes en petits cratères** ressemblent à des marmites dont les origines sont les nids-de-poule, causés par l'arrachement d'un galet ou tout autre solide cratère sur la chaussée par un véhicule ou un ruissellement qui obstrue les fissures déjà provoquées par le poids et la fréquence du trafic (Photo 30, Planche n°12);

- ✚ **les formes en têtard**, ont une morphologie caractérisée par une sorte de tête quasi-circulaire, un plancher et un exutoire creusé par les eaux d'échappements (Photos 31, Planche n°12);
- ✚ **les formes longitudinales**, ressemblent à des incisions linéaires, ayant une forme rectiligne. Elles sont l'œuvre des ruissellements concentrés (Photo 32, Planche n°12);
- ✚ **enfin les griffures**, ressemblent à des incisions linéaires en forme de griffes, qui égratignent par régression, les pistes en terre et latéritiques (Photo 33, Planche n°12)

PLANCHE N° 12: Les 4 morphologies des rigoles sur les pistes de Goma tsé-tsé



Photo 30 : Rigole en petit cratère sur la piste de Linzolo (2009), Photo 31 : Rigole en têtard sur la piste de Linzolo (2015), Photo 32 : Rigole linéaire au milieu de la piste de Mayitoukou (2014), Photo 33 : Griffures sur la route de Linzolo (2015).

© Idriss M'bouka Milandou

Ces formes ont les mêmes conséquences que les ornières et les nids-de-poule : inconfort des passagers des moyens roulants, réduction de la durée de vie desdits moyens et retard dans le transport des personnes et des biens.

Quand elles ne sont pas traitées, elles évoluent vite en FEE spectaculaires pouvant couper ou rétrécir une route.

- **Formes de dégradation par défaut de drainage (FDDD)**

Le défaut de drainage ou l'absence d'un système de drainage est à l'origine d'une catégorie des dégradations mineures sur les pistes en terre, pendant les saisons pluvieuses. Parmi les formes observées sur les routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, on trouve :

• **Lestransverses**

Les traverses sont issues de l'écoulement transversal des eaux pluviales qui coupent la chaussée (Egisbeecom, 2009, p 17). En d'autres termes, ce sont en fait des rigoles ou incisions linéaire, mais transversales à la piste. R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare & al., 2008, p5, les qualifient « *d'érosion transversale de la surface de roulement* ».

Elles sont causées par l'eau qui érode la surface de roulement d'un côté à l'autre du chemin. Dans un tel cas, des signes évidents de transport de sédiments sont visibles. Les mares qui inondent la surface de roulement, et dont l'excédent d'eau s'écoule sur le couvert végétal à proximité, ne doivent pas être considérées comme des cas d'érosion. Ces mêmes auteurs soutiennent que les traverses sont souvent causées par l'absence des tuyaux de drainage naturel sous la surface de roulement des chemins mis en forme.

Dans la zone d'étude, elles sont localisées sur la piste latéritisée Mayitoukou – Goma tsé-tsé (Photo 34 Planche n°13) et sur la piste Nganga-Loungolo-Linzolo. L'identification et/ou la quantification de ces formes pour dégager le niveau de leur gravité est très complexe (R. Tabbouchy, S.A., p 3). Ces dernières évoluent en FEE transversales à la piste et ont les mêmes conséquences que les tôles ondulées, les nids-de-poule et les rigoles, sur la circulation des véhicules.

• **Lestêtes de chat**

Les têtes de chat résultent de la perte de matériaux associés à la présence de gros éléments non écrêtés lors de la mise en œuvre de la route. C'est donc l'apparition de cailloux sur la surface de la chaussée d'une route en terre. Elles surviennent suite à l'usure de la couche de roulement provoquée par le trafic et l'érosion (Egisbeecom, 2009, p 21).

Elles sont omniprésentes sur la piste latéritisée Mayitoukou-Goma tsé-tsé (Photo 35, Planche n°13). Les conséquences sont les mêmes que celles engendrées par les traverses, les rigoles, les tôles ondulées. La gravité des têtes de chat se manifeste surtout par l'inconfort ressenti par l'utilisateur, ce qui implique une réduction de la vitesse de circulation (R. Tabbouchy, S.A., p 2).

PLANCHE N° 13: Caractéristiques des traverses et des têtes de chat sur la piste latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare et village



Photo 34 : Traverse, Photo 35 : Tête de chat
Piste latéritique de Mayitoukou- Goma tsé-tsé
© Idriss M'bouka Milandou, 2015

- **Les bourbiers**

Les bourbiers sont d'une part, des destructions localisées, sous forme de plastification du matériau du corps de la chaussée sous l'effet conjugué du trafic et des eaux de ruissellement ou interne (R. Tabbouchy, S.A., p 2). Pour Egisbeceom, 2009, p 19, ce sont tout simplement des destructions localisées de la chaussée d'une route en terre. Ils sont causés par les ruissellements des volumes importants et la fréquence du trafic des véhicules. Leurs niveaux de gravité n'ont pas été examinés.

Dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, elles ont été observées en périodes pluvieuses, sur les axes Nganga loundolo- Linzolo, Koubola-Kibossi, Koubola-Bissinza et la bretelle Case Barnier-Ntoba ilélé sur la piste 5. Ils sont souvent localisés sur des sections de route en dépression. Pour les éviter, les transporteurs sont obligés de créer des déviations dans la savane, fragilisant ainsi les espaces bordiers des pistes, par la destruction des végétaux protecteurs naturels des routes contre les ruissellements responsables des FEE régressifs.

- **L'érosion du talus de déblai de piste**

L'érosion du talus de déblai est un type d'érosion qui est caractérisé par la présence de rigoles sur un talus de déblai des pistes en terre. Ces formes ont été observées sur les routes de Linzolo et de Mayitoukou. R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare *&al.*, 2008, p 6, les décrivent sur les chemins forestiers du Canada. Ce sont en fait, des rigoles de déblai, causées beaucoup plus par le défaut de drainage des eaux de ruissellement concentré, qui proviennent des parterres de coupe. Sur certaines pistes à structure concave et dépourvues de système de drainage, les eaux se déversent de part et d'autre de la chaussée et creusent des rigoles à leur passage. Elles évoluent rapidement en FEE longitudinales à la piste.

Dans la zone d'étude, ces érosions ont été observées sur l'axe Nganga loungolo-Linzolo, sur les sections Saint Isidore - marché et pont de Linzolo (Photo 36, Planche n°14) et Touboula-Massissia, où elles incisent les talus de déblai. Leurs conséquences sont entre autres: le rétrécissement de la chaussée de la piste et les risques d'accidents de véhicules des bas-côtés.

- **L'érosion des fossés**

L'érosion des fossés est causée par l'eau circulant dans les fossés et en bordure de route bitumée ou latéritique. Ce phénomène a été observé sur quelques sections encore bitumées de la piste Nganga Loungolo – Linzolo, entre 2010 et 2014 (Photos 37 et 38, Planche n°14). Un fossé est la superficie située au pied du remblai ou du déblai du chemin. Ce cas d'érosion survient à l'extérieur de la surface de roulement d'une route sans fossé (R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare & al., 2008, p 5)

L'érosion des fossés était l'œuvre des derniers décapages des couches de bitume et du tout-venant sur la route Nganga Loungolo - Linzolo. Très dynamiques, ces formes ont décapé près de 98% des éléments constitutifs de la surface de roulement et de la plate-forme sur cette route. De ce fait, elle est devenue une piste en terre. On comprend bien que ces érosions de fossés, sont responsables des décapages des couches de bitumes et de tout venant sur les routes bitumées, ainsi que des couches de latérite sur les pistes latéritiques. C'est un véritable problème de dégradation des routes mal entretenues en milieu rural et même dans les centres urbains.

PLANCHE N° 14: Manifestation de l'érosion de déblai et de fossé sur les pistes de la Sous-Préfecture Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé



Photo 23 : Erosion de déblai de piste vers Linzolo (2015), Photo 37 : érosion de fossé vers Samba-Alphonse (2014), Photo 38 : érosion de fossé sur la piste de Mayitoukou (2015)

© Idriss M'bouka Milandou

Toutes ces formes mineures évoluent en ravinement lorsqu'ils ne sont pas traités à temps.

A l'étape des formes d'érosion évoluées (ravinelements), les coûts de réparation sont plus importants et nécessitent des investissements colossaux que seul l'état peut supporter, à l'instar des organismes de développement tels que le PNUD, l'AFD, la Banque Mondiale, la Banque Africaine de Développement, etc.

Ces formes de dégradation mineures qui affectent les routes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, sont très denses et évoluent dans la plupart du temps en ravinelement. Elles ont fait l'objet d'un grand nombre de travaux dans le monde en général et particulièrement dans les pays francophones.

4.1.2. Formes d'érosions évoluées (FEE) sur les pistes en terre de la zone d'étude

Les mécanismes de genèse et d'évolution des FEE, sont connus de très longue date. Ils consistent en une perte de matériaux et donc de volume de sol suite aux différents agents bioclimatiques que constituent l'eau, le vent ou encore certains organismes vivants (F. Fournier, 1960, p 183). De même selon M. Naimi, M'H. Tayaa, S. Ouzizi & al., 2003, p 233, l'érosion par ravinelement est la forme dominante de l'érosion du sol. Les dégâts causés sont d'autant plus importants que la stabilisation et la réparation de cette forme d'érosion sont les plus coûteux de tous les travaux de lutte contre l'érosion.

Sur les routes rurales, elles sont souvent causées par le manque de maîtrise des ruissellements dû à la défaillance ou au manque de systèmes de drainage des eaux de pluie d'une part, mais également de certaines conditions topographiques ou géomorphologiques des tracés routiers d'autre part, à l'exemple des routes qui traversent les collines ou les terrains escarpés sans suivre les contours et les courbes de niveau. Ces conditions sont observées sur les routes du milieu rural au Congo en général et de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier.

Dans la zone d'étude, les FEE sont caractérisées par des ravinelements graves et importants en termes de volume (longueur, largeur et profondeur) par rapport aux FDM. Elles sont constituées : des ravines; des ravins encore appelés "gullies" dans les pays anglophones et des surcreusements de pistes, qui est un phénomène rare dans d'autres pays du monde. Ces formes affectent les pistes en les coupant en deux, dans le cas de l'érosion régressive, rétrécissent leurs largeurs, dans le cas des ravinelements longeant les rebords des pistes et enfin surcreusent les routes en tranchées sur des centaines de mètres ou plus.

La genèse et l'évolution des FEE sont dues à un certain nombre de causes naturelles et anthropiques, dont les plus importantes sont : l'effet splash et le ruissellement et la défaillance des systèmes de drainage des eaux de pluie.

- **Effet splash et ruissellements**

L'effet splash est un processus physique qui constitue le point de départ du mécanisme basé sur le transfert d'énergie cinétique accumulé par les gouttes de pluie lors de leur chute. Il débute toujours par l'impact de ces dernières sur une surface nue, dépourvue de végétaux (T.Wouters & E. Wolff, 2010, p 3). L'énergie des gouttes de pluie sur les sols nus, liée à l'intensité des pluies, dépend de la taille des gouttes (J.O. Laws & A.J. Parsons, 1943, in H.S. Pedersen & B. Hasholt, 1995, p 45). Lorsque le diamètre des gouttes est important, soit au maximum 9 mm (P. Birot, 1981, p 788), l'énergie accumulée lors de la chute est suffisante pour former un petit cratère et projeter de petites gouttelettes, mélange d'eau et de particules fines, à des distances pouvant atteindre quelques centimètres (F. Fournier, 1960, p 145). L'impact étant plus important lorsqu'un fin film d'eau, d'une épaisseur égale au diamètre de la goutte, recouvre le sol (K.N. Palmer, 1963, in M.J. Kirkby & R.P.C. Morgan, 1980, p 211). Selon R.P.C. Morgan, 2005, p 7, on peut observer la perte en sols lorsque les gouttes projetées ainsi que les particules fines présentes en surface, sont prises en charge par un écoulement dit de surface. A cet effet, la croûte de battance apparaît lorsque l'eau ne peut s'infiltrer dans le substrat (faible perméabilité, forte intensité des précipitations, grande fréquence des précipitations) (T.Wouters & E. Wolff, 2010, p 3). Cette couche limite la capacité d'infiltration des sols très perméables (P. Birot, 1981, p 787). Dans ce cas, les eaux de pluie qui ne s'infiltreront plus ruissellent.

Dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, ces croûtes de battance sont observées sur les espaces bordiers des routes dénudées, mais également sur les sentiers agricoles, qui servent de raccourcis entre les zones agricoles et les routes principales. Au cours des observations de terrains, pendant les saisons pluvieuses, il a été constaté que les eaux qui échappent à l'infiltration ne sont pas seulement dues à la croûte de battance, mais également à la saturation des sols, lorsque la limite d'infiltration est atteinte. Selon la périodicité, la saturation des sols dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est proche de celles du département du Pool et de Brazzaville.

En effet, elle se manifeste pendant la période d'octobre à mars. Pendant cette période, l'eau ruisselle plus qu'elle ne s'infiltrer.

Ces ruissellements longent les pistes déjà compactées par le passage répété de l'homme et des véhicules et creusent des canaux de part et d'autre de la chaussée, ou se déversent sur les zones basses, tels que les flancs des collines ou les versants des vallées.

L'agressivité climatique du plateau des Cataractes, caractérisée par des volumes importants des pluies, combinés à leur fréquence et à l'intensité, est responsable de ces ruissellements érosifs qui sont diffus ou concentrés. Ces derniers sont à leurs tours responsables de différentes formes d'érosion évoluée décrites plus loin. Mais, ces ruissellements concentrés sont également favorisés et accentués par le manque ou la défaillance des systèmes de canalisation.

- **Défaillance ou le manque de systèmes de drainage**

Dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, les quelques pistes encore praticables, malgré la présence des FEE, bénéficient parfois de quelques travaux de remblayage partiel, effectués beaucoup plus par les entreprises de BTP qui ont des carrières sur le fleuve Congo, situées à près de 3 km, à partir de Linzolo. La route de Linzolo est une illustration parfaite de cette situation. Mais pendant les remblayages, les engins des BTP créent des dispositifs similaires aux impluviums le long de cette piste dans le but de réduire les ruissellements, stocker l'eau et faciliter la circulation des engins de transport des pierres et des sables.

Étant donné que les normes de leur aménagement n'ont pas été respectées, ces prétendus impluviums ne jouent pas leurs rôles prévus, d'où la genèse de certaines FEE à partir même de ces dispositifs pendant les saisons pluvieuses. Ces dispositifs non entretenus et couverts d'une couche d'argile, ne permettent plus à l'eau de s'infiltrer. Cette eau finit par se déverser de l'autre côté favorisant ainsi la formation des FEE régressives. Parfois les ruissellements, par leur force, s'engouffrent en cascades sur ces impluviums mal conçus et creusent des FEE linéaires. Ces causes sont au premier plan, dans le déclenchement des processus de FEE des routes dans la zone de Goma tsé-tsé. Mais ces formes sont différentes les unes des autres, du point de vue volume et disposition par rapport à une route.

- **Types des formes d'érosion évoluée (FEE) sur les routes de la zone d'étude**

L'observation des FEE sur les pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, s'est faite à travers une identification rigoureuse de chaque cas d'érosion observé. Ces dernières qui ne sont autres que des ravinements, sont illustrées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Types et codification des FEE sur les pistes de la zone d'étude

Type de FEE	Disposition sur la route	Code
Ravine	Longitudinale (ou linéaire) à la route	RaL
	Transversale (ou régressive) à la route	RaT
Ravin	Longitudinal (ou linéaire) à la route	RVL
	Transversal (ou régressif) à la route	RVT
Surcreusement de piste	Longitudinale à la route	SP

Ces ravinements se différencient également les uns des autres par leurs morphologies (formes géométriques). Elles dépendent de la résistance successive des horizons du sol (T.Wouters & E. Wolff, 2010, p 4) et donc de la texture des sols. Au début, le ravinement peut prendre la forme en **V**, en fonction de la cohésion des couches inférieures du sol. Ensuite, il peut évoluer en trapèze avec une ouverture béante et un fond assez rétréci et plat avec des talus assez inclinés, lorsque les horizons profonds sont plus résistants que ceux situés proches de la surface (réf. Tableau 4, chap. 3) et inversement, lorsque les horizons inférieurs sont moins résistants que les horizons supérieurs, les parois du ravin deviennent plus escarpées et les différents sapements, survenant à la base, génèrent une configuration en trapèze, au lieu des formes en “U” définies par F. Fournier, 1960, p 127.

- **Ravinements longitudinaux**

Le défaut de drainage des routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, accentue l'évolution des rigoles et des ornières en ravines, en ravins et en surcreusements spectaculaires. Les eaux de pluie créent un désordre sur les pistes mal conçues, à partir des ruissellements importants qui exploitent les pentes de certaines pistes, permettant aux rigoles en bordure de chaussée, d'évoluer en un temps record en ravines et en ravins longitudinaux.

Laplupart des pistes du réseau routier de la zone d'étude, se dégradent vite à cause des ravinements longitudinaux. Certaines de ces formes évoluent de façon linéaire ou ont parfois tendance à devenir transversale d'un côté ou de l'autre.

- **les ravines et les ravins longitudinaux sur les rebords des pistes**

Les ravines longitudinales évoluent en ravins longitudinaux ou parfois en ravins transversaux. Cela dépend de la situation du tracé de la piste et des mouvements des eaux de ruissellement. Ces ravinements se disposent et évoluent le long de la piste, surtout dans les espaces bordiers des chaussées. La route de Linzolo (Photo 39, Planche n°15) et la route latéritique de Mayitoukou (Photo 40, Planche n°15) sont très affectées par cette érosion qui est à la base de leur rétrécissement à différents endroits.

PLANCHE N° 15: Ravinements longitudinaux en bordure de piste



Photo 39 : Ravine longitudinale sur la route du Linzolo en 2008 ;
Photo 40 : Ravine longitudinale sur la piste latéritée de Mayitoukou en 2015.
© Idriss M'bouka Milandou

✚ les ravines et ravins longitudinaux du talus de déblai de piste

Situés au bas des talus tantôt stables, tantôt instables, ces ravinements érodent les espaces situés entre la piste et les talus. Ils sont souvent linéaires et rétrécissent les pistes. Les blocs de sols ou de sédiments qui s'y détachent, par mouvement de masse, se déversent dans les ravinements et sont par conséquent transportés par les ruissellements plus concentrés.

Ces formes de ravinement ont été étudiés sur la piste Nganga Loungolo – Linzolo, dans le secteur de Saint Isidore (Photo 41, Planche n°16) et de Massissia (Photo 42, Planche n°16), mais également sur quelques sections de la piste latéritique de Mayitoukou (Photo 43, Planche n°16).

PLANCHE N° 16: Ravinements longitudinaux du talus de déblai de piste



Photo 41 : Ravin longitudinale proche de Linzolo, Quartier St isidore (2014),
Photo 42 : Ravine longitudinale vers Touboula, à la sortie de Bissinza (2015), Photo 43 : Ravin
longitudinale sur la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé (2015).

© Idriss M'bouka Milandou

✚ Les surcreusements de pistes

Etudiées par L. Sitou et I.A.W. M'bouka Milandou, 2017, p 124, ces formes sont dues à l'évolution des ornières, causée par deux facteurs : les ruissellements concentrés le long des ornières et le décapage des sols par l'homme. Ce décapage consiste à enlever les parties boursoufflées situées entre les deux ornières qui bloquent le moindre passage de véhicule, quelque soit sa marque (4x4 ou berline). Le but de l'homme est de rendre la route praticable, malgré sa situation de tranchée.

Mais au fur et à mesure que les décapages sont effectués, les eaux de ruissellement également continuent de recreuser les traces de roues en ornières. Ainsi, la tranchée se forme et son évolution s'effectue également de façon latérale sur les talus (Figure 24).

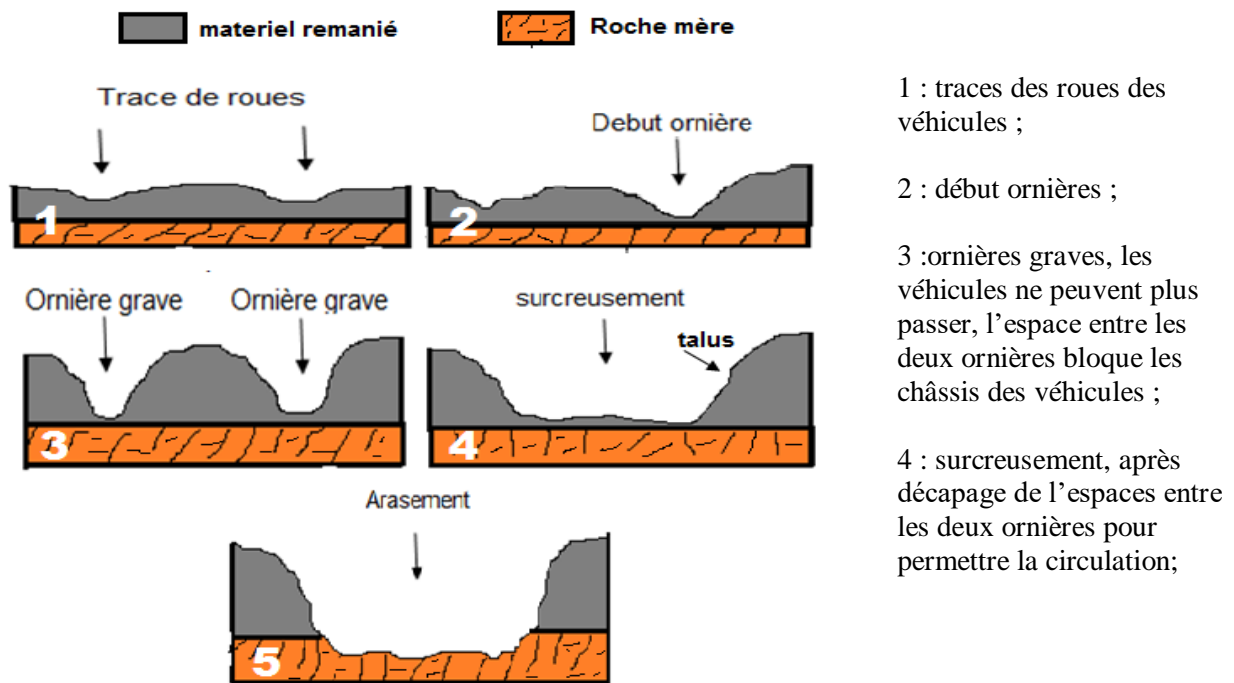


Figure 24 : Processus de surcreusement et d'arasement de piste en terre

© Idriss M'bouka Milandou

Selon L. Sitou et I.A.W. M'bouka Milandou, 2017, p 125, ses parois latérales évoluent à cause des mouvements de masse qui se caractérisent par les détachements des blocs de terre le long des parois, qui se déversent sur la piste. Ces blocs de sols qui glissent parfois avec les herbes et même arbustes avec leurs racines, gênent la circulation des automobilistes. Ces surcreusements ont tantôt la forme d'un trapèze ou d'un rectangle, selon la consistance du matériel remanié des pistes.

Ils évoluent de façon longitudinale, sur des distances considérables, atteignant parfois 100 à plus de 500 m (Photos 44 et 45, Planche n°17). En termes d'évolution verticale, quand ces formes atteignent la roche mère sous-jacente, elles sont qualifiées « d'arasement ».

Cependant, face à ces types de ravinement, certaines pistes sont tout simplement abandonnées, à cause des risques d'éboulements spontanés et brutaux, au cours d'une pluie. C'est le cas du premier surcreusement sur la route Koubola-Kibossi illustré sur la photo 45 (Planche n°17).

PLANCHE N° 17 : Les surcreusements de pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé



Photo 44 : Surcreusement sur la piste Linzolo à Mabenga entre 2006 – 2009,

Photo 45 : Surcreusement de 500 m sur la piste Koubola – Kibossi (2014).

© Idriss M'bouka Milandou

Ce dernier est souvent évité par les automobilistes pendant les saisons pluvieuses. Une piste saisonnière a été créée sur la colline herbacée pour éviter d'être bloqué dans ce ravinement.

Pendant nos travaux de terrains, notre équipe était bloquée, avec un véhicule 4x4 de marque BJ, dans cet arasement en mai 2016. Ce phénomène non encore étudié et souvent confondu en « ravin de tranchée de route » sur la route, n'est pas assez connu du monde scientifique et, à notre connaissance, en dehors de L. Sitou et I.A.W. M'bouka Milandou, 2017, p 1, qui ont réalisés une étude scientifique détaillée de ce phénomène, aucune étude n'a été consacrée en milieu tropical humide. Pourtant il constitue l'un des modelés érosifs propres aux sols tropicaux.

- **Ravinements régressifs et transversaux aux pistes**

Les ravinements transversaux ou régressifs sont des ravines et des ravins régressifs qui prennent forme sur des espaces situés de part et d'autre des pistes (bas-fonds des vallées, pieds des collines) (Figures 25 et 26 et Image satellitale 1).

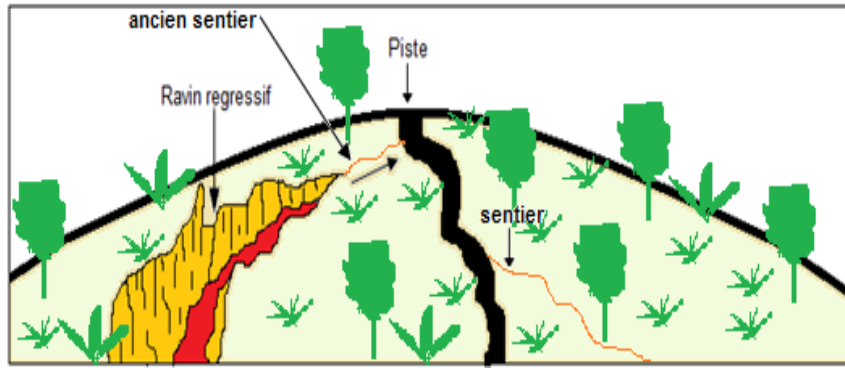


Figure 25 : Ravinement régressif vers une piste en terre en situation d'interfluve
 © Idriss M'bouka Milandou, 2015

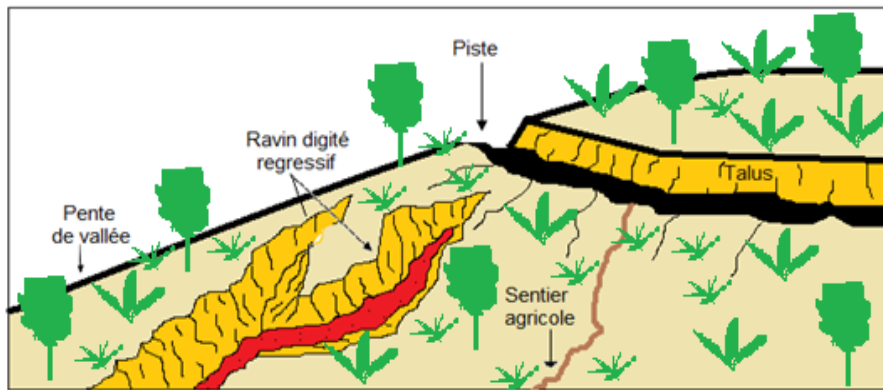


Figure 26 : Ravinement régressif vers une piste en terre en situation terrasse
 © Idriss M'bouka Milandou



Image satellitale 1 : Evolution d'un ravin régressif vers la route de Linzolo, au niveau de Bissinza.
 © Image Google Earth Pro, 2017

Ces ravinements évoluent vers la route de façon transversale ou perpendiculaire, c'est pourquoi ils sont classés dans la catégorie de l'érosion régressive. Ils affectent les pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé à cause du manque de système de canalisation adéquat pouvant collecter et drainer les eaux de ruissellement depuis la piste jusqu'aux bas des collines et les fonds de vallées. Les eaux mal canalisées se déversent sur les pentes fortes des collines et des versants des vallées tantôt dépourvues de végétaux, tantôt ayant une densité de couverture végétale faible. Elles exploitent parfois les sentiers ruraux tapissés des croûtes de battance et génèrent des rigoles qui évoluent ensuite par érosion régressive depuis la base des versants ou des flancs de collines.

Dans d'autres pays, les pistes rurales bénéficient des collecteurs transversaux, des buses et d'autres dispositifs de drainage qui canalisent les ruissellements surfaciques de la piste, dans les zones de dépression sans affecter les pentes avoisinant les routes d'interfluve. Les ruissellements responsables de cette érosion et de son évolution régressive, sont beaucoup plus concentrés. Ces ravinements observés sur les pistes d'interfluve et sur les pistes en bordure de colline et de vallée (pistes de terrasses), atteignent très souvent et en peu de temps, les pistes en période pluvieuse (Photos 46 ; 47 ; 48 et 49, Planche n°18).

PLANCHE N° 18: Ravinements régressifs sur les pistes



Photos 46 et 47 : Ravins régressifs sur la piste de Linzolo (2009),
Photos 48 et 49: Ravines régressives sur la piste Mayitoukou- Goma tsé-tsé (2015).
© Idriss M'bouka Milandou

- **Evolution des ravinements routiers**

D'une manière globale, tous les ravinements cités ci-dessus, évoluent presque de la même manière, malgré la structure des différents sols, la couverture végétale du milieu et les pratiques de lutte anti-érosive appliquées par l'homme pour atténuer ce phénomène. Parmi les auteurs qui ont décrit le mécanisme d'évolution des ravinements, R.P.C. Morgan, 2005, p 2 est à notre avis, celui qui a bien énuméré de façon descriptive, les 5 étapes d'évolution du phénomène, en adéquation à notre contexte. Il s'agit notamment de :

- la mise en évidence d'une surface de faible densité de végétation, apparue selon notre contexte, par le désherbage, la déforestation et les feux de brousse pour des besoins d'activités agricoles, le long des pentes (versant des vallées et flanc des collines) avoisinant les pistes;
- l'apparition des dépressions, liées aux nombreux événements de précipitations. Dans notre contexte, il s'agit de saturation par les eaux de ruissèlement, des zones de dépressions sur les pistes;
- la formation des chenaux d'écoulement, ou des sillons par creusement des rebords des routes par ruissellements concentrés provenant de la surface de la chaussée se déversent sur les chenaux d'écoulement de part et d'autre de la piste et créent des rigoles qui évoluent en ravinement ;
- la mise en évidence d'une tête d'érosion suffisamment abrupte pour générer un écoulement de surface, qualifié de supercritique ;
- le développement d'un processus de régression, au niveau de la tête d'érosion, favorisant une évolution vers le haut du versant, dans le cas des ravinements transversaux ou régressifs. Dans les cas des ravinements longitudinaux, le processus s'observe sur les rebords des pistes. Quelque soit les deux cas précités, les sédiments ainsi transportés proviendraient à la fois de l'érosion superficielle, responsable du creusement du ravin, et des effondrements successifs de la tête d'érosion.

Au fur et à mesure que les formes mineures évoluent en ravinements, dû au manque d'entretien des pistes ou à l'abandon de certaines d'entre elles, la multiplicité des formes devient un problème qui impacte la vie des populations locales. Face aux difficultés de mobilité et de transport des biens, mais aussi des conséquences induites sur l'environnement aquatiques, il a fallu réaliser un bilan quantitatif de ces formes d'érosion, en évaluant leur densité et leur fréquence, ainsi que la perte engendrée des sédiments.

Cette évaluation est en quelque sorte un indice de gravité ou d'ampleur du phénomène sur les pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, qui peut réveiller la conscience des décideurs afin de trouver des solutions idoines. Elle s'appuie également sur la densité et la fréquence des ravinelements, le volume des vides laissés sur les chaussées et de part et d'autres des sections routières et enfin des pertes énormes en matériaux, caractérisés des sédiments issus des surfaces de roulement et des terres décapées par les ravinelements régressifs. C'est l'objet du sous-chapitre suivant.

4.2. Bilan quantitatif des ravinelements sur les pistes en terre et leurs conséquences dans la Sous- Préfecture de Goma tsé-tsé

La quantification directe du phénomène érosif sur les pistes de la zone d'étude, nous a amené à déterminer, d'une part, la fréquence et la densité des types de ravinelements par PK de chaque piste et, d'autre part, les volumes moyens des FEE. A partir de ces volumes et des valeurs de la densité apparente des sols et du matériel remanié des pistes, nous avons pu estimer la quantité des sédiments perdues entre la période 2013-2017. Les trois variables évaluées (fréquence, densité et volume des ravinelements) sur les 5 pistes répertoriées, ont permis de montrer les dégâts causés par ce phénomène et montrer, comme annoncé plus haut, la gravité ou l'ampleur du phénomène aux autorités, afin que les solutions de remédiation soient trouvées. Ce bilan a permis également d'énumérer non seulement les conséquences causées par le phénomène sur les routes, mais également sur la vie des populations et sur l'environnement.

4.2.1. Fréquences et densités des ravinelements sur les pistes

L'illustration des variables a été faite à partir des tableaux et des diagrammes représentatifs. Le tableau 14 et la figure 27, montrent la situation générale de l'érosion du réseau routier, à travers une illustration du nombre total des ravinelements sur les pistes, la longueur de chaque piste et la densité moyenne des formes par kilomètre de piste.

Tableau 14 : Etat de dégradation des pistes par zone

Zone géographique	Zone sud				Zone nord
	P1	P2	P3	P4	P5
Code Piste					
Nombre de ravinelements	16	11	6	8	8
Longueur de la piste (km)	13,46	11,43	11,10	18,95	35,46
Densité (R/km)	1,19	0,96	0,54	0,42	0,23
	100%	96%	54%	42%	23%

Notes: P: Nganga Loungolo – Linzolo, P2 : Mayitoukou – Goma tsé-tsé, P3 : Koubola – Bissinza, P4 : Koubola – Kibossi, P5 : Sadelmie - Loumou – Nguidi.

Ces résultats montrent une disparité entre la densité des ravinelements et le nombre de kilométrage pour chaque piste, ce qui signifie que la densité des ravinelements ne dépend pas de la longueur de chaque piste. Elle dépend sûrement des facteurs naturels ou humains de la zone sur laquelle la route a été tracée.

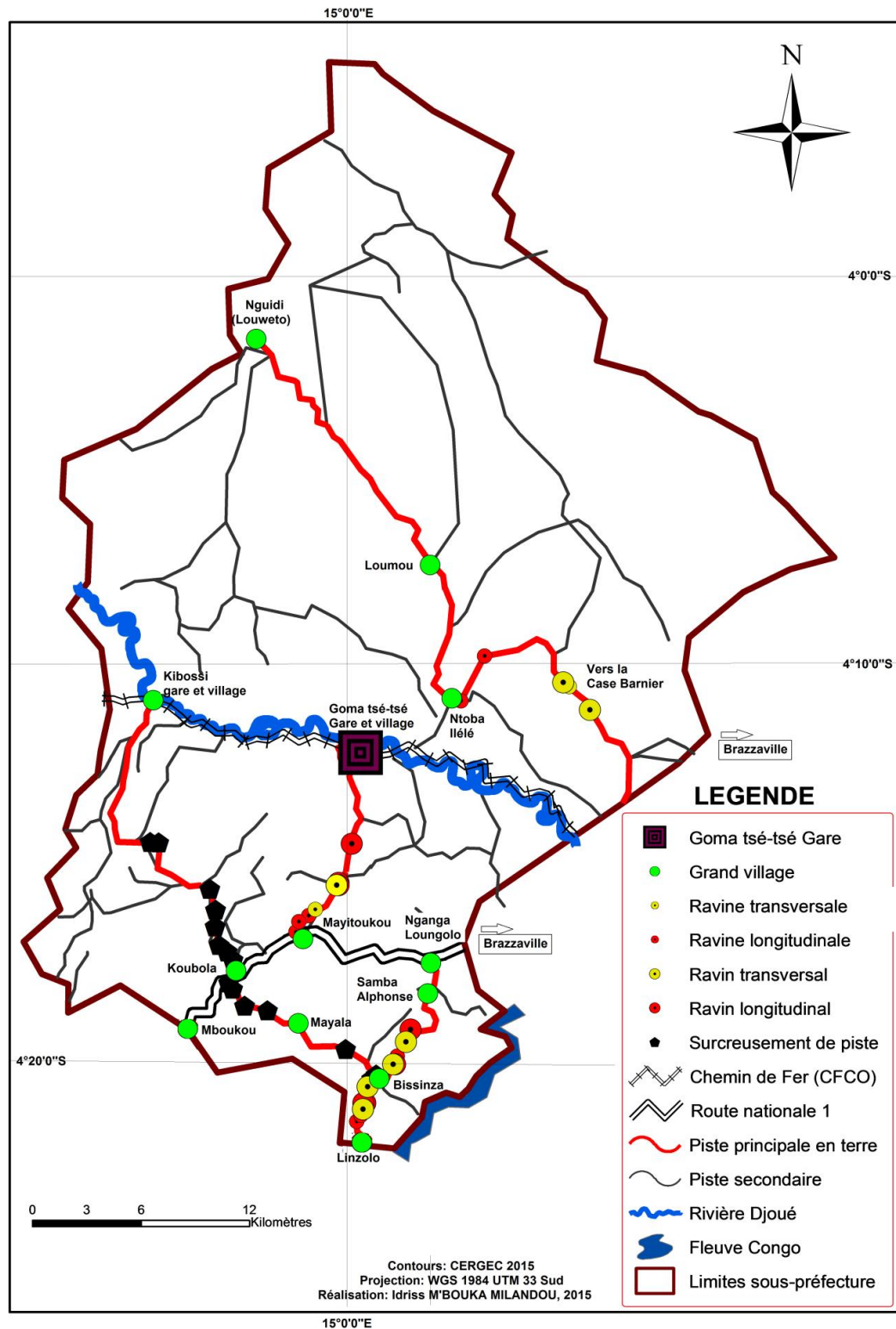


Figure 27 : Localisation des ravinelements sur les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Certaines pistes bien que plus longues que les autres, sont moins affectées par PK. C'est le cas de la P5 qui ne compte qu'une densité de 0,20 ravinement par PK. Par contre la P1 a une densité moyenne de 1 ravinement par PK, soit 100% , suivi de la P2, avec près de 0,96 (90%) très proche de 1 ravinement par PK. Les P3 et P4 affectées par les surcreusements ont respectivement des densités de 0,54 (54%) et 0,42 (42%) de ravinelements par PK.

Cette situation permet de conclure, en premier lieu, que la longueur d'une route n'est pas proportionnelle à la densité des ravinelements, mais ses caractéristiques, son utilisation, et le milieu physique dans lequel elle a été tracée peut expliquer cette situation.

- **Fréquence et densité des ravinelements sur la P1**

Le diagramme de fréquence illustre le taux de dégradation de la piste Nganga Loungolo – Linzolo (Figure 28). Cette piste longue d'environ 13 km, qui fut une route bitumée avec des canalisations jusqu'à la fin des années 90, est en pleine dégradation.

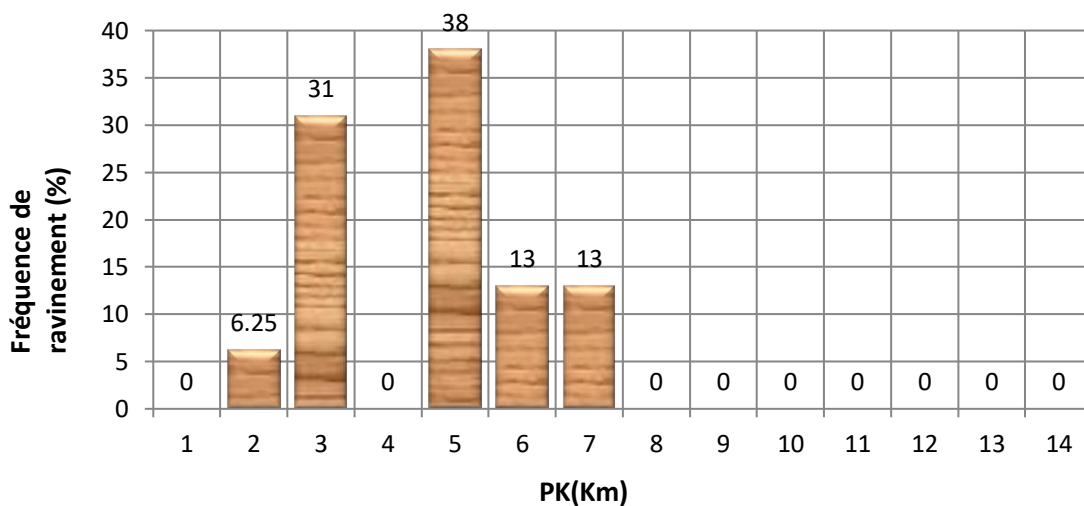


Figure 28 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste de Linzolo

Cette dégradation a commencé avec des formes mineures qui ont détruit la plate-forme et le système de drainage. Ensuite, certaines FEE se sont développées rapidement et d'autres colonisées par les végétaux sont figées, mais quelques parois évoluent lentement. Au PK5 entre Touboula et Massissia, l'érosion est plus dynamique avec un taux de ravinement de près de 38%, suivi du PK3, à la sortie de Linzolo, avec près de 31%. Ces PK sont confrontés aux problèmes de rétrécissement et de coupure de section de piste pendant les saisons pluvieuses. Les PK6 et 7, avec des taux de ravinelements respectifs de 13%, situé dans le secteur de Mabenga et en direction de Samba-Alphonse, furent pendant la période 2005-2010, des zones de ravinelements spectaculaires, qui coupaient la route.

A l'époque, les automobilistes avaient créé, sous la savane, une déviation à près de 500 m de la route principale. Grâce aux travaux de remblaiement de quelques ravins, dans le compte de la municipalisation accélérée du Pool en 2012, la situation a été réglée partiellement. Mais avec le temps et l'agressivité pluviométrique, d'autres ravinelements se sont réveillés par manque des drains. Quant aux PK suivants, les ravinelements n'ont pas été observés, du fait que le sol issu des grès de l'Inkisi sont argileux et que ce ne sont que les formes mineures, notamment les rigoles et les levées de poussières qui y dominent.

Le tableau 15 et la figure 28 montrent tout de même que, tous les types de ravinement sont présents sur cette route. Sur les 13,46 km, les RVL et les RVT sont plus dominants. Elles représentent respectivement une densité de 0,38 soit 38% chacune, suivis des RaL avec une densité de 31%. Quant aux RaT et aux SP, elles ne représentent que 8% chacun

Tableau 15 : Densité des types de ravinement sur la P1

Type de ravinement	Ravine		Ravin		Surcreusement (SP)
	RaL	RaT	RVL	RVT	
Nombre	4	1	5	5	1
Densité	0,31	0,08	0,38	0,38	0,08
	31%	8%	38%	38%	8%

Cette situation montre bien que la piste est attaquée le long de son tracé, de façon longitudinale et transversale par plus de RVL et de RVT, causant ainsi des rétrécissements et des coupures périodiques à certains endroits (Photos 50 et 51, Planche n°19).

PLANCHE N° 19 : Rétrécissement et coupures de la piste de Linzolo



Photo 50 : Grand ravin de Mabenga entre 2005 et 2010 (la flèche 1 indique l'ancien tracé de la route, la flèche 2 montre le côté où se situait la déviation), Photo 51 : Rétrécissement de la piste vers Massissia par deux ravins régressifs.

© Idriss M'bouka Milandou. 2010

Le développement des RaL est un danger, dans la mesure où il n’y aura plus de ravins longitudinaux dans l’avenir, pouvant rétrécir de plus en plus la piste. Dans l’ensemble, les zones affectées sont beaucoup plus les « dépressions routières », c’est-à-dire, des endroits où les sections de la route se situent dans des dépressions, entre deux collines et en plus en situation d’interfluve, ce qui fait que les eaux de ruissellement qui viennent des sections en amont s’y déversent, stagnent et forment parfois des bourbiers. La saturation de ces dépressions, fait basculer les eaux de part et d’autre de la piste, créant ainsi des ravinements régressifs. Quant aux ravinements longitudinaux, ils sont causés par l’absence des canalisations et les caractéristiques des pentes. Cependant, l’homme a une part de responsabilité dans le cas d’érosion développée dans les "chemins ruraux" non entretenus (J.V. Avias, S.A., p 12).

Sur l’axe Nganga Loungolo – Linzolo, ce sont surtout les travaux de réparation mal effectués par les sociétés de BTP qui détiennent des licences d’exploitation des carrières de pierres au fleuve Congo, situé près de 3 km de la piste. Le but des remblaiements est de faciliter le flux de transport des pierres et des sables et non d’éradiquer à long terme les ravinements. De même les dispositifs d’atténuation des ruissellements, qui ressemblent aux impluviums, créés se transforment malheureusement en ravinement.

- Fréquence et la densité des ravinements sur la P2

Cette piste longue d’environ 11,43 km a été aménagée avec de la latérite en 2013, dans le cadre du PDARP, mais aucun dispositif de protection antiérosive n’a été aménagé, ne serait ce que pour maîtriser les eaux de ruissellement. La figure 29 montre que le taux de ravinement

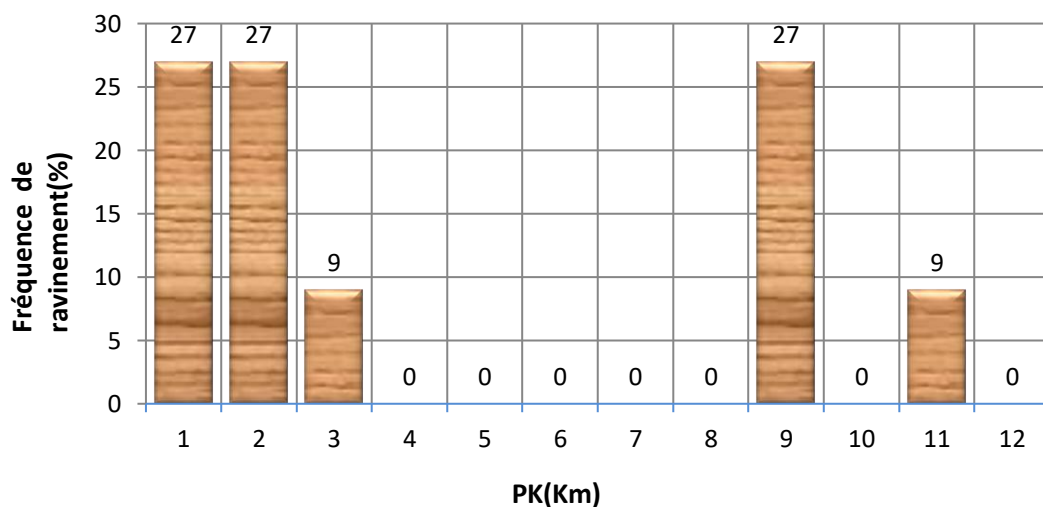


Figure 29 : Fréquence des ravinements par PK sur la piste Mavitoukou-Goma tsé-tsé gare et village

Tableau 16 : Densité des types de ravinements sur la P2

Type de ravinement	Ravine		Ravin		Surcreusement SP
	RaL	RaT	RVL	RVT	
Nombre	6	2	2	1	0
Densité	0,52	0,17	0,17	0,09	0
	52%	17%	17%	9%	0%

Cette situation justifie la dynamique des ruissellements concentrés sur l'évolution des FEE sur des espaces bordiers de cette route, dépourvue de collecteur d'eau (Photos 52, 53 et 54, Planche n°20).

PLANCHE N° 20 : Effets des ruissellements en bordure de la piste latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare et village



Photo 52 : Rigoles en bordure de la piste, Photo 53 : Ravine linéaire rétrécissant la piste sur une pente moyenne et longue, Photo 54 : Ravine sur un virage à pente moyenne
Piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé (P2).

© Idriss M'bouka Milandou

Les observations de terrain ont prouvé que ces ravinements se développent soit sur les sections de pentes longues, moyennes et fortes (photo 53, Planche n°20) ou soit sur des virages bordant des têtes de vallées avec des pentes brusques (photo 54, Planche n°20). Sur cette piste, dès que la mince couche de latérite est dégradée par des formes mineures, les ravinements érodent en un temps record les sols sablonneux qui constituent la plate-forme de la piste dans la zone. L'érosion régressive a été peu observée sur cette piste, mais l'évolution des ravinements linéaires va rétrécir cette route et causer des problèmes de circulation des véhicules dans les deux sens.

- Fréquence et densité des ravinelements sur la P3

Le taux de ravinement au PK1 à l'entrée de la piste, vers Koubola, est plus élevé avec 33% en moyenne que les PK2, PK4, PK8 et PK10 qui ont chacun 17% du taux de ravinement (Figure 30)

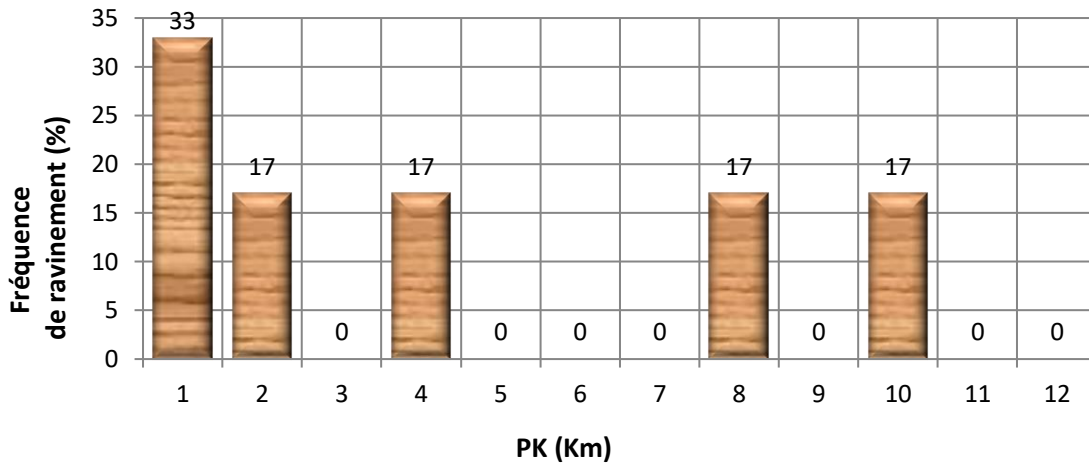


Figure 30 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste Koubola-Bissinza

L'érosion de cette piste de près de 11,10 km est dominée par les surcreusements, aucune autre forme de ravinement n'a été répertoriée. Ces SP représentent près de 54 % (Tableau 17) et sont longues parfois de centaines de mètres, avec des profondeurs importantes (Photo 55, Planche n°21).

Tableau 17 : Densité des types de ravinelements sur la P3

Type de ravinement	Ravine		Ravin		Surcreusement (SP)
	RaL	RaT	RVL	RVT	
Nombre	0	0	0	0	6
Densité	0	0	0	0	0,54
	0%	0%	0%	0%	54%

Cette situation, explique que la piste Koubola-Bissinza, n'a bénéficié d'aucun travail d'aménagement géotechnique et des travaux d'entretien. Avec la dynamique érosive actuelle, les surcreusements ne cessent de se former et d'évoluer, ce qui peut causer, dans l'avenir, l'abandon par les automobilistes, de certaines sections gravement affectées. Certaines déviations sont déjà créées par les automobilistes pour éviter les ornières dans les surcreusements (Photos 56 et 57, Planche n°21). L'évolution, bien que lente, des surcreusements ne dégradent pas que la piste, elle affecte aussi la flore située le long de la piste qui est détruite par les « phénomènes de chablis », provoqués par les mouvements de masse se produisant sur les parois (Photo 58, Planche n°21).

PLANCHE N° 21: Evolution des ornières en surcreusement et effet de chablis



Photo 55 : Surcreusement rectangulaire sur plus 200 m de long et de près de 2 m de profondeur,
 Photo 56 : Ornière grave sur la piste de Mayala (la flèche 1 indique la piste surcreusée abandonnée et la flèche 2 montre la nouvelle piste de déviation), Photo 57 : Bretelle de la piste moyennement surcreusée et jonchée d’ornières à l’abandon, Photo 58 : Effet de chablis sur une vieille section de piste surcreusée.
 Piste Koubola-Bissinza.

© Idriss M’bouka Milandou, 2015

Les observations ont permis de constater qu’en dehors des sols tantôt sablonneux, tantôt sablo-argileux de la zone, les pentes des sections de cette piste sont longues, mais moins inclinées, ce qui signifie que l’abondance des ruissellements, responsables de l’aggravation des surcreusements, est liée beaucoup plus à la longueur des pentes.

- Fréquence et densité des ravinelements sur la P4

Cette piste de près de 18,95 km n’est dégradée que par des surcreusements (SP), comme c’est le cas de la piste Koubola- Bissinza (P3). Le taux de ravinement est plus élevé aux PK1 et PK2 avec chacun 25%, suivies des PK3, PK4, PK8 et PK10 avec chacun 13% (Figure 31).

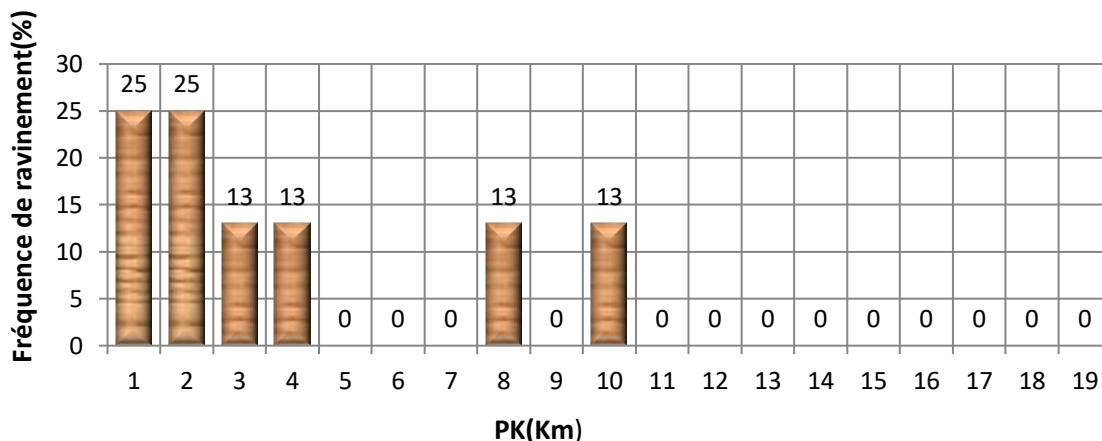


Figure 31 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste Koubola-Kibossi

Ces surcreusements ont une densité de près de 42 % (Tableau 18.) Ils alternent sur cette route avec les zones d'ensablements (Photos 59 ; 60 ; 61 et 62, Planche n°22).

Tableau 18 : Densité des types de ravinelements sur la P4

Type de ravinement	Ravine		Ravin		Surcreusement (SP)
	RaL	RaT	RVL	RVT	
Nombre	0	0	0	0	8
Densité	0	0	0	0	0,42
	0%	0%	0%	0%	42%

PLANCHE N° 22 : Route surcreusée, piste affectée par les ornières et ensablement de route



Les conséquences sur le transport sont les mêmes que sur l'axe Koubola-Bissinza. Les déviations se créent à chaque saison de pluie et le désordre est très marqué. Sur cette piste les surcreusements sont beaucoup plus localisés sur les sommets et les flancs des collines, dont les pentes sont naturellement longues et très inclinées. Les ruissellements abondants en saisons pluvieuses se chargent de décaper et de transporter les sédiments et sables dans les dépressions : bas-fonds des vallées et dépressions entre les collines, d'où l'ensablement de certaines sections.

L'homme aggrave la situation par les traitements non conformes des ornières, qui évoluent en surcreusement. De même les techniques employées pour rouler sur les ornières, consistant à placer les morceaux de bois dans les trous, aggravent ainsi les ruissellements.

- Fréquence et densité des ravinements sur la P5

Cette piste longue de près de 35,46 km est située dans le plateau de Mbé, au nord de la zone d'étude ; elle est très sablonneuse et ne présente peu de problème de ravinements. Ces sables favorisent l'infiltration rapide des eaux de pluie. Ce n'est qu'à la sortie de Brazzaville, vers Sadelmi jusqu'au village Ntoba Ilélé, en passant par la Case Barnier qu'on a observé et quantifié quelques formes de ravinements. Ces derniers sont localisés aux PK2, PK4, PK5, PK11 et PK12. Le premier PK a un taux de ravinement de près de 38%, suivi du PK12, avec près de 25%. Les PK4, PK5 et PK11, ont des taux faibles de 13% chacun (Figure 32).

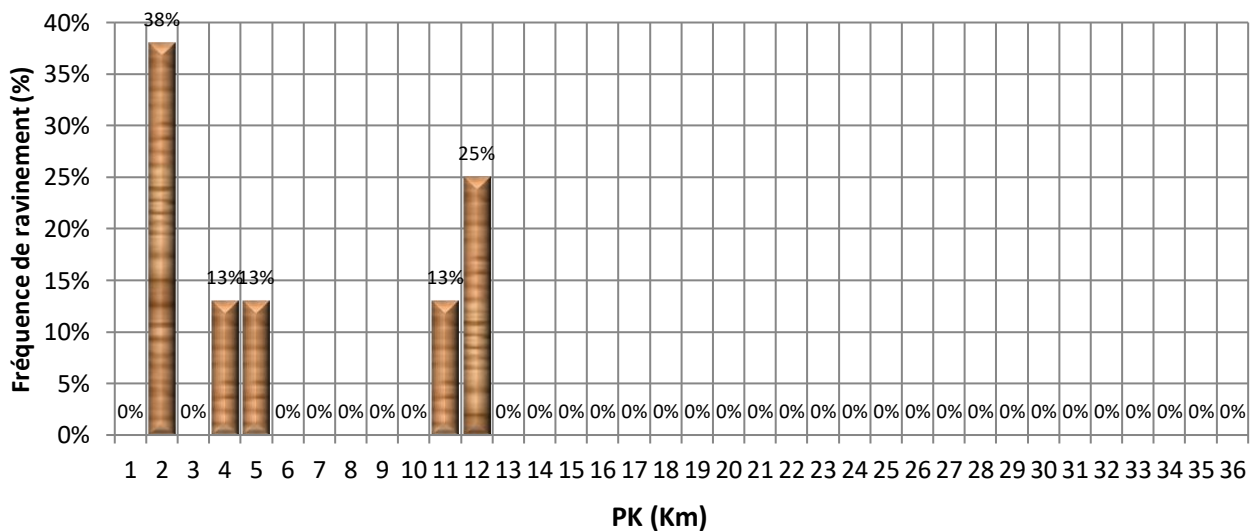


Figure 32 : Fréquence des ravinements par PK sur la piste Sadelmi-Loumou-Nguidi

Cependant, ce sont beaucoup plus les RVT qui dominent la piste avec une densité de 11%, suivis des RaL avec 8%. Les RaT ne sont pas denses, elles ne représentent que 5% (Tableau 19).

Tableau 19 : Densité des types de ravinements sur la P5

Type de ravinement	Ravine		Ravin		Surcreusement (SP)
	RaL	RaT	RVL	RVT	
Nombre	3	1	0	4	0
Densité	0,08	0,03	0	0,11	0
	8%	3%	0%	11%	0%

Ces taux et densités s'expliquent d'une part, par la sensibilité des sols sablonneux (Photo 63, Planche n°23) des plateaux Batéké et les pentes douces, mais longues et, d'autre part, par le manque de maîtrise des ruissellements.

Les *RaL* naissent des ornières créées par les traces de roues et aggravées par les eaux de ruissellement (Photo 64, Planche n°23). Avec l'évolution rapide des ornières en ravines (Photo 65, Planche n°23), nous assisterons dans quelques années, à la formation des premiers surcreusements sur cet axe.

PLANCHE N° 23 : Orniérage et ensablement de la piste Sadelmi-Loumou-Nguidi



Photo 63 : Ravine sur l'ancienne piste (la flèche indique la nouvelle piste juste à côté de l'ancienne),
Photo 64 : Ornières évoluant en ravines- section de piste totalement abandonnée, Photo 65 :
Ensablement de la piste au niveau de case Barnier.

© Idriss M'bouka Milandou 2015

De même, les ravins régressifs, transversaux à la route doivent interpeller les autorités, surtout avec la construction des logements de l'état et l'occupation actuelle des parcelles dans la zone. Sur le reste de la piste, soit 15,61 km, aucun ravinement n'a été trouvé. La fréquence des ravinements est égale à 0 et leur taux est nul. Cette bretelle est dominée par des ensablements qui se transforment en bourbiers pendant les saisons pluvieuses, ce qui la rend impraticable pendant cette période.

Les automobilistes soucieux d'assurer le transport des populations et de leurs biens dans cette contrée, empruntent une autre route tracée sur des zones de plane exposées aux risques d'inondations. On peut également observer quelques cirques d'érosion sur les pentes avoisinant cette section, témoignant ainsi d'une activité érosive ancienne.

La figure 33 montre la tendance des densités des types de ravinement par piste. Sur l'axe de Linzolo, par exemple, la densité moyenne des cas d'érosion par kilomètre est de 0,246 soit 24,6%. Sur la piste latéritique de Mayitoukou, elle est d'environ 0,19, soit 19%. Quant aux pistes de Koubola-Bissinza et Koubola-Kibossi, affectées par les surcreusements, la densité est assez faible, et tourne autour de 0,108 équivalent à 10,8% et 0,084 soit 8,4% de cas d'érosion par kilomètre et sur la piste Sadelmi-Loumou-Nguidi, qui n'est qu'affecté sur son premier tronçon (Sadelmi-Case Barnier-Ntoba Ilélé), avant Loumou, a une densité moyenne 0,044, soit 4,4%. Ceci nous permet de dire que sur les 5 pistes étudiées, seules deux routes (Nganga Loungolo-Linzolo et Mayitoukou-Goma tsé-tsé) sont proches des ceux trouvés par R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare *&al.*, 2008, p 17. Le reste des pistes, ont des densités très faibles. Ceci s'explique sûrement par le taux d'utilisation des pistes par les usagers. Mais si l'on tient compte de la typologie de chaque cas d'érosion, les valeurs trouvées sur les 5 pistes sont soit supérieures ou très proches de celles trouvées par R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare *&al.*, 2008, p 17.

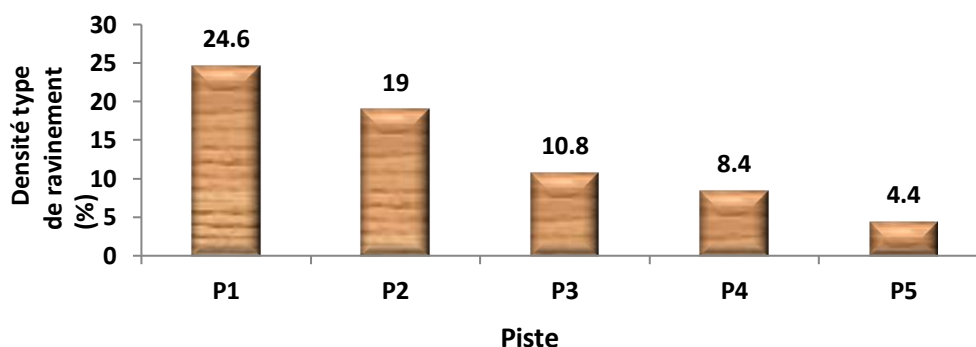


Figure 33 : Densité moyenne des ravinelements par piste en terre

En termes de taux d'érosion par rapport à la longueur des pistes, le constat est que plus la route est longue, moins le taux d'érosion est faible, et moins la route est courte, plus le taux d'érosion est élevé (Tableau 20 et Figure 34).

Tableau 20 : Taux moyen des ravinelements par kilomètre de piste

Piste en terre	TMR (%)	km
Nganga-Loungolo – Linzolo (P1)	7,52	13,46
Mayitoukou-Goma tsé-tsé (P2)	8,66	11,43
Koubola – Bissinza (P3)	9,09	11,10
Koubola-Kibossi(P4)	5,38	18,95
Sadelmi – Loumou-Nguidi(P5)	2,88	35,46

Notes : TMR : Taux moyen de ravinement par kilomètre de piste, km : kilométrage de piste

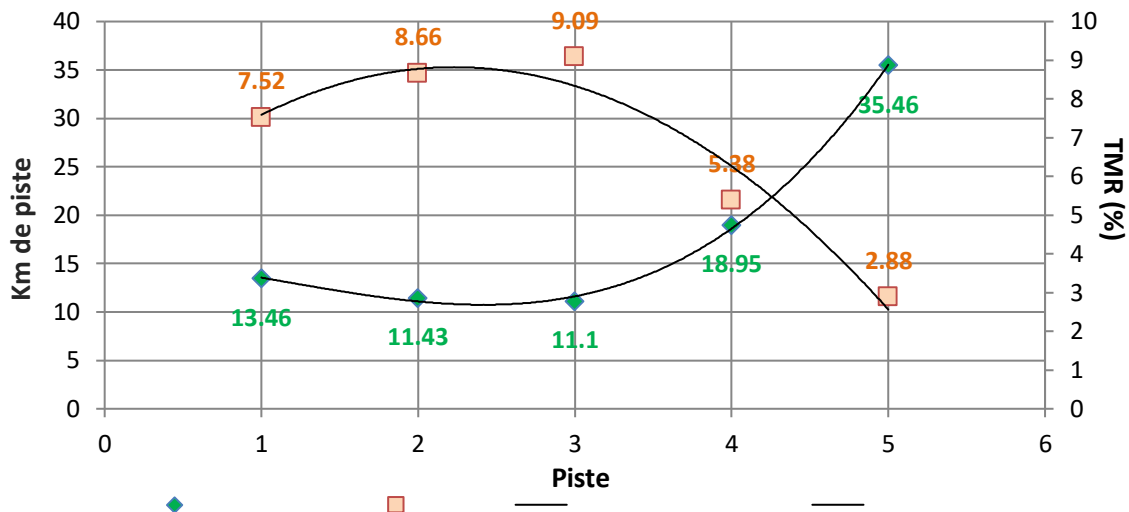


Figure 34 : Relation entre taux de ravinement et le kilométrage des pistes à partir du nuage des points et des courbes de tendance polynomiale

Cette figure montre que les pistes 5 ; 4 et 1 sont les plus longues en termes de kilométrage et que les taux moyens de ravinelements (TMR) sont moins élevés, soit en moyenne 2,88 % pour la piste Sadelmie-Loumou-Nguidi (P5) longue de près de 35 km, 5,38 % pour la piste Koubola-Kibossi de près de 18 km et enfin de la piste Nganga loungolo – Linzolo, longue d'environ 14 Km, correspondant à 7,52% de ravinelements par PK. Les pistes 2 et 3, respectivement moins longues de 11 km en moyenne, ont chacune des TMR plus élevés que les pistes 5, 4 et 1 ; soit respectivement 8,66 et 9,09%.

De même, ce constat semble être proche des résultats trouvés par R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare *&al.*, 2008, p 17. Ces chercheurs ont constaté que la longueur des chemins forestiers n'est pas forcément proportionnelle au taux d'érosion par kilomètre, en s'appuyant sur ces deux exemples précis : une piste longue de près de 6 570 km a un taux d'érosion de 1 418, tandis que l'autre piste longue de 4 660 km a pourtant un taux proche du premier chemin, soit 1 338 par kilomètre. La différence entre ces deux taux d'érosion est d'à peine 80 ; elle n'est pas grande compte tenu des longueurs des deux pistes différentes de près de 1 910 km. Ces taux d'érosion ont un lien avec la quantité des terres ou des sédiments perdus chaque année.

4.2.2. Quantité des matériaux perdus sur les pistes

Comme annoncé plus haut, les volumes moyens des FEE et les valeurs de la densité apparente des sols et du matériel remanié des pistes, ont permis d'évaluer la quantité des sédiments perdus.

L'estimation des pertes en matériaux sur les pistes (terre et matériel remanié des surfaces de roulement des pistes), pendant une période donnée, est d'une grande importance, dans la mesure où elle permet aux décideurs et aux aménageurs de mieux planifier les travaux de remblaiement des ravinelements et d'aménagement des pistes. Mais, elle est également l'une des variables qui permet de mesurer la gravité de l'érosion hydrique dans un milieu donné. A titre illustratif, plusieurs travaux sur l'érosion hydrique dans le monde, ont mis l'accent sur l'estimation des pertes en sols. Certains chercheurs ont confirmé que l'érosion des sols est le phénomène environnemental majeur qui est à l'origine des pertes des quantités importantes des sols dans le monde. Cette thèse est soutenue par M.Ibitoye & S. Adegboyega, 2012, p 2, en ces termes “ *Soil erosion is the single major process responsible for the loss of billion tonnes of soils worldwide*”. Ces auteurs ont même cités B.W. Murck, B.J. Skinner & S.C. Porter, 1996, qui ont estimé globalement une perte de sols causée par l'érosion à plus de 25 millions de tonnes par année en milieu rural et urbain au Guatemala. De même A. Hughes, I. Prosser, J. Stevenson & al., 2001, p14, dans leurs travaux réalisés en Australie, ont montré qu'un ravinement de près d'un kilomètre de longueur avait érodé 10 000 m³ de sédiments par km² de terre. Au Nigeria, E. Enabor & O. Sagua, 1988, p 12 avait estimé à 30 millions de tonnes de sols perdus en une année en milieu rural et urbains à cause des ravinelements. L.K. Jeje, 2005, p 12, a estimé à environ 531 000 à 329 000 tonnes de sédiments décapés par les ravinelements dans deux régions topographiquement accidentées au Bénin. La perte en terre et en matériaux, dans cette Sous-Préfecture a été estimée sur chaque piste, en tenant compte de la morphologie que prend chaque type de ravinement. Mais sur certaines pistes la perte des sols et en matériaux ont été déterminé grâce aux valeurs des densités apparentes des sols et du matériel remanié caractérisant les matériaux de pistes. Par contre sur d'autres pistes, seul, l'un ou l'autre matériau a été évalué, en tenant compte également de leur densité apparente.

- Perte des matériaux sur la P1

Le volume total moyen de ravinement sur cette piste entre 2012 (année de remblaiement et de colmatage des ravinelements) et 2015 est de 32 522 m³, avec un maxi de 41 641,49 m³ et un mini de 23 403,31 m³. Les ravins les plus spectaculaires sont ceux du PK5 aux coordonnées 4°23'39''S/15°06'53''E et 4°23'25''S/15°07'03''E, avec respectivement un volume moyen de 14 323,35 m³ (9548,9 m³ mini et 19 097,8 m³ maxi) avec près de 6 365,93 m³.an⁻¹ et de 7 521,17 m³ (6 193,901 m³ mini et 8 848,43 m³ maxi) avec près de 804,40 m³.an⁻¹ (Tableau 21).

Tableau 21 : Matériaux perdus sur la piste de Linzolo

Type de ravinement	Mor.	β	L (m)	W (m)		d (m)	Volume Mini (m ³)	Volume Maxi (m ³)	AR (an)	Volume (m ³ .an ⁻¹)	PK	Coordonnées géographiques
RaL	V	0,5	580	1,90		0,8	220,4	440,8	2	220,4	2	4°24'39''S/15°06'35''E
RaL	V	0,5	75,5	3,70		1,68	117,33	234,65	ANE	VNC	3	4°24'26''S/15°06'41''E
RVL	TPZ	0,6	460	4,7	1,73	2,64	2353,51	3 922,51	3	1 307,50	3	4°24'04''S/15°06'50''E
RVL	TPZ	0,7	90	4,6	3,95	3,03	816,053	1 165,79	3	388,59	3	4°24'07''S/15°06'45''E
RVL	V	0,5	99	1,63		1,57	63,34	126,68	ANE	VNC	3	4°24'15''S/15°06'46''E
RVT	V	0,5	180	11,33		6,58	3354,82	6 709,63	3	2 236,54	3	4°24'17''S/15°06'46''E
RVT	V	0,5	800	6,85		6,97	9548,9	19 097,8	3	6 365,93	5	4°23'39''S/15°06'53''E
SP	TPZ	0,7	260	13,2	10,17	2,91	6193,901	8 848,43	11	804,40	5	4°23'25''S/15°07'03''E
RaL	TPZ	0,8	70,50	1,8	1,03	1,48	119,36	149,20	2	74,6	5	4°22'43''S/15°07'45''E
RVL	TPZ	0,6	58,50	4,5	1,37	1,5	153,74	256,23	2	128,115	5	4°22'59''S/15°07'40''E
RVT	TPZ	0,9	190	1,1	0,78	2,18	350,96	389,35	2	194,675	5	4°22'59''S/15°07'36''E
RaL	V	0,5	50	2,1		1,2	31,5	63	ANE	VNC	6	4°22'21''S/15°07'56''E
RVT	TPZ	0,9	19,3	1,7	1,6	1,45	41,184	45,76	ANE	VNC	6	4°22'17''S/15°07'58''E
RaT	TPZ	0,9	10	2,5	2,23	0,98	20,73	23,03	ANE	VNC	7	4°22'00''S/15°08'04''E
RVL	TPZ	0,8	41,1	4,1	1,18	1,56	134,904	168,63	2	84,315	7	4°21'57''S/15°08'05''E
Total volume des vides (m ³)							23 403,31	41 641,49				
Densité apparente des sols (T/m ³)							1,7					
Densité apparente matériel remanié (T/m ³)							1,7					
Terres perdues (tonnes)							22 638,20	44 651,469				
Matériel remanié perdu (tonnes)							17 147,42	26 139,064				
Total de matériaux perdus (tonnes)							39 785,63	70 790,533				

Notes : Mor : morphologie, L : Longueur, W : largeur, d : Profondeur, PK : poste kilométrique, AR : Age du ravinement, ANE : âge non évalué, VNC : volume en m³/an non calculé

Ce tableau montre également que les ravinements en trapèze, sont plus nombreux et représentent à eux seuls un volume moyen de 12 576,64 m³ (10 184,342 m³ mini et 14 968,93 m³ maxi). La fréquence de ces formes s'explique par la texture argilo-sableuse des sols de la zone et du matériel remanié de la piste elle-même. La densité apparente du matériel remanié (MR) sur cette route est de 1,7 g/cm³ en moyenne. Elle tient compte exclusivement des ravinements longitudinaux à la piste (RaL, RVL et SP), d'où la quantité (P) moyenne du matériel remanié (MR) perdu est d'environ 21 643,242 tonnes (17 147,42 tonnes mini et 26 139,064 tonnes maxi). Quant aux sols situés de part d'autre de la piste, ils ont la même densité apparente que le MR, d'où la quantité (P) moyenne des terres perdues d'environ 33 644,83 tonnes (22 638,20 tonnes mini et 44 651,469 tonnes maxi), ces tonnages tiennent compte exclusivement des ravinements transversaux ou régressifs (RVT).

Au total une moyenne de 55 288,08 tonnes de matériaux perdus sur cette piste, avec un minimum de 39 785,63 tonnes et un maximum 70 790,533 tonnes. Si un aménagement consistant n'est pas réalisé sur cette piste, en tenant compte du milieu physique et du flux de transport, l'érosion ravinante sera toujours d'actualité et va continuer à causer la perte importante des matériaux.

- Pertes en matériaux sur la P2

Entre 2013 (année de réhabilitation) et 2015, l'érosion hydrique a érodé la piste Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare, dont le total du volume moyen est de près de 4 058,625 m³ (2 665,6 m³ mini et 5 451,65 m³ maxi). Les ravins les plus béants sont ceux du PK9, avec en moyenne 900,265 m³ ; 932,715 m³ et 669,995 m³. En tenant compte de leur volume maximal, ces ravinements ont perdu près de 600 m³.an⁻¹ pour les 2 premiers et près de 459,26 m³.an⁻¹ pour le second, en 2 ans (Tableau 22). Les ravinements en V dominant cette piste, du fait qu'en dehors de la mince couche de latérite de 4 cm caractérisant la plate-forme, les sols sont sablonneux dans la zone. Le caractère cohésif desdits sols est responsable de ces types de ravinements. La moyenne de leur volume total est d'environ 2851,69 m³ (1904,76 m³ mini et 3 798,615 m³ maxi). La latérite qui constitue le matériel remanié de cette piste a une densité apparente universelle varie entre 1,44 et 2,56 g/cm³, avec une forte porosité de 44% (V. Kamgang Kabeyene Beyala, G.E. Ekodeck, I.K. Njilah, 2001, p 21). Dans ce contexte c'est la première valeur de la densité apparente qui a été prise en compte, du fait qu'elle est proche des valeurs obtenues dans la zone. La densité apparente des sols de la zone d'étude est la même obtenue dans le secteur de Kibossi, soit 1,7 g/cm³ en moyenne.

Tableau 22 : Matériaux perdus sur la piste de Mayitoukou

Type de ravinement	Mor.	β	L (m)	W (m)		d (m)	Volume mini (m ³)	Volume maxi (m ³)	AR (an)	Volume (m ³ .an ⁻¹)	PK	Coordonnées géographiques
RaL	V	0,5	320	2,47		1,1	434,72	869,44	2	434,72	1	4°19'13''S/15°04'46''E
RaT	V	0,5	470	1,37		0,47	151,32	302,633	ANE	VNC	2	-
RaL	V	0,5	80	0,98		0,63	24,70	49,392	ANE	VNC	3	-
RaL	V	0,5	10	1,4		1,1	7,7	15,4	ANE	VNC	2	4°18'42''S/15°05'05''E
RaL	V	0,5	25	2,13		0,53	14,11	28,22	1	28,22	2	-
RaL	V	0,5	37	1,63		0,90	27,14	54,28	2	27,14	2	4°18'41''S/15°04'06''E
RaT	V	0,5	9,9	2,97		1,57	23,08	35,28	1	35,28	3	4°18'32''S/15°05'16''E
RVL	V	0,5	262	1,87		2,45	600,18	1 200,35	2	600,175	9	4°17'46''S/15°05'57''E
RVL	TPZ	0,7	80	3,33	0,8	2,78	421,48	918,51	2	459,255	9	4°17'47''S/15°05'55''E
RVT	TPZ	0,8	60	2,15	0,95	1,5	111,6	279	2	139,5	9	4°17'49''S/15°05'52''E
	V	0,5	180	2,1		3,29	621,81	1 243,62	2	621,81		4°17'48''S/15°05'52''E
RVL	TPZ	0,8	100	1,75	1,37	1,46	227,76	455,52	2	227,76	11	4°16'37''S/15°06'17''E
Total volume des vides (m ³)							2 665,6	5 451,65				
Densité apparente de la latérite (g/cm ³)							1,44					
Densité apparente des sols (g/cm ³)							1,7					
Terres perdues (tonne)							1 543,28	3 162,91				
Matériaux latéritiques perdus (tonne)							2 531,22	5 171,20				
Total des matériaux perdus (tonne)							4 074,497	8 334,11				

Notes : Mor : morphologie, L : Longueur, W : largeur, d : Profondeur, PK : poste kilométrique, AR : Age du ravinement,
ANE : âge non évalué, VNC : volume en m³.an⁻¹ non calculé

Les matériaux perdus s'élèvent à 6 204,3035 tonnes (4 074,497 tonnes mini et 8 334,11 tonnes maxi), soit 2 353,095 tonnes de terre perdues en moyenne (1 543,28 tonnes mini et 3 162,91 tonnes maxi) et 3 851,21 tonnes de latérites perdues en moyenne (2 531,22 tonnes mini et 5 171,20 tonnes maxi).

Ces matériaux constitués de débris de latérite et de sols en place, se déposent dans des secteurs où la piste est en situation de dépression, mais également dans les vallées situées de part et d'autres de la piste. Certains sont naturellement captés par les végétaux, d'autres atteignent les cours d'eau.

Les rigoles qui évoluent rapidement en ravinement pendant les périodes pluvieuses et l'absence des travaux de réparation, vont aggraver la situation sur cette piste et la quantité de terres perdues sera revue à la hausse dans quelques années.

- **Pertes en matériaux sur la P3**

Cette piste est dominée par des surcreusements en trapèze. La moyenne de leur volume total est estimée à 7 738,25 m³ (6 991,86 m³ mini et 8 484 m³ maxi).

Les surcreusements les plus graves en terme de volume sont ceux du PK1 avec respectivement en moyenne 1 813,27 m³ soit 233,86 m³.an⁻¹ et 1 497,94 m³, du PK10 avec en moyenne 1 787,44 m³ et enfin du PK8 avec en moyenne 1 511,55 m³, soit 265,19 m³.an⁻¹ (Tableau 23).

La densité apparente du matériel remanié est de 1,7 g/cm³ et la quantité totale de matériaux perdus est d'environ 13 155,025 tonnes en moyenne (11 886,16 tonnes mini et 14 423,89 tonnes maxi).

Si les solutions d'aménagement ne sont pas trouvées, les surcreusements seront plus nombreux. Les sections de piste non affectées, seront surcreusées à leur tour.

De même, les vieux surcreusements, apparemment figés du point de vue stabilité des talus, deviendront des « arasements » de piste, dès que la roche mère sera atteinte.

Le volume du matériel remanié perdu sera revu à la hausse dans les années à venir.

Tableau 23 : Matériaux perdus sur la piste Koubola-Bissinza

Type de ravinement	Mor.	β	L (m)	W (m)		d (m)	Volume Mini (m ³)	Volume maxi (m ³)	AR (an)	Volume (m ³ .an ⁻¹)	PK	Coordonnée géographique
SP	TPZ	0,8	150	5,83	2,36	3,28	1 611,79	2 014,74	9	223,86	1	4°20'41''S/15°02'48''E
SP	TPZ	0,9	230	4,35	2,54	1,99	1 419,10	1 576,78	ANE	VNC	1	4°20'53''S/15°02'55''E
SP	TPZ	0,6	90	5,35	2,55	2,29	488,46	814,09	5	162,818	2	4°21'21''S/15°03'17''E
SP	TPZ	0,9	190	3,18	2,44	0,94	451,68	501,87	4	125,47	3	4°21'27''S/15°03'54''E
SP	TPZ	0,9	270	3,97	3,13	1,66	1 431,99	1 591,11	6	265,19	8	4°22'34''S/15°06'11''E
SP	TPZ	0,8	180	5,67	2,95	2,56	1 588,84	1 986,04	ANE	VNC	10	4°23'15''S/15°07'08''E
Total volume des vides (m ³)							6 991,86	8 484,64				
Densité apparente du matériel remanié (g/cm ³)							1,7					
Matériel remanié perdu (Tonnes)							11 886,16	14 423,89				

Notes : Mor : morphologie, L : Longueur, W : largeur, d : Profondeur, PK : poste kilométrique, AR : Age du ravinement, ANE : âge non évalué, VNC : volume en m³.an⁻¹ non calculé

- **Matériaux perdus sur la P4**

Sur cette piste d'environ 18,95 km, la situation est la même que sur l'axe Koubola-Bissinza. Les surcreusements sont les principales formes de dégradation, en dehors des ensablements et des ornières.

La moyenne du volume total des vides laissés par l'érosion est estimée à 12 040,105 m³ (10 902,69m³ mini et 13 177,52 m³ maxi)(Tableau 24). Il représente le tiers du volume des vides laissé par l'érosion sur la route de Linzolo. Mais, ce volume, proportionnel au taux de surcreusement, est plus important que celui de la piste Koubola-Bissinza.

La densité apparente est d'environ 1,8 g/cm³ et la quantité moyenne de matériaux perdus est estimée à 21 672,19 tonnes (19 625 tonnes mini et 23 719,54 tonnes maxi).

L'axe Koubola-Kibossi est la deuxième piste la plus affectée par le ravinement, dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, après celle de Linzolo (P1).

Le surcreusement le plus grave est celui du PK8, qui a une morphologie trapézoïdale avec un volume moyen de 4 768,37 m³ soit 509,97 m³.an⁻¹.

Les matériaux érodés dans les surcreusements, se déversent sur les sections de piste situées dans les bas-fonds de vallées et entre les collines. Si aucune solution d'aménagement n'est trouvée, cette piste sera de plus en plus surcreusée et va produire par conséquent une quantité plus importante de matériaux, puisqu'à chaque saison pluvieuse, des nouveaux surcreusements se créent et d'autres s'aggravent et atteignent parfois la roche mère, devenant ainsi des arasements.

Tableau 24 : Matériaux perdus sur la piste Koubola-Kibossi

Type de ravinement	Mor.	β	L (m)	W (m)		d (m)	Volume Mini(m ³)	Volume Maxi(m ³)	AR (an)	Volume (m ³ .an ⁻¹)	PK	Coordonnées géographiques
SP	REC	1,0	200	3,03		1,4	848,4	848,4	6	141,4	1	4°20'02''S/15°02'54''E
SP	TPZ	0,8	180	2,4	2,17	1,48	486,98	608,72	5	121,74	1	4°19'48''S/15°02'45''E
SP	REC	1,0	150	3,73		0,73	408,44	408,44	ANE	VNC	2	4°19'36''S/15°02'31''E
SP	TPZ	0,8	320	3,6	2,76	2,31	1 880,52	2 350,66	9	261,18	2	4°19'06''S/15°02'23''E
SP	REC	1,0	330	4,26		1,39	1 954,06	1 954,06	7	279,15	3	4°18'34''S/15°02'25''E
SP	REC	1,0	70	4,18		1,38	403,79	403,79	ANE	VNC	4	4°17'59''S/15°02'11''E
SP	TPZ	0,7	500	6,3	2,64	2,51	3 926,895	5 609,85	11	509,97	8	4°16'43''S/15°00'27''E
SP	REC	1,0	200	2,76		1,80	993,6	993,6	ANE	VNC	10	4°13'42''S/15°00'42''E
Total volume des vides							10 902,69	13 177,52				
Densité apparente du matériel remanié (g/cm ³)							1,8					
Matériaux perdus (tonnes)							19 624,83	2 3719,54				

Notes : Mor : morphologie, L : Longueur, W : largeur, d : Profondeur, PK : poste kilométrique, AR : Age du ravinement, ANE : âge non évalué, VNC : volume en m³.an⁻¹ non calculé

- Pertes en matériaux sur la P5

La piste Sadelmi –Loumou– Nguidi, très sableuse, est dominée par les ravinelements en V et rectangulaires qui affectent beaucoup plus la section Sadelmie-Case Barnier-Ntoba Ilélé.

La moyenne du volume total des vides laissés par les ravinelements est estimée à 1 519,205m³ (tableau 25). Ce volume assez faible est treize fois moins que celui de la piste de Kibossi. Cette situation s'explique par la faiblesse du flux de transport sur cette piste, car les automobilistes préfèrent rouler sur la nouvelle bretelle de la route nationale n°1, Kintélé (sortie nord-ouest de Brazzaville)- PK45 – Mindouli, pour atteindre la Sous-Préfecture de Mayama et de Kindamba.

La section Ntoba Ilélé - Loumou– Nguidi est beaucoup plus affectée par l'érosion (ornière, rigoles et ravinelements) et les bourbiers en saisons pluvieuses et par l'ensablement en saisons sèches. La densité apparente obtenue par P.M.J. Ngazzi, 2009, p 18, dans la partie nord-ouest de Brazzaville (Talangai et Mfilou) est estimée à 1,6 g/cm³. Cette densité apparente est la même que dans le nord et le nord-ouest de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

La quantité moyenne de matériaux perdus entre 2013 et 2015 est de 2 430,725 tonnes, soit en moyenne 1 048,57 tonnes de terres et 1 382,15 tonnes de matériel remanié. Le ravinelement le plus grave en termes de volume est celui du PK12, avec près de 668 m³ en moyenne soit 167,06 m².an⁻¹, du PK2 vers Sadelmi avec près de 374,365 m³ soit 124,79 m².an⁻¹ et enfin du PK5 avec 193,14 m³ soit 85,84 m².an⁻¹, le tout vers le village Ntoba Ilélé.

Bien que la piste ne soit pas trop utilisée, les travaux effectués par la société des BTP Chinoise CRBC en 2013 ont aggravé sa dégradation. La zone est par ailleurs, vendue pour des besoins de construction d'habitat, ce qui, dans l'avenir, augure des phénomènes de ravinement catastrophique.

Tableau 25 : Matériaux perdus sur le tronçon Sadelmi-Loumou-Nguidi

Type de ravinement	Mor.	β	L (m)	W (m)		d (m)	Volume Mini (m ³)	Volume Maxi (m ³)	AR (an)	Volume (m ² .an ⁻¹)	PK	Coordonnées géographiques
RVT	V	0,5	67	2,98		2,50	249,58	499,15	4	124,79	2	4°12'34''S/15°13'05''E
RaT	V	0,5	95	1,37		0,9	58,57	117,14	ANE	VNC	4	4°11'56''S/15°12'26''E
RVT	V	0,5	78	2,13		1,55	128,76	257,52	3	85,84	5	4°11'50''S/15°12'17''E
RaL	TPZ	0,7	200	1,20	0,50	0,95	113,05	161,5	4	40,36	11	4°11'07''S/15°10'03''E
RaL	REC	1,0	495	0,90		1,50	668,25	668,25	4	167,06	12	4°12'22''S/15°09'20''E
RaL	REC	1,0	27	1,80		1,20	58,32	58,32	ANE	VNC	12	4°12'22''S/15°09'20''E
Total volume des vides							1 276,53	1 761,88				
Densité apparente de sols et du MR (g/cm ³)							1,6					
Terres perdues (tonnes)							699,056	1 398,09				
Matériel remanié perdu (tonnes)							1 343,39	1 420,91				
Total des matériaux perdus (tonnes)							2 042,45	2 819				

Notes : Mor : morphologie, L : Longueur, W : largeur, d : Profondeur, PK : poste kilométrique, AR : Age du ravinement, ANE : âge non évalué, VNC : volume en m³.an⁻¹ non calculé

Enfin, le tableau 26 et la figure 35 montrent bien la différence entre les 5 pistes en terme de volumes des vides en m³ laissés par les ravinelements de tous types, ainsi que les quantités en tonnes des matériaux perdus (terres, matériel remanié et latérite) perdus entre 2012 et 2015.

Tableau 26 : Moyenne des volumes et des matériaux perdus par piste dans la zone d'étude

Piste	Volume moyen (m ³)	Moyenne des matériaux perdus (tonne)	Moyenne des terres perdues (tonne)	Moyenne du matériel remanié perdu(tonne)
Nganga Loungolo- Linzolo(P1)	32 522,4	55 288,08	33 644,83	21 643,242
Mayitoukou-Goma tsé-tsé (P2)	4 058,625	6 204,3035	2 353,095	3 851,21
Koubola-Bissinza (P3)	7 738,25	13 155,025	0	13 155,025
Koubola – Kibossi (P4)	12 040,105	21 672,19	0	21 672,19
Sadelmi-Loumou-Nguidi (P5)	1 519,205	2 430,725	1 048,57	1 382,15

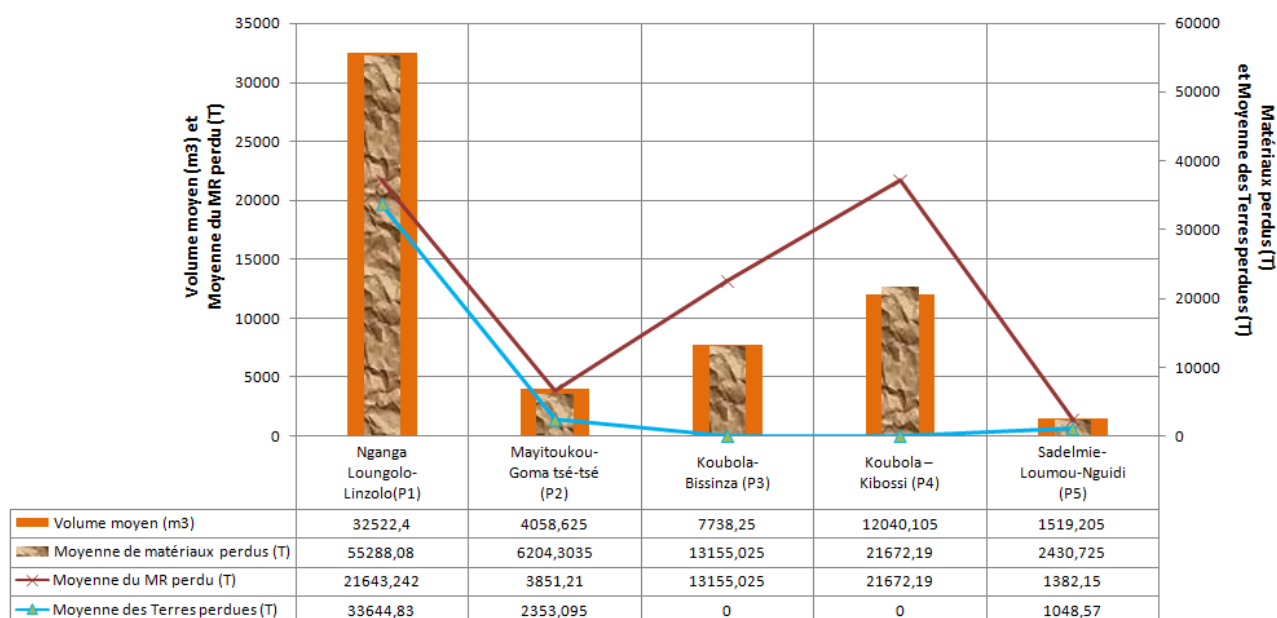


Figure 35 : Volume et quantité de matériaux perdus (terre et MR) dans la Sous-Préfecture

Cette figure montre qu'en termes de volume des vides créés par les différents types de ravinelements, la piste de Linzolo est la plus affectée, par rapport aux autres, avec près de 32 522,4 m³. Ce volume est proportionnel à la quantité moyenne de matériaux perdus estimée à près de 55 288,08 tonnes, soit 33 644,83 tonnes de terres et 21 643,242 tonnes de matériel remanié issu de la chaussée, entre 2013 et 2015. Ensuite c'est la piste Koubola-Kibossi, dont les surcreusements laissés par l'érosion ont un volume estimé 10 040,105 m³, ce qui équivaut à 21 672,19 tonnes de matériaux perdus constitués essentiellement de matériel remanié, sur près d'une décennie.

La piste Koubola-Bissinza, également affectée par les surcreusements vient en troisième place avec près 13 155,025 tonnes de matériaux perdus, constitués essentiellement du matériel remanié de la piste, sur un volume total des vides estimé à 7 738,25 m³. Les pistes 2 et 5 sont les dernières en termes de volume des vides laissés par l'érosion ravinante et la quantité des matériaux perdus. Pour la première, c'est-à-dire, la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare, on peut comprendre que la latérite résiste mieux à l'érosion que d'autres types de matériel remanié observés sur d'autres pistes.

Si l'on observe la quantité de matériaux perdus, elle est estimée à peine à près 2 353,095 tonnes sur près de 4 058,625 m³ de volume, grâce à sa densité apparente (1,44 g/cm³), par rapport aux autres pistes qui dépassent les 10 000 tonnes. C'est dire que ces matériaux sont favorables pour l'aménagement des pistes en milieu rural, pourvu qu'il y ait un bon système de drainage des eaux. Quant à la piste Sadelmi-Loumou- Nguidi, moins exploitée auparavant et de plus en plus prisée de nos jours à cause de l'étalement urbain de la ville de Brazzaville (achat des terrains par les populations jusqu'à Ntoba Ilélé pour la construction des habitations), la quantité des terres perdues est estimée à 1 048,57 tonnes et celle du MR est d'environ 1 382,15 tonnes avec un volume assez faible de vides laissés par les ravinements de 1 519,2 m³

4.2.3. Les conséquences environnementales des ravinements de pistes dans la zone d'étude

A l'instar de la perte énorme des quantités des terres, l'érosion des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, constitue un véritable problème socio-économique et environnemental.

Ce problème regroupe les impacts négatifs sur ces routes en terre et l'environnement. Ils sont la manifestation de l'érosion sur les routes et les dégâts causés sur l'environnement humain et naturel. Ils se caractérisent par des coupures et des rétrécissements de routes, de l'instabilité des talus routiers par des mouvements de masse, de l'ensablement des routes et enfin la sédimentation des cours d'eau et ses conséquences sur l'homme et le biotope.

- Les coupures et les rétrécissements des pistes

La coupure des pistes est l'œuvre des ravinements régressifs ou transversaux. Dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, ils se manifestent souvent sur les pistes d'interfluves, notamment les pistes aux sommets des collines et en situation de terrasses (figure 36).

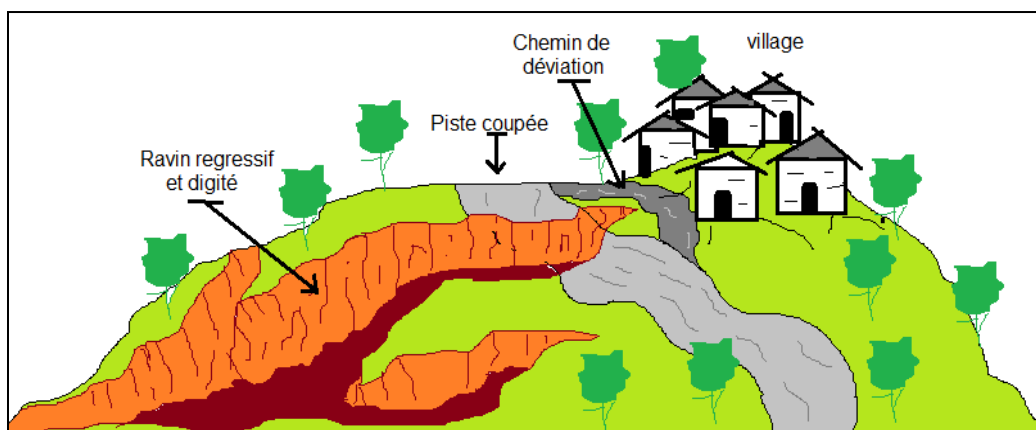


Figure 36 : Exemple d'une route coupée et village menacé par un ravin régressif et digité
© Idriss M'bouka Milandou

Certains ravinements, après avoir érodé des espaces agricoles dans leur évolution, coupent non seulement la route, mais menacent également des villages entiers. Cette situation illustrée par la figure 36 est toutefois observée dans les secteurs de Touboula et Massissia sur la route de Linzolo.

Les rétrécissements de pistes, dus aux ravinements longitudinaux, se manifestent souvent sur les sections de pistes dépourvues des fosses de drainage des eaux et dont les longueurs de pentes sont importantes. Les ruissellements pluviométriques suivent alors les bordures de routes, au lieu de se déverser de part et d'autre des pistes (Figure 37).

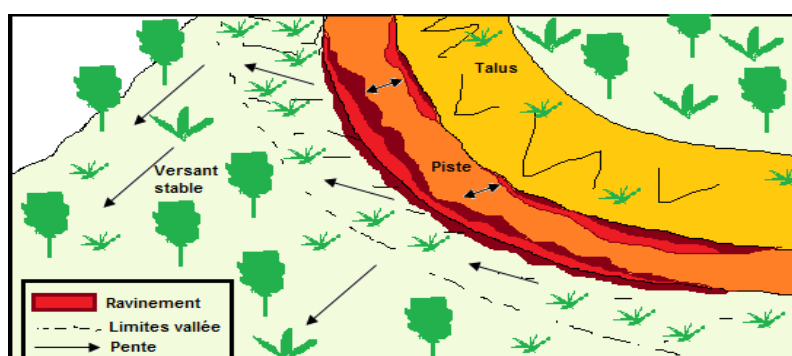


Figure 37 : Exemple des ravinements longitudinaux rétrécissant la piste
© Idriss M'bouka Milandou

Dans les deux cas, il y'a des conséquences sur la circulation des véhicules, avec des risques d'accident ou de chute dans les excavations. Certains automobilistes à lourde charge, créent des déviations à des distances considérables, pour éviter les risques. Cette situation a été vécue par les automobilistes sur la route Nganga Loungolo – Linzolo, au niveau des villages Mabenga pendant la période 2007 – 2010 (Figure 38).

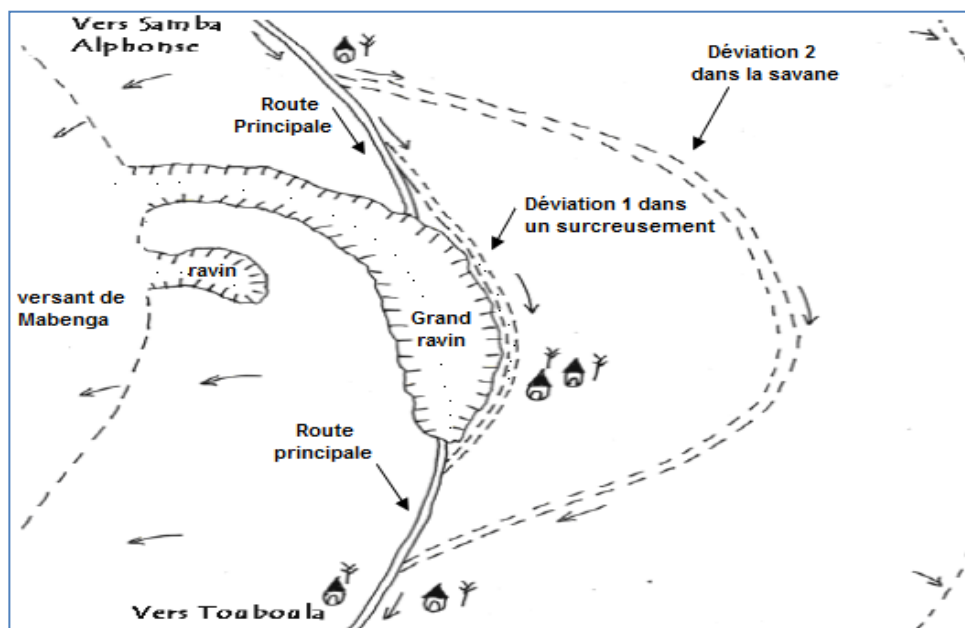


Figure 38 : Croquis morphologique du ravin de Mabenga (2007-2010)
© Idriss M'bouka Milandou, 2009

Ce grand ravin régressif ayant coupé la route et menaçant même le village de Mabenga a été dévié à près de 500 m, derrière le village. Certains camionneurs ont bravé le surcreusement causé par cette érosion à 1 m près du grand ravin. Dans certain cas, on a observé à la fois la coupure et le rétrécissement de la piste au même endroit, c'est le cas de la zone de Touboula (Photos 66 et 67, Planche n°24).

PLANCHE N° 24 : Rétrécissement et risque de coupure de la piste de Linzolo



Photos 66 et 67 : Situation évolutive de rétrécissement et de coupure de la piste de Linzolo, au niveau du village Touboula entre 2013 et 2014.

C'est d'ailleurs à cet endroit qu'il y a eu entre 2005 et 2008, la coupure de la route, la perte de quelques maisons et concessions, ainsi que la disparition d'un cimetière.

Il a fallu l'intervention des engins lourds pour remblayer la zone et laisser le passage aux véhicules. Mais le phénomène semble reprendre de l'ampleur

La même situation est observée et s'aggrave de plus en plus sur la piste latéritique Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare. Sur cette piste les ravinements longitudinaux rétrécissent la plate-forme et causent même des accidents. Cette situation met en danger les automobilistes et les populations qui fréquentent ou habitent Goma tsé-tsé (gare et village).

- **Les mouvements de masses sur les talus routiers et les parois des surcreusements**

Ces mouvements qui affectent les talus instables de quelques pistes de la zone (Photos 33A et 33B), causent également des problèmes sur les parois des routes surcreusées, pendant les saisons pluvieuses.

Les talus routiers les plus instables sont ceux de la route de Linzolo, dans les secteurs de Touboula, Massissia et Saint Isidore (Photos 68 et 69, Planche n°25). Sur ces talus, les blocs de sols, parfois avec des végétaux chutent sur la route. Une bonne partie est transportée par les ruissellements et l'autre partie y reste et se transforme en borbier pendant la saison des pluies ou en sédiments sableux pendant la saison sèche.

Quant à l'instabilité des parois des surcreusements, ce sont les pistes Koubola-Kibossi et Koubola- Bissinza qui sont beaucoup affectées (Photos 70 et 71, Planche n°25). Sur ces parois les mouvements de masse participent à la fois au processus de leur évolution latérale et au blocage de la route par la chute ou le glissement des pans entiers de sols, qui se transforment ensuite en borbier pendant une averse. Dans ces conditions, la circulation est difficile, des chemins de déviation sont créés pour éviter de se faire piéger. Dès que la saison des pluies prend fin, la circulation reprend sur l'ancienne piste, abandonnant ainsi les raccourcis créés pour la circonstance.

Mais lors des prochaines pluies, les chemins de raccourcis abandonnés, avec des ornières, deviennent souvent des sources de ravinement qui peuvent affecter le tracé habituel, d'autres déviations sont créées et ainsi de suite. Dans certains cas, on assiste à l'exhumation des racines des arbres en suspension (Photo 72, Planche n°25) ou les effets chablis, qui déracine et font tomber les arbres, par gravité ou par chute de blocs de sols, sur les pistes.

Dans d'autres cas on assiste au creusement des pieds de talus dû aux ruissellements venus à la fois de la route et de la pente du talus, c'est le cas de l'érosion de déblais évoqué plus haut.

PLANCHE N° 25 : Mouvements de masses sur les talus routiers et les parois des surcreusements de pistes, exhumation des racines d'arbres et caractéristiques des zones de dépression sur les pistes

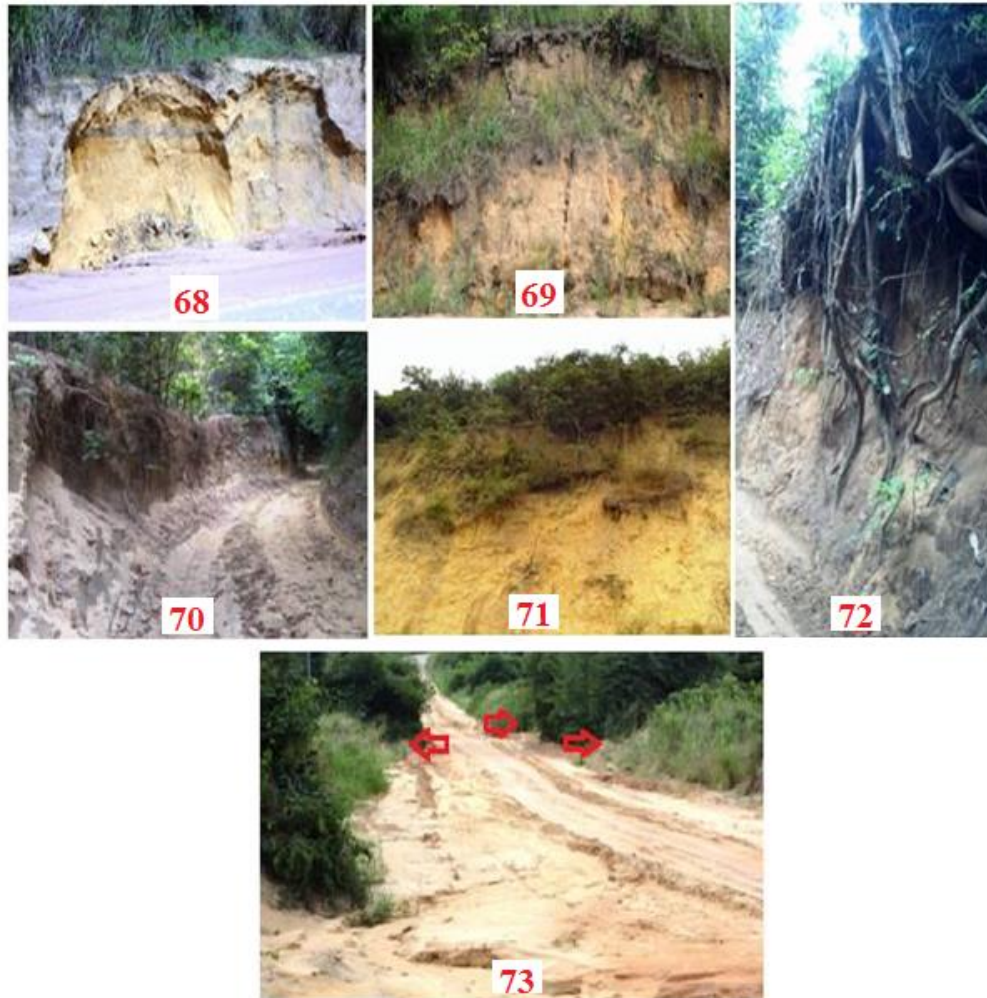


Photo 68 : Détachement des blocs de sols sur un petit talus routier à Linzolo (2011), Photo 69 : Processus de détachement d'un bloc de sol végétalisé à Linzolo (2013) , Photo 70 : Végétaux en situation de déséquilibre dans un vieux surcreusement de piste vers Mayala (2014) , Photo 71 : Processus de glissement des blocs de sol végétalisé sur un talus vers Bissinza (2015), Photo 72 : Déchaussement des racines, causée par le vide sur une parois de surcreusement vers Mayala (2014), Photo 73 : Zone de dépression routière (les flèches indiquent les lieux de déversement des eaux, caractérisée par des ravinements régressifs) vers Massissia (2015).

© Idriss M'bouka Milandou

Ces phénomènes ont été observés vers Saint Isidore, à Touboula et Massissia, à Linzolo, mais également sur l'axe Mayitoukou-Goma tsé-tsé (gare et village). Dans la plupart des cas, les terres ou les matériaux libérés des talus ou des parois de surcreusements se déposent sur les sections de routes situées sur des dépressions. Ces secteurs deviennent sablonneux et reçoivent une quantité importante des eaux venues des sections en amont (avec des pentes moyennes ou fortes) qui se déversent cette fois-ci de part et d'autre de la chaussée, favorisant ainsi les risques d'érosion régressive à la route (Photo 73, Planche n°25). Toutes ces situations affectent la circulation des automobiles pendant la saison pluvieuse.

Selon R. Dikau & *al.*, 1996 ; A. Lang & *al.*, 1999 ; F.C. Dai & *al.*, 2002 ; T. Glade & M.J. Crozier, 2005, cité par A. Slimi & J.P. Larue, 2010, p 2, Ces mouvements s'expliquent par le résultat de deux ensembles de facteurs : d'une part, les conditions naturelles qui contrôlent la stabilité des versants et, d'autre part, les facteurs déclencheurs, d'origine climatique et/ou anthropique. Ces aléas fréquents sur les pistes surcreusées et les talus routiers dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, sont causés par la saturation en eau des terrains, qui au lieu de ruisseler sur les parois, s'infiltrent. Les fentes de dessiccation provoquées pendant les saisons sèches sur les zones où le taux de la fraction fine (limons et argiles) est élevé et les fissures liées aux déformations profondes favorisent l'infiltration de l'eau qui exerce alors une pression hydrostatique qui peut faire atteindre aux matériaux argileux la limite de plasticité nécessaire au fluage (A. Slimi & J.P. Larue, 2010, p 8). Les températures élevées du plateau des Cataractes, qui varient entre 28 et 34° C en saison des pluies sont propices à la fissuration. Les infiltrations élèvent aussi le niveau des nappes phréatiques, favorisant la saturation du substrat. Or une augmentation de la teneur en eau réduit la cohésion des matériaux argileux (J.M. Avenard, 1962, p 122) et stimule le fonctionnement des mouvements de masse (R. Neboit, 1991, p 185 ; G. Grandjean, A. Bitri, C. Pennerier & *al.*, 2006, p 589). Selon F. Guzzetti, A. Carrara, M. Cardinali & *al.*, 1999, p 190 et T.W.J. Van Asch, J.P. Malet, L.P.H Van Beek & *al.*, 2007, p 1, plusieurs travaux ont été consacrés à l'isolement des différents mécanismes ou processus qui déclenchent les mouvements de masse, mais il n'est toujours pas possible de déterminer la part exacte de chaque facteur engendrant un mouvement ou sa réactivation.

- **La sédimentation des pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé**

Certaines pistes, comme celles de Sadelmi-Loumou- Nguidi, Koubola-Bissinza et Koubola-Kibossi (Photos 74 ; 75 ; 76, Planche n°26) sont tracées sur les sols tantôt sablonneux, tantôt sablo-argileux, et pendant les saisons sèches, elles sont très sablonneuses parfois sur kilomètres. Mais pour d'autres, comme celle de Linzolo, subissent l'ensablement (Photo 77, Planche n°26) du fait des sols ou du matériel remanié érodés par l'érosion hydrique et générés par les mouvements en masse, en amont. Ces matériaux sableux se déposent beaucoup plus sur les secteurs de route en position de dépression comme évoqué plus haut. Cette situation est accentuée par la texture des sols de la zone d'étude, qui est dominée par la série des sables Batékés. Elle rend difficile la circulation des automobilistes et même des piétons. Des déviations sont créées dans les savanes pour éviter de s'embourber dans les sables. Certains véhicules 4x4 bravent ces sables avec beaucoup de difficultés.

Pendant les saisons pluvieuses, en dehors des borbiers qui se forment par endroit, d'autres sédiments sableux sont évacués par les ruissellements vers les bas fonds.

PLANCHE N° 26: Phénomène d'ensablement des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé



Photo 74 : Bans de sables à la sortie de Case Barnier, sur la piste Sadelmie-Loumou-Nguidi (2015),
Photo 75 : Ensablement de la piste vers Mayala, sur la piste Koubola-Bissinza (2015), Photo 76 : Dépôt
de sable érodés en amont par mouvements de masse et surcreusement sur la piste Koubola-Kibossi (2045),
Photo 77 : Dépôt de sables vers Bissinza en 2008, sur l'axe Nganga Loungolo-Linzolo (2008)
© Idriss M'bouka Milandou

- Le transport des terres et des matériaux vers le réseau hydrographique

Les matériaux transportés par les ruissellements vers le réseau hydrographique sont des sols et du matériel remanié des routes. Dans ces matériaux on trouve également des graviers, des déchets plastiques, des taches d'huiles des moteurs d'automobiles, des morceaux de fer, des détritrus de végétaux, etc. Une partie des matériaux n'atteint pas les cours d'eau, parce qu'elle est captée par les végétaux situés de part et d'autre de la chaussée, sur les pentes des collines et les versants des vallées. Le reste se dépose dans les lits des rivières : c'est la sédimentation.

Cette « sédimentation des lits des rivières » a été observée dans les rivières Ndzoumouna, Mfoumou-ndoulou, Bitala, Manguenango et Loumou, pour ne citer que celles-là. Elle bouleverse la vie aquatique des cours d'eau, avec comme conséquences: le rétrécissement et l'exhaussement du lit d'une rivière (Photos 78 et 79, Planche n°27).

PLANCHE N° 27 : Conséquences de la sédimentation des cours d'eau vers Linzolo



Photo 78: Rétrécissement de la rivière Linzolo Photo 79 : Exhaussement du lit de la rivière Linzolo

© Idriss M'bouka Milandou, 2011

Certains cours d'eau fortement sédimentés ont pratiquement disparu, c'est le cas d'un petit cours d'eau situé dans la vallée de Touboula sur la route de Linzolo, qui a été sédimenté par le grand ravin digité régressif (Image satellitale 2).



Image satellitale 2 : Sédimentation d'un ruisseau à Touboula et menace de coupure de la route par le ravin digité régressif à Touboula, sur l'axe de Linzolo

© Google Earth Pro, 2016

Cette érosion, l'une des plus graves de la zone d'étude a occasionné des pertes énormes des sédiments qui ont colmaté totalement ce ruisseau.

Quant à l'image satellitale 3, elle montre des griffures de ravines qui ont causé la sédimentation d'un bas-fond de vallée vers Saint Isidore, sur le même axe routier.



Image satellitale 3 : Ravinement et dépôt des sédiments dans un bas-fond de vallée à Saint Isidore, sur la route de Linzolo. © Google Earth Pro., 2016

Ces deux processus impactent non pas seulement le biotope, mais également les populations riveraines. Ils sont responsables de :

La submersion des ponceaux et des gués : quand les pluies sont abondantes, les petites rivières débordent rapidement à cause du lit devenu rétréci et exhaussé. Ces débordements fluviaux inondent les espaces proches des habitats et des plantations. Quant aux ponceaux et aux guets, ils sont souvent submergés. Pour pouvoir traverser, il faut attendre la fin de la pluie après la diminution des eaux.

La pollution de l'eau et du biotope : cette pollution se fait à partir des substances chimiques toxiques qui peuvent se fixer aux particules de sédiments ou être absorbées par celles-ci, puis transportées et déposées dans un autre milieu. Dans la zone d'étude, ces polluants sont les tâches de carburant laissées par les camions de transport des personnes et des marchandises sur la surface de roulement des pistes.

Lorsque cette surface est érodée ou décapée par l'érosion, les polluants incrustés dans le matériel remanié sont également transportés vers un exutoire, notamment les bas-fonds des vallées drainées.

Selon le www.ec.gc.ca, ces polluants peuvent plus tard être libérés dans l'environnement.

Par l'étude de la quantité, de la qualité et des caractéristiques des sédiments dans les cours d'eau, il est possible de déterminer les sources et évaluer l'impact des polluants sur le milieu aquatique. Lorsque les sources et les répercussions sont connues, il est possible de prendre des mesures pour réduire les polluants.

Des rapports entre substances chimiques toxiques et sédiments constituent en fait une question d'importance environnementale.

Les sédiments pollués affectent directement les populations de poissons, il s'agit de façon succincte de: la réduction du taux de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui influe sur les pratiques d'alimentation et de rassemblement en bancs des poissons qui peut baisser le taux de survie, de l'irritation des branchies des poissons pouvant entraîner leur mort, la destruction de la muqueuse protectrice couvrant les yeux et les écailles des poissons, ce qui les rend vulnérables à l'infection et aux maladies, l'absorption de la chaleur du soleil qui fait accroître la température de l'eau, avec des répercussions possibles sur certaines espèces de poissons, le délogement des plantes, les invertébrés et les insectes du lit fluvial.

Cette présence peut avoir un effet sur les sources d'aliments des poissons et réduire la taille et le nombre de ces derniers, de l'enfouissement et de l'étouffement des œufs de poissons, et la déformation ou la mort des poissons par les composés agricoles et toxiques.

Tous ces matériaux sont transportés dans les grands cours d'eau de la zone, notamment le Djoué et le fleuve Congo. Mais ces conséquences néfastes des ravinements ont des impacts sur la vie socio-économique des populations de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

4.2.4. Les conséquences socio-économiques de la dégradation des pistes dans la zone d'étude

Les conséquences de l'érosion ravinante des pistes rurales sont néfastes pour la vie des populations locales, à travers les activités socio-économiques qu'elles exercent.

La conséquence la plus ressentie est la difficulté de mobilité des personnes et de leurs biens, dans la zone d'étude et dans les environs.

Les populations de la localité éprouvent des difficultés à se rendre dans les centres de santé, dans les écoles et même dans leurs champs agricoles.

De même, les produits issus de l'agriculture (manioc, légumes, fruits et autres), de la pêche sur le Djoué, le fleuve Congo et d'autres petites rivières, de la chasse dans les lambeaux de forêt restant et de l'exploitation forestière (bois de chauffe, charbon de bois, etc.), ont du mal à être acheminé vers les grands centres urbains, notamment Brazzaville à l'est et Kinkala au sud-ouest.

Cependant les bretelles Brazzaville- Kinkala et Brazzaville – Goma tsé-tsé – Igné, ainsi que le Chemin de fer jouent un rôle important dans la facilitation de transport des personnes et des biens au-delà de la Sous-Préfecture (autres localités du Pool, départements et villes du Congo).

Mais le problème est que l'éloignement des plus grands villages de ces deux voies de communication, cause des problèmes aux populations, qui ont du mal à parcourir des kilomètres à pied pour joindre le tronçon de la RN1(Brazzaville-Kinkala), la RN2 et le CFCO. En plus, peu de véhicules font des navettes et il faut avoir un 4x4 pour braver ces pistes dégradées. Les populations de certains villages, ne voient que le véhicule parfois 2 fois par mois, c'est le cas des villages Nguidi et Lengo, dans la partie nord de la Sous-Préfecture.

Cette situation affecte l'économie de la zone, car ce qui est produit est beaucoup plus consommé sur place et que le surplus est parfois voué au gaspillage, tels que les fruits (mangues, safous, etc.) qui pourrissent sur place. Pour les produits qui arrivent à Brazzaville et à Kinkala, les prix de vente flambent. Les villages situés dans les parties centrales et méridionales de la zone d'étude, dépendent alimentaires de Brazzaville, c'est dire que sans la ville-capitale, les populations restent affamées. C'est Brazzaville qui fournit même de la viande, des légumes et d'autres produits vivriers à ces villages.

Ces conditions inacceptables pour une zone rurale, riche en terre arable, cause la pauvreté des populations locales. Cette pauvreté pousse de nombreux jeunes à l'exode rural. La direction la plus prisée est celle de Brazzaville.

A cet effet, il est question d'analyser ou de déterminer les différents facteurs responsables de cette dégradation routière, par l'érosion hydrique, dans cette Sous-Préfecture au sud du Congo. C'est l'objet du chapitre 5, suivant.

CHAPITRE 5 : FACTEURS EXPLICATIFS DE LA DEGRADATION DES ROUTES EN TERRE DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE

Après la description typologique et la quantification des formes d'érosion qui affectent les pistes dans la zone d'étude, il est question de déterminer les causes ou les facteurs explicatifs, responsables de ce phénomène.

Ces facteurs ont permis de confirmer ou d'infirmer les hypothèses émises dans la méthodologie, afin de répondre aux questions de recherche posées. C'est l'objet du présent chapitre, dans lequel les facteurs humains ont été analysés en premier, suivis des facteurs physiques ou naturels, déterminés à partir des indices ou des variables mesurables.

Mais avant la détermination et l'analyse des différents facteurs explicatifs il est important d'analyser la perception des populations locales sur ce phénomène.

Cette perception a permis d'avoir différents points de vue sur les causes et les conséquences de cette érosion routière, afin de jauger les connaissances des populations sur ce phénomène et proposer des solutions de remédiation efficaces, qui tiennent compte des difficultés socio-économiques des populations locales.

5.1. Perception des populations sur la dégradation des pistes : causes et conséquences

Les enquêtes ont porté sur un échantillon de 136 personnes, répartis sur 13 villages pour tous les axes routiers, selon les catégories socioprofessionnelles, constitués des cadres âgés de 25 à 60 ans (Etudiants en vacances, personnels des Ministères et de la Sous-Préfecture), des élèves de 12 à 25 ans (collège et lycée) et des agriculteurs, des chasseurs, des exploitants de forêts et des pêcheurs, de tous âges, regroupés sous le sigle ACEP (Tableau 27).

Ces différentes catégories de personnes ont donné leurs points de vue sur les causes ou les facteurs de dégradation des routes par l'érosion hydrique et les conséquences induites.

Ce tableau montre le nombre de personnes questionnées qui, selon toutes les catégories socio-professionnelles, varie selon les villages : 54 personnes sur la route de Linzolo; 21 sur la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare; 6 sur la piste Koubola-Bissinza ; 30 sur l'axe Koubola-Kibossi et enfin 25 personnes sur la route Sadelmi-Loumou-Nguidi dans la partie nord de la Sous-Préfecture.

Tableau 27 : Répartition par route et par village des personnes interrogées par catégorie socio-professionnelle

Route	Village	Catégorie de personnes			Totaux et pourcentages
		CR (25-60 ans)	E (12-25 ans)	ACEP (tous âges)	
Nganga Loungolo -Linzolo	Samba Alphonse	05	05	05	54 (100)
	Mabenga	0	01	02	
	Massissia	0	03	03	
	Bissinza	05	05	05	
	Linzolo	05	05	05	
Mayitoukou – Goma tsé-tsé (gare et village)	Mayitoukou	0	03	03	21 (100)
	Goma tsé-tsé gare et village	05	05	05	
Koubola – Bissinza	Mayala	0	03	03	06 (100)
Koubola-Kibossi	Koubola	5	5	5	30 (100)
	Kibossi	5	5	5	
Sadelmi-Case Barnier- Loumou-Nguidi	N'toba ilélé	3	3	3	25 (100)
	Loumou	05	05	05	
	Nguidi	0	0	01	
Totaux		38	48	50	136

Notes : CR : cadres, E : élèves (collèges et lycées), ACEP : agriculteur, chasseurs, exploitants de forêt et pêcheurs

Cependant, il a été difficile de trouver toutes les catégories de personnes et socio-professionnelles dans tous les villages, à cause de la baisse démographique dans certains villages; la disparition totale d'autres villages, à cause de la guerre civile entre la période 1998 et 2003, de la famine et de l'exode rural vers Brazzaville et Kinkala.

5.1.1. Causes de la dégradation des pistes selon les populations locales

Dans leurs catégories d'âges et socio-professionnelles, les populations ont indexé un certain nombre de causes jugées comme étant les principaux responsables de la dégradation de leurs routes par l'érosion hydrique. Il s'agit :

- de la sensibilité de la surface de roulement, sans donner plus de détails ;
- de la pluie, à travers les ruissellements non maîtrisés par manque de système de drainage;
- de l'abandon, par l'Etat, des routes rurales, sans réhabilitation ni entretien ;
- de la mauvaise utilisation des pistes par les automobilistes ; pour cette catégorie de personnes, la mauvaise utilisation exprime les désordres causés sur les chaussées par la création des déviations ; l'utilisation des pistes sous la pluie ; mais également les travaux non conformes aux normes de traitement des formes d'érosions *in situ* ;
- de la situation topographique de certaines sections de routes ; pour certaines personnes, les pentes favorisent les ruissellements dynamiques, responsables des formes d'érosion et même de la sédimentation des rivières ;

- de l'influence du surnaturel ; pour une catégorie de personnes, les ravinelements sont creusés par les esprits des eaux, des forêts, etc.

Chaque axe routier a fait l'objet d'analyse de la perception des populations sur les causes de l'érosion routière.

- Causes de la dégradation de l'axe de Linzolo selon les populations

Sur cet axe routier historique, constitué des villages Samba Alphonse, Mabenga, Touboula, Massissia I et II, Bissinza et Linzolo, 54 personnes de toutes catégories d'âges et socio-professionnelles confondues, ont été au total interrogées (Tableau 28 et Figure 39).

Tableau 28 : Causes de la dégradation de la piste de Linzolo, selon les populations

Cause	Catégorie des personnes	Village					Total général	Taux (%)
		Samba-Alphonse	Mabenga	Massissia	Bissinza	Linzolo		
SSR	CR	0	0	0	0	0	0	0
	E	0	0	0	0	0	0	0
	ACEP	0	0	0	0	0	0	0
PRC	CR	3	0	0	3	4	10	18,52
	E	1	0	1	1	2	5	9,26
	ACEP	2	1	1	2	2	8	14,81
ARE	CR	1	0	0	3	3	7	12,96
	E	1	0	0	1	2	4	7,41
	ACEP	2	2	2	3	2	11	20,37
MUA	CR	0	0	0	0	0	0	0
	E	0	0	0	0	0	0	0
	ACEP	1	0	0	0	0	1	1,85
TDR	CR	0	0	0	0	0	0	0%
	E	0	0	0	0	0	0	0
	ACEP	0	0	0	0	0	0	0
PHS	CR	0	0	0	0	0	0	0
	E	2	0	0	0	0	2	3,70
	ACEP	2	0	2	2	0	6	11,11
Totaux et taux (%)		15	3	6	15	15	54	99,99

Notes : SSR : sensibilité de la surface de roulement, PRC : Pluie, ruissellement et manque de canalisation, ARE : Abandon des routes par l'état, MUA : Mauvais usage par les automobilistes, TDR : Topographie des routes, PHS : Phénomène surnaturel

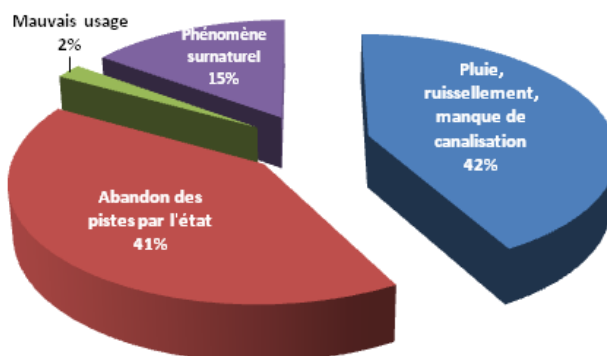


Figure 39 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la route de Linzolo

Les résultats issus de la figure 39, montrent que :

- 42% de personnes pensent que la dégradation de cette route est causée par les ruissellements pluviométriques et le manque de canalisation, pour 18,52% des cadres, 14,81% des ACEP et 9,26% d'élèves ;
- 41% de personnes pensent que l'érosion sur l'axe de Linzolo est due à l'abandon de cette piste par le pouvoir public, à raison de 20,37% des ACEP, suivi des cadres (12,96%) et enfin des élèves qui ne représentent que 7,41% ;
- 15% de personnes perçoivent au contraire que ce sont les phénomènes surnaturels qui dégradent cette route, notamment les esprits des forêts, des ravins, etc. Dans ce taux, 11,11% sont attribués aux ACEP, 3,70% des élèves et aucun cadre n'a pensé à cela ;
- 2% pensent que la dégradation de cette route est due au mauvais usage par les automobilistes. Seuls 1,85 % des ACEP pensent ainsi, quant aux cadres et aux élèves, le taux est nul.

La tendance générale montre qu'il y a plus de personnes qui pensent que la dégradation de cette route par l'érosion hydrique, est causée par les ruissellements pluviométriques non maîtrisés, faute de canalisation.

C'est une bonne perception, car l'eau est l'un des facteurs les plus importants de l'érosion hydrique en général et de la dégradation des routes en particulier, si elle n'est pas canalisée.

Cette tendance est proche des personnes, qui pensent que l'état de la dégradation de cette route est dû à un problème de négligence de cette infrastructure par l'Etat. C'est un problème réel dans les pays en voie de développement, comme le nôtre, où les routes rurales sont souvent abandonnées.

Quant aux personnes qui croient à l'influence du surnaturel et du mauvais usage de la route, elles ne dépassent pas 15%. Par contre aucune personne n'a indexé la sensibilité de la surface de roulement et de la situation topographique de la route, comme causes de la dégradation de cette piste.

On peut donc estimer que près de 80% des personnes interrogées, pensent que le manque de maîtrise des ruissellements et l'abandon de la route par l'état, sont les principales causes de la l'érosion hydrique très dynamique qui détruit cette route redevenue en terre.

- **La dégradation de la route latéritique de Mayitoukou, vue par les populations**

Au total 21 personnes ont été questionnées sur les causes de l'érosion hydrique de cette piste, en tenant compte de toutes les catégories d'âges et socio-professionnelles ciblées (Tableau 29 et Figure 40).

Tableau 29 : Causes de la dégradation de la piste latéritique de Mayitoukou selon la population locale

Cause	Catégorie des personnes	Village		Total général	Taux (%)
		Mayitoukou	Goma tsé-tsé (gare et village)		
SSR	CR	0	0	0	0
	E	0	0	0	0
	ACEP	0	0	0	0
PRC	CR	0	3	3	14,28
	E	1	2	3	14,28
	ACEP	1	2	3	14,28
ARE	CR	0	2	2	9,52
	E	1	0	1	4,76
	ACEP	2	2	4	19,05
MUA	CR	0	0	0	0%
	E	0	0	0	0%
	ACEP	0	0	0	0%
TDR	CR	0	3	3	14,28
	E	0	0	0	0
	ACEP	0	0	0	0
PHS	CR	0	0	0	0
	E	0	0	0	0
	ACEP	1	1	2	9,52
Totaux et taux (%)		6	15	21	99,97

Cette route n'a que 2 localités situées aux deux extrémités. Il s'agit du petit village de Mayitoukou situé également sur la RN1 et la gare ferroviaire de Goma tsé-tsé, d'où le questionnement des personnes n'a concerné que ces deux localités.

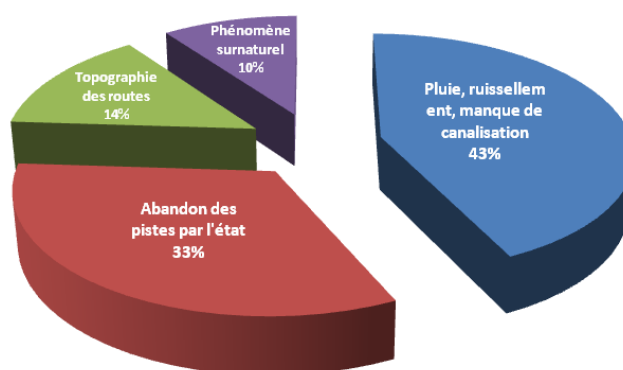


Figure 40 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la piste latéritique de Mayitoukou

Les résultats issus de la figure 40, montrent une diversité de perception des populations de Mayitoukou et de Goma tsé-tsé (gare et village), sur les causes de la dégradation de cette route. Sur 100% de la population interrogée:

- 43% pensent que cette route, pourtant réhabilitée en 2013, se dégrade si vite à cause de la pluie, qui agit par les ruissellements non maîtrisés. Ce manque de maîtrise des eaux de ruissellement est un problème crucial sur cette piste. 40% des cadres le pensent. Les élèves et les ACEP ont un même taux de perception sur cette cause, soit 14,28% ;
- 33 % de personnes pensent que la dégradation de cette route d'importance capitale qui joint la RN1 au chemin de fer, est due à son abandon par les pouvoirs publics. Cet abandon se justifie par le manque d'entretien de la route et de traitement des formes d'érosion dynamique *in situ*. 19,05% des ACEP, devançant de loin les cadres et les élèves;
- 14 % des personnes, notamment les cadres, pensent que pendant la réhabilitation de cette piste en 2013, elle devait faire l'objet de changement de tracé, pour éviter que les $\frac{3}{4}$ des sections puissent traverser les espaces topographiques accidentés. Pour cette catégorie de personnes, cette piste se dégrade vite à cause de la situation topographique de certaines sections, en situation de terrasse, de versant de vallée, de flanc et de sommet de colline ;
- 10 % de personnes, notamment les ACEP, pensent que la piste avait été bien aménagée, mais ce sont plutôt les phénomènes surnaturels, qui dégradent cette route.

Dans l'ensemble, aucune personne de toutes les catégories confondues, ne pensent que cette route se dégrade à cause de la qualité de la surface de roulement et du mauvais usage par les automobilistes.

Par contre, près de 75% des personnes, surtout les cadres et les ACEP, pensent que l'eau des pluies mal canalisée et l'abandon de la piste par manque d'entretien et de traitement des formes d'érosion, sont responsables de cette dégradation sévère.

Cette tendance se rapproche de la perception des populations habitant le long de la route de Linzolo.

- **Cause de la dégradation de la piste Koubola-Bissinza, selon les populations**

Sur cette piste, seuls 6 personnes ont été interrogées sur les causes des multiples surcreusements observés *in situ*. Le faible nombre des personnes interrogées, par rapport à d'autres axes routiers, est le fait qu'un seul village est habité. D'autres villages ont disparu surtout entre 1998 et 2003, période des conflits armés dans le Pool. Deux catégories de personnes ont été interrogées : les élèves et les ACEP, car aucun cadre n'a été trouvé sur place (Tableau 30 et Figure 41).

Tableau 30 : Perception des populations sur les causes des surcreusements sur l'axe Koubola-Bissinza

Cause	Catégorie des personnes	Village	Total général	Taux (%)
		Mayala		
SSR	E	0	0	0%
	ACEP	0	0	0%
PRC	E	0	0	0%
	ACEP	0	0	0%
ARE	E	0	0	0%
	ACEP	2	2	33,33%
MUA	E	0	0	0%
	ACEP	0	0	0%
TDR	E	0	0	0%
	ACEP	0	0	0%
PHS	E	3	3	50 %
	ACEP	1	1	16,67%
Totaux et taux (%)		6	6	99,99%

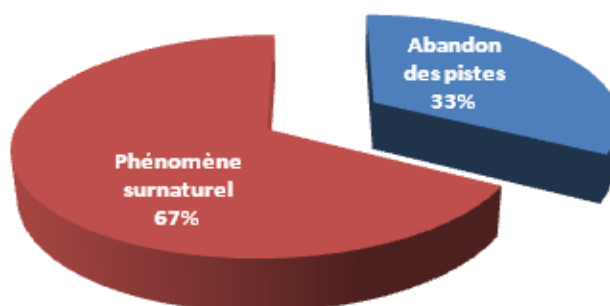


Figure 41 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la piste Koubola-Bissinza

Les résultats de la figure 41 montrent que près de 67% des personnes dans le seul village de Mayala, pensent que les surcreusements de leur route est dû à l'influence des phénomènes surnaturels, notamment les esprits de forêt. Ils sont très accrochés à cette croyance. Dans ce taux, près de 50% d'élèves et 17% des ACEP y croient. Par contre 33%, notamment les ACEP, pensent qu'au contraire que la route a été abandonnée par les pouvoirs publics. Pour ces personnes, le manque d'aménagement concret et le non traitement des ornières, sont les principales causes de la prolifération des surcreusements routiers. Quant aux autres causes énumérées sur les axes de Linzolo et de Mayitoukou, aucune personne ne leur accorde une attention.

- Cause de la dégradation de l'axe Koubola-Kibossi, selon les populations

Sur cet axe, deux localités ont été ciblées pour les enquêtes : le grand village de Koubola situé en même temps sur le tronçon de la RN1(Brazzaville-Kinkala) et la gare de Kibossi sur le chemin de fer. Au total, 30 personnes, de toutes catégories confondues, ont été questionnées (Tableau 31, Figure 42).

Tableau 31 : Perception des causes des surcreusements de la piste Koubola-Kibossi

Cause	Catégorie personnes	Village		Total général	Taux (%)
		Koubola	Kibossi		
SSR	CR	0	2	2	6,67
	E	0	0	0	0
	ACEP	0	1	1	3,33
PRC	CR	1	1	2	6,67
	E	1	2	3	10
	ACEP	1	1	2	6,67
ARE	CR	4	2	6	20
	E	1	2	3	10
	ACEP	2	2	4	13,33
MUA	CR	0	0	0	0
	E	0	0	0	0
	ACEP	1	0	1	3,33
TDR	CR	0	0	0	0
	E	0	0	0	0
	ACEP	0	0	0	0
PHS	CR	0	0	0	0
	E	3	0	3	10
	ACEP	1	2	3	10
Totaux et taux (%)		15	15	30	100

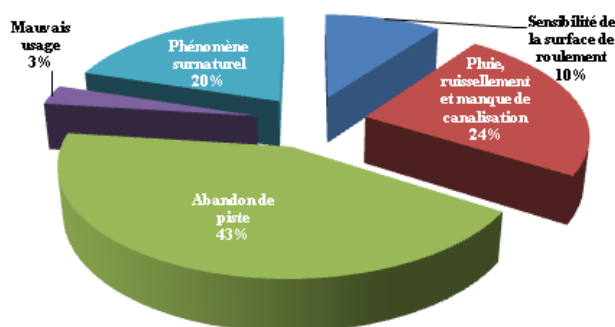


Figure 42 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la piste Koubola-Kibossi

Les résultats issus de la figure 42, montrent que :

- 43% des personnes perçoivent l'abandon total de la piste comme étant la cause de la dégradation sévère par les surcreusements. Pour les populations locales, notamment les cadres qui représentent 20%, suivi des ACEP (13%) des élèves (10%), cette piste a été abandonnée il y a presque 3 décennies. Le manque de travaux de réhabilitation a favorisé son surcreusement;
- 24% de personnes pensent que ce sont plutôt les ruissellements qui surcreusent cette route qui relie également l'axe Brazzaville-Kinkala au CFCO, soit 10% des élèves, 6% des cadres et 6 % des ACEP. Le manque de système de drainage est l'une des causes secondaires;

- 20% des ruraux pensent que ce sont plutôt les phénomènes surnaturels qui dégradent cette route, soit 10% des élèves et 10% des ACEP ;
- 10% de personnes pensent que le surcreusement de cette piste est dû à la qualité de sa surface de roulement. Pour ces personnes, représentant 7% des cadres et 3% des ACEP, la nature du matériel remanié constituant la surface de roulement est dominée par les sables qui alternent avec des argiles. C'est ce qui fait que la piste se surcreuse en tranchée ;
- enfin, près de 3% seulement de la population, pensent que le mauvais usage de la piste par les automobilistes, est responsable de cette dégradation. Les automobilistes tentent de remblayer les ornières qu'ils créent pour assurer leur passage. En plus, selon les populations, ces derniers créent beaucoup de chemin de déviation dans la savane, favorisant ainsi la collecte des eaux déversées sur la route principale.

Au regard de ces résultats, on constate qu'aucune personne n'a perçu que la topographie faisait partie des facteurs de la dégradation de cette piste.

Les 43% des personnes accusent les autorités d'avoir abandonné cette route et les 24% qui accusent plutôt le manque de maîtrise des eaux représentent des taux faibles par rapport à ceux trouvés sur les routes de Linzolo et de Mayitoukou.

Quant au taux des personnes qui croient au phénomène surnaturels, il est de 20%. Un taux assez fort sur cette piste, mais très bas par rapport à celui obtenu à Mayala (Koubola-Bissinza).

- Cause de la dégradation de l'axe Sadelmi-Loumou-Nguidi, selon les populations

Sur cette piste, longue de 40,12 km, seuls 25 personnes ont été interrogées. Ces dernières, réparties par âges et catégories socio-professionnelles, appartiennent à 3 villages : Il s'agit de N'toba ilélé, à la sortie de la Case Barnier, avec 9 personnes interrogées, de Loumou, le plus grand village de la partie nord de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, avec 15 personnes questionnées et de Nguidi, un village situé presque à la limite de la zone d'étude avec la Sous-Préfecture de Mayama, où une seule personne a été questionnée (Tableau 32 et Figure 43).

La disparité des populations sur cet axe routier, explique d'une part la disparition des villages pendant les périodes des conflits armés (1997 à 2003) et l'exode rural des populations vers Brazzaville, à cause de la famine.

Tableau 32 : Perception des populations sur les causes de la dégradation de la piste de Loumou

Cause	Catégorie des personnes	Village			Total général	Taux (%)
		N'toba ilélé	Loumou	Nguidi		
SSR	CR	0	1	0	1	4
	E	0	0	0	0	0
	ACEP	2	0	0	2	8
PRC	CR	0	2	0	2	8
	E	0	2	0	2	8
	ACEP	0	3	0	3	12
ARE	CR	2	2	0	4	16
	E	2	3	0	5	20
	ACEP	2	2	1	5	20
MUA	CR	0	0	0	0	0
	E	1	0	0	1	4
	ACEP	0	0	0	0	0
TDR	CR	0	0	0	0	0
	E	0	0	0	0	0
	ACEP	0	0	0	0	0
PHS	CR	0	0	0	0	0
	E	0	0	0	0	0
	ACEP	0	0	0	0	0
Totaux et taux (%)		9	15	1	25	100

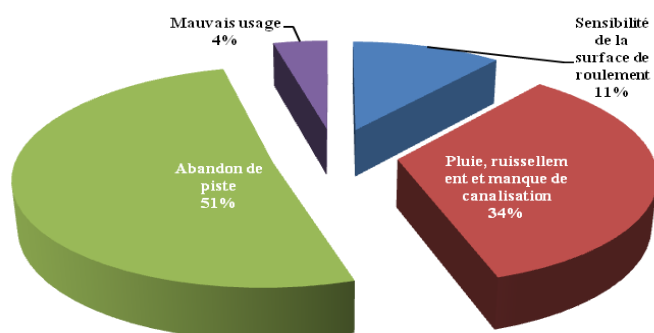


Figure 43 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la piste de Loumou

Les résultats issus de la figure 43, montrent que :

- près de 50% de personnes, constituées de 20% des ACEP, 20% des élèves et seulement 16% de cadres, pensent que cette piste se dégrade tout simplement à cause de son abandon. Les travaux de remblayage effectués par les chinois en 2013, n'ont pas permis d'améliorer les conditions de circulation;
- 34 % des personnes pensent que ce sont les eaux de ruissellement non maîtrisées, qui dégradent cette route, avec un ensablement important. En effet, 8% des cadres, 8% des élèves et 12% des ACEP accusent ce facteur, comme étant la source de leur difficulté de mobilité ;
- en ce qui concerne la sensibilité de la surface de roulement, seulement 11% de personnes accordent également leur importance à ce facteur.

Pour ces populations, la couche de roulement est presque confondue aux sables et la route ne peut que se dégrader au fil des temps ;

- le mauvais usage de la piste par les automobilistes, n'est pas un facteur sur lequel les populations s'appuient. Seuls 4% des personnes l'accusent.

Au regard de ces résultats, on peut estimer que près de 80% des personnes, pensent que l'abandon de la piste et les ruissellements non maîtrisés des eaux des pluies sont les principales causes de dégradation de cette piste importante qui peut servir de raccourcis entre Brazzaville et Kindamba, au nord du Pool. Le reste des causes n'est pas pris en considération.

Le croisement de tous ces résultats prouve à suffisance que pour les populations de 4 routes sur les 5 étudiées (Linzolo, Mayitoukou-Goma tsé-tsé, Koubola-Kibossi et Sadelmi-Loumou – Nguidi) les eaux de ruissellement non canalisées et l'abandon des pistes sont les principales causes de la dégradation routière (Tableau 33).

Tableau 33 : Taux moyen de la perception des populations sur les causes de la dégradation des routes en terre

Cause	Linzolo	Mayitoukou	Mayala	Kibossi	Loumou	Moyennedes taux
SSR	0	0	0	10	11	4,2
PRC	42	42	0	24	34	28,4
ARE	41	22	33	43	51	40,2
MUR	2	0	0	3	4	2,2
TDR	0	14	0	0	0	2,8
PHS	15	10	67	20	0	22,4

On peut donc estimer que la population de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, toutes catégories d'âges et socio-professionnelles confondues, a une bonne perception, des causes responsables de la dégradation de leurs routes (Figure 44).

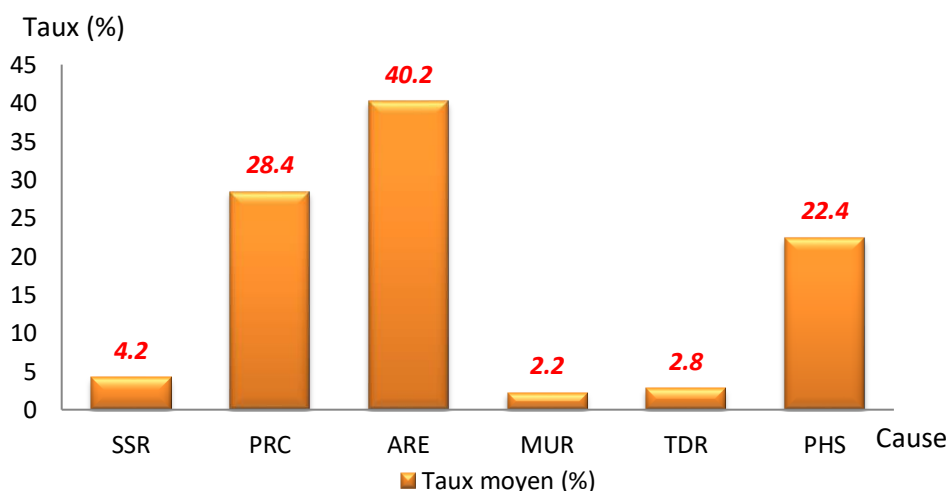


Figure 44 : Tendances moyennes de la perception des populations sur les causes de la dégradation des pistes en terre

Cela s'explique par près de 42% de personnes qui pensent que l'abandon des routes par l'état (manque de réhabilitation, manque de protection et d'entretien) est l'une des causes les plus importantes de cette érosion routière.

Le problème des pluies, qui dégradent les pistes, par manque de drainage des ruissellements, a été beaucoup évoqué par les populations. Près de 28% des personnes perçoivent que le manque de drainage des eaux est à l'origine des problèmes d'érosion routière dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

22,4% de personnes perçoivent que les phénomènes surnaturels, sont responsables des dégradations routières. Cela est lié aux us et coutumes des populations et aux croyances des sectes messianiques diverses. Le reste des causes évoquées par une petite frange de personnes ne font pas l'unanimité (Figure 44).

Cependant, les causes qui sont à l'origine de l'érosion accélérée des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, ont selon les populations, des conséquences néfastes sur leur vie quotidienne, notamment dans leur mobilité interne et externe. Les points de vue des populations ont été pris en compte, énumérés et analysés dans la perspective de trouver des solutions de rémediation.

5.1.2. Conséquences induites de la dégradation des pistes selon les populations

Pour les populations de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, la principale conséquence de l'érosion hydrique sur les pistes, c'est la destruction desdites infrastructures.

Cette destruction qui se caractérise par le rétrécissement et les multiples coupures des pistes pendant les saisons pluvieuses influencent la vie socio-économique de la localité à travers l'abandon des pistes par les transporteurs.

Cela a des impacts sur la rareté des produits de première nécessité dans certains villages situés loin du tronçon de RN1 (Brazzaville-Kinkala), de la disparition des villages sur certains axes routiers à cause de la famine d'où l'exode rural, des difficultés de mobilité entre les villages et au-delà de la Sous-Préfecture, rendant difficile l'accès aux centres de santé et aux écoles et enfin de l'augmentation des tarifs de transport des personnes et des marchandises entre ces villages et Brazzaville et vice-versa.

Cette dernière conséquence impacte l'augmentation des prix des denrées alimentaires et autres produits venus de Goma tsé-tsé, dans les marchés de Brazzaville et de Kinkala. Les conséquences les plus évoquées par les populations locales, évaluées en pourcentage, sont consignées dans le tableau 34, avec le même échantillon de personnes par catégorie d'âge et socio-professionnelle.

Tableau 34 : Conséquences de la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, selon la population locale

Pistes	CDP	RCP	Difficulté de transport				Total général
			ADP	DAHE	APT	DCPL	
P1	CR	4 (26,67%)	0 (0 %)	1 (6,67%)	5 (33,33%)	5 (33,33%)	15 (100)
	E	6 (31,58%)	0 (0 %)	3 (15,79%)	5 (26,32%)	5 (26,32%)	19 (100)
	ACEP	4 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (30%)	10 (50%)	20 (100)
P2	CR	5 (100%)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	5 (100)
	E	8 (100%)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	8 (100)
	ACEP	3 (37,5%)	0 (0 %)	0 (0 %)	5 (62,5%)	0 (0 %)	8 (100)
P3	CR	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0)
	E	1 (33,33%)	0 (0 %)	2 (66,67%)	0 (0 %)	0 (0 %)	3 (100)
	ACEP	1 (33,33%)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (33,33%)	1 (33,33%)	3 (100)
P4	CR	1 (10%)	1 (10%)	2 (20%)	3 (30%)	3 (30%)	10 (100)
	E	1 (10%)	1 (10%)	6 (60%)	0 (0 %)	2 (20%)	10(100)
	ACEP	1 (10%)	0 (0 %)	0 (0 %)	4 (40%)	5 (50%)	10 (100)
P5	CR	0 (0 %)	2 (25%)	2 (25%)	2 (25%)	2 (25%)	8 (100)
	E	0 (0 %)	2 (25%)	5 (62,2%)	1 (12,5%)	0 (0 %)	8 (100)
	ACEP	0 (0 %)	0 (0 %)	2 (22,22%)	3 (33,33%)	4 (44,44%)	9 (100)
Total général							136 (100)

Notes : CDP : Catégorie de personnes ; RCP : Rétrécissement et coupure de piste, ADP : abandon de piste, DAHE : Difficulté d'accès aux hôpitaux et aux écoles, APT : Augmentation des prix de transport, DCPL : Difficulté de commercialisation des produits locaux

La moyenne des taux de perception des conséquences induites de la dégradation des pistes, a permis de réaliser le diagramme circulaire pour une bonne interprétation des résultats obtenus (Figure 45).

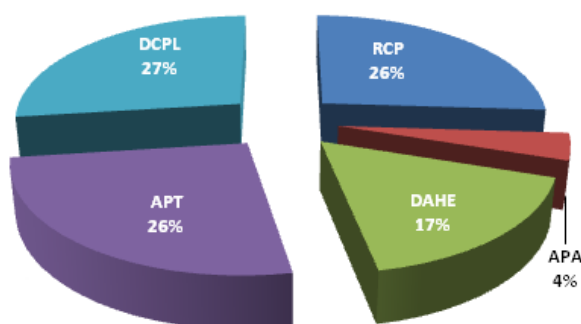


Figure 45 : Moyenne des perceptions sur les conséquences de la dégradation des pistes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Les résultats du tableau 34 et de la figure 45 permettent de faire plusieurs constats :

Sur la piste de Linzolo, environ 10,29 % des personnes ont évoqué le rétrécissement et les coupures de route en période pluvieuse, avec des conséquences sur le transport. 11,76 % de personnes pensent que cette situation influe sur l'augmentation des prix de transport. Le coup de voyage de Linzolo-Brazzaville ou vice-versa est de 1.000 CFA, pour une courte distance de 10 km, le même prix de ticket payé pour le voyage Brazzaville-Kinkala, distant pourtant de 75 km environ.

De même, 14,71% de personnes sur cette piste, pensent que plus le prix de transport augmente plus la cherté des produits locaux commercialisés à Brazzaville est ressentie dans les marchés. Pour transporter les produits d'agriculture, le bois de chauffe et surtout des sacs de charbons de bois très prisé à Brazzaville, les tracasseries ne manquent pas entre les chauffeurs des automobiles (Bus de marque *Hiace* et autres) et les villageois. Les prix de transport des produits ne sont pas fixes, chaque transporteur a ses prix, selon ses sentiments et la façon dont conçoit l'état de la route. Par exemple les sacs de fougou sont facturés souvent à 3.000 Cfa et les sacs de charbon de bois à 1.500 Cfa. Les difficultés d'accès aux hôpitaux et écoles n'ont pas vraiment été évoquées et environ 2,94 % de personnes seulement ont tenu compte de cela. Personne n'a évoqué l'abandon de piste.

Sur la piste latéritique Mayitoukou-Goma tsé-tsé, les populations ont plus accusé le rétrécissement de piste et l'augmentation des prix de transport comme étant les conséquences directes de la dégradation de leur piste pourtant aménagée en 2013. Le reste des conséquences n'ont pas été évoquées. Près de 11,76% de personnes pensent que le rétrécissement de leur route est une conséquence grave pour cette infrastructure. Cette conséquence influe sur les APT. 3,68 % de personnes y ont accordé de l'importance, car selon elles, sur cette piste de 13 km, reliant le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) et le CFCO, le prix de transport est de 1.000 CFA. C'est le même prix que sur l'axe de Linzolo. Le fait qu'elle est affectée par les ravinements longitudinaux, rétrécissant ainsi sa largeur, les automobilistes augmentent le prix de transport en évoquant l'état dégradé de cette chaussée pourtant latéritique.

Sur la piste Koubola-Bissinza, 1,74% de personnes pensent que la conséquence la plus grave de l'érosion de cette route est le rétrécissement (RCP) de la chaussée par les surcreusements. Celles qui pensent que la difficulté d'accès aux hôpitaux et aux écoles (DAHE) situées soit du côté de Linzolo ou du côté du village Koubola sur le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala), ne représentent que 1,47%.

Les personnes qui pensent l'augmentation des prix de transport (APT) est la conséquence la plus grave de la dégradation de cette piste ne représentent que 0,74%, presque aucun véhicule de transport en commun n'emprunte cette piste, qui sert pourtant de raccourci entre le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) au niveau de Koubola et l'axe de Linzolo pour vite atteindre Nganga-Loungolo et Brazzaville. Ce taux très faible, est attribué aux personnes qui accusent la dégradation de leur piste par les difficultés de commercialisation des produits locaux (DCPL). Ici les gens parcourent les 10 km de route pour atteindre le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) ou Bissinza sur l'axe de Linzolo pour y vendre les produits sur place, ou emprunter les moyens de transport pour atteindre Brazzaville pour y commercialiser leurs produits. Les difficultés de transport, notamment d'accès aux hôpitaux et aux écoles représentent 1,74 %. Cette situation a causé la disparition d'un grand village situé entre Koubola et Mayala. De même à Mayala, la famine règne, les jeunes valides ont fui pour Koubola, Moumbouanissa, Bissinza (axe de Linzolo) et en direction de Brazzaville et Kinkala.

Sur la piste Koubola-Kibossi, c'est plutôt 7,35% de personnes qui perçoivent que l'érosion de cette piste influence la commercialisation des produits vivriers, du bois, du charbon de bois, des produits de pêche et de chasse. Les véhicules de transport des marchandises sont très rares, à cause du mauvais état de la piste, caractérisé par près de 8 surcreusements majeurs et des bancs de sables sur plusieurs kilomètres. Les véhicules fuient cette piste impraticable surtout pendant les périodes pluvieuses. Ils craignent de s'embourber. Cette situation fait que même les adeptes d'une secte messianique dénommée « LOUZOLO AMOUR » qui ont leur temple général à Kibossi, arrivent dans la localité à bord des trains du CFCO. Cette situation influe sur l'augmentation des prix de transport (APT), 5,13% de personnes pensent que certains commerçants ou adeptes messianiques louent des véhicules 4X4 ou des poids lourds pour pouvoir voyager et cela leur coûte cher. 5,93% des habitants de cette piste perçoivent que la conséquence directe de ce phénomène, c'est la difficulté d'accès au centre de santé et à l'école (DAHE). Les centres de santé et les écoles se situent sur le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala)(Koubola, Mboukou ou Kinkala) et/ou à Kibossi sur le CFCO. Il est difficile de parcourir les 18 Km de cette piste avec un malade pour atteindre l'un ou l'autre infrastructure de communication. Il est de même pour les écoliers. Cette situation a causé la disparition de certains villages, la famine dans certains villages et l'exode rural vers Koubola, Kinkala, Kibossi et même Brazzaville.

En réalité cette piste a été abandonnée. 1,47% de personnes le pensent. Quant aux personnes qui perçoivent que la conséquence directe de l'érosion de cette piste est son rétrécissement, représentent 2,2%.

Concernant **la piste Sadelmi-Loumou-** Nguidi, aucune personne n'a établi un lien entre la dégradation de la route et son rétrécissement ou sa coupure. Près de 7% de personnes accusent la dégradation de cette piste, dans les difficultés d'accès aux centres de santé et aux écoles concentrées à Loumou. En dehors de ce village, les populations doivent se rendre à Brazzaville pour leur scolarité et leurs soins de santé. Déjà avec cette situation, les localités proches de Loumou, notamment N'toba Ilélé sont peu peuplées. Quant aux villages éloignés tels que Nguidi et Lengo, les conditions d'accès à l'école et au centre de santé sont plus rudes. Ces villages ont très peu d'habitants. L'exode rural a emporté près des $\frac{3}{4}$ des populations. Le taux de personnes qui ont évoqué l'augmentation du prix de transport et les difficultés de commercialisation des produits locaux représentent chacune 4,41%. Ce sont ces deux conséquences qui ont accéléré l'exode rural et la disparition de certains villages. 2,2% de personnes pensent que la piste a été abandonnée par l'Etat. Pourtant la route peut être aménagée pour raccourcir la distance entre Brazzaville et la Sous-Préfecture de Mayama au lieu de contourner par celle d'Igné. Ainsi, la moyenne des pourcentages déduits et représentés sur la figure 46, montre que près de 27% des personnes pensent que les conséquences de la dégradation des pistes par l'érosion hydrique sont directement liées aux difficultés de commercialisation des produits locaux vers Brazzaville, le CFCO et Kinkala, 26% pensent qu'à cause de ce phénomène, surtout en période pluvieuse, il y a augmentation des prix de transport des personnes. 26% aussi estiment que l'érosion rétrécit et coupe plus d'une piste dans cette zone, 17% seulement perçoivent la difficulté d'accès aux hôpitaux et aux écoles, comme la conséquence la plus grave de l'érosion des pistes ; 4% pensent que les pistes sont abandonnées par l'état, aucun aménagement, ni entretien n'est effectué.

Au regard de ces résultats, les conséquences les plus graves causées par la dégradation des pistes par l'érosion hydrique, selon les populations locales, sont les difficultés de transport des personnes et de leurs biens. C'est donc un problème récurrent qu'il faut corriger pour faciliter la vie socio-économique des populations locales.

Cette perception globale des conséquences de la dégradation des pistes dans la zone d'étude, nous a permis de comprendre pourquoi les villages disparaissent, malgré le retour de la paix dans le Pool dès 2003.

Cette disparition est due à la famine et à l'exode rural des personnes vers Brazzaville et d'autres localités plus accessibles par camions (Linzolo, Koubola et Kinkala).

A partir de cette analyse de la perception des populations sur les causes et les conséquences induite de l'érosion des routes, nous avons déterminé les facteurs anthropiques de ce phénomène à partir des observations directes et des enquêtes personnelles sur les routes et les activités des personnes qui influent directement ou indirectement sur cette dégradation.

Cela permettra d'infirmer ou de confirmer les hypothèses émises sur le rôle de l'homme sur ce phénomène. C'est l'objet du sous-chapitre suivant.

5.2. Facteurs humains de la dégradation des pistes dans la zone d'étude

Les facteurs anthropiques, incarnés par l'homme et ses activités, sont beaucoup plus les causes indirectes, que les causes directes de la dégradation des pistes par l'érosion hydrique dans la zone d'étude.

Parmi ces facteurs figurent : la mauvaise structure des pistes, le manque de système de drainage et l'instabilité des talus, la défaillance des techniques de lutte anti-érosive sur les pistes, le manque des travaux d'entretien des pistes, la mauvaise exploitation des pistes et l'agressivité du trafic, la reprise de la croissance démographique et l'occupation du sol.

5.2.1. Mauvaise structure des pistes

Une piste est une voie suffisamment large pour laisser passer au moins un véhicule. Elle permet essentiellement de transporter les produits agricoles, mais aussi de désenclaver certaines localités (A.K. Mensah, 2010, p 1).

Mais quelque soit sa caractéristique, la piste doit avoir une structure standard constituée du bas vers le haut d'une surface qui lui est affectée et appartenant à la collectivité appelée *emprise*, d'une partie située entre les limites extérieure des fossés latéraux et concernée par les travaux de déblais et ou de remblais dite *assiette* et d'une *plate-forme*, qui est une surface comprenant la chaussée et les accotements, d'une surface aménagée qui supporte la circulation des véhicules appelée *chaussée*. Le tout est bordé par les *accotements* qui sont des zones latérales de la plate-forme et des *fossés*, creusés dans le terrain pour le drainage des eaux, illustrés par la figure 20 (Réf. page 98).

Mais dans la zone d'étude, en dehors de la bretelle bitumée Sadelmi-Case Barnier qui fait partie de la piste Sadelmi-Loumou- Nguidi, aucune piste n'a une structure adéquate comme le montrent les coupes transversales des pistes ci-dessus, ce qui signifie, comme le pense I. Tockol, 1993, p 13, que ces routes en terre sont des routes où la couche de base est directement utilisée comme couche de roulement sans aucune protection. Cela semble bien normal pour les populations et mêmes certaines autorités départementales.

Mais le géomorphologue voit en cela une défaillance grave, qui fragilise les pistes rurales congolaises en général et celles de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier. Ces types de routes qualifiées de "routes non revêtues" ne supportent généralement qu'un trafic assez faible selon M. Fancha, 1999, p 6.

Mais dans la zone d'étude il n'y a aucun bureau technique, tels que des *postes de péages*, qui contrôlent les charges à essieu des véhicules poids lourds qui utilisent ces pistes, dont les premières fatigues se ressentent sur les couches de roulement et les couches de base.

C'est à partir de ces deux couches qu'on apprécie la bonne ou la mauvaise conception d'une piste, puisque c'est de là qu'on constate la genèse des formes mineures d'érosion.

- **Confusion entre les surfaces de roulement et les formations géologiques en place.**

La surface de roulement est l'une des plus importantes parties d'une piste. Elle est de ce fait la partie de la piste la plus visible et la plus agressée directement.

Mais dans cette agression par les poids lourds et le trafic en général, elle transmet au sol de fondation, selon le rapport du BMP Manual, 2001, p 5, les efforts résultant de la circulation. Elle joue également le rôle protecteur de la fondation.

En dehors de l'axe Mayitoukou-Goma tsé-tsé qui a bénéficié d'une couche de latérite comme surface de roulement pour une épaisseur d'environ 2 cm, et de la bretelle bitumée Sadelmi-Case Barnier, aucune autre piste ne bénéficie de la couche de roulement comme telle.

Cette situation est à la base des problèmes de dégradation précoce des pistes en terre non pas seulement dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, mais dans beaucoup de régions au Congo. Leurs épaisseurs mesurées directement est de 0 cm (Tableau 35).

Tableau 35 : Nature, épaisseur, densité apparente et largeur moyenne des pistes

Piste	Nature du MR de surface de roulement	Epaisseur moyenne (cm)	da (g/cm ³)	Largeur moyenne (m)
P1	-Sédiments : sable, argiles ; -Résidus de bitume et du tout venant (gravier.) -Quelques pierres.	0	1,7	5
P2	Latérite rouge	2	NP	6
P3	Sédiments : argiles et sables	0	1,7	2,5
P4	Sédiments : argiles et sables	0	1,8	3
P5/Sec.1	-bitume et tout venant (gravier.)	NM	NM	NM
P5/Sec.2	-Sédiments sableux	0	1,6	8

Note : MR : matériel remanié ; da : densité apparente ; NM : non mesuré

En plus la surface de roulement d'une piste en situation accidentée comme les terrasses ou les sommets des collines et les pentes des vallées et des collines, doit avoir au moins une forme géométrique "légèrement concave", selon les recommandations standard d'aménagement d'une piste en zone rurale ou forestière. Ces surfaces de roulement n'ont pas de forme géométrique recommandée, selon les profils des pistes en situation topographique calme ou accidentée. Chaque type de piste forestière ou rurale doit avoir un profil connu, dont la surface de roulement doit être conçue en respectant une certaine pente pour pouvoir évacuer les eaux de pluie et protéger en retour toute la piste (Figure 46).

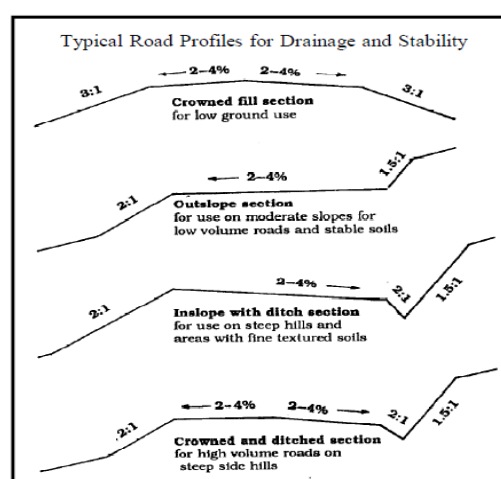


Figure 46 : Profils des pistes en situation topographique calme ou accidentée
© NRS-FS-FED, USA (S.A.)

Selon le site www.nrs.fs.fed.us, le respect des degrés de la surface de roulement tenant compte du profil de la piste, permet le détournement de l'eau qui entre ou qui est adjacente à la route. Ces eaux de pluie sont évacuées hors de la piste, avant que celles-ci n'atteignent suffisamment un débit et une vitesse importante pour causer une érosion.

Ce qui n'est pas le cas des pistes de Goma tsé-tsé, même celle de Mayitoukou-Goma tsé-tsé qui a bénéficié en 2013 d'une couche de roulement de latérite. Les degrés d'inclinaison de ladite surface de roulement n'ont pas été respectés lors de l'aménagement.

Selon le type de profil routier, le manque de concavité de la surface de roulement et la pression du trafic par les automobiles surtout de poids lourd, dégradent la surface de roulement caractérisé par un matériel remanié constitué des sols sur place. Ils sont tantôt sablo-argileux, argilo-sablonneux, tantôt sablonneux. En dehors de la piste de Mayitoukou en latérite et la bretelle Sadelmi-Case Barnier bitumée qui sont des pistes en remblais, le reste des sections et des pistes entières ont une surface de roulement qui se confond aux sols en place et dont le volume est nul (Tableau 35). Ce sont toutes des pistes en déblais, parce qu'elles ont été tracées au-dessous du terrain naturel selon (A.K. Mensah, 2010, p 18).

Mais ces dégradations par érosion hydrique, sont dues aux ruissellements pluviométriques à la surface de ruissellement, qui selon E. Baird, W. Floyd, L. V. Meerveld & al., 2012, p 4, décapent tous les sédiments à leurs passages sur la chaussée et transportent une quantité importante desdits sédiments vers les bas côtés de la route, se dynamisent à cause de l'état de compaction et de tassement du matériel remanié dont les valeurs de densité apparente du matériel remanié des pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, varient entre 1,6 et 1,8 g/cm³, avec près de 20 à 34% de porosité, d'épaisseur variant entre 0 et 2 cm (latérite) (Tableau 35). La densité apparente est à la base de la faible infiltration des eaux dans la couche de roulement (S. Alongo & F. Kambele, 2013, p 12). Les eaux ruissellent de façon concentrée, plus qu'elles ne s'infiltrent. Cette concentration est influencée également par la largeur très petite de certaines sections de pistes (Tableau 35). Sur la piste Sadelmi-Case Barnier-Loumou- Nguidi, la situation est très complexe. Sur la première section bitumée (Sadelmie-Case Barnier), la situation est extrême, à défaut de stagner dans les nids de poules, les rigoles et les faïençages géants, l'eau ruisselle totalement. Sur le tronçon Case Barnier-Loumou- Nguidi, l'absence de compactage de la surface de roulement caractérisée essentiellement par des sables, avec une densité apparente de 1,6g/cm³ (Tableau 35), favorise un phénomène ruissellement-infiltration, qui est à l'origine des ornières évoluant en ravins longitudinaux.

- **Manque des couches de bases ou fondation**

En dehors des pistes citées ci-dessus, le reste des sections et des pistes n'ont presque pas de couche de base.

Le même matériel remanié observé sur les surfaces de roulement des pistes constitue également les fondations. Dans ces conditions toute la structure de la piste ne peut résister aux pressions du trafic et aux ruissellements non maîtrisés des eaux de pluie.

Le rapport du BMP Manuel, 2001, p7, traitant de ces questions dans le Massachusetts aux USA, propose que les routes non revêtues puissent bénéficier d'une bonne couche de fond ou de base pour supporter des charges lourdes et maintenir en état la surface de roulement. Une construction convenable peut grandement influencer la performance routière et sa durée de vie. Même, les quelques sections de pistes de Mayitoukou (latéritique) et de Sadelmi-Case Barnier (bitumée) ont des couches de base peu résistantes, car elles sont en général constituées des sols sablonneux ou sablo-argileux.

Lorsque les têtes de chats, les ornières, les rigoles, les nids-de-poule, les faiençages, etc., découpent la chaussée et taillent les rebords des surfaces de roulement, ces fondations s'exposent rapidement au trafic et aux ruissellements, ce qui explique au départ, même pour les routes bitumées ou latéritiques, le choix d'un bon matériel pour la fondation, car la mauvaise qualité de la couche de base et l'application des pratiques de construction inappropriées lors d'aménagement d'une route non pavée, peuvent entraver sa durée de vie BMP Manuel, 2001, p 7. Mais la mauvaise structure ne suffit pas pour qualifier les pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé de sensibles à la dégradation, le manque de système de drainage fait partie des facteurs anthropiques importants dans la fragilisation de ces pistes rurales.

5.2.2. Manque de système de drainage et instabilité des talus routiers

“The main objective of erosion control on forest roads is to keep water from accumulating and concentrating on the road surface. Fast-moving water can readily erode soil from road surfaces”, dicit D. Turton, S. Anderson, R. Miller & al., 1990, p 7, ce qui signifie que l'objectif principal de contrôle de l'érosion sur les pistes rurales ou forestières est d'empêcher l'accumulation et la concentration des eaux à la surface de roulement. Plus les eaux de ruissellement acquièrent de la vitesse, plus elles ravinent la surface de roulement. On comprend pourquoi, lors de la création ou de la réhabilitation d'une piste, l'aménagement d'un système de drainage est primordial, car il est par excellence, l'ensemble des ouvrages de maîtrise des eaux de pluie. En milieu rural et même forestier, le système de drainage est caractérisé par des fossés, des caniveaux latéraux, des buses en bétons et des ponceaux sous piste.

La conception de ces dispositifs doit tenir compte des profils topographiques des pistes, c'est-à-dire, la situation du relief des sections de pistes.

Dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, les pistes rurales n'ont aucun système de canalisation. Même la piste de Linzolo, autrefois bitumée et bénéficiant des caniveaux en prisme triangulaire sur certaines sections, n'a pratiquement plus rien de ce système de drainage (Photos 80 et 81, Planche n°28).

PLANCHE N° 28 : Reste des caniveaux en V sur un tronçon de la piste de Linzolo



Photos 80 et 81 : Le reste d'un caniveau triangulaire latéral, vers Saint Isidore, sur le piste de Linzolo, ©Idriss M'bouka Milandou, 2014

De même, quelques buses prévues pour évacuer les eaux venues du talus opposé à la vallée de Linzolo, au niveau de Saint Isidore, n'ont pas été aménagées. Celles qui ont été aménagées sont dégradées par la mauvaise disposition et le manque d'entretien (Photos 82 et 83, Planche n°29).

PLANCHE N° 29 :Buses abandonnées et mal aménagées sur la piste de Linzolo



Photo 82 : Buses non aménagées depuis 2011 vers Linzolo. © Idriss M'bouka Milandou, 2015



Photo 83 : Ponceau dégradé vers Saint Isidore © Idriss M'bouka Milandou, 2015

La piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé qui a bénéficié des travaux d'aménagement en 2013, avec la latérite, comme matériaux de surface de roulement, n'a également aucun système de drainage. C'est une grande défaillance, car quelque soit la typologie et la situation topographique d'une piste, le système de drainage s'impose, pour une bonne maîtrise des eaux de pluies. Cette maîtrise consiste à collecter l'eau ruisselante sur la chaussée afin de l'évacuer de part et d'autre de la route. Ces eaux non maîtrisées augmentent la désintégration des surfaces non pavées des pistes, réduisent la capacité de charge des couches de bases, ravinent les chaussées de façon linéaire et longitudinale, transportent et déposent les sédiments et les débris dans les fossés, les cours d'eau et le ponceau routier. Les sections de routes des collines, des terrasses, des bas-fonds des vallées, dont les tracés ne suivent pas les courbes de niveau sont les plus affectées à l'érosion, par manque de système de drainage. A défaut de ruisseler sur les chaussées, les eaux stagnent et forment des mares d'eau, des bourbiers lorsqu'elles se mélangent aux sols argileux.

Pour les sociétés Andrade Gutierrez, SIPAM-TP et autres qui entretiennent rarement cette piste, les seuls dispositifs capables de maîtriser les eaux sont les « encoches » qui ressemblent aux impluviums. Ces dispositifs mal conçus de part et d'autre de cette piste et à des distances non conformes, ont pour objet, selon ces sociétés, d'amoindrir la vitesse de ruissellement et de stocker les eaux jusqu'à leur infiltration sur chaque secteur de piste.

Mais malheureusement certaines débouchent sur les versants des vallées ou les flancs de collines (Photo 84, Planche n°29). D'autres ne sont pas entretenus et sont donc inefficaces, car ils sont même à la base de la genèse rapide des ravinements transversaux qui menacent, rétrécissent et coupent cette route, depuis 2013 (Photos 85 ; 86 et 87, Planche n°30).

Quelques uns de ces dispositifs ont été observés sur la piste latéritique Mayitoukou-Goma tsé-tsé. Mais sur l'axe Nganga Loungolo – Linzolo, ils sont plus nombreux, nous avons dénombré 18 à partir du village Mabenga jusqu'à Linzolo, ce qui équivaut à 1,8 encoches par PK. Sur ces 18 encoches, au moins 12 se sont transformés en ravins et d'autres sont en cours de ravinement.

En effet, en dehors du manque des systèmes de drainage des eaux et de l'inefficacité de certains d'entre eux, il se pose également un problème d'instabilité des talus routiers. Toutes les pistes étudiées ne sont pas en situation des terrasses, mais certaines d'entre elles le sont. C'est le cas, encore une fois, de la piste de Linzolo, où on ne peut parcourir 5 km sans longer une section en terrasse, à défaut de parcourir des zones d'interfluves.

PLANCHE N° 30: Défaillance de l'aménagement des impluviums sur la piste de Linzolo



Photo 84 : Impluvium débouchant sur un versant de vallée à Touboula (2014),
Photo 85 : Impluvium vers Bissinza.(2011), Photo 86 : début de ravinement dans un impluvium vers
Mabenga (2014), Photo 87 : Ravine formée à partir d'un impluvium vers Linzolo (2014). Route
Nganga Loungolo – Linzolo.
© Idriss M'bouka Milandou

Quant à l'instabilité des talus, elle est imputable à l'homme, car c'est en réhabilitant les pistes et en traitant les ravinements que ces talus sont rendus instables.

Vers Saint Isidore à moins d'un kilomètre de Linzolo, le grand talus sur la photo 88 (Planche n°31), a été rendu instable par l'extraction des matériaux pour remblayer un ravin de près de 100 m de profondeur, qui avait coupé la route en 2005. Sur la même piste, vers Massissia, les talus pourtant stables auparavant ont été décapés pour extraire les matériaux et remblayer la piste en 2012. Sur l'axe de Mayitoukou-Goma tsé-tsé, ce sont des travaux de réhabilitation de cette piste, qui ont poussé la société SIPAM TP, de tailler les talus à 2 km de Mayitoukou pour changer le tracé de la piste.

Ces talus routiers appelés « *Road embankment* » par les anglo-saxons, sont instables et toutefois les mouvements de masse se produisent en périodes pluvieuses. L'impact de ces mouvements sur les pistes n'est pas trop ressenti par les usagers, mais la piste elle-même subit des dépôts des sédiments en blocs couverts parfois de végétaux. Ces blocs de sols sont responsables des bourbiers en saison de pluie et d'ensablement en période sèche affectant ainsi le trafic automobile. Cela ne suffit pas, car l'instabilité de ces talus est également responsable des érosions de déblais de route, qui se manifestent par les ravinements longitudinaux aux pieds des talus (Photos 88 ; 89 et 90, Planche n°31).

Ce type d'érosion décrit au chapitre 5, a été largement étudié par R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare &al., 2008, p. 6, au Québec, qui en a fait l'objet de description sur les chemins forestiers du Canada. Il est caractérisé souvent par des rigoles linéaires au bas des talus.

PLANCHE N° 31: Instabilité du talus de la piste de Linzolo et érosion de déblais

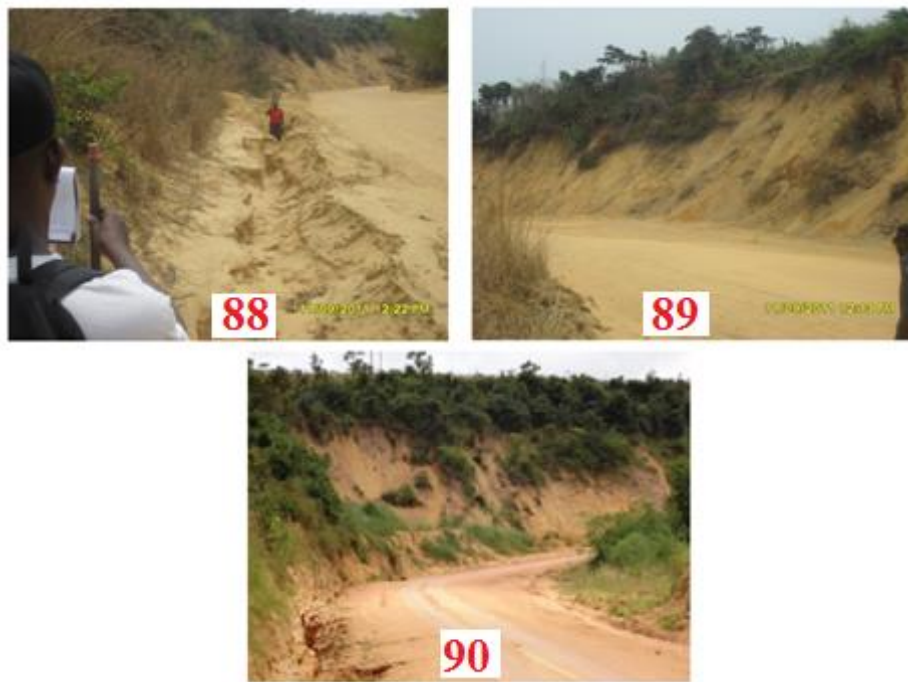


Photo 88 : Ravinement linéaire au bas du talus instable vers Saint Isidore (2011), Photo 89 : Talus instable vers Massissia (2011), Photo 90 : Vue d'un talus instable et d'un ravinement au bas dudit talus, vers Saint Isidore à Linzolo (2015).

©Idriss M'bouka Milandou

Les formes d'érosion aux bas des talus évoluent plus rapidement en ravin parce que les pentes sont assez fortes dans presque toute la zone d'étude en général et le long des pistes en particulier. Ces formes rétrécissent les pistes, ce qui impacte la fluidité du trafic avec les risques d'accidents.

Le manque de système de drainage des eaux et de stabilisation des talus, ne suffisent pas également pour évaluer la sensibilité des pistes dans la zone d'étude, la défaillance des techniques de lutte antiérosive, utilisée par les populations et même quelques sociétés de BTP, sur les pistes est l'un des facteurs qui participent à cette sensibilité.

5.2.3. Défaillance des techniques de lutte antiérosive sur les pistes

Dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, la défaillance des techniques de lutte anti-érosive utilisées par les populations et les sociétés des BTP, a été constatée depuis près d'une décennie. Cette défaillance est même à l'origine de l'aggravation de l'érosion sur certaines pistes. Il s'agit de la défaillance de remblayage des FEME et du manque de finition et de suivi de traitement des ravinelements.

- Défaillances dans les travaux de remblayage des FEME

Comme annoncé dans le chapitre V, les formes d'érosion moins évoluées, qualifiées de formes mineures par I.A.W. M'bouka Milandou, 2013, p 32, sont plus denses en termes de nombre que les ravinelements pourtant plus importants en termes de volumes, de terres perdues et des dégâts causés. Leur prolifération sur les surfaces de roulement et l'inconfort ressenti par les usagers de la route, lorsque ces dernières s'aggravent, poussent les usagers de la route à tenter de les faire disparaître par les travaux de remblayage. Ces derniers sont pratiqués sur presque toutes les pistes étudiées, puisqu'aucune piste n'est épargnée par ces formes (Photo 91).



Photo 91 : Traitement défaillant des ornières vers Mayala, sur la piste Koubola-Bissinza

©Idriss M'bouka Milandou, 2015

Le but est de remblayer ou d'aplanir la surface de roulement pour faire disparaître, tant soit peu ces formes et éviter leur évolution en ravinement, pour rendre plus fluide le trafic.

Les outils de travail utilisés sont rudimentaires, ils sont constitués des pèles, des râtaux et des houes. Les matériaux utilisés dans le remblayage sont extraits sur place. Ce sont des sols ou des couches géologiques décapés dans les environs de la piste. Si la forme d'érosion mineure est assez importante en terme de volume, les usagers et les populations, n'hésitent pas à y enfuir des morceaux de branches et parfois des feuilles mortes avant de recouvrir le tout par des matériaux cités ci-dessus. Mais l'efficacité de cette méthode est très courte, car dès l'arrivée des premières pluies, les formes remblayées sont exhumées et parfois aggravées par les ruissellements concentrés sur les pistes. Cette défaillance est due au manque de nivelage, suivie d'un compactage mécanique des espaces traités.

- **Manque de finition et de suivi dans le traitement mécanique des ravinelements**

Le traitement mécanique des ravinelements multidimensionnels qui consiste à bloquer leur évolution sur les routes, souffre des problèmes de finition dans la zone d'étude. Au total 4 sous-méthodes sont fréquemment utilisées par les populations dans la zone. Il s'agit : du mauvais colmatage de l'exutoire des ravinelements par les sédiments, de la mauvaise utilisation des digues en sacs remplis de terres, l'installation défaillante des digues de bambou et le blocage des ravinelements par des déchets solides de toutes natures.

• **Le mauvais colmatage de l'exutoire des ravinelements par les sédiments.**

Ici l'exutoire d'un ravinement est rempli par des sédiments constitués beaucoup plus par les sols en place (Photos 92 et 93, Planche n°32).

PLANCHE N° 32 : Mauvais colmatage des ravinelements par des sédiments



Photos 92 et 93 : Colmatage non finalisé de l'exutoire d'un ravin longitudinal sur la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé.

©Idriss M'bouka Milandou, 2015

Ces sols sont parfois mélangés aux morceaux de briques cuites et de l'herbe morte obtenu à proximité des sites traités.

D'après les populations, une fois l'exutoire bloqué, les terres érodées en amont ou à la tête du ravinement viennent s'accumuler au fur et à mesure sur la partie bloquée. Cette sédimentation est renforcée par les déchets transportés par les ruissellements venus de la surface de roulement. La technique s'avère efficace, car le processus de colmatage du ravinement est quasi-naturel pour stopper l'évolution de la forme. Mais le manque de contrôle et de suivi du processus de colmatage peut rendre le processus inefficace, car une petite brèche dans le dispositif peut déclencher un processus de destruction. La partie remplie qui fait office de mur peut céder sous la pression des ruissellements des eaux. Le basculement peut-être causé par l'infiltration des eaux dans les sédiments faisant office de mur, ce qui ouvre des brèches fatales. Une bonne partie des sédiments est érodée et la forme reprend son dynamisme. Tout ce processus peut se faire sous une seule pluie. Cela a été observé sur plusieurs formes qui ont subi une tentative de blocage.

La deuxième défaillance décelée, est que malgré le colmatage de l'exutoire, l'évolution latérale continue. L'érosion attaque les berges du ravinement par sapement et rétrécit au fur et à mesure la route. De même la tête du ravinement continue d'évoluer par régression, pouvant changer de direction, en se positionnant de façon perpendiculaire à la piste, en le coupant en deux. C'est ainsi que la tentative de blocage des formes sur certaines pistes a failli. Les ravins de Massissia en 2009 et en 2015 peuvent être évoqués comme exemple (Photos 94, 95 et 96, Planche n°33).

PLANCHE N° 33 : Colmatage des ravinements par des sédiments et des carcasses de voitures



Photo 94 : Mauvais colmatage d'un ravin longitudinal à Massissia en 2013,
Photos 95 et 96: Reprise et aggravation de la forme en 2014 avec une deuxième tentative de blocage avec de la ferraille.

- **La mauvaise utilisation des digues en sacs remplis de terre**

Les emballages des sacs de ciment de 50 kg, remplis de terre constituent un matériel efficace pour bloquer l'évolution d'un ravinement. Mais un seul sac ne suffit pas, il en faut beaucoup pour construire un bon dispositif. Ce dernier est une superposition des sacs bien remplis de sédiments dans le plancher du ravin, à l'exutoire ou à la tête (Photos 97, 98 et 99, Planche n°34). Si les sacs sont suffisants, il est possible de bloquer toute l'excavation.

PLANCHE N° 34: Défaillance de l'installation des digues en sacs remplis de terres



Photos 97, 98 et 99 : Digue de sacs remplis de terres, pour stabiliser les ravinements longitudinaux vers Linzolo.

© Idriss M'bouka Milandou, 2015

Cette technique est beaucoup utilisée à Brazzaville et dans beaucoup de pays en Afrique subsaharienne. A Brazzaville, J.L. Samba, 2012, p 19, l'a qualifié « *des digues de sacs remplis de terre* », lors d'une communication à N'Djamena, au Tchad sur « *l'approche d'aménagement de bassin versant et de stratégie de prévention et d'atténuation de l'érosion hydrique à Brazzaville au Congo* » présenté à la Journée thématique sur la gestion intégrée des ressources naturelles dans le paysage d'Afrique Centrale: le rural, l'urbain et leur convergence.

Le but est le même que la méthode de sédimentation de l'exutoire d'un ravinement : ralentir ou bloquer l'évolution de l'appareil, tout en facilitant le colmatage des espaces vides par des sédiments et d'autres matériaux décapés à la surface de roulement des pistes et érodé de part et d'autre de la piste (talus, villages, etc.). Mais cette technique devient inefficace lorsque le dispositif n'est pas entretenu.

Le manque de suivi et d'entretien par le remplacement régulier des sacs troués n'est pas effectué, d'où on peut parler de l'abandon du dispositif après sa construction. Ce dernier lâche et crée encore d'autres dégâts en aval et en amont, causant une perte énorme des sédiments par des ruissellements plus dynamiques.

- **L'installation défaillante des digues de bambou**

Cette technique nécessite beaucoup de coupe de bambous et peut fragiliser au retour les espaces sensés être protégés par cette plante le long des pistes, si le prélèvement se fait sur le site, ce qui peut également constituer un autre problème de dégradation des végétaux, qui est pourtant un élément de protection biologique des routes.

Les bambous doivent, par conséquent, être prélevés sur d'autres sites moins exposés. Le dispositif est construit en entrecroisant des troncs de bambous renforcés par des pointes ou des fils métalliques ou en nylon, de façon à former une palissade en grille ou en treuil directement dans le plancher d'un ravin (Figure 47).

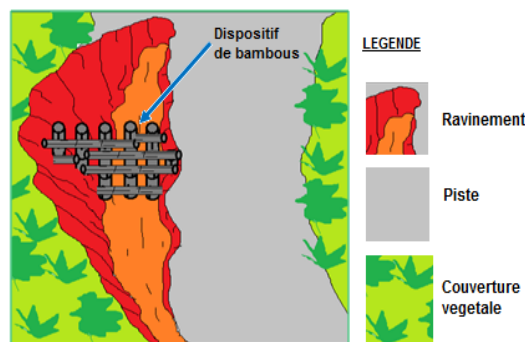


Figure 47 : Dispositif de bambou dans un ravinement linéaire à la piste
©Idriss M'bouka Milandou, 2016

Mais cette méthode est inefficace, parce que dans la plupart des cas, après avoir construit le dispositif, il n'y a pas de suivi, ni d'entretien et de renforcement des bambous. Les pointes, les fils de fer et même les nylons utilisés pour monter le dispositif cèdent. Ce dernier s'écroule même en une seule pluie, par la pression et la vitesse des eaux de ruissellement chargées des sédiments qui s'engouffrent dans l'appareil.

Toutefois, même avec le dispositif en place, le ravinement peut évoluer latéralement en rétrécissant la route dans le cas des ravinements longitudinaux, ou en la coupant dans le cas de l'érosion régressive, car les parois ne sont pas protégées. Cela est identique à la méthode des digues, constituées des sacs remplis de sédiments évoqués plus haut.

- **Le blocage des ravinements par des déchets solides de toutes natures**

Les déchets utilisés par les populations pour bloquer l'évolution des ravinements menaçant les pistes, sont soit des déchets ménagers, des troncs d'arbres et des feuilles mortes, des carcasses de voitures, etc. Selon certains témoignages, cette méthode est le dernier rempart, lorsque tout a été fait pour empêcher l'évolution de la forme d'érosion. Les populations l'utilisent donc désespérément.

Mais selon nos observations, à part les carcasses de voitures qui peuvent résister à la force des ruissellements, ces déchets ne supportent pas la force des eaux de pluie issues des surfaces de roulement, ils sont rapidement évacués par les eaux lorsqu'il pleut abondamment. Ceci s'explique par le fait que ces remblaiements ne sont pas faits selon les normes. Les populations qui s'en occupent ne sont pas au préalable initiées à la technique et n'ont pas souvent la quantité de déchets nécessaire pour chaque ravinement à traiter. On peut donc conclure que cette méthode ne résout pas le problème. A Brazzaville, elle est beaucoup utilisée et se maintient parfois grâce à la quantité importante des déchets, mais ils finissent par être évacués par les eaux de ruissellement lorsque le suivi n'est pas assuré. Pour que la méthode soit efficace, il faut une grande quantité de déchets, d'où la nécessité d'un nombre important de ménages et des déchets produits, ce qui n'est pratiquement pas possible pour ces villages, sauf si les ordures viennent de Brazzaville.

5.2.3. Négligence des méthodes biologiques dans la lutte antiérosive

Parmi les plantes utilisées dans la lutte antiérosive le long des pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, on peut citer les bambous. Ces végétaux encore appelés *Bambuseae*, sont des plantes *monocotylédones* de la famille des *Poaceae* (Graminées), reconnus comme étant un moyen efficace de lutte contre l'érosion des sols en général et des routes en particulier. Ils s'adaptent au climat tropical et poussent très vite en se déployant de façon naturelle.

Selon le site www.ipsinternational.org « *les bambous ont des systèmes racinaires très forts et très étendus et sont par conséquent des outils extraordinaires de lutte contre l'érosion des sols et de la restauration des terres dégradées* ».

Ils ont déjà montré leur efficacité à Brazzaville, Kinshasa et dans beaucoup de pays asiatiques (Vietnam, Laos, etc.). Mais selon K.M. Lusamba, 2010, p 14, cette efficacité est remise en cause dans la lutte contre l'érosion, lorsque ces graminées sont coupées par les populations qui les plantent pourtant elles mêmes.

Selon nos enquêtes, dans les années 60, 70 et 80, les populations de la zone d'étude ont beaucoup utilisé la technique de bambous, pour protéger les sites à risque d'érosion ou stabiliser les formes régressives qui menaçaient les routes et les villages. C'est la plus vieille méthode biologique utilisée par les populations rurales et urbaines au Congo. A Goma tsé-tsé, on ne peut donc pas parcourir un à deux kilomètres de piste, sans voir des bambous plantés sur des espaces à risque (Photo 100 et 101, Planche n°35). Mais de nos jours, ces mêmes plantes sont coupées, pour des besoins diverses : construction des cases, aménagement des paillottes (*mbongui*), fabrication des petits ponts sur les ruisseaux (*Moukokolo*), fabrication de cannes à pêche, des dispositifs de capture des oiseaux comestibles et des roussettes dans les forêts, d'installation des digues pour lutter contre l'évolution des ravineements décrits plus haut. A cause des multiples coupures effectuées par les populations, les bambous semblent être moins efficaces face à l'avancée des grands ravineements sur les routes. Les secteurs de Massissia et Touboula sur la route de Linzolo, sont réaffectés par les ravins qui entaillent les bordures de pistes et menacent de couper pour une énième fois la chaussée (Photo 102, Planche n°35).

PLANCHE N° 35 : Disposition des bambous dans les secteurs des dépressions de piste



Photo 100 : Bambous au bord de la piste vers SaintIsidore (Linzolo) , Photo 101 : Bambous le long de la piste Linzolo vers Touboula, Photo 102 : Un ravin vers Massissia, à coté des bambous.

© Idriss M'bouka Milandou, 2014

Le fait de couper ces bambous plantés par les générations antérieures dans des secteurs routiers à risque d'érosion, montre la négligence ou le peu d'importance accordée aux méthodes biologiques de lutte antiérosive. En d'autres termes, on peut parler de l'ignorance sur le rôle exact desdits bambous le long de cette route.

Tant que, les populations ne prendront pas conscience de l'importance de ces plantes dans la lutte antiérosive, la crise de l'érosion des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé et dans d'autres zones rurales du Congo affectées, ne sera pas atténuée. Elle va au contraire perdurer et créer plus de dégâts environnementaux, dont les répercussions sur la vie socio-économique des populations, seront néfastes.

De toutes ces méthodes, bien que défectives, utilisées par les populations de la localité, un tableau a été réalisé pour estimer la fréquence de leur utilisation sur chaque axe routier. A cet effet, quatre (4) couleurs ont été choisies pour désigner le degré d'utilisation de chaque méthode: le blanc, pour la non utilisation, le jaune, pour une utilisation faible ; le vert, exprimant une utilisation moyenne et enfin le rouge, qui justifie une forte utilisation (Tableau 36).

Tableau 36 : Fréquence d'usage des méthodes de lutte antiérosive dans la zone d'étude

Route	Techniques de lutte antiérosive					
	R/FEME	Blocage des ravinelements				AMB
		CES	DST	DDB	BRD	
Nganga Loungolo - Linzolo	Faible	Nul	Moyen	Faible	Fort	
Mayitoukou-Goma tsé-tsé	Moyen	Fort	Nul	Nul	Nul	
Koubola-Bissinza	Fort	Nul	Nul	Nul	Nul	
Koubola-Kibossi	Fort	Nul	Nul	Nul	Nul	
Sadelmie-Loumou- Nguidi	Faible	Nul	Nul	Nul	Fort	

Notes : R/FME : Remblayage des formes d'érosions moins évoluées, CES : Colmatage de l'exutoire des ravinelements par des sédiments, DST : Digue des sacs remplis de terre, DDB : Dispositif de bambous, BRD : Blocage de l'évolution des ravinelements par les déchets de toutes natures, AMB : Abandon des méthodes biologiques

Plusieurs constats peuvent être faits. Sur la route Nganga Loungolo – Linzolo, les populations utilisent fréquemment les déchets de toutes natures (BRD) pour bloquer l'évolution des ravinelements et négligent ces dernières années, les méthodes de bambous (DDB). Les digues de sacs remplis de sédiments sont moins utilisées. Quant au remblayage des formes mineures (RFME), il se fait avec moins de dynamisme. Sur la piste Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare et village, les populations essaient de bloquer les ravinelements à partir des opérations de colmatage de l'exutoire par les sédiments(CES).

Le remblayage des formes mineures est moins utilisé. Sur les axes Koubola-Bissinza et Koubola-Kibossi, affectés par les surcreusements, les populations se contentent de remblayer les ornières qui jonchent surtout les sections de pistes déjà surcreusées (R/FEME).

Ce travail est aussi effectué par les usagers des pistes pour faciliter le passage de leurs véhicules. Les autres techniques n'ont pas été observées. Enfin sur la route Sadelmi-Loumou-Nguidi, les populations luttent contre l'érosion hydrique à partir des dépôts des ordures de toutes natures (BRD) et moins le remblayage des formes mineures.

Au regard de cette analyse, on peut estimer que sur presque toutes les pistes, le remblayage des formes moins évoluées d'érosion (RFEME) est plus utilisé que d'autres techniques. Cela montre la volonté des populations à lutter contre l'érosion des pistes, en s'attaquant d'abord aux formes mineures. Mais malheureusement, les outils de travail et les matériaux utilisés ne permettent pas un bon aménagement. Il suffit d'une grande pluie, les formes remblayées sont exhumées, créant encore d'autres dégâts plus collatéraux sur la route.

5.2.4. Manque des travaux d'entretien des pistes

Au Congo Brazzaville, selon le décret n° 2016-168 du 30 avril 2016, portant nomination des nouveaux membres du gouvernement de la République du Congo en 2016, l'entretien des routes urbaines, rurales, départementales et nationales a été confié au Ministère de l'équipement de l'entretien routier. Mais il semble que, malgré quelques efforts consentis dans l'entretien des routes urbaines et nationales, les routes rurales sont délaissées.

Le réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé pourtant très proche de Brazzaville n'est qu'une illustration parmi tant d'autres.

Les quelques travaux irréguliers effectués sur les sections de Bissinza, de Massissia, de Mabenga et au-delà de Samba-Alphonse sur l'axe de Linzolo sont l'œuvre des sociétés des BTP citées plus haut, détenteur des contrats d'exploitation des carrières du fleuve Congo, situées à 3 kilomètre de Linzolo. Ces travaux n'ont pour but que de faciliter le passage de leurs gros camions. Ils sont dans l'ensemble ponctuels et réalisés à la va-vite. Leur efficacité est souvent limitée dans le temps. Généralement aucune étude approfondie de faisabilité n'est réalisée au préalable. Plusieurs problèmes d'ordre structurel, tels que le rétablissement de la structure des profils des pistes, le désensablement des sections abandonnées par les automobilistes et l'entretien des encoches qui servent d'impluvium, ne sont pas traités.

En 2013, la piste Case Barnier- Loumou-Nguidi a bénéficié des travaux de nivellement par la société chinoise RBC, dans le but d'accéder facilement sur l'axe Igné-Mayama-Mindouli où avaient débutés les travaux de construction de la RN1. Ce manque d'entretien, combiné aux méthodes défaillantes de lutte antiérosive et au manque de système de drainage, aggravent la sensibilité des pistes. Les nids-de-poule, les ornières, les tôles ondulées, les faïençages, les bourbiers, les mares d'eau et les rigoles observées sur les pistes non traitées ou totalement abandonnées, évoluent en ravinements spectaculaires qui rétrécissent ou coupent les pistes en période pluvieuse.

En saison sèche, certaines sections de pistes, comme à Bissinza sur l'axe Linzolo et sur les axes Koubola-Kibossi et Case Barnier Ntoba Ilélé, les bancs de sables couvrent les pistes et affectent le trafic, d'où les difficultés de mobilité des personnes et des biens.

5.2.5. Mauvaise exploitation des pistes et agressivité du trafic

Les deux facteurs sont à la base de la fragilisation des pistes rurales ou forestières au Congo, en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier. Il s'agit : du mauvais usage des pistes par les automobilistes et l'agressivité du trafic.

- Mauvais usages des pistes

La route, quelque soit ses caractéristiques (bitumée ou en terre) a une durée standard de vie de près de 15 ans au maximum, avant de montrer ses premiers signes de vieillissement et de dégradation (I.A.W. M'bouka Milandou, 2013, p 30). Il est connu que toute négligence sur le contrôle des routes entraîne non seulement des travaux coûteux de reconstruction et de remise en état, mais pourrait aussi hypothéquer le développement national dans tous les secteurs. Dans beaucoup de pays, comme au Bénin, le patrimoine routier n'est pas une préoccupation majeure des usagers des dites infrastructures (A. Bihonof, C. Hounnonvi & Senou, 2011, p28). Le Congo n'est pas en marge de cette situation, qui après aménagement ou réhabilitation, les routes sont soumises non seulement au manque d'entretien, mais surtout au trafic non contrôlé. Si dans les centres urbains comme Brazzaville et Pointe-Noire le problème est récurrent, en milieu rural, il est très grave. Les pistes rurales sont mal exploitées. En dehors de leur sollicitation quotidienne par les jantes de pneus, le suintement des carburants et de la charge à l'essieu des poids lourds, les désordres observés sur la chaussée et son emprise sont courants. Il suffit de parcourir ces pistes pour constater ces désordres (Photos 103 et 104, Planche n°36).

PLANCHE N° 36: Désordre causé par le trafic sur la piste de Kibossi



Photo 103 : Désordre marqué par l'ouverture de deux autres déviations sur la piste Koubola-Kibossi,

Photo 104 : Création d'un tracé parallèle à la principale pour éviter les ornières vers Mayala.

© Idriss M'bouka Milandou, 2015

Les nombreuses déviations créées sont le fait des automobilistes qui tentent d'éviter les tôles ondulées, les nids-de-poule, les ornières, les mares d'eau et les bourbiers, qu'ils créent pourtant eux-mêmes en circulant sur les pistes en pleine pluie. Ces sorties hors-chaussées et déviations à quelque mètres de la piste, très denses dans la zone de Goma tsé-tsé, contribuent à la destruction de la végétation qui est le protecteur naturel des pistes et favorisent de ce fait la genèse des formes d'érosion mineures qui évoluent en ravinements longitudinaux et parfois transversaux à la piste.

La dégradation de la couverture végétale bordière à la route et la mise à nu des sols compactés à chaque passage des automobiles de toute catégorie, favorisent les ruissellements latéraux, dont les eaux proviennent directement de la chaussée et basculent de part et d'autres des espaces hors-chaussée et déviations. Plusieurs formes d'érosion mineures ou majeures observées sur les pistes de Linzolo, de Koubola-Kibossi, de Case-Barnier-Loumou et de Koubola-Bissinza, sont dues à ce comportement déviant des automobilistes. Parfois les sources d'érosion sont les déviations abandonnées, ce qui fait que les eaux qui proviennent de ces déviations se déversent de façon concentrée sur la piste principale et créent des érosions multiples. De même, l'utilisation des pistes en pleine pluie, comme cela a été évoqué ci-dessus, est l'un des facteurs importants qui contribue non seulement à fragiliser les pistes, mais surtout à créer les conditions de circulations hors-pistes et des déviations multiples.

Pour D. Turton, S. Anderson, R. Miller & al. 1990, p 11, il est important de limiter la circulation automobile en pleine saison des pluies et sous la pluie en particulier.

Selon le code communautaire de la route dans la zone CEMAC, adopté le 03 août 2001 par le conseil des Ministres des pays membres, la charge maximale par essieu pour les véhicules est de 27 tonnes, soit 13 tonnes pour un essieu simple, 21 tonnes pour un essieu tandem et 27 tonnes pour un essieu tridem. Le poids total autorisé sur les routes ne peut dépasser 50 tonnes et la longueur maximale est fixée à 18 m, et la largeur maximale à 2,50 m (CEMAC, 2001, p 75). Au Bénin par exemple, les poids lourds excèdent les normes réglementaires du gabarit qui est de 4 m et la charge à l'essieu estimée à 11,45 tonnes, en faisant des surcharges dans le but de transporter un surplus de marchandises pour maximiser leur profit (A. Bihonof, C. Hounnonvi & Senou, 2011, p 30).

En dehors du tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala) qui passe par la partie centrale de la zone d'étude, les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé ne sont pas conçues pour accueillir les véhicules respectant ces normes, car leurs mauvaises structures de piste, l'absence des systèmes de drainage et le manque d'entretien, font défaut. Elles sont de ce fait exposées à l'eau de pluie et à l'agressivité du trafic, responsable de la formation de plusieurs types de dégradation.

- **Agressivité du trafic sur les pistes**

Les pistes sont agressées par le passage, en grande partie, des véhicules poids lourds (C. Babilotte, C. Soulie, C. Berdier & al., 1994, 1998 et 2009, in I.A.W. M'bouka Milandou & L. Sitou, 2017, p 14). Selon ces auteurs, « *le terme agressivité désigne les dommages causés à une chaussée par le passage d'un ou plusieurs essieux* ». Cette agressivité accroît la fragilité des pistes mal conçues de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé à partir des surfaces de roulement et des couches de base (fondation). Pour S. Salim, S.A., p 1, une chaussée non revêtue est beaucoup plus affectée par le trafic associé ou non à l'eau de pluie à travers les ruissellements qui interagissent avec le milieu naturel (topographie et type de sol). Ce facteur est, selon A. Bihonof, C. Hounnonvi & Senou, 2011, p 1, assez important dans la dégradation des chaussées, du fait qu'une route est dimensionnée pour supporter un nombre de véhicule et une fréquence donnée. Mais au fil des années et au fur et à mesure que les activités économiques se développent, le trafic aussi croît.

Dans leurs travaux de recherche intitulés : « *Recent findings related to measuring and modeling forest road erosion* », en Idaho aux Etats Unis, W. Elliot, R. Foltz & P. Robichaud, 2009, p 4080, ont affirmé que le trafic peut avoir un effet significatif sur l'érodabilité des routes, à travers :

le développement de l'orniérage, la pression des agrégats du matériel remanié dans le sous-sol, en diminuant la conductivité hydraulique et en augmentant les taux d'effritement et d'érosion, la décomposition des agrégats, qui deviennent sensibles à l'érosion et le compactage de la surface de roulement, qui rend très érodible la piste.

Les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sont confrontées à cette situation. L'agressivité du trafic sur leur fragilisation a été décelée lors de nos observations directes de terrain. Ce trafic est caractérisé par la circulation des véhicules berlines, des 4x4 et des poids lourds. Mais son agressivité et son intensité sur les pistes est due non seulement au nombre de véhicules qui y roule, mais également sur la qualité sensible des surfaces de roulement desdites pistes.

Dans la zone d'étude, à l'exception de la piste latéritique de Mayitoukou et la bretelle Sadelmie-Case Barnier, la structure des pistes (surface de roulement, couche de base, emprise....), caractérisée par matériel remanié identique aux couches pédologiques et géologiques en place, ne supporte pas un fort trafic automobile et des véhicules lourds. Cette remarque s'appuie sur l'analyse du BMP manual, 2001, p 10, qui stipule que la détérioration d'une route dépend généralement du nombre et du poids des camions qui l'utilisent, et non le nombre de véhicules plus légers. Le travail effectué sur le dénombrement journalier des types de véhicules sur chaque piste, a permis non seulement d'évaluer le niveau du trafic moyen journalier (TMJ), mensuel (TMM) et annuel (TMA), mais également d'analyser l'influence dudit trafic et des poids lourds sur la sensibilité de chaque piste (tableau 37 et figure 48).

Tableau 37 : Types de véhicules et trafic par piste entre 2014 et 2015

Piste	Type de véhicule			NMV/ P	NMV/ HP	Total		
	Berline	4X4	Poids Lourd			TMJ	TMM	TMA
Nganga Loungolo- Linzolo (P1)	38	28	24	20	70	90	2 700	32 400 (34,35%)
Mayitoukou – Goma tsé-tsé (P2)	30	25	20	10	65	75	2 250	27 000 (28,63%)
Koubola-Bissinza (P3)	0	1	3	0	4	4	120	1 440 (1,53%)
Koubola-Kibossi (P4)	0	1	4	0	5	5	150	1 800 (1,91%)
Sadelmie- Case Branier (T1P5)	50	21	9	10	70	80	2 400	28 800 (30,53%)
Case Barnier-Loumou- Nguidi (T2P5)	1	2	5	0	8	8	240	2 880 (3,05%)
Total				40	222	262	7 860	94 320 (100%)

Note 1 : NMV/P : Nombre moyen de véhicule par parking, NMV/HP : Nombre moyen de véhicule hors parking , TMJ : Trafic moyen journalier, TMM : Trafic moyen mensuel, TMA : Trafic moyen annuel

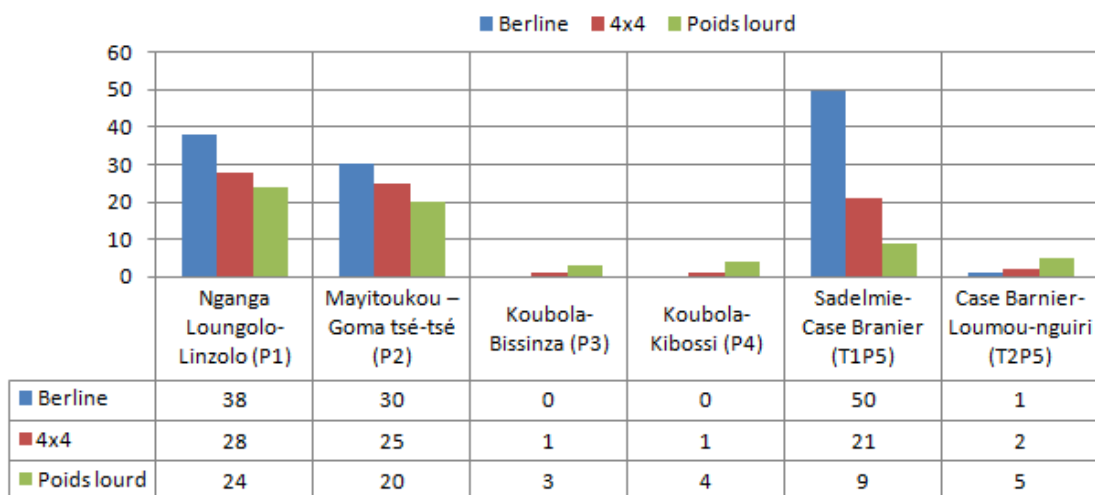


Figure 48: Nombre et types de véhicules par jour sur les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Sur la piste de Linzolo (P1), les véhicules berlines (taxi, taxi-bus, voitures légères personnelles) estimés au nombre de 38 par jour, dominent le trafic, contre 28 véhicules 4X4 et 24 poids lourds. Mais en termes de gabarit et des marchandises transportées sur les routes rurales au Congo, les 4X4 peuvent être classés parmi les poids lourds. Ce qui fait que la somme des 4X4 et des poids lourds connus donne un total de 52 véhicules à forte charge. Ce nombre justifie donc l’agressivité du trafic, dominée par les poids lourds sur la route, car les berlines ne représentent que 38 véhicules.

Sur l’axe Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare (P2), la situation est similaire à celle du P1. La somme des véhicules 4X4 (25) et des poids lourds ordinaires (20), atteint un nombre total de 45 véhicules lourds, contre 30 berlines. Ici également, la piste est agressée, malgré sa couche de latérite dont elle a bénéficié pour sa surface de roulement.

Sur les routes surcreusées de Koubola-Bissinza (P3) et de Koubola-Kibossi (P4), les situations sont semblables. Bien que le nombre de poids lourds soient inférieur à 10 véhicules, il domine néanmoins le trafic sur ces deux pistes, du fait que les berlines ne s’y hasardent pas. Le total des 4X4 et des poids lourds ordinaires donne 4 véhicules à forte charge pour la première et 5 pour la deuxième.

Quant à la piste sableuse de Sadelmie-Loumou-Nguidi (P5), deux sections ont attiré notre attention en matière de différence de trafic : la section Sadelmie-Case Barnier (T5/SEC 1) où le nombre de berline atteint 50 véhicules. Cela justifie le caractère bitumé de la section et la proximité avec Brazzaville. Le total des 4X4 et des poids lourds ordinaires qui est estimé à 30 véhicules, n’atteint pas celui des berlines.

Cette section n'est pas trop agressée, mais elle n'est pas entretenue. Par contre la partie Case-Barnier-Ntoba-Ilélé – Loumou et Nguidi est dans presque la même situation que P3 et P4. Les véhicules poids lourds ordinaires (5) dominent les 4X4 (2) et les berlines (1). Bien que les nombres soient faibles, mais la somme des poids lourds ordinaires et les 4X4 estimés à 7 dominant le trafic. La route est bel et bien agressée.

Au regard de ces résultats, on peut conclure que du point de vue type de véhicule, les automobiles lourds à fortes charges dominent le trafic sur 4 pistes et l'une des sections de la piste Sadelmie-Loumou- Nguidi, sur les 5 pistes étudiées. La majorité des pistes est agressée par le poids des véhicules. Mais cette agressivité ne se limite pas aux types de véhicules, le TMJ, le TMM et le TMA jouent un rôle important dans cette problématique. La figure 49 montre les tendances en pourcentage, des TMJ, TMM et TMA sur les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

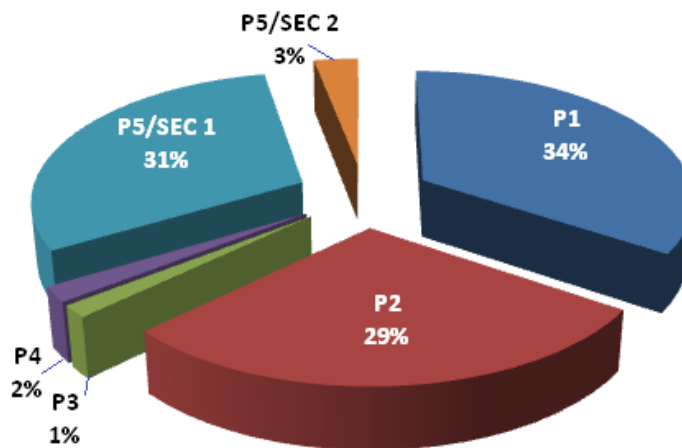


Figure 49 : Taux combiné des TMJ, TMM et TMA dans la zone d'étude

Ce diagramme circulaire des TMJ, TMM et TMA a été combiné parce que les taux sont cumulatifs, du fait que sur chaque piste, le TMJ cumule en TMM et ce dernier cumule en TMA, d'où le pourcentage du TMJ est le même que sur le TMM et le TMA. Ces résultats permettent de faire quatre constats majeurs.

Sur la P1, le nombre de véhicules utilisant cette piste au départ du parking du marché Total à Brazzaville est de 20 bus de marque *Hiace* et le nombre de véhicule de toute catégorie sans parking est de 70 par jour. Ce qui fait que le TMJ sur cette route est de 90 véhicules toutes catégories confondues, dépassant ainsi 50V/J justifiant ainsi un TMJ très fort. Ce TMJ bien que moins régulier, influe sur le TMM estimé à près de 2 700 véhicules par mois, ce qui fait un total de 32 400 véhicules par année.

Le trafic moyen annuel est très fort, il représente 34,35% sur 100 % du trafic des routes étudiées. Avec un nombre élevé des poids lourds dominant le trafic (figure 50), cette piste est très agressive et les multiples ravinelements *in situ* témoignent de sa vulnérabilité élevée à l'érosion hydrique par rapport à d'autres pistes.

Sur la P2, la situation est proche de l'axe de Linzolo du point de vue type de véhicules. La différence se situe au niveau des NMV/P, dont le nombre moyen est de 10 véhicules au parking de l'Amitié du marché Total de Brazzaville et des NMV/HP estimé à 65 véhicules. A cet effet, le TMJ est égal à 75V/J, ce qui est supérieur à 50V/J, justifiant ainsi un trafic journalier fort. En un mois, nous avons dénombré en moyenne 2 250 véhicules (TMM) ce qui équivaut à 27 000 véhicules par année (TMA), soit 28,63% sur 100% du TMA des pistes étudiées. Cette situation justifie la pression du trafic exercé sur cette piste latéritique.

Les P3 et P4 ont presque la même situation. Leur NMV/P est nul du fait qu'il n'y a pas de parking de départ. Mais le NMV/HP est de 4 pour la première avec un TMJ de 4 véhicules largement inférieur à 50V/J et de 5 pour la deuxième, soit un TMJ de 5 également inférieur à 50V/J. Ces valeurs justifient la faiblesse du trafic sur ces deux pistes. Le TMM sur l'axe Koubola-Bissinza est de 120 véhicules et le TMA de 1 440, soit 1,53% sur 100% du TMA sur toutes les pistes étudiées. Quant à la piste Koubola-Kibossi, son TMM est de 150 véhicules, ce qui équivaut à un TMA de 1 800 véhicules soit 1,91% du TMA total sur les pistes étudiées. La présence des surcreusements comme uniques ravinelements dominant ces pistes, justifie la dominance du trafic des poids lourds qui la rend sensible à ces formes d'érosion causées par des ornières.

La P5, a deux sections distinctes comme annoncé plus haut. La première bitumée, bien qu'en cours de dégradation, concerne Sadelmie jusqu'à la case Barnier et la deuxième est la piste en terre de la Case Barnier jusqu'à Nguidi, en passant par Ntoba ilélé et Loumou. La première section a un parking de 10 véhicules journalier (NMV/P) et est empruntée par près de 70 véhicules hors parking (NMV/HP). Le TMJ a été estimé à 80 véhicules dépassant largement les 50V/J, ce qui explique un très fort trafic. Le TMM de cette section est estimé à 2 400 véhicules, équivalent à un TMA de 28 800 véhicules, soit 30,53% sur 100% du trafic général dominé par les poids lourds. Cette situation est à la base de sa fragilisation face au processus de dégradation de sa surface de roulement par les nids-de-poule, les faïençages et la perte des matériaux.

Quant à la section Case Barnier-Loumou- Nguidi, la plus longue des routes étudiées dans la zone, son TMJ est de 8 véhicules, soit un NMV/P nul. Ce qui signifie que les 8 véhicules concernent le NMV/HP d'environ 8 véhicules. La valeur du TMJ est très faible par rapport à 50V/J. Cela explique un trafic très faible sur cette section. Chaque mois 240 véhicules empruntent cette piste sablonneuse et 2 880 véhicules annuels, soit 3,05% sur 100% du trafic total. Cette situation influe sur la sensibilité de ladite section de la piste qui s'exprime par la prolifération des ornières sur cette piste. Ces dernières évoluent pour le moment en rigoles linéaires, le long des traces de pneus.

Le constat fait à partir de ces résultats, est que près des $\frac{3}{4}$ des pistes étudiées ont un TMJ dépassant largement le seuil de 50V/J et qu'en général la zone sud est plus agressée par rapport à la zone nord. Le trafic dans la zone sud est dominé par les poids lourds, incluant les 4X4 qui transportent de fortes charges de marchandises. Quant aux véhicules berlines, ils ne sont pas assez nombreux à braver ces routes impraticables saisonnièrement.

En dehors de tous ces facteurs anthropiques qui ont un impact direct sur la fragilisation des pistes face aux multiples dégradations par l'érosion hydrique, il y a le problème d'occupation du sol qui est également un facteur humain important, dans la mesure où elle influe de façon indirecte sur la dégradation des pistes en milieu rural.

5.2.6. Reprise de la croissance démographique et occupation du sol

L'anthropisation du milieu naturel, marquée par l'occupation humaine de l'espace et par les multiples activités quotidiennes de l'homme (agriculture, élevage, transport, etc.) est aujourd'hui l'un des facteurs de la dégradation de l'environnement y compris celle qui concerne les routes dans le monde. Plus la population s'accroît, plus les activités quotidiennes sont dynamiques. Ces activités influent sur la fragilité des routes.

En effet, entre 1997 et 2002, la zone d'étude pourtant proche de Brazzaville était quasiment vidée de ses populations en nombre et par km² à cause des conflits armés. Le retour timide des populations réfugiées à Brazzaville a repris entre 2003 et 2004, période de la fin des conflits armés dans le Pool. Mais, une fois de plus ce retour a eu un frein à cause du climat d'insécurité dans la région et de la dégradation des infrastructures de base, notamment les centres de santé, les écoles et les routes. Il fallait attendre encore un afflux des populations dans la zone, entre 2006-2007, période du début de réhabilitation du tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala).

La réhabilitation de cette route qui traverse la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sur près de 19,17km entre Nganga Loungolo et le village Mboukou, a pris fin en 2009. Pendant la période des travaux, il y a eu un retour timide des populations. Ce retour a été accentué par le programme de la « *municipalisation accélérée* » du Pool, qui a permis la modernisation de Kinkala (chef lieu du Pool) et la construction d'autres infrastructures de base dans les 13 Sous-Préfectures du Pool. Cette reprise de la croissance démographique, bien qu'inégalement répartie, dans la zone d'étude dépend largement de celle du Pool (tableau 38, figure 50).

Tableau 38 : Croissance démographique du département du Pool entre 2007 et 2015

Année	Population totale	Superficie (km ²)	Densité (hab./km ²)
2007	236 595	33 955	7,00
2010	244 888		7,21
2013	253 059		7,45
2015	272950		8,04

Source : Mbemba, 2014



Figure 50 : Croissance de la population du département du Pool de 2007 à 2015

Plus la population du Pool croît, celle de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé croît systématiquement. Déjà en 2007, avec le dernier RGPH au Congo, Goma tsé-tsé était la 5^{ème} Sous-Préfecture en terme d'effectif des populations sur les 13 que compte le Pool, avec 15.615 habitants, soit 7.586 hommes et 8.028 femmes et 11,05 habitants/km², derrière Mindouli (53.584 habitants) ; Kinkala (34.608 habitants) ; Ngabé (30.091 habitants) ; Igné (29.290 habitants) et Kindamba (17.295 habitants). Cela signifie que la zone est très habitée.

Mais cette croissance a entraîné des effets négatifs sur l'occupation du sol. L'occupation du sol évolue lorsque les populations en pleine croissance, ont des besoins supplémentaires de consommation dans le département du Pool (R.D. Mbemba, 2014, p 21).

Le processus d'érosion est étroitement lié au mode d'occupation du sol, qui contribue largement à son aggravation ou à son atténuation (P. Dumas, 2010, p 571). Ce paramètre d'ordre anthropique qui détermine le degré de protection des sols est influencé par le couvert végétal, un facteur efficace de protection des sols.

En milieu rural ou forestier, les espaces couverts sont entrecoupés par le réseau routier. Lorsque ces espaces sont attaqués et dégradés par l'homme, les pistes rurales ou forestières sont également affectées indirectement. Etant donné que les sols desdits espaces deviennent, selon E. Gimeno-Garcia, V. Andreu Pérez, J.L. Rubio, 2007, p 157, très sensibles à l'érosion hydrique, en particulier lorsque la période de dégradation de la végétation coïncide avec la saison pluvieuse, les formes d'érosion générées par les ruissellements dans ces espaces attaquent les pistes par régression.

De même les conséquences de l'érosion ravinante ou fine qui se manifestent dans les zones dégradées ou vouées aux activités agricoles, peuvent influencer la sensibilité des pistes, notamment le transport par les ruissellements des quantités importantes de sable et parfois par des coulées boueuses sur la chaussée. Certaines pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sont confrontées à cette situation. Dans cette zone rurale, 4 sous-facteurs d'occupation des sols ont été observés et analysés: *la dégradation de la couverture végétale, la création des sentiers agricoles, les pratiques agricoles et la fabrication du charbon de bois*

- **Dégradation de la couverture végétale**

La couverture végétale formée des savanes et des forêts, comme décrit plus haut, subit une pression accrue de l'homme à travers plusieurs actions. Il s'agit entre autres : du désherbage, de la déforestation manuelle et des feux de brousse.

- **Désherbages et déforestation manuelle et érosion des pistes**

Ces pratiques concernent les savanes hautes et basses des flancs et sommets des collines, ainsi que des versants des vallées souvent proches des pistes, mais également le reste des forêts ombrophiles dans les bas-fonds de vallées.

Ce sont des opérations qui ont pour but de libérer de l'espace pour diverses activités. Plus le besoin d'espace pour les activités agricoles croît, plus l'érosion hydrique est forte.

A cet effet, plusieurs auteurs accusent la croissance démographique comme étant l'un des facteurs de la dégradation de la couverture végétale.

C'est pourquoi A.S. Mather, 1991 in T.E. Olagunju, 2015, p 11; M. Colchester & L. Lohmann, 1993, p 15, M. Cropper & C. Griffiths, 1994, p 253 ; K. Ehrhardt-Martinez, 1998, p 575 et S. Sands, 2005, p 1, ont déclaré que « *le rôle de la population dans la déforestation est une question litigieuse* ». Dans cet ordre d'idée, S. Chakravarty & G. Shukla, 2012, p 12, soutient que « *l'impact de la densité de la population sur la déforestation a fait l'objet de controverses* ».

Selon les agences internationales telles que la FAO et d'autres organismes intergouvernementaux, la pauvreté et la surpopulation sont les principales causes de la perte des forêts. Ces organisations estiment généralement qu'elles peuvent résoudre le problème en encourageant le développement et en tentant de réduire la croissance démographique. Cela est justifiable partout dans le monde. Les forêts disparaissent à un rythme accéléré, exposant de jour en jour le monde aux effets des changements climatiques. La communauté internationale s'active, dans la préservation des forêts, au cours des récentes conférences internationales sur le changement climatique dite COP21 organisée à Paris en France et COP22 organisée au Maroc.

La République du Congo située dans l'un des plus grands bassins forestiers du monde, dit : Bassin du Congo, est confronté à cet épineux problème. Malgré les règlements des Nations Unies et les codes de protection des forêts du Ministère des eaux et forêts et de l'environnement, la destruction silencieuse de la couverture végétale continue pour divers besoins des populations. Dans la zone d'étude, pourtant proche de Brazzaville (17 km), la pression des populations locales sur les bosquets croît avec divers besoins, notamment : Le bois de chauffe, qui permet aux populations de se réchauffer pendant la saison sèche où les températures sont très fraîches en milieu rural, mais également de cuisiner les repas quotidiens (Photo 105, planche n°37) et le bois de construction des cases. Dans la zone d'étude, bien que les constructions modernes influencent de plus en plus l'habitat, les types d'habitation traditionnelle ont encore de beaux jours devant eux. Ces habitations purement traditionnelles ou semi-traditionnelles avec des toitures en triangle ou inclinées dans un seul sens, nécessitent une bonne quantité de bois, car elles sont construites avec une armature en bois, renforcé par le matériau argileux (Photo 106, planche n°37), le bois pour la fabrication du charbon de bois (Photos 107, 108 et 109, Planche n°37). Le charbon de bois est très prisé à Brazzaville, d'où la forte demande remarquée ces dernières années. Ici également, une grande quantité de bois est utilisée pour la fabrication de cette denrée qui remplace les cuisinières à gaz ou électriques à Brazzaville.



Photo 105 : Stockage du bois de chauffe, avant son utilisation et/ou sa vente ;

Photo 106 : Case en armature de bois. © Idriss M'bouka Milandou, 2014

Photos 107 ; 108 et 109 : Fabrication du charbon de bois ; emballage ; vente et transport vers Brazzaville.
© InfoCongo.org / 2014

La pratique de fabrication du bois de chauffe détruit également les éléments minéraux et organiques des sols, d'où son appauvrissement. Cette agressivité du couvert végétal fragilise les unités topographiques très accidentées de la zone (vallées et collines). C'est effectivement sur ces zones sensibles que les pistes ont été aménagées en terrasse, en pente de colline et de vallée et en sommet de colline (interfluve). Les risques d'érosion par ravinement sont très élevés. Le risque d'érosion augmente si le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal.

- **Feux de brousse et érosion des pistes**

Les feux de brousse sont souvent allumés pour des besoins d'acquisition rapide des espaces voués à l'agriculture et de la chasse aux gibiers, une technique héritée des peuples Tékés.

P. Ratpatron 1993, p, 21, qui a étudié l'érosion dans les savanes incluses du Mayombe en avait constaté que ces feux parcourent les savanes une, deux ou trois fois par an pendant la saison sèche et la petite saison sèche.

Sur la base des données disponibles sur 118 pays représentant 65% de la superficie forestière mondiale, une moyenne de 19,8 millions d'hectares, soit 1% de toutes les forêts, a été signalée comme étant sensiblement affectée chaque année par les feux de forêt (Anonyme 2010, in S. Chakravarty&G. Shukla, 2012, p 8).

Pour L. Sitou &B.A. Mayima, 2011,p 195qui ont réalisé des travaux sur l'érosion fine dans les plantations d'Eucalyptus sur la plaine côtière, les feux de brousse, volontaires ou accidentels détruisent, chaque année, plusieurs milliers de mètres carrés de savanes et de plantations d'Eucalyptus dans le Kouilou. Ils retardent la régénération des arbres, abîment les touffes d'herbes, diminuent sur leur passage l'activité biologique des microorganismes.

Cela a été constaté dans les deux plateaux dominant la zone d'étude. La différence est que dans le plateau de Mbé, sur lequel la piste Sadelmi-Loumou- Nguidi a été tracée, ces feux sont directement allumés et sont très fréquents. Cela est dû à la dominance de la végétation par des savanes basses et moins des lambeaux de forêts dégradées.

Par contre dans le plateau des cataractes qui concentre près des $\frac{3}{4}$ des pistes importantes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, les populations coupent d'abord les arbustes et pratiquent l'abattage des arbres avant de brûler les savanes (Photo 110) et les forêts touffues des bas-fonds de vallée.



Photo 110 : Savane basse brûlée vers Kibossi
©Idriss M'bouka Milandou, 2015

Sur cette image prise vers Kibossi, on constate qu'après avoir décimé la savane, la fréquence des espaces vides est importante. Ce qui peut favoriser un ruissellement diffus ou concentré en suivant l'inclinaison de la pente. L'érosion de cet espace est imminente, surtout lorsque les pluies sont importantes et fréquentes, d'autant plus que la matière organique en surface est détruite par le feu. Etant donné que cet espace est à proximité de la route de Kibossi, cette dernière ne sera pas épargnée des formes d'érosion qui seront générées.

Mais en dehors des besoins d'acquisition rapide des terres pour la plantation du manioc, des ignames, des arachides et des légumes, etc., les populations allument les feux pour des besoins de chasse. Cette pratique héritée des peuples Tékés, permet de cerner et capturer les gibiers morts ou vifs (Sibissi, rats comestibles, etc.). C'est la même technique utilisée dans le Mayombe où selon P. Ratpatron, 1993, p 21, ces feux découvrent le gibier tout en permettant une repousse de l'herbe qui l'attire. Selon le même auteur, certaines raisons évoquées souvent par les populations rurales ou forestières sur les feux de brousse, sont profondément ancrées dans les traditions culturelles et d'autres par contre ont pour but de faciliter les déplacements en zone rurale, car les feux dégagent les multiples sentiers qui permettent d'accéder aux plantations, aux territoires de chasse et aux autres villages. Mais quelque soit les besoins quotidiens de l'homme, ces pratiques ont des conséquences graves sur l'environnement et la sensibilité des pistes que les populations locales minimisent.

Pour ce qui est de notre problématique de la sensibilité des pistes plusieurs auteurs ont traité cette problématique liée non seulement à l'érosion des espaces brûlés et dénudés, mais également sur les pistes. Sur ce fait, R. Fauck, 1963, p 27, a insisté que le feu de brousse qui est un fait classique en Afrique, provoque l'accélération des phénomènes érosifs. Plusieurs conférences ont été organisées en Afrique sur la question pour régler ce problème, dans l'atténuation des effets dévastateurs du phénomène, à l'exemple de la conférence forestière interafricaine, à Abidjan en 1963, dans la perspective de mesures de sauvegarde partielle et de feux contrôlés. Rien n'est vraiment appliqué au Congo pour arrêter cette pratique.

Selon R. Boulet & al., 1983, P. Geny & al., 1992, cité par P. Ratpatron, 1993, p 21, les effets de l'érosion hydrique qui résulte de telles pratiques sont connus, ils limitent l'avancée de la forêt par l'attaque des lisières sans toutefois la bloquer (J. Koechlin, 1961 ; H. De Foresta, 1990, cité par P. Ratpatron, 1993, p 21) ; appauvrissent la composition floristique ; dénudent le sol, minéralisent brutalement les matières végétales produites ; diminuent le taux de matière organique du sol, la compaction et l'érodibilité des sols augmentent (E. Roose, 1980, p 241).

L. Sitou & B.A. Mayima, 2011, p 205, évoquent même l'exposition des sols dénudés par les feux, à l'agressivité climatique, en ces termes « *les feux de forêts et de savane non seulement détruisent le couvert végétal protecteur du sol mais aussi modifient sa structure et sa texture, les exposant, de ce fait, à l'agressivité du climat* ».

D'autres auteurs apprécient pourtant cette pratique, tels que R. Repetto, 1988 et R. Rowe, N.P. Sharma, J. Bowder, 1992, cités par S. Chakravarty & G. Shukla, 2012, p 8 et pensent que « *Les feux sont un outil majeur utilisé pour défricher la forêt pour une agriculture permanente et pour le développement des pâturages. Le feu est un bon, serviteur, mais il a un pauvre maître. Le feu utilisé de façon responsable peut être un outil précieux dans l'aménagement agricole et forestier, mais s'il est utilisé de façon abusive, il peut être une cause importante de déforestation* ».

Mais l'ensemble de ces actions a pour conséquence, la dégradation de la structure des horizons superficiels, ce qui augmente les risques d'érosion et de ruissellement, en particulier sur les fortes pentes où le couvert végétal est réduit et discontinu, ce qui est à l'origine des microreliefs caractérisant les versants (X..D. Van Caillie, 1989-90, p 198).

De même, le constat est que sur les sites brûlés, les ruissellements sont plus importants, car ces feux modifient la structure des sols en surface en réduisant leur taux d'aération, jouant par conséquent positivement sur les ruissellements au détriment des infiltrations.

Ils réduisent aussi le taux de recouvrement du sol en surface et les exposent de facto au splash, responsable direct de l'érosion pluviale et indirect de la formation de la croûte de battance, un autre facteur du ruissellement (L. Sitou & B.A. Mayima, 2011, p 208).

Dans ces conditions, sur les pistes traversant les zones d'interfluves, les flancs de collines et les versants de vallées, le risque des ravinements de type regressifs, causé par les ruissellements abondants, comme ceux de Linzolo qui remontent les versants et les pentes de collines puis coupent ou rétrécissent les pistes à Goma tsé-tsé est très élevé.

Les cartes de 1975 ; de 1995 et de 2015, avec des intervalles de 20 ans, montrent bien l'évolution de l'occupation du sol et de la dégradation de la couverture végétale, caractérisée par les savanes basses et clairsemées, ainsi que les forêts et les savanes boisées (Figures 51, 52 et 53).

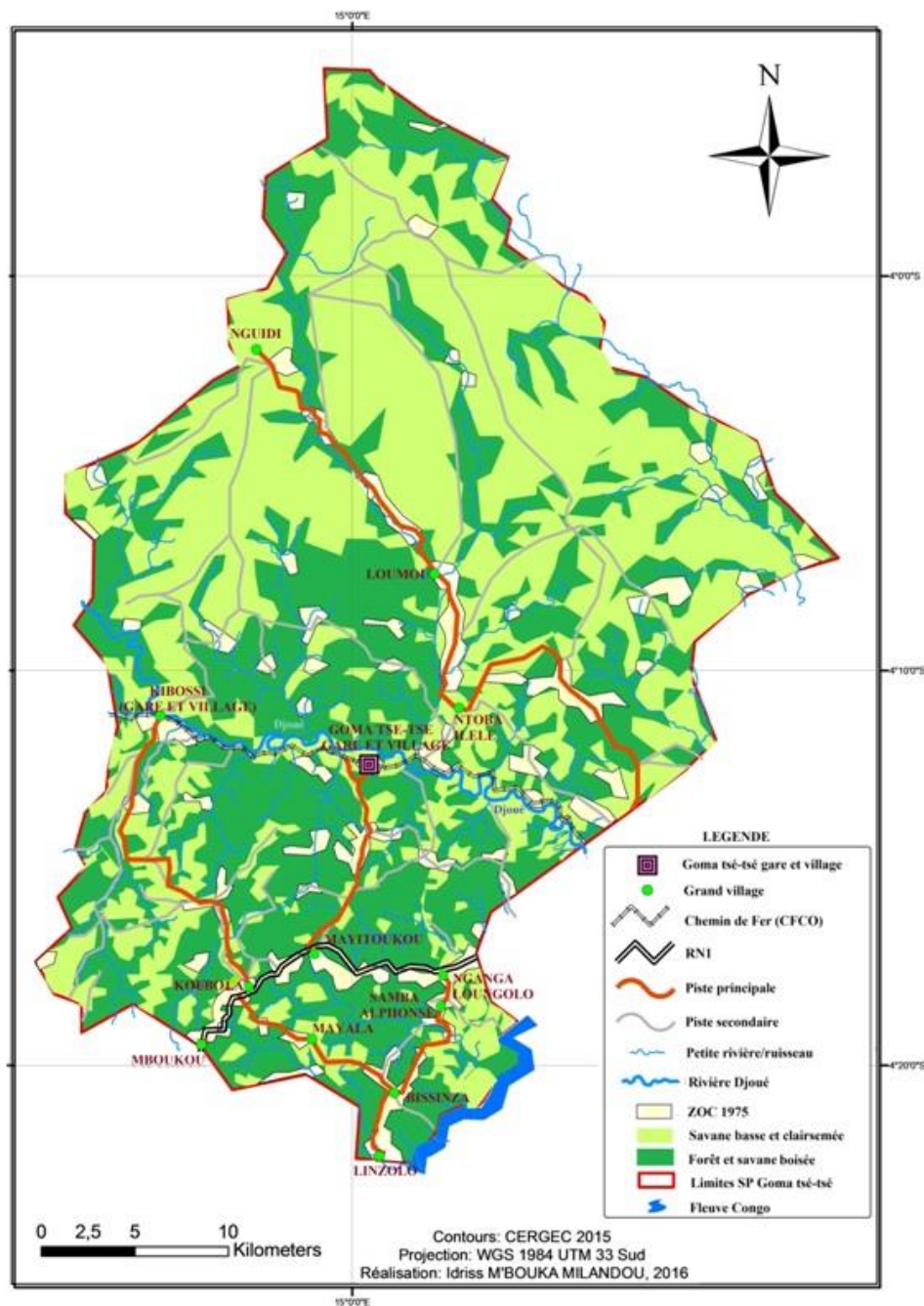


Figure 51 : Occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 1975

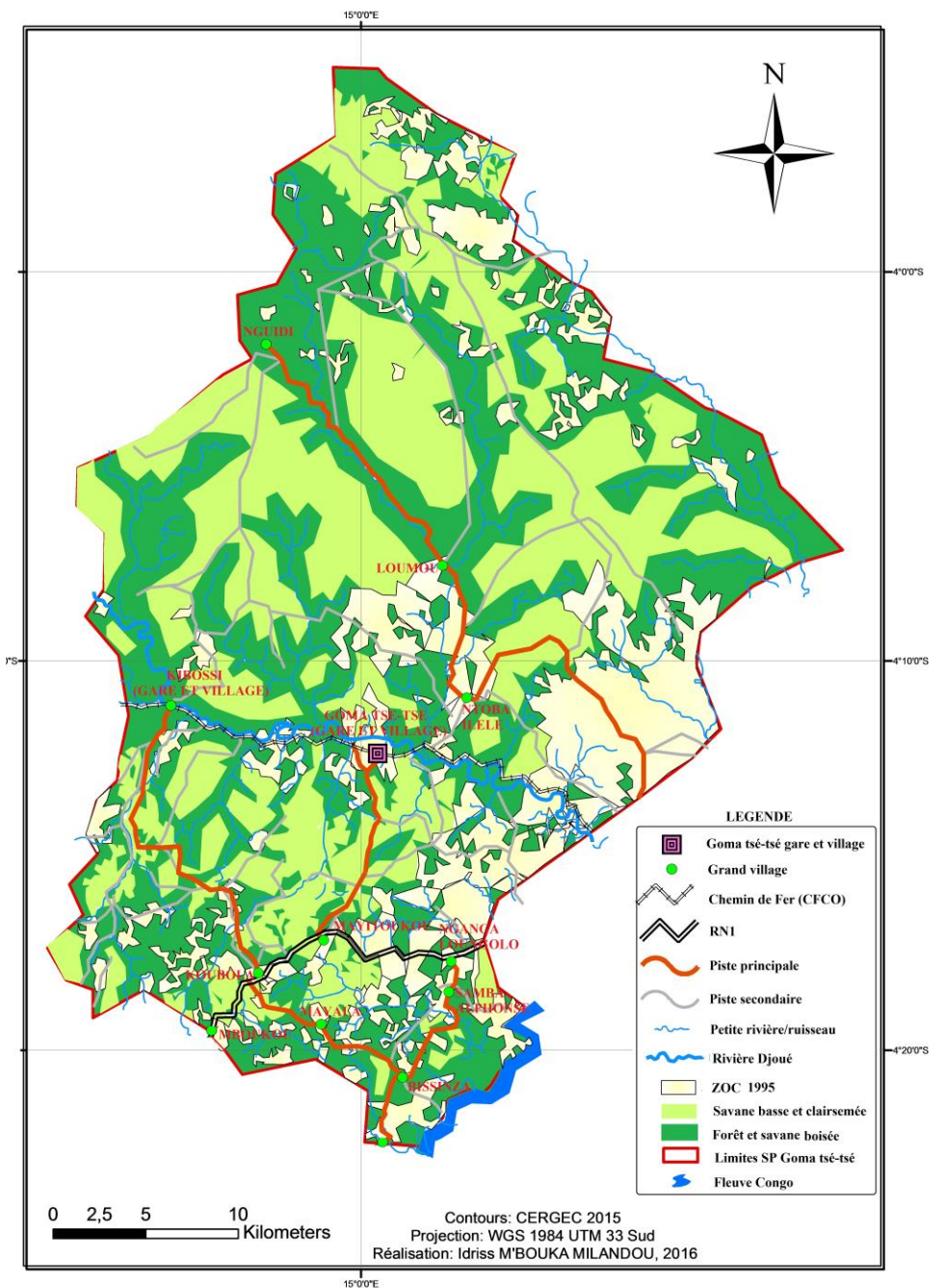


Figure 52 : Occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 1995

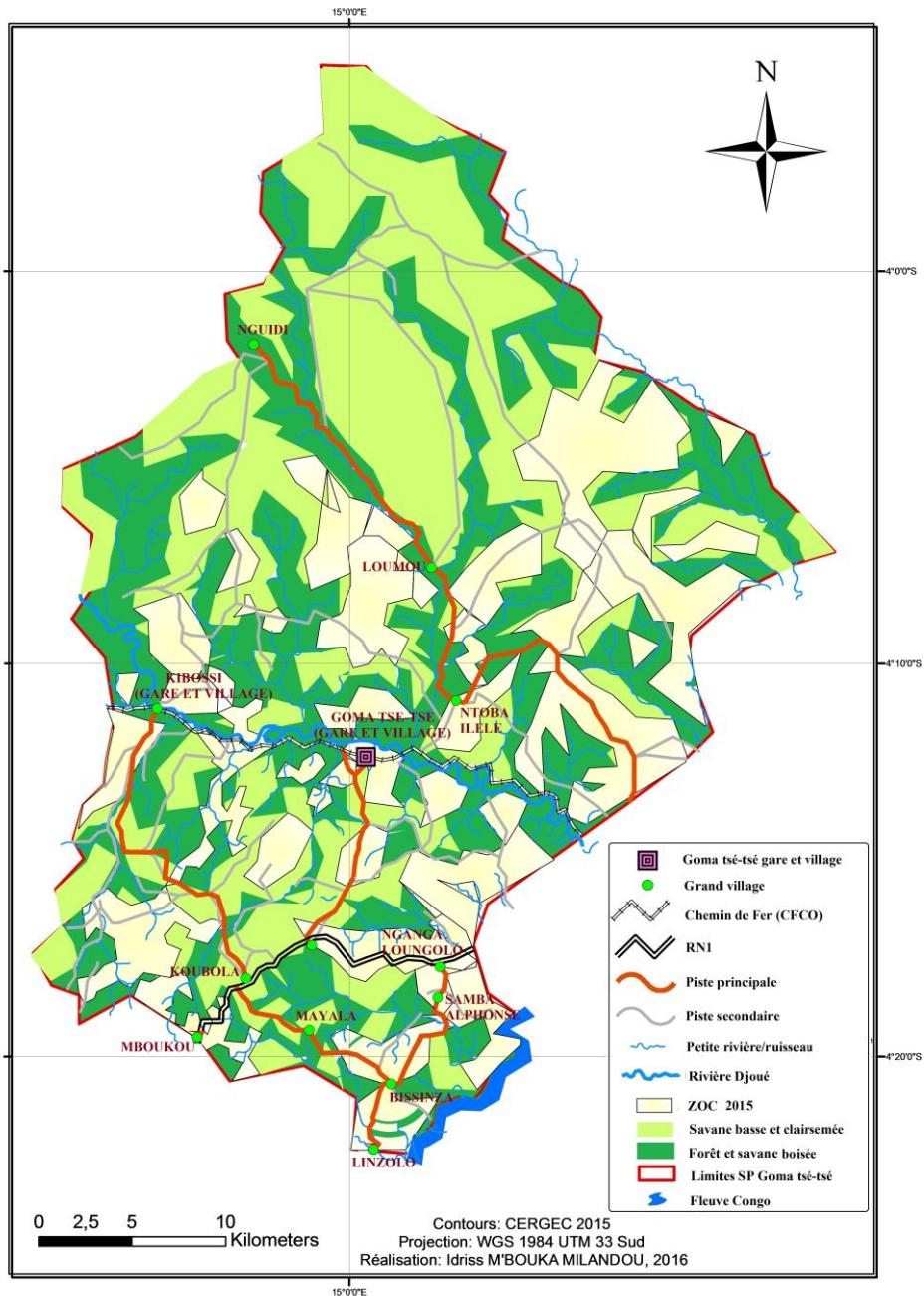


Figure 53 : Occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 2015

Les superficies des zones occupées (ZOC) par l'homme, des savanes basses et clairsemées (SBC) et des forêts et savanes boisées (FSB) sont classifiées dans le tableau 39.

Tableau 39 : Superficies des aires occupées par l'homme et la couverture végétale

Année	1975			1995			2015			
	Superficie	ha	km ²	%	ha	km ²	%	ha	km ²	%
Type d'occupation	ZOC	10 803	108,03	7,65	30 368	303,68	21,51	42 789	427,89	30,30
	SBC	67 101	671,01	47,52	49 091	490,91	34,77	42 735	427,35	30,27
	FSB	63 296	632,96	44,83	61 741	617,41	43,73	55 676	556,76	39,43
Totaux		141 200	1412	100	141 200	1412	100	141 200	1412	100

Notes : ZOC : Zone occupée par l'homme et ses activités, SBC : Savane basse et clairsemée, FSB : Forêt et savane touffue

Les résultats obtenus à partir de la cartographie de l'évolution de l'occupation du sol à dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé (Figure 51, 52, 53 ; Tableau 33) montrent que :

- en 1975, la zone était faiblement occupée, soit 7,65% de la superficie totale de la zone d'étude. Les SBC et les FSB couvraient encore, respectivement, 47,52% et 44,83% (tableau 33, Figure 51). Cela montre qu'en dehors des grands villages tels que Linzolo, Bissinza, Samba Alphonse, Nganga Loungolo, Koubola, Kibossi, Loumou, etc., les activités d'exploitation des sols pour l'agriculture et la dégradation de la végétation, pour des besoins en bois de construction, de chauffe et de fabrication du charbon de bois, n'étaient pas fortes. La faible pression exercée sur l'occupation du sol est due à la faible démographie de la population locale dans les années 70 qui dépendait de la population du Pool estimée à moins de 200 000 habitants, soit moins de 7 hab./km². D'où une quasi stabilité de la couverture végétale (forêt et savane). Selon les témoignages recueillis sur place, il n'y avait pas des problèmes d'érosion, en dehors des cirques figés hérités certainement du Précambrien supérieur. Dans ces conditions, on peut également affirmer que la faible occupation du sol n'a pas, de façon indirecte, causé assez de problème d'érosion sur le réseau routier en général et les pistes en terre en particulier;
- en 1995 (Figure 52), 15 ans après, le taux du ZOC a atteint 21,51%, soit près de 3 fois par rapport au ZOC 1975. Il y a eu, à cet effet, croissance de la population, estimée déjà à près de 35 000 habitants en 1987 (RGPH 1983). Cette croissance démographique a largement influencé les besoins des populations en terre pour l'agriculture, mais également en bois pour le chauffage, la construction des cases et la fabrication du charbon de bois. C'est pourquoi, la SBC a reculé de 34,77% (49 091 ha) et la FSB de 43,73% (61 741 ha) par rapport au SBC (47,52%) et au FST (44,83%) de 1975 (figure 53, tableau 33), soit une régression d'environ 13% pour les SBC et près de 1,1% pour les FST.

Ici on comprend que les forêts étaient assez protégées par rapport aux savanes basses et clairsemées sur les pentes des vallées et des collines. La pression n'était pas si forte, d'où leur faible régression en termes d'hectares. Par rapport au témoignage recueillis, les problèmes d'érosion causés par les activités humaines, surtout sur le réseau routier n'étaient pas récurrents. On peut donc conclure que pendant cette période, les pistes en terre étaient également épargnées des problèmes d'érosion ;

- enfin en 2015 (Figure 53), 40 ans après 1975 et 20 ans après 1995, la zone occupée par les populations de la zone d'étude et leurs activités a atteint 30,30%, soit 42 789 ha (427,89 km²) de la superficie totale estimée à 141 200 ha, soit 1 412 km² (figure 54, tableau 33). Si l'on tient compte de l'intervalle de 40 ans, soit de 1975 et 2015, le taux d'occupation du sol a presque quadruplé, soit une augmentation de l'espace occupé à 22,65%. Par contre si l'on tient compte de l'intervalle de 20 ans, entre 1995 à 2015, ce taux a augmenté d'environ 9%. Cela signifie qu'en 40 ans il y a eu une forte pression sur les sols et le milieu naturel et en 20 ans elle a diminué à cause des différents conflits qui ont endeuillé la zone de 1998 à 2003. Cependant une augmentation de 9% de l'espace occupé n'est pas le fait du hasard, par rapport aux conflits armés évoqués ci-dessus. L'augmentation du ZOC pendant cette période, témoigne du retour bien que timide des populations dans le Pool en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier. Ce retour a été conditionné par le retour de la paix dans la zone, la réhabilitation de la nationale 1 (Brazzaville-Kinkala) et les travaux de la municipalisation accélérée du Pool en 2012.

Toutes ces conditions ont favorisé la forte demande des espaces d'agriculture et beaucoup plus la pression sur la couverture végétale, pour des besoins surtout en bois de chauffe et en fabrication du charbon de bois très prisé à Brazzaville. En effet, la SBC a régressé de 30,27%, soit moins de 5% environ par rapport au SBC de 1995 et la FSB de 39,43% à moins de 4,3% par rapport au FSB de 1995.

Plus l'espace est occupé, à travers l'exploitation des terres et de la couverture végétale, plus les routes en général et les pistes en terre en particulier, sont exposées aux problèmes de dégradation par l'érosion hydrique et ses conséquences induites (ensablement, borbier, coupure et rétrécissement de pistes, etc.). En plus, c'est pendant cette période que la crise de l'érosion a été effective. C'est ainsi que dès 2005, nous avons été intéressé à étudier ce phénomène sur la route de Linzolo, gravement affectée par les ravinelements, d'où une étude en maîtrise sur l'érosion à Linzolo et ses environs. La route de Linzolo n'est qu'une illustration de cette situation, d'autres pistes, même la nationale 1, ont été également affectées.

La tendance du taux d'évolution de l'occupation du sol et de la régression circonstancielle des taux des savanes basses et clairsemées (SBC) et des forêts (ombrophile) et des savanes boisées (FSB) a été illustrée par la figure 54.

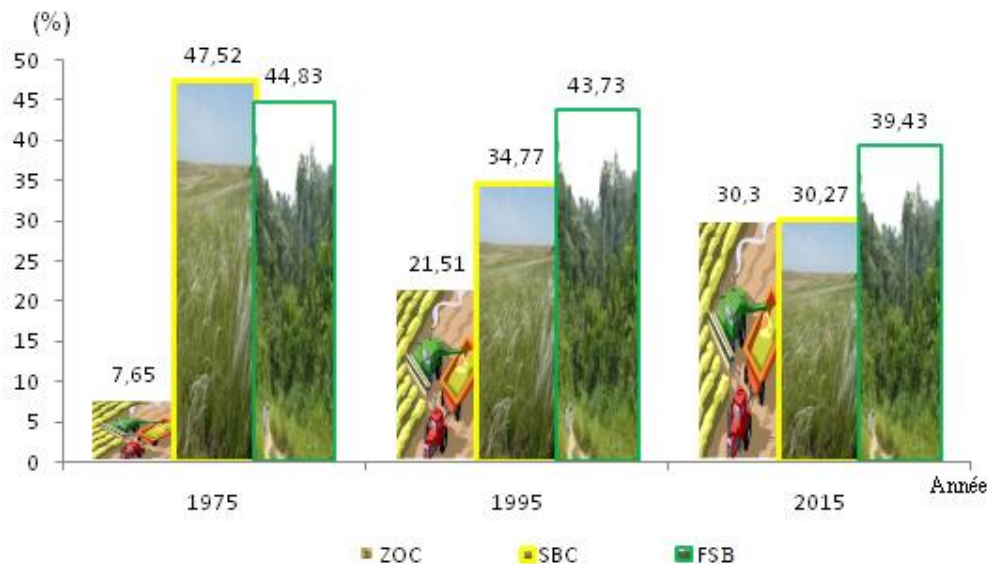


Figure 54 : Evolution de l'occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé de 1975 à 2015

Ce diagramme illustre bien que, de 1975 à 1995, plus l'occupation du sol croissait, plus la couverture végétale subissait une pression accrue. Entre 1995 et 2015, l'occupation du sol n'a cessé de croître atteignant 30,30% de la superficie occupée, soit une différence de 22,65% en 1975 et 9% en 1995. Cette figure illustre une autre réalité importante : la pression sur la FSB.

En 1975, le taux de couverture du sol par rapport au FSB, était d'environ 45%, il a diminué légèrement à 44% et a largement régressé à 39%. Cela montre que malgré la pression exercée sur les essences, les populations tentent, tant bien que mal de conserver les quelques bosquets le long des cours d'eau (Figure 54). Les zones de savane basse et clairsemée ont été les plus convoitées et détruites par le désherbage et les feux pour les besoins d'agriculture. Elles sont localisées sur quelques sommets de collines, sur les versants et les flancs des collines. Ce sont les espaces les plus prisés par les populations pour l'agriculture. Ici elles montrent une régression très conséquente en termes de taux de couverture, soit 44,83% soit 67 101 hectare en 1975 ; 34,77% soit 49 091 hectares en 1995 et enfin 30,27% soit 42 735 hectares en 2015.

Tous ces résultats et analyses, montrent que dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, l'homme en exerçant une forte pression sur le milieu naturel, à travers ses diverses activités qui dégradent les sols et la couverture végétale, augmentent ainsi l'érodibilité des espaces à l'érosion, qui affecte non seulement ces derniers, mais également les pistes en terre. Pourtant, la couverture végétale est le premier facteur de protection non pas seulement des sols, mais également des routes, surtout en terre.

La couverture végétale doit normalement être protégée pour épargner les pistes des ravinements régressifs, mais également protéger les populations face au réchauffement climatique. Sur ce point, N. Myers, 1994, p 1, avait déclaré que la déforestation est l'un des termes dans la lutte contre le réchauffement climatique, mais elle est avant tout, selon S.L. Barraclough & K.B. Ghimire, 2000, p 3, une préoccupation pour les pays des tropiques en développement, tels que le Congo, car les zones de rétrécissement des forêts tropicales entraînent, d'après Angelsen *& al.*, 1999 in S. Chakravarty & G. Shukla, 2012, p 3, une perte de biodiversité et une augmentation de l'effet de serre.

- **Multiplication des sentiers agricoles perpendiculaires aux pistes**

La multiplication des sentiers agricoles évoqués par P. Ratpatron, 1993, p 21, dans le Mayombe congolais, est aussi un problème récurrent dans la zone d'étude. Ces sentiers d'accès aux champs de plantation, aux zones de chasse ou à d'autres villages hors des pistes sont souvent perpendiculaires aux routes principales. Ils ne suivent pas les courbes de niveau sur les versants et les flancs de colline. Cette situation est responsable de beaucoup de problèmes d'érosion régressive. Pendant les saisons pluvieuses, les sentiers se transforment en gouttières naturelles. Ils évacuent de façon concentrée les eaux qui échappent à l'infiltration surfacique des pistes.

Le manque de canalisation et la compaction desdits sentiers par les passages répétés des populations, favorisent ces ruissellements qui finissent par atteindre les bas-fonds des vallées ou les zones basses des collines. Le long de leur parcours sur les pentes qui atteignent parfois 25%, les ruissellements creusent les sentiers. La situation s'aggrave souvent au bas des collines ou dans les bas-fonds des vallées où se termine l'écoulement.

Le processus d'érosion par des rigoles débute à cet effet dans ces espaces et est accentué par le volume et la fréquence des pluies. Lorsque les rigoles évoluent en ravinement qui régressent vers le flanc ou le versant, la piste principale située sur la terrasse, en situation d'interfluve ou au sommet de colline, est directement menacée. Si elles ne la coupent pas, elles rétrécissent sa largeur. Plusieurs cas d'érosion régressive due à la création des sentiers ont été identifiés, notamment sur la piste de Linzolo et celle de Case-Barnier-Loumou-Nguidi.

Les espaces voués aux activités agricoles, pour lesquels les sentiers sont souvent créés, sont aussi responsables de façon indirecte, de la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

- **Pratiques agricoles non encadrées**

Après désherbage et destruction des forêts ombrophiles et mésophiles avec du matériel rudimentaire cité plus haut et par le feu, les espaces en situation de pente de vallées et de collines dénudées sont voués aux labours. Les pratiques agricoles non contrôlées de l'homme exposent ces espaces à l'érosion hydrique. Ces pratiques rendent plus érodibles les sols à l'érosion en situation de pente de collines et des vallées, pourtant assez résistants de par leur nature et leur capacité hydrique (I.A.W. M'bouka Milandou, L. Sitou & M.J. Samba Kimbata, 2016, p 362). Cette érodibilité expose indirectement les pistes de la zone.

J. Ritter, 2015, p 575, dans ses travaux en Ontario, au Canada, sur l'érosion du sol : causes et effets, a soutenu dans le même sens bien que plus détaillée, que « *L'érosion hydrique est influencée par les opérations culturales, notamment par la profondeur de travail du sol ; le sens dans lequel celui-ci se fait, le moment des labours, le type d'instruments aratoires et le nombre de passages. Généralement, moins le travail du sol perturbe la végétation ou la couche de résidus en surface ou près de la surface, moins le travail du sol engendre d'érosion hydrique. Le travail réduit du sol et le semis direct sont des moyens efficaces de limiter ce type d'érosion* »

Au regard de ces analyses, deux sous-facteurs jugés comme étant les causes indirectes de la dégradation des pistes, ont été décelés, il s'agit : de la période de vulnérabilité des sols et des pratiques agronomiques ou culturales.

• **Période de vulnérabilité des sols**

Loin des pratiques agricoles spécifiques à chaque département du Congo ou du monde, il est connu qu'il y a, selon J.M. Masson, 1972, p 675, des périodes où le sol est très vulnérable, d'autres au contraire où il est bien protégé. Ces périodes peuvent coïncider ou non avec la saison où se produisent habituellement les pluies les plus agressives.

Dans la zone d'étude c'est la période pluvieuse allant de septembre à mai à. Pendant cette période, les populations ne pratiquent pas assez l'agriculture, car les sillons peuvent être emportés par les eaux.

Pour J.M. Masson, 1972, p 675, ce problème de résistance, en matière d'agriculture, dépend des états de surface du sol, qui se succèdent au rythme des saisons et des travaux agricoles.

Pour cela il a distingué 5 périodes culturales de sensibilité différente : la période de labours grossiers exécutés avant toute culture, la période correspondant à la préparation de la terre pour le semis et au semis proprement dit, la période d'établissement de la végétation, la période de végétation et la période qui s'étend de la récolte au labour grossier.

Pendant ces périodes, les sols ne sont pas au repos, ils sont soit dénudés ou remaniés. Lorsque les pluies arrivent, avec leur agressivité, les sols, malgré leur résistance assez appréciable à l'érosion, ne supportent plus l'effet splash et les décapages dus aux ruissèlements tant diffus que concentrés. A défaut de formation des rigoles sur les champs, les eaux chargées des sédiments et d'autres détritux végétaux sont évacuées soit vers les bas-fonds des vallées ou les pieds de collines, soit vers les pistes. Dans ces deux cas, s'il y a une piste dans un périmètre proche, elle en subit les conséquences. Lorsque les eaux évacuées des espaces de cultures atteignent la route, elles ont tendance à ruisseler de façon concentrée sur les espaces bordiers de ladite infrastructure. A défaut de consistance du matériel remanié de la surface de roulement et par manque de système de drainage, ces eaux creusent des rigoles linéaires et évoluent en ravinement longitudinal.

Certains ravinements évoluent d'abord longitudinalement puis deviennent transversaux à la piste. D'autres par contre, comme les ravinements de Linzolo, qui se forment dans les champs attaquent d'abord la piste de façon perpendiculaire par l'érosion régressive et ensuite elles deviennent longitudinales (I.A.W. M'bouka Milandou, L. Sitou & M.J. Samba Kimbata, 2016, p 362).

Les conséquences sont connues : le rétrécissement ou la coupure des pistes. Les périodes culturales évoquées s'appuient sur quelques pratiques agronomiques pour exposer les sols de façon directe à l'érosion et de façon indirecte à la dégradation des pistes rurales.

- **Pratiques agronomiques ou culturales**

La problématique de l'influence des pratiques agronomiques spéciales sur l'érosion a fait l'objet de plusieurs travaux dans le monde. Pour certains auteurs comme J.M. Masson, 1972, p 676, la sensibilité à l'érosion d'une culture dépend aussi du type d'instrument utilisé pour ameublir le sol.

Ce dernier avait désigné deux types d'instruments : les instruments habituels de culture qui retournent la terre et les instruments de culture sans retournement, qui ameublissent le sol en laissant en surface les débris de la récolte précédente.

Lors de ces études dans la zone à climat méditerranéen, il avait testé les deux travaux liés à chaque type d'instruments et avait constaté que le travail sans retournement diminue l'érosion et favorise l'infiltration. Ainsi il avait conclu que l'utilisation d'instruments de culture sans retournement à la place des appareils classiques double la protection apportée au sol pendant les périodes les plus vulnérables des assolements.

Or il a été constaté que dans la zone d'étude, ce sont beaucoup plus les instruments de retournement de sol qui sont utilisés, notamment les houes, les bèches et même les râtaux et les pèles, qui sont responsables des cas d'érosion qui remontent par régression sur les pistes. Ces pratiques sont aggravées lorsqu'elles ne respectent pas les courbes de niveau et le sens des pentes fortes. Cette situation favorise l'érosion hydrique en offrant des voies d'écoulement aux eaux de ruissellement (J. Ritter, 2015, p 578,). Ces voies d'écoulement débouchent souvent vers les pistes principales et parfois les sentiers agricoles compactés, les dégâts sont connus (érosion régressive et dépôts des sédiments).

Face à ces cas de sensibilité des sols cultivés, J. Ritter, 2015, p 580, ajoute que les ravinements régressifs peuvent être causés par les opérations culturales liées à la profondeur de travail du sol, le sens dans lequel celui-ci se fait, le moment des labours, le type d'instruments aratoires et le nombre de passages. C'est pourquoi dans la zone d'étude, les versants et les flancs de colline sont intensément exploités ou labourés, sans tenir compte des techniques de culture selon les courbes de niveau et de culture en bandes, qui selon J. Ritter, 2015, p 581, si elles sont pratiquées, peuvent réduire l'érosion.

Etant donné que les populations n'ont pas assez de connaissance sur le travail du sol à contre-pente et les techniques de labour suivant les courbes de niveau, qui peuvent aider à bloquer ou limiter la concentration des eaux de ruissellement et la perte en sols, les formes d'érosion surtout régressive à la piste vont toutefois entraver la durée de vie des pistes, même si ces dernières sont bien aménagées.

L'influence plus indirecte, que directe des facteurs anthropiques sur la fragilisation des pistes ou l'aggravation des processus d'érosion ne suffit pas pour expliquer de manière descriptive les facteurs explicatifs de l'érosion des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

L'analyse et/ou la détermination des facteurs naturels, à partir des variables ou des indices s'imposent, car ces derniers sont responsables du déclenchement des processus d'érosion et de l'évolution des différentes formes mineures en ravinement et ses conséquences induites.

5.3. Facteurs naturels de la dégradation des pistes en terre dans la zone d'étude

Les facteurs naturels ou physiques sont responsables de la genèse, de l'amplification et de l'évolution ou de l'aggravation de l'érosion des routes rurales.

Dans notre contexte, la sensibilité des sols; l'agressivité climatique et les caractéristiques des pentes de la zone d'étude sont les principaux facteurs de cette érosion.

L'état de la dégradation des pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé et les conséquences induites, montrent que les causes et les facteurs naturels ciblés dans cette étude, se rapprochent de ceux évoqués par d'autres chercheurs, surtout anglo-saxons, qui ont travaillé sur les mêmes problématiques.

C'est pourquoi l'analyse desdits facteurs passent par la détermination et l'appréciation: de l'indice d'érodibilité (K) des sols par secteur routier à partir de leurs caractéristiques physiques et hydriques, de l'indice d'érosivité des pluies (R) et des caractéristiques des pentes et du facteur topographique (LS), pour évaluer les risques d'érosion potentielle des pistes sur un relief accidentée.

L'évaluation des indices cités ci-dessus, n'a pas pour objet de calculer l'érosion dans toute la zone d'étude, car notre matériel d'étude est la piste et non toute la zone d'étude englobant les villages, les plantations, etc.).

Ces indices ont donc plutôt permis de confirmer le rôle des facteurs naturels sur cette érosion et d'évaluer en même temps la vulnérabilité des pistes face à ce phénomène qui sème la désolation des populations locales dans leur vie et activités socio-économiques quotidiennes.

5.3.1. Erodibilité des sols par secteur de piste de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

La sensibilité à l'érosion (érodibilité) d'un sol est souvent quantifiée sur la base du facteur K de l'équation de RUSLE, dont la texture et la teneur en matière organique (MO) sont les plus importants. De même la stabilité structurale du sol en dépend (K. Gillijns, G. Govers, J. Poesson & al., 2005, p 8). Les sols regroupés par secteur routier ont fait l'objet de détermination de cette variable si importante qui influence l'érosion des pistes en terre.

Le facteur K a été déterminé à partir de : la texture des sols ; la teneur en MO, la structure et la perméabilité des sols. La zone d'étude est dominée par des sols ferrallitiques fortement désaturés, avec une texture sablo-argileuse et sableuse issue des sables Batékés.

D'autres types de sols comme les sols hydromorphes et organiques, ainsi que les podzols ou sols podzoliques sont moins étendus dans la zone, ce qui fait que les pistes étudiées en terre, traversent beaucoup plus les sols ferrallitiques et moins les sols hydromorphes ou podzoliques.

Les résultats obtenus, à l'issue des analyses granulométriques, de la détermination des MO et des opérations d'infiltrométrie, reflètent en réalité les caractéristiques physiques et hydriques des sols ferrallitiques fortement désaturés.

- **Texture et nature des sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé**

La texture et la nature des différents sols des secteurs routiers ont été obtenues à travers l'analyse des 10 échantillons de sols au laboratoire.

Les résultats obtenus sont classés dans 3 tableaux relatifs à trois premiers secteurs routiers, notamment : le secteur 1 (SEC1) qui couvre la sortie sud du village Bissinza en passant par Saint Isidore et le marché de Linzolo jusqu'au pont de la rivière Linzolo qui fait office de limites administratives avec la Sous-Préfecture de Mbandza-Ndounga, le secteur 2 (SEC2) couvre les sections Samba - Alphonse – Mabenga – Touboula – Massissia et l'entrée du village Bissinza, ainsi que l'axe Koubola-Bissinza, enfin le secteur 3 (SEC3) de Koubola-Kibossi couvrant également Mayitoukou-Goma tsé-tsé.

Pour le secteur 4 (SEC4) situé dans la partie nord de la zone d'étude, couvrant l'axe Sadelmie-Loumou-Nguidi, les données déjà traitées sont celles de B. Denis, 1974, p 18 et D. Schwartz, 1986, p45. Ces chercheurs ont analysé les échantillons de sols du plateau de Mbé et de Brazzaville nord et ses environs.

Une comparaison a été faite entre les résultats obtenus par chacun d'eux dans le souci de cohérence avec les caractéristiques sableuses des sols observées sur place et connus par bon nombre de chercheurs tels que D. Louembe, 1978, cité par I.A.W. M'bouka Milandou, L.Sitou & M.J. Samba Kimbata, 2016, p 363 et L. Sitou, 2008, p 1.

Les résultats ainsi obtenus et détaillés ont permis également de déterminer la nature des sols à partir du triangle des textures USDA (R.B. Brown, 2003, p 1), pour chaque secteur routier circonscrit.

- **Texture et nature des sols du secteur 1 (SEC1)**

Le tableau 40 montre la texture moyenne détaillée du secteur 1 ainsi que la teneur en matière organique.

Tableau 40 : Texture et matière organique des sols du SEC1

SECTEUR ROUTIER	Identification Echantillon	Texture moyenne (%)					MO
		Sables		Limons		Argile	
SEC1		SF	SG	LF	LG	A	
	LINZ-15CM	47,3	52,5	1,5	2,1	1,1	1,2
	LINZ-50CM	20,1	30,2	2,4	5,2	35,2	2,1
	LINZ-1M	18,1	35,1	1,4	5,1	36,3	2,3
Moyennes spécifiques (%)		28,5	39,26	1,76	4,13	24,2	1,8
Totaux moyens (%)		67,76		5,89		24,2	1,8

Ces résultats prouvent que les sables représentent un total moyen de 67,76 %, avec 39,26 % de sables grossiers dominant 28,5 % de sables fins. Les limons représentent un taux moyen de 5,89 %, soit 4,13 % de limons grossiers et 1,76 % de limons fins. Quant aux argiles, elles représentent une moyenne de 24,2 %. Cette composition indique pourtant une stabilité structurale assez bonne devant permettre une certaine résistance à l'érosion.

La sensibilité des sols vis-à-vis de l'érosion peut être en partie liée à la faible teneur en matière organique qui est de 1,8 %, mais aussi et surtout à la mise à nu des terrains suite au désherbage et à la déforestation manuelle ou par le feu de la couverture végétale.

En plus, le taux élevé des sables grossiers estimé à 39,26 % indique le peu de cohésion desdits sols. La taille plus importante des particules des sables fait que les vitesses d'écoulement pour le détachement et le transport soit plus importante que pour les limons et le sable fin (<http://unt.unice.fr/>).

Cette texture confère au SEC1, un sol de nature sablo-argileuse. La vérification a été faite à travers le triangle des textures USDA (R.B. Brown, 2003, p 1).

Pour ce faire une réévaluation des moyennes texturales des sols obtenues par analyse granulométrique a été faite (Tableau 41).

Tableau 41: Pourcentage des valeurs texturales du SEC1 réévaluées

Texture	Sables (%)	Limons (%)	Argiles (%)	Totaux (%)
Moyennes des textures obtenues au laboratoire	67,76	5,89	24,2	97,85
Moyennes des textures réévaluées	69,25	6,01	24,73	99,99 ≈ 100

A partir des valeurs texturales des sols réévaluées, le triangle USDA a été réalisé. Cela a confirmé la nature exacte des sols du SEC1 (figure 55).

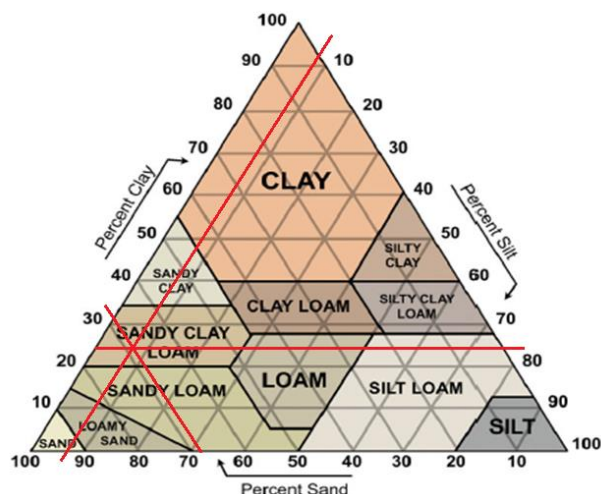


Figure 55 : Triangle des textures du SEC1

Source: <http://www.mrnice.nl/>

Sur ce diagramme, le point de jonction entre les traits du taux des sables (69,25 %) et des argiles (24,73 %) se situe dans la partie Sandy Clay Loam, qui signifie sablo-argileux terreux.

Les sables dominent les argiles. Le trait des limons ne vérifie que leur taux réévalué effectivement à 6,01 %. A partir des valeurs des sables grossiers et des argiles, nous avons évalué l'indice de porosité (IP) pour appuyer la nature sablo-argileuse des sols du SEC1 qui a normalement une mauvaise porosité (Tableau 42).

Tableau 42 : Indice de porosité du SEC1 par rapport à la texture des sols

SEC1	Moyenne des sables grossiers (%)	Moyenne des argiles (%)	IP
Bissinza (sortie village)- Saint Isidore- Linzolo (marché et pont)	39,26	24,2	IP = 1,6 < 3,

Etant donné que $IP < 3$, la porosité des sols du SEC1 est défavorable. Cela se justifie sans doute par le taux élevé des argiles qui influe sur l'infiltration des eaux.

En effet, l'argile dans le sol réduit le drainage vertical. Ce phénomène est tel que les particules d'argile au contact de l'eau gonflent et bouchent les pores.

- **Texture et nature des sols du secteur 2 (SEC2)**

La texture moyenne et détaillée des sols et le taux de MO du SEC 2 sont classés dans le tableau 43.

Tableau 43 : Texture et matière organique des sols du SEC2

SECTEUR ROUTIER	Identification Echantillon	Texture moyenne (%)					MO
		Sables		Limons		Argile	
		SF	SG	LF	LG	A	
SEC1	MAS-15CM	20,2	33,2	1,4	1,0	38,5	4,0
	MAS-50CM	16,2	32,6	3,7	4,3	39,9	1,9
	MAS-1M	17,2	36,1	4,2	3,1	41,8	1,0
Moyennes spécifiques (%)		17,87	33,97	3,1	2,8	40,06	2,3
Totaux moyens (%)		51,84		5,9		40,06	2,3

Les résultats montrent que le taux des sables est toujours élevé, soit 51,84 %, avec 33,97% de sables grossiers et 17,87 %. Ce qui explique déjà la nature sableuse desdits sols, mais avec un taux d'argile important de près de 40,06 % conférant ainsi une lourdeur dudit sol et une capacité de rétention d'eau importante. Les limons représentent un taux moyen de 5,9%, avec 3,1% de limons fins et de 2,8 % de limons grossiers. Le taux de matière organique est supérieur à celui du SEC1, soit 3,63%, mais elle est toujours faible, ce qui fragilise en général ces sols face à l'action de l'érosion. Les moyennes des sables, des limons et des argiles ont été réévaluées pour vérifier le caractère argileux des sols, avec un fort taux des sables (tableau 44, figure 56).

Tableau 44 : Réévaluation des valeurs moyennes des textures des sols du SEC2

Texture	Sables(%)	Limons(%)	Argiles(%)	Totaux(%)
Moyennes des textures obtenues au laboratoire	51,84	5,9	40,06	97,8
Moyennes des textures réévaluées	53,0	6,0	40,96	99,96 ≈ 100

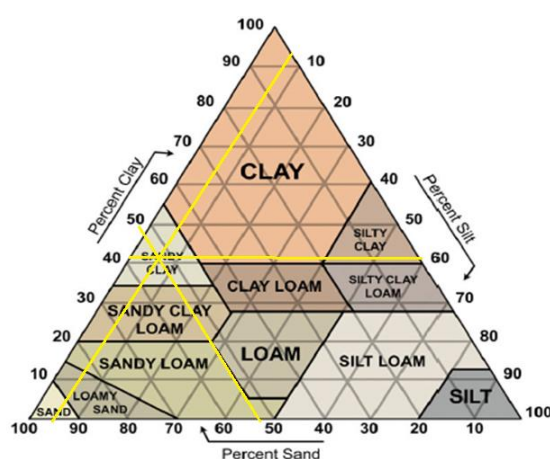


Figure 56 : Triangle des textures du SEC2

Source: <http://www.mrnice.nl/>

Etant donné que le point de rencontre des taux de sables, des argiles et des limons se situe dans la partie Sandy Clay du triangle (figure 56), on conclut que les sols du SEC2 sont à sablo-argileux avec un taux de sables de 51,84 %. Les argiles plus importantes que sur le SEC 1 représentent près de 40 %, ce qui confère à ces sols une structure assez massive.

Quant aux limons, ils représentent 5,9 % et sont proches du SEC 1. Ces sols n'ont pas aussi une porosité favorable. L'indice de porosité (IP) calculé donne une valeur inférieure à 3 (Tableau45).

Tableau 45 : Indice de porosité du SEC2 par rapport à la texture des sols

SEC.2	Moyenne des sables grossiers (%)	Moyenne des argiles (%)	IP
Samba Alphonse-Mabenga – Massissia – Bissinza (entrée village) - Mayala-Koubola	33,97	40,06	0,847<3

Etant donné que $IP < 1$, cela confirme le caractère défavorable de la porosité des sols du SEC2. Le taux d'argile est très important.

- **Texture et nature des sols du secteur 3 (SEC3)**

Les résultats obtenus à l'issue des analyses granulométriques et la détermination des MO des sols du SEC3 sont classés dans le tableau 46.

Tableau 46 : Texture et matière organique des sols du SEC3

SECTEUR ROUTIER	Identification échantillon	Texture moyenne (%)					MO
		Sables		Limon		Argile	
		SF	SG	LF	LG	A	
SEC3	KIB-MAY-50CM	25,0	28,5	5,1	2,9	35,0	1,1
	KIB-MAY -1M	24,7	25,9	8,2	7,5	30,9	2,0
	KIB-MAY -2M	28,4	38,1	4,2	2,3	24,0	2,1
	Moyennes spécifiques (%)	26,03	30,83	5,83	4,23	29,97	1,73
Totaux moyens (%)		56,86		10,06		29,97	1,73

Dans le SEC3, les sables représentent près 56,86 % et sont proches du taux des sables du secteur 2, avec 28,03 % de sables fins et 30,83 % de sables grossiers. Les limons ont un pourcentage plus élevé que dans les deux autres secteurs cités plus haut, soit 10,06 %, avec 5,83 % des limons fins et 4,23 % de limons grossiers. Quant aux argiles, elles représentent un taux de 29,97% et sont proches du taux du secteur 1. Cette texture prouve que ces sols sont sablo-argileux, avec un fort taux de limons. La MO estimée à 1,73 % est très faible, rendant ainsi vulnérable les sols à l'érosion. La confirmation de la nature desdits sols a été vérifiée à partir du triangle USDA, les taux moyens des sables, des limons et des argiles ont été réévalués selon la méthode préconisée par R.B. Brown, 2003, p 1 (tableau 47 et figure 57).

Tableau 47 : Réévaluation des valeurs des textures moyennes du SEC3

Texture	Sables(%)	Limon(%)	Argiles(%)	Totaux(%)
Moyennes des textures obtenues au laboratoire	56,86	10,06	29,97	96,89
Moyennes des textures réévaluées	58,69	10,38	30,93	100

Après réévaluation des taux des textures des sols, les sables représentent en moyenne 58,69 %, les limons 10,38 % et les argiles 30,93 %, ce qui fait au total 100% (figure 57).

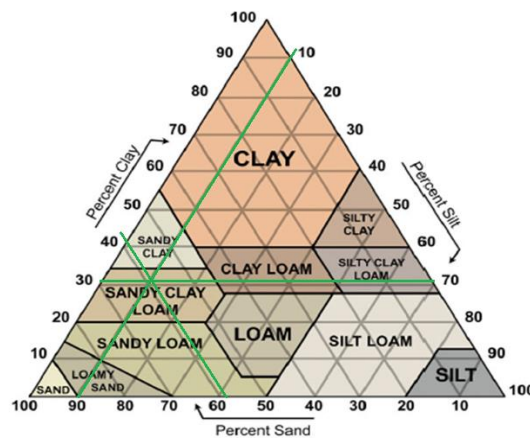


Figure 57 : Triangle des textures du SEC3
Source: <http://www.mrnice.nl/>

Sur ce diagramme, le point de jonction entre les traits du taux des sables (58,69 %) et des argiles (30,93 %) se situe dans la partie *Sandy Clay Loam*, qui signifie sablo- argileux terreuse. Les sables dominent les argiles. Le trait des limons ne vérifie que leur taux réévalué effectivement à 10,38 %. Cette caractéristique des sols du secteur 3 est identique au secteur 1. A partir des valeurs des sables grossiers et des argiles, nous avons évalué l'indice de porosité (IP) pour appuyer le résultat de la nature des sols obtenue dans ce secteur.

Tableau 48 : Indice de porosité du SEC3 par rapport à la texture des sols

SEC.3	Moyenne des sables grossiers (%)	Moyenne des argileux (%)	IP
Koubola-Kibossi et Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare	30,83	29,97	1,02 <3

L'IP est égale à 1,02. Cette valeur est inférieure à 3, ce qui explique une porosité défavorable des sols du SEC3 et confirme le caractère du sable argilo terreau dans ces sols, avec un fort taux de limons (10,38 %).

En effet, les résultats des secteurs 1 et 3 sont suffisamment cohérents avec ceux trouvés par D. Schwartz, 1986, p 46. Ce sont donc des sols ferrallitiques fortement désaturés, typiques, modaux sur matériaux d'altération des grès de l'Inkisi localisé le long du Djoué et en aval du Stanley Pool, entre la rive droite du fleuve Congo et le tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala). Le secteur 2 a un sol sablo-argileux avec un taux d'argile qui atteint 40 % à différents endroits.

Cette situation peut justifier la présence élevés des argiles en profondeur (100 cm), appuyant l'hypothèse de D. Schwartz, 1986, p 46, qui pense que si on s'enfonce à 100 cm (1 m) les taux d'argiles sont de plus en plus élevé à certains endroits et que face à cette situation, ces sols ferrallitiques sont beaucoup plus sablo-argileux selon les endroits et les profondeurs. Ces sols sont en général profonds, avec une structure nette et polyédrique (Tableau 49), dont les taux de MO sont relativement faibles, soit 2,3% pour le SEC1, 4,3 pour le SEC2 et 1,9 pour le SEC3.

Tableau 49 : Caractéristiques des sols ferrallitiques désaturés au sud de la zone d'étude

Hauteur (cm)	Horizons
0 - 100	- A3. 10YR 6/44 à matière organique non directement décelables et diffuse dans tout l'horizon. - Sablo-argileux à structure polyédrique moyenne et grossière nette associée à une structure massive à éclats anguleux. Quelques racines. Transition distincte, Régulière.
100 - 300	- B21. 7,5YR 6/6. Sablo-argileux et argilo-sableux, à structure polyédrique moyenne et grossière, nette. Pas de racine. Transition très nette, ondulée.
330 - 335	- B22u. avec 50% d'éléments grossiers, de 3 à 7 cm dans leur plus grande dimension: grès durs, galets arrondis, ferruginisés, galets rouge et quartzite.
335 - 380	- C1. 5YR 5/2. Sableux. Roche sédimentaire alternée dans la masse.

Source: B. Denis (1974) in D. Schwartz (1986)

Ces caractéristiques ne suffisent pas pour démontrer la similarité des résultats obtenus par nous et D. Schwartz, 1986, p 46.

Le tableau élaboré par B. Denis, 1974, p 18, renforce encore cette similarité de la texture, la teneur en MO, avec le complément des autres composants, tels que le pH de l'eau qui est très acide, avec une moyenne de 4,85 sur une profondeur de 1cm à 100 cm (1m) et une moyenne de 4,86 de 100 cm (1m) à 200 cm (2 m) (tableau 50).

Le complexe absorbant est désaturé, surtout en potassium, provenant des feldspaths, du grès et de quelques illites héritées qui subsistent dans le profil (D. Schwartz, 1986, p 45)

B. Denis, 1974, p 32, a décrit ces sols, jusqu'à montrer les éléments chimiques constitutifs desdits sols (bases échangeables et bases totales). La couleur rougeâtre des sols ferrallitiques fortement désaturés des SEC 1 ; 2 et 3, est due à la grande quantité de l'aluminium maintenue dans le profil, mais une fraction importante de la silice et la quasi-totalité des bases sont au contraire entraînés à l'état soluble hors du profil.

Tableau 50 : Taux des éléments de sols par rapport aux horizons et aux profondeurs selon Denis (1974)

Taux des éléments du sol en %	Horizons et profondeurs en cm				
	5 A3	100 B21	200 B21	300 B22U	350 C
Argile	27,4	38,6	41,2	38,7	4,0
Limon fin	20,0	2,9	1-9	4,2	10,0
Limon grossier	5,6	5,2	5,1	4,3	1,4
Sable fin	20,2	18,1	16,2	17,4	6,8
Sable grossier	30,5	32,7	33,5	33,2	77,0
C	16,6				
N	1,5				
C/N	11,2				
Matiere organique	2,9				
pH en eau	4,95				
Bases échangeables					
Ca++ (meq/100g)	0,32	0,08	0,08	0,08	
Mg++	0,09	0,02	0,02	0,02	
K+	0,04	0,02	0,02	0,02	
Na+	0,02	0,02	0,02	0,02	
S	0,47	0,14	0,12	0,13	
T	4,4	4,0	4,3	4,2	
S/T	10	4	3	3	
Bases totales					
Ca++ (meq/100g)	1	0,45	0,45	0,25	
Mg++	0,72	0,82- 3,64	0,77- 0,26	0,66	
K+	3,64	3,44- 0,26	3,28	2,79	
Na+	0,26	0,26	0,17	0,17	
S	5,62	4,97	4,67	3,87	
Fer total	6,8	7,6	6,6	6,8	
Fer libre	3,84	4,08	4,1	4,26	

- **Texture et nature des sols du secteur 4 (SEC4)**

La texture des sols situés sur l'axe Sadelmie-Loumou- Nguidi a été analysée à partir des données de P.M.J. Ngazzi, 2009, p 30 (Tableau 51) qui a travaillé au nord-est et à l'ouest de Brazzaville, dont les sols sont similaires à ceux de la partie nord de la zone d'étude,

Tableau 51 : Texture et matière organique des sols de Brazzaville nord et nord-ouest

Texture	Moyenne (%)	Totaux moyens (%)
Sables grossiers	8,87	99,85
Sables moyens et fins	90,98	
Limons et argiles	1,6	1,6
M0		0,43

Source : Ngazzi, 2009, modifié par nous

Ce tableau montre que les sables moyens et fins sont plus importants, soit 90,98 %, par contre les sables grossiers ont un taux de 8,87 %, d'où un taux moyen de 99,85 %. Le taux moyen combiné des limons et des argiles est de 1,6%. Quant aux MO, elles représentent un taux très faible estimé à 0,43%.

B. Denis, 1974, p 64 cité par D. Schwartz, 1986, p 48 qui a profondément travaillé sur les sols de Brazzaville et les sols ferrallitiques de Brazzaville à Kinkala a trouvé des résultats plus détaillés, consignés dans le tableau 52. Ces résultats ont une similarité avec ceux obtenus par P.M.J. Ngazzi, 2009, p 30 (Tableau 52).

Tableau 52 : Texture et matière organique des sols dans le plateau de Mbé

Texture	Profondeur des profils et taux des éléments (%)			Totaux moyens (%)	
	15cm	100 cm	180 cm		
SF	56,2	59,5	54,8	56,83	93,36
SG	38,9	32,8	37,9	36,53	
LF	0,01	1,5	0,2	0,57	2,37
LG	2,2	1,6	1,8	1,8	
A	0,01	0,8	1,9	0,90	0,90
MO	0,95	1,2	0,5	0,88	

Source : Denis (1974), tableau réduit par nous

Ici la moyenne totale des sables est estimée à 93,36 %. Elle est toujours forte et est proche de celle obtenue à partir des résultats de P.M.J. Ngazzi, 2009, p 30 soit 99,85%. Quant aux limons estimés à 2,37 % et les argiles à 0,90%, donnent une moyenne générale de la fraction fine estimée à 1,63%. Cette valeur est égale à celle trouvée par P.M.J. Ngazzi, 2009, p 30 (Tableau 51). Le taux de MO est inférieur à 1 estimée à 0,88%. P.M.J. Ngazzi, 2009, p 30 a trouvé également un taux en MO inférieur à 1%, soit 0,43%, qui est presque le double de 0,88%, mais la situation est tout de même similaire.

Cette faible teneur en MO justifie la mauvaise structure desdits sols et témoigne de leur vulnérabilité à l'érosion hydrique.

D'une manière globale, ces sols sont très sableux et fortement désaturés, psalmitiques jaunes, sur sables Batéké. Cela est confirmé par le triangle des textures de l'USDA (Figure 58), réalisé après la réévaluation des taux des sables, des limons et des argiles (Tableau 53).

Tableau 53 : Réévaluation des valeurs moyennes des textures du SEC4

Texture	Sables (%)	Limons (%)	Argiles (%)	Totaux (%)
Moyennes des textures obtenues au laboratoire	93,36	2,37	0,90	96,63
Moyennes des textures réévaluées	96,62	2,43	0,93	99,98 ≈ 100

Le point de jointure entre les trois segments représentant les taux des sables, des argiles et des limons se situe dans la partie *Sand* du triangle, qui signifie sables, d'où la confirmation de la nature très sableuse des sols de la partie nord de la zone d'étude (figure 58).

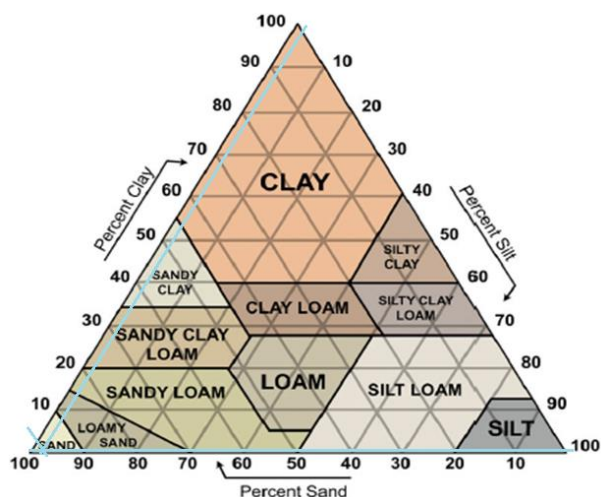


Figure 58 : Triangle des textures du SEC4

Source: <http://www.mrnice.nl/>

Étant donné que les sols sableux ont une porosité forte, nous avons vérifié l'indice de porosité IP évalué à partir des taux des sables grossiers et des argiles (tableau 54)

Tableau 54 : Indice de porosité du SEC4 par rapport à la texture des sols

SEC.4	Moyenne des sables grossiers (%)	Moyenne des argiles (%)	IP
Sadelmie-Case Barnier-Loumou- Nguidi	36,53	0,90	40,59

Le résultat montre qu'IP qui est égal à 40,59 est largement supérieur à 3, ce qui signifie que les sols de la partie nord de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sont très poreux. Cet indice confirme une fois de plus le caractère très sableux des sols-supports de la piste Sadelmie-Case Barnier-Loumou-Nguidi. La nature sableuse de ces sols a suscité plusieurs hypothèses du point de vue de leurs origines.

Certains auteurs pensent que la dominance des roches sédimentaires sableuses dans la zone, est responsable de ce type de sols. D'autres par contre pensent que ces sols dérivent de l'altération des grès polymorphes du Ba (P. Dadet, 1969, in I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 18). Cette hypothèse est soutenue par J. Cosson, 1955, p 1, A. Le Maréchal, 1966, p 8, D.Schwartz &D. Rambaud, 1983, p 24, qui pensent que l'analyse morphoscopique des sables montre que ces niveaux (Ba2) sont attribués aux limons sableux. Mais ces derniers étant également ferralitiques, se distinguent quelque peu des autres sols ferralitiques par leurs propriétés physico-chimiques et le développement de leurs profils (D. Schwartz, 1984 , p 48), malgré leur PH estimé à 5,6 qui est toujours acide (B. Denis, 1974, p 69). Les mêmes caractéristiques sableuses des sols ont été trouvées à Kinshasa en RDC (X.D. Van Cailli, 1990, p 7).

Ces sols sont très homogènes et présentent un rapport C/N de 7,4 à 14, un taux d'humification faible généralement inférieur à 10 % et un degré de saturation en eau de l'ordre de 20 à 30 % (R. Jamet, 1969, p 1).

En raison de leur texture sableuse et de la faible proportion de matières organiques (Laclau, 2001, in B.A. Mayima, 2015, p 51), ces sols sont peu cohérents, très sensibles à la battance ainsi qu'aux phénomènes de ravinement puisque la roche mère est le produit de l'altération (quartz, kaolinite et quelques micas résiduels). Par ailleurs, de nombreuses études de sols menées sous savanes reboisées de Pointe- Noire montrent que les propriétés physico-chimiques varient peu (R. Jamet, 1975, C. Malvos & J. Ranger, 1983, C. Trouve, 1992 et J.D. Nzila, 1996, cités par B.A. Mayima, 2015, p 51).

Les résultats de la texture et de la nature des sols des 4 secteurs ont permis de renforcer les observations de la structure desdits sols effectuées sur le terrain. Cette variable fait partie des indices qui contribuent à l'évaluation de la détermination de l'érodibilité des sols.

- **Structure des sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé**

La structure d'un sol est liée à sa texture. Elle représente le mode d'assemblage des agrégats du sol à un moment donné. A l'issue de l'analyse de la structure des sols, nous avons obtenus des résultats qui ont tenu compte de la classification des codes de structure de L. Bellon, 2009, p 14 appuyée par celle qui a été établie par l'ANPD, 2013, p2, qui met en relation la structure et la texture d'un sol. Cette dernière stipule que :

- les sols constitués d'éléments fins (argile et limons fins), présentent une structure forte. Au delà de 40% d'argile, le sol est lourd (structure massive, forte rétention de l'eau) ;
- les sols constitués d'éléments mixtes (limons, sables, 15 à 40% d'argiles), présentent une structure modérée ;
- les sols avec trop peu d'argile (moins de 15%), constitués de limons et/ou de sables (fins et grossiers), ont une faible cohésion, donc une faible stabilité structurale.

Au regard de cette classification et de liaison entre la structure et la texture, le tableau 55 illustrant les résultats a été élaboré, en tenant compte de la classification des codes de structure de L. Bellon, 2009, p 14.

Tableau 55 : Classe et code structural des sols par secteur de piste par rapport au taux d'argile dans le sol

Classe de structure	Code (b)	Taux d'argile (%)	Secteur	Nature des sols
Granulaire fine - modérée (Faible cohésion-faible stabilité structurale)	2	15 < 24,2 < 40	SEC1 et SEC3	Sablo-argileuse-terreuse
		15 < 29,97 < 40		
Granulaire fine – assez forte	1	15 < 40,06	SEC2	sablo-argileuse
Granulaire fine (Faible cohésion – faible stabilité structurale)	2	0,90 < 15	SEC4	Sableuse

Ce tableau dégage 2 classes structurales à savoir :

- la classe 1, équivalente au code b qui est égale à 1, caractérise une granularité très fine des sols qui concerne le SEC2, dont le taux d'argiles est légèrement élevé (40, 06%), malgré le taux de sables estimé à 51,84 %. Le code b est égal à 1. Elle concerne le SEC2 ;
- la classe 2, équivalente au code b qui est égale à 2, caractérise les sols à granularité fine, modérée qui concerne le SEC1, avec près de 25% d'argiles ; le SEC3 avec 31% d'argile en moyenne et le SEC4, avec un taux d'argiles largement inférieur à 15%.

Ces 2 classes montrent bien que la structure granulaire fine domine la partie sud de la zone d'étude, ce qui explique la faible cohésion des sols d'une manière générale. Or un sol à faible cohésion est vulnérable à l'érosion, les particules libres sont transportées facilement par les ruissellements. La partie nord est dominée par une structure granulaire fine, mais avec un taux d'argile très faible. Mais la texture, la teneur en MO et la structure des sols ne suffisent pas pour évaluer les indices d'érodibilité des sols (K), la détermination des coefficients de perméabilité (K) et de leurs codes (c) s'imposent.

- **Perméabilité des sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé**

8 parcelles naturelles ont fait l'objet d'expérimentation pour déterminer les coefficients de perméabilité des sols de la zone d'étude. Le tableau 56 montre des parcelles expérimentales d'infiltrométrie distantes par rapport à chaque piste, leurs coordonnées géographiques ainsi que le code de chaque site.

La perméabilité des sols de chaque parcelle expérimentale a été évaluée à travers le coefficient de perméabilité (K).

Cet indice caractérise la vitesse d'infiltration des eaux dans le sol et permet de déterminer la perméabilité des sols à l'eau. Plus un sol est imperméable ou a une imperméabilité modérée, les eaux de pluies ruissellent plus qu'elles ne s'infiltreront.

Tableau 56 : Parcelles expérimentales et codes des sites sur chaque piste

Piste	Parcelles expérimentales		Coordonnées géographiques	Code site
	PK (km)	DPE/Piste (m)		
P1	PK6 Saint-Isidore	3	4°24'11" S / 15°06'46" E	PK6P1
	PK4 Massissia	35	4°23'05" S/ 15°07'34" E	PK4P1
P2	PK4 (pas de village)	80	4,2956° S/15,09797° E	PK4P2
	PK5 (pas de village)	30,50	4,30258° S/15,09762° E	PK5P2
P3	PK1 Moumbouanissa	2	4°20'53" S/ 15°02'55" E	PK1P3
	PK8 Mayala	3	4°22'34" S/15°6'11" E	PK8P3
P4	PK7 (pas de village)	2	4°16'43" S/ 15°00'27" E	PK7P4
P5	PK13 Ntoba Ilélé	2,10	4°11'07" S/ 15°10'03" E	PK13P5

Notes : PK : Poste kilométrique, DPE/Piste: Distance de parcelle expérimentale par rapport au piste,

Les résultats de la perméabilité des sols, ont fait l'objet d'analyse à partir de la combinaison des tableaux de EPNAC, 2013, p9 et de W.J. Rawls, D.L. Brakensiek & K.E. Saxton, 1982, p 169ce qui a donné le tableau 57 composé des secteurs de pistes et de leurs codes, des moyennes des vitesses d'infiltration, du coefficient de perméabilité en m/s et convertie en mm/h, de la typologie des sols, de la classe et du code de perméabilité des sols.

Tableau 57 : Vitesse d'infiltration, coefficient de perméabilité, typologie des sols, classes et codes de perméabilité

SECTEUR	Code site	Moyenne des Vitesses d'infiltration en minute/seconde/tierce (min/s/t)	Coefficient de perméabilité (K)		Typologie des sols	Classe de perméabilité	Code (c)
			m/s	mm/h			
SEC1	PK6P1	9min 32s 58t	0,000006 (6.10 ⁻⁶)	11 < K < 36	Sol de perméabilité médiocre	Lente (mauvaise)	5
SEC2	PK4P1	16min 8s 73t	0,000003 (3.10 ⁻⁶)	4 < K < 11	Sol peu perméable	Très lente (nulle)	6
	PK1P3						
	PK8P3						
SEC3	PK7P4	13min 51s 52t	0,000004 (4.10 ⁻⁶)	11 < K < 36	Sol de perméabilité médiocre	Lente (mauvaise)	5
	PK4P2						
	PK5P2						
SEC4	PK13P5	2min 52s 07t	0,00002 (2.10 ⁻⁶)	K<180	Sol perméable	Rapide (très bonne)	1

La combinaison des deux tableaux (EPNAC, 2013, p 9et de W.J. Rawls, D.L. Brakensiek & K.E. Saxton, 1982, p 169) et les résultats obtenus au cours de nos expérimentations, prouvent à suffisance qu'il y a un lien entre le coefficient de perméabilité K et la nature des sols.

- dans les secteurs 1 et 3, les sols sablo-argileux ont effectivement une perméabilité médiocre, la perméabilité est donc lente et le code attribué à ces types de sols est de 5. Ces secteurs qui couvrent la section de la piste de Linzolo, à la sortie de Bissinza jusqu'à Linzolo en passant par Saint Isidore et le marché, a un indice de perméabilité situé à l'intervalle $11 < K < 36$.

Cette valeur confère au sol une perméabilité médiocre, à cause de la présence des argiles. Ces sols sont vulnérables à l'érosion, d'où la présence de plusieurs FDM et des FEE dans ce secteur.

- dans le secteur 2, les sols argileux sont peu perméables, leur perméabilité est très lente ou nulle, le code attribué à ces sols est de 6. Ce secteur couvre les sections Samba Alphonse – Mabenga – Touboula- Massissia et l'entrée de Bisinza sur la route de Linzolo, mais également la piste Bissinza-Koubola. L'indice K trouvé se situe à l'intervalle $4 < K < 11$, ce qui confère au sol une perméabilité très lente à cause d'un fort taux d'argile proche de 40%. Ces caractéristiques confirment une aptitude faible à l'infiltration. Toute cette zone est sensible à l'érosion hydrique, causée par les ruissellements concentrés. Le manque de maîtrise des ruissellements et les travaux maladroits des populations sur le remblaiement des FEE, et le remblaiement de la piste ainsi que la l'aménagement des impluviums par les sociétés de BTP font partie des causes de dégradation de ce secteur.
- le secteur 3 qui couvre les pistes Koubola-Kibossi et Mayitoukou Goma tsé-tsé, a les mêmes caractéristiques d'érodibilité que le secteur 2, du fait que $11 < K < 36$. La perméabilité des sols est médiocre.
- enfin dans le secteur 4, les sols sont sableux et perméables. Dans ce type de sol la perméabilité est très bonne (rapide), avec 1 comme code attribué aux sols sableux. $K < 180 \text{ mm/h}$ se situe à l'intervalle entre 144 et 360 mm/h selon P.M.J. Ngazzi, 2009, p 30 et vérifié par nous. Ce résultat est très proche de celui trouvé par D. Louembe & A. Tchicaya, 1993, cités par I.A.W. M'bouka Milandou, 2009, p 58) pour Brazzaville. Ils confirment le caractère très sableux de cette zone, dont les sables fins sont dominants et ont la capacité de retenir les eaux de pluie. L'infiltration des eaux de pluie est bonne. Dans ce secteur, en dehors d'un nombre inférieur de ravinelements observés et causés par l'homme, ce sont beaucoup plus les rigoles linéaires et les ornières qui dégradent la route.

Ces différents coefficients de perméabilité traduisent le comportement hydrique des sols, dès l'arrivée des premières pluies et même pendant des écarts importants de temps (jours), entre deux averses pendant la saison pluvieuse.

Selon l'EPNAC, 2013, p 9, un sol est considéré comme imperméable lorsque K est inférieur à 10^{-8} m/s ce qui correspond à 0,036 mm/h.

A l'inverse, au delà de 5.10^{-5} m/s ce qui correspond à 180 mm/h, le sol est considéré comme très perméable, son aptitude à l'infiltration est excellente alors que son aptitude au traitement supplémentaire risque d'être réduite au minimum.

En tenant compte de cette hypothèse, il a été constaté qu'au regard de ces résultats, on peut dire que la perméabilité des sols de la zone d'étude est modérée, elle varie d'un endroit à un autre, même sur un même axe routier.

De même cette perméabilité modérée est attestée par les codes de perméabilité de chaque type de sols qui varient entre 1 et 6. La figure 59 montre une parfaite relation entre K et lesdits codes.

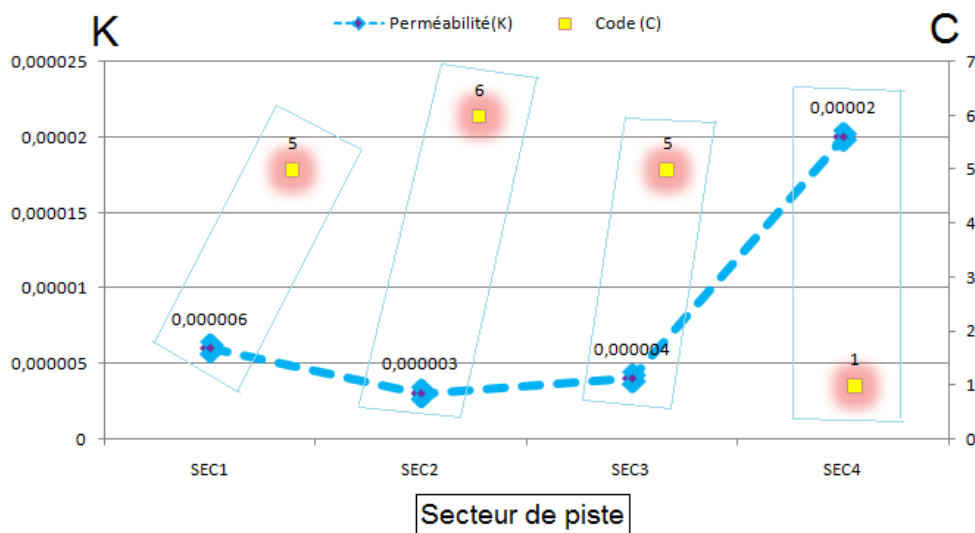


Figure 59 : Relation entre coefficient de perméabilité et les codes de perméabilité des sols

La nature à la fois sableuse et argileuse des sols influence l'infiltration. A défaut de s'infiltrer dans le sol, une bonne partie des eaux de pluies ruissellent.

Cette situation peut également s'expliquer, par la présence humaine, bien que faible et ses activités, dans certains espaces plus ou moins proches des pistes, notamment les villages, les espaces défrichés pour l'agriculture, les terrains de football, le désherbage, la déforestation et les feux de brousse.

Enfin, les 3 variables évaluées, notamment la texture, la teneur en MO, les classes de la structure et de la perméabilité des sols, ont permis d'estimer l'érodibilité des sols de chaque secteur routier à partir de l'indice d'érodibilité (K) : c'est l'objet du point suivant.

- **Indice d'érodibilité (K) des sols par secteur routier**

Plusieurs auteurs ont tenté de définir la notion d'érodibilité des sols, dans le but de l'évaluer afin de calculer l'érosion dans un espace donné. Parmi ces chercheurs on peut citer entre autres W.H. Wischmeier (1971), Romkens & *al.* (1973), EL-SwaiQ & Dangler (1976), Young & Mutchler (1977), citées par K.G Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies & *al.*, 1991, p 31 ; E. Roose & J.M. Sarrailh, 1990, p 7 et Y. Georges , 2008, p 10.

Tous ces auteurs s'accordent sur le fait que l'érodibilité d'un sol se traduit par la résistance inhérente au détachement et au transport des particules par l'eau. Certains ont muri l'idée selon laquelle, cet indice exprime la vulnérabilité du sol à être érodé par la pluie ou littéralement la vulnérabilité ou la susceptibilité des sols à l'érosion.

D'autres ont ajouté que l'érodibilité d'un sol, en tant que matériau plus ou moins cohérent, est sa résistance à deux sources d'énergie: d'une part, la battance des gouttes de pluie à la surface du sol et d'autre part, l'entaille du ruissellement entre les mottes, dans les griffes ou les rigoles.

Pour Y. Georges, 2008, p 10, dans l'analyse de cet indice, plusieurs paramètres sont pris en compte. Il s'agit notamment de la capacité d'infiltration, de la stabilité structurale, de la texture, de la teneur en matière organique. Elle n'est pas homogène dans l'espace et elle évolue dans le temps : elle augmente au cours de la saison des pluies et varie en fonction des caractéristiques des sols, de l'âge du défrichage et des techniques culturales.

Mais pour K.G Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies & *al.*, 1991, p 33, les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des sols ainsi que leurs interactions qui affectent les valeurs de K sont caractérisées par leur grande variabilité spatiale. Ajouté à celles-ci, chacun des mécanismes d'érosion agit sur une propriété spécifique du sol. Cet état de fait rend complexe le calcul des valeurs de K pour les différents types de sol.

De toutes les études menées sur ce facteur, la méthode synthétisée par le nomogramme de sol construit par W.H. Wischmeier, C.B. Johnson & B.V. Cross, 1971, p 190, est la plus utilisée et la plus citée K.G Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies & *al.*, 1991, p 31 Ce monogramme a été construit à partir de données collectées dans 55 types de sol à texture moyenne dans la moitié ouest des Etats-Unis. Elle est basée sur les pourcentages de sable (1 - 2 mm), de sable très fin (0.05 - 1 mm), de limon (0.002 - 0.05 mm), de matière organique, des classes de structure, et des classes de perméabilité.

Bien que ce nomogramme soit généralement approprié pour les types de sol des pays tempérés selon K.G Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies & al., 1991, p 32, mais son application pour d'autres types de sol, principalement les sols tropicaux d'origine volcanique, a eu des succès limités. C'est dans ce même ordre d'idée, que nous avons appliqué l'équation de régression de W.H. Wischmeier, C.B. Johnson & B.V. Cross, 1971, p 190 pour estimer la valeur de K, en ayant à notre possession les résultats de la texture, de la MO, de la structure et la perméabilité des sols. Ce principe a été développé par les mêmes auteurs, après plusieurs tentatives qui pour relier cet indice aux propriétés du sol, avaient proposé un nomogramme permettant d'évaluer cet indice avec une précision acceptable, au cours de leurs travaux sur 13 sols dans le Midwest américain.

Après avoir vérifié et/ou déterminé la texture des sols, la MO, les classes des structures et de la perméabilité des sols, nous avons appliqué ladite équation de régression qui nous a donné les résultats suivants, par secteur routier (Tableau 58).

Tableau 58 : Indice d'érodibilité (K) par secteur de piste

Secteur routier	M ^{1,14}	MO	b	C	K (t.ha.h/ha.MJ.mm)	Sensibilité des sols à l'érosion	Superficie	
							(ha)	%
SEC1	7840,71	1,8	2	5	0,10 <0,22 <0,25	Sols assez résistants à l'érosion	1 750	1,24
SEC2	3937,95	2,3	1	6	0,10 <0,12 <0,25		10 970	7,77
SEC3	7569,11	1,73	2	5	0,10 <0,21 <0,25		36 060	25,54
SEC4	19316,0	0,88	2	1	0,35 <0,40 <0,45	Sols assez sensibles à l'érosion	94 930	67,23

Ces résultats, nous ont permis de réaliser deux cartes d'érodibilité, montrant la résistance ou la sensibilité des sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, par superficie en kilomètre et en pourcentage occupé d'une part et la disposition du réseau routier en général et des pistes en terre étudiées en particulier (figures 60 et 61).

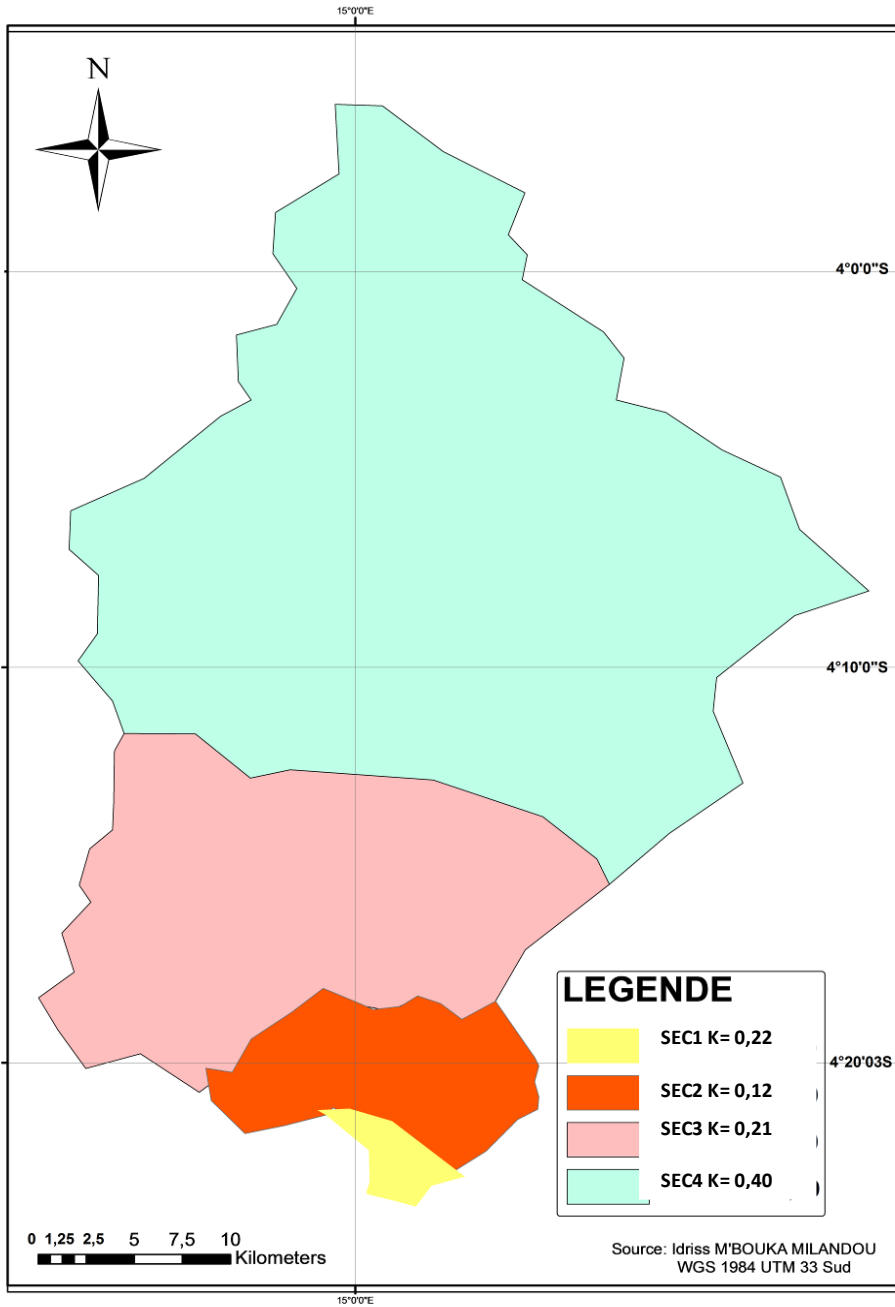


Figure 60 : Sectorisation de l'indice d'érodibilité (K) dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

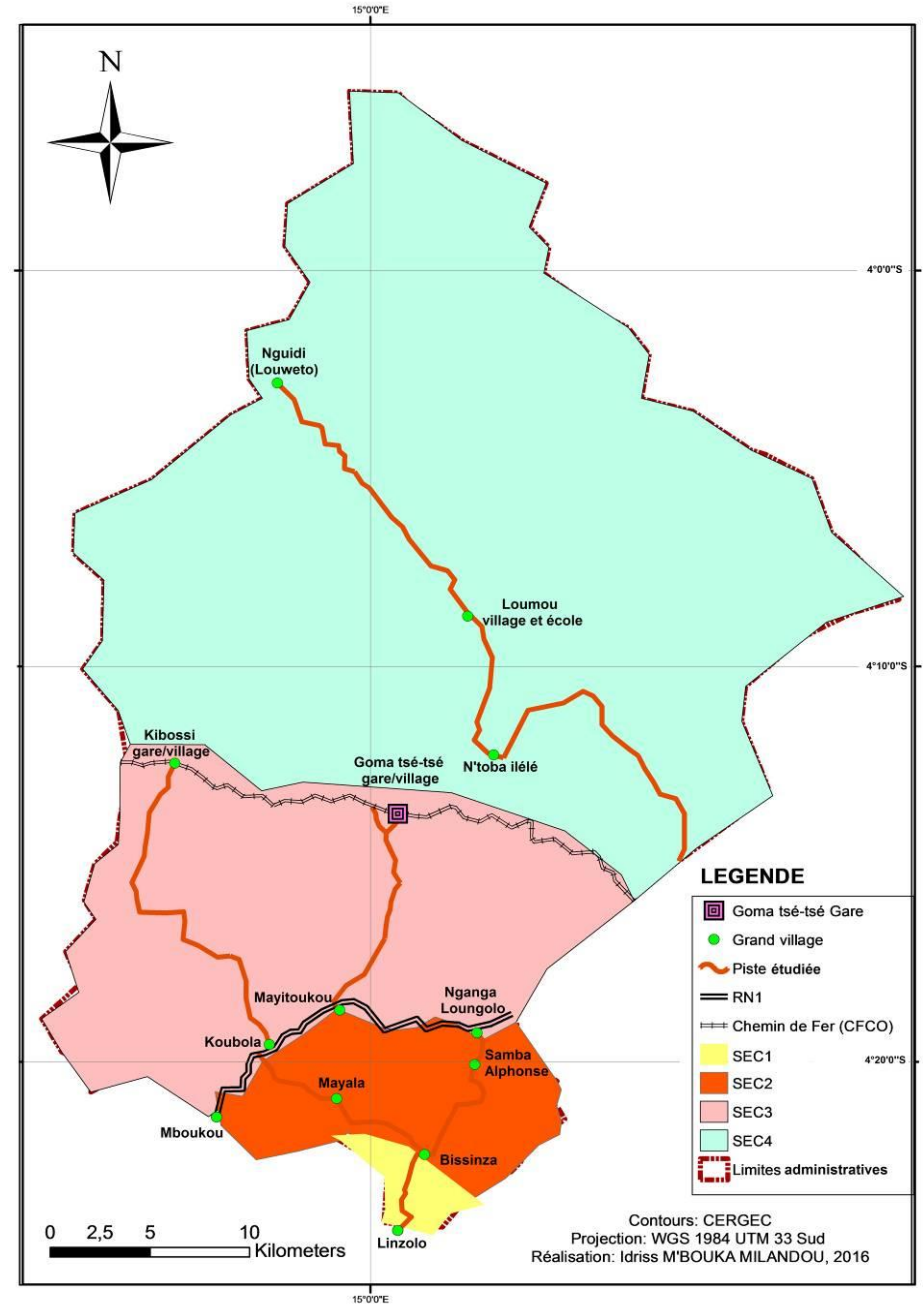


Figure 61 : Situation des pistes par rapport aux indices K des sols dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Le tableau 42 et les deux cartes montrent que :

- **l'indice d'érodibilité du SEC 1**, occupe 1,24% (1 750 ha) de la superficie et est estimé à 0,22 t.ha.h/ha.MJ.mm. Etant donné que cette valeur se situe dans l'intervalle 0,10 à 0,25, les sols sont assez résistants à l'érosion. Ce résultat est cohérent par rapport à la texture et la nature des sols qui sont sablo-argileux. Le taux des sables élevé favorable à l'infiltration rapide des eaux de pluies est influencé par 24,2 % des argiles qui ont une perméabilité nulle. Cette situation confère aux sols une perméabilité médiocre, permettant à la fois l'infiltration et le ruissellement des eaux de pluie. L'infiltration des eaux est plus dynamique dans les espaces couverts de végétaux, quelque soit le taux de couverture. Mais dès que les sols sont mis à nu par l'homme, les ruissellements se manifestent surtout lorsque les sols se saturent à cause de la forte fréquence des pluies. Il s'agit des espaces voués à l'agriculture, les végétaux brûlés pour des raisons de chasse au feu et les sentiers agricoles qui sont exploités par les ruissellements et deviennent des rigoles qui évoluent ensuite en ravinement de type régressif ou transversal à la piste principale. Le SEC1 est une illustration parfaite de cette situation, puisqu'on observe les ravinements régressifs récents et figés de part et d'autre de la section Bissinza- Saint Isidore.
- **Dans le SEC2**, qui occupe environ 7,77% (10 970 ha) de la zone, l'indice K est estimé à 0,12 t.ha.h/ha.MJ.mm se situe également dans l'intervalle entre 0,10 et 0,25. La situation est presque la même avec le SEC1 à la seule différence, ici le taux d'argiles (40%) est très élevé et confère aux sols une résistance modérée à l'érosion. Dans ce secteur également, l'homme favorise à travers les labours, la création des sentiers et la chasse au feu, le ravinement transversal ou régressif responsable des sectionnements de la piste en deux pendant les saisons pluvieuses. Les villages de Mabenga, de Touboula et de Massissia subissent toutefois ces formes de ravinements.
- **Le secteur 3**, avec 25,54% (36 060 ha) du territoire, a un indice d'érodibilité estimé à 0,21t.ha.h/ha.MJ.mm. Les sols de ce secteur se comportent de la même manière que ceux du secteur 1. Mais malgré leur résistance à l'érosion, ces sols sont fragilisées par l'homme et ses activités (occupation du sol).
- Enfin **le SEC4**, qui occupe 67,23 % de superficie (94 930 ha), couvrant la piste Sadelmie-Case Barnier-Ntoba ilélé- Loumou et Nguidi, a un indice d'érodibilité des sols estimé à 0,40 t.ha.h/ha.MJ.mm, une valeur située à l'intervalle de 0,35 à 0,45 qui justifie une sensibilité assez importante à l'érosion.

Ce secteur de savanes basses et clairsemées est vulnérable à l'érosion dès que les sols sont mis à nu par l'homme pour des activités diverses (agriculture, construction de maison, chasse au feu et ouverture de sentiers agricoles). Bon nombre de ravinements régressifs sont présents de part et d'autre de la piste.

Lors de nos observations directes de terrain, nous avons constaté que la densité des formes d'érosions évoluées (FEE) qui se caractérisent par les ravinements de tous types, est encore moindre dans le SEC4 au nord, par rapport à d'autres pistes situées dans les secteurs 1, 2 et 3 au sud.

Cela peut se justifier premièrement par la faible présence humaine, avec des activités moins développées, en raison de la mauvaise qualité de la route et deuxièmement, en dehors de la piste assez affectée, les espaces situés de part et d'autre de la chaussée sont encore bien couverts (savanes hautes et basses), cela signifie qu'avec une couverture végétale moyenne ou dense, ces sols sont moyennement protégés. C'est pourquoi la piste Sadelmie-Loumou-Nguidi est encore épargnée pour le moment. Ce qui peut exposer ces sols déjà érodibles, c'est l'occupation du sol par l'homme.

Ces dernières années, avec l'évolution spéciale de Brazzaville, les terrains sont vendus et on s'attend à la construction des habitations.

En effet, la situation sera plus compliquée. Plus le milieu sera habité, plus le nombre de maisons va croître et la couverture végétale sera dégradée. A ce moment ce sol sableux déjà érodible, sera confronté aux problèmes de splash et des ruissellements avec un effet direct sur la route. Ces ruissellements qui vont exploiter les pentes raides de la zone, auront les aptitudes d'éroder cette zone. Les quartiers denses de Brazzaville nord et nord-ouest sont des illustrations parfaites de cette situation où les sols ont les mêmes textures et la même caractéristique hydrique. Mais l'érodibilité d'un sol dépend également de son humidité. Un sol très sec est nettement plus érodible qu'un sol humide (G. Govers, W. Everaert, J. Poesen & al., 1990, p 325). L'érodibilité peut ainsi varier énormément dans le temps en fonction des conditions climatiques. Au printemps ou en été, l'érodibilité de la couche arable peut atteindre 2 à 4 fois la valeur moyenne en Belgique (J. Poesen, J. Nachtergaele, G. Verstraeten, & al., 2003, p 104).

Au regard des résultats obtenus dans les secteurs 1, 2 et 3, les sols ont d'une façon globale une résistance modérée à l'érosion et dans la plupart des cas d'érosion mineure ou majeure observée, les dégradations sont dues à la défaillance de l'aménagement des routes, à leur manque de protection et d'entretien, à l'agressivité du trafic, à la fragilisation des surfaces bordières immédiates ou moyennement éloignées des pistes (500 m et plus) à travers l'occupation du sol (désherbages, déforestation, feux de brousse, outils et méthodes de labours, etc.).

Mais l'érodibilité des sols n'a de sens que lorsqu'on parle de la pluviométrie, car c'est ce paramètre atmosphérique qui à travers ses caractéristiques (volume, fréquence, intensité) que les ruissellements érodent les sols, surtout en situation de pente forte.

5.3.2. Rôle de l'agressivité climatique dans la dégradation des routes en terre de la Sous-préfecture de Goma tsé-tsé

La Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé fait partie du plateau des Cataractes, qui appartient au climat bas-congolais ((M.J. Samba Kimbata, 1978, in P.M.J Ngazzi, 2017, p 64).

En effet, en raison de sa proximité à la ville de Brazzaville (17 km), avec laquelle elle partage les limites administratives communes, couvrant toutes les parties nord-ouest, ouest et sud-ouest, et par le manque des données climatiques propres à la zone, les caractéristiques des pluies ont été évaluées à partir des données climatiques obtenues à la station de Maya-Maya (Brazzaville) entre les périodes 1980-2014 et 2005-2014.

Dans un premier temps ce sont la hauteur, la fréquence et l'intensité des pluies qui été évalué à partir de ces données. C'est pourquoi, ce sous-chapitre a pour objet, la détermination et l'appréciation de l'agressivité climatique face à la dégradation des pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé par l'érosion hydrique.

La pluie est évidemment l'agent essentiel de l'érosion hydrique, mais son efficacité vis à vis des processus d'érosion est liée aux rôles qu'elle a dans le détachement des particules des sols et surtout dans la formation du ruissellement (F. Macary &D. Berville, 2003, p 10).

Le déclenchement d'un ruissellement diffus ou concentré sur un espace en général et sur une piste en terre en particulier, est causé par le volume et la fréquence des pluies, qui saturent le matériel remanié des pistes et des sols sectoriels, permettant ainsi à l'eau de ruisseler beaucoup plus qu'elle ne s'infiltrer.

Quant à l'intensité, elle permet le détachement des particules des sols, comme souligné par F. Macary & D. Berville, 2003, p 9.

Mais comme évoqué ci-dessus, l'importance du volume, de la fréquence et de l'intensité des pluies, ne suffisent pas pour apprécier le caractère agressif du climat qui est l'un des facteurs importants de l'érosion hydrique qui affectent les pistes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. C'est pourquoi à partir des données pluviométriques mensuelles de 2005 à 2014, soit 10 ans, les moyennes des précipitations annuelles ont été évaluées afin de déterminer l'indice de Fournier (IF) et l'indice d'érosivité (R) de la zone d'étude qui est analogue du climat de Brazzaville. Ces deux indices ont permis d'apprécier le caractère agressif des pluies vis à vis des sols en général et des surfaces de roulement des pistes en terre en particulier dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

- **Indice de Fournier (IF)**

Cet indice a été calculé annuellement, comme annoncé plus haut, à partir des données récentes de 10 ans, obtenus à la station climatique de Maya-Maya (tableau 59).

Tableau 59 : Indice annuel de Fournier à Brazzaville et les environs (2005-2014)

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyenne
p (mm)	272,4	361,3	351,6	466,0	284,2	237,3	376,8	224,2	310,8	248,2	313,28
P (mm)	1326	1364,8	1701,6	1642,8	1539,2	1329,7	1675,7	1198,4	1596,6	1293,7	1466,85
IF	55,92	95,65	72,65	132,19	52,45	42,35	84,73	41,94	60,50	47,62	66,91

Notes : p (mm) : précipitation du mois le plus humide ; P(mm) : totaux des précipitations annuelle ; IF : indice de Fournier

Ce tableau montre que l'indice moyen d'agressivité climatique entre 2005 et 2014 à la station de Maya-Maya. Mais quelques valeurs extrêmes de l'indice sont constatées pour les années 2006, 2007, 2008 et 2011 avec respectivement 95,65 ; 72,65 ; 132,19 et 84,73. Ces dernières sont supérieures à la valeur moyenne de IF. Ce qui témoigne de la dynamique érosive des pistes pendant ces 4 années, dont les années 2007 et 2008 correspondent à la période d'étude de l'érosion hydrique que nous avons effectué dans la localité de Linzolo et ses environs.

Nous nous sommes appuyés sur l'indice de Fournier par année, qui nous a permis d'estimer cette variable si importante du climat pour l'érosion. Il a été donc constaté que, certaines années IF est plus agressif que d'autres (figure 62).

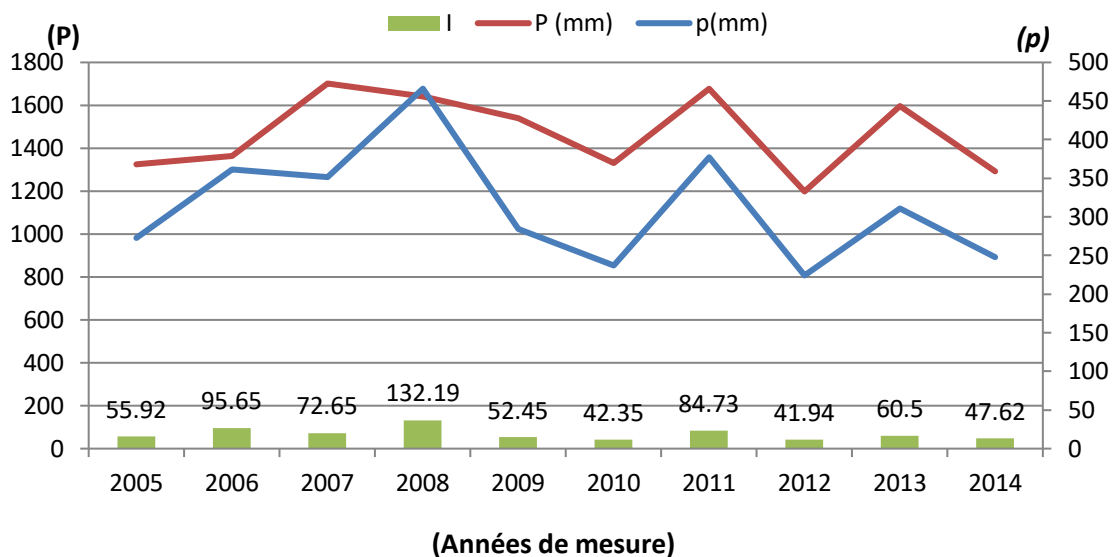


Figure 62 : Courbes des tendances de P et p sur l'indice de Fournier (1960)

C'est le cas de 2008 qui est l'année la plus humide, avec un IF de près de 132 atteignant même le pic (Figure 62). Elle est classée dans la catégorie 4, qui décrit une agressivité climatique élevée (M. Meddi, 2015, p. 326), suivie de l'année 2006, avec un indice avoisinant 96, classée dans la catégorie 3, justifiant une agressivité moyenne du climat.

Selon les témoignages des populations, c'est au cours de ces deux années qu'il y a eu plusieurs dégâts sur les routes causés par l'érosion ravinante, notamment sur la route de Linzolo, dans les secteurs de Mabenga, de Touboula, de Massissia et de Saint Isidore. Sur la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé, la piste était carrément impraticable à cause des érosions et de l'ensablement. Cette dernière n'a été latéritisée qu'en 2013. Sur les pistes Koubola-Kibossi et Koubola-Bissinza, les populations ont témoigné de la genèse à cette époque des formes de surcreusement, qui affectent jusqu'à ce jour les deux pistes. Quant à la zone Case Barnier – Loumou- Nguidi, les ravines et les ensablements de pistes avaient poussé les automobilistes à créer des déviations dans les savanes. Les années 2007, 2011 et 2013, ont des IF faibles car les valeurs varient entre 60 et 90 (deuxième classe) et les années les plus faibles en terme d'agressivité sont 2005, 2009, 2010, 2012 et 2014, car leurs indices sont inférieurs à 60 (M. Meddi, 2015, p. 326). D'une manière générale cet indice est peu satisfaisant en comparaison à celui de Wischmeier et Smith qui prend en compte la somme de l'énergie cinétique apportée par les gouttes de pluie selon E. Roose, 1981, cité par F. Fournier, 1993, p 148. C'est pourquoi l'évaluation du facteur d'érosivité des pluies s'est imposée dans cette analyse de l'agressivité climatique de Maya-Maya.

- Indice d'érosivité des pluies (R)

Les auteurs qui ont travaillé sur la détermination du facteur ou de l'indice d'érosivité s'accordent sur une définition commune. On peut citer entre autres A. El Garouani, H. Chen & L. Lawrence, 2007, p 8, qui pense que l'indice d'érosivité est égal à l'énergie cinétique des pluies, que multiplie l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure. W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1958, p 462 vont plus loin en déclarant que le facteur R, l'un des indices d'agressivité des pluies journalières, mensuelles ou annuelles, égal au produit de l'énergie cinétique par l'intensité maximale en 30 minutes de chaque pluie supérieure à 12 mm. Il tient compte des effets conjugués de la hauteur, de l'intensité et de la durée de la pluie. Cet indice a été retenu, comme annoncé ci-dessus, car c'est un paramètre significatif des précipitations vis-à-vis de l'érosion en général et celle des pistes de Goma tsé-tsé en particulier.

Cependant, dans cette étude nous avons utilisé l'indice d'érosivité annuelle par manque des données pluviométriques journalières qui nous permettrait d'évaluer cet indice en utilisant l'intensité maximale en 30 minutes de chaque averse supérieure à 12 mm. Pour ce faire, nous avons utilisé les données pluviométriques annuelles de 10 ans, de 2005 à 2014, de la station climatique de Maya-Maya (ANAC), en appliquant la méthode simplifiée de K.G. Renard & J.R. Freimund, 1994 cités par D. Douay & E. Lardieg, 2010, p 13, (Tableau 60)

Tableau 60 : Erosivité annuelle des pluies entre 2005 et 2014 à Brazzaville et les environs

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyen.
P (mm)	1 326	1 364,8	1 701,6	1 642,8	1 539,2	1 329,7	1 675,7	1 198,4	1 596,6	1 293,7	1 466,85
R MJ.mm/ha .h.an	6 189,13	6 570,41	10 399,34	9 663,77	8 436,82	6 224,95	10 071,84	5 022,4	9 105,72	5 881,15	7 756,55

Notes : R : paramètre d'érosivité et P : précipitation annuelle (mm)

Les résultats montrent qu'avec une moyenne de 1 466,85 mm des précipitations annuelles en 10 ans, la moyenne du facteur R est estimée à 7 756,55 MJ.mm/ha.h.an. En tenant compte du tableau de classe R de D. Douay & E. Lardieg, 2010, p 13,, cet indice se situe dans la classe 4 et présente une érosivité très forte, puisqu'il est largement supérieur à 5000 MJ.mm/ha.h.an. A cet effet, les sols sont vulnérables face à ces hauteurs pluviométriques. Cette élévation qui témoigne du caractère d'agressivité climatique en région tropicale humide (E. Roose & F. Lelong, 1976, p 369), dépassent l'indice R de 1 260 MJ.mm/ha.h.an trouvés à Ouagadougou, au Burkina-Fasso pour 2 100 mm de pluie.

Cette situation s'explique par le parallélisme existant entre les courbes « intensité-durée », la hauteur des pluies décennales et des précipitations annuelles moyennes en Afrique de l'ouest (Y. Brunet-Moret, 1963, p 401, 1967, p 414). Mais, il a été donc constaté que pour les deux années 2012 et 2014, R varie entre 5 022,40 et 5 881,15 MJ.mm/ha.h.an (classe 3), montrant une vulnérabilité élevée des sols face aux pluies (D. Douay & E. Lardieg, 2010, p 13). Quant aux années 2007, 2011 et 2008, avec des indices R respectivement évalués à 10 399,34, 10 071,84 et 9 663,77 MJ.mm/ha.h.an, elles dépassent le seuil de 5 000 MJ.mm/ha.h.an qui exprime une forte érosivité et une vulnérabilité très élevée des sols face aux pluies. (Figure 63).

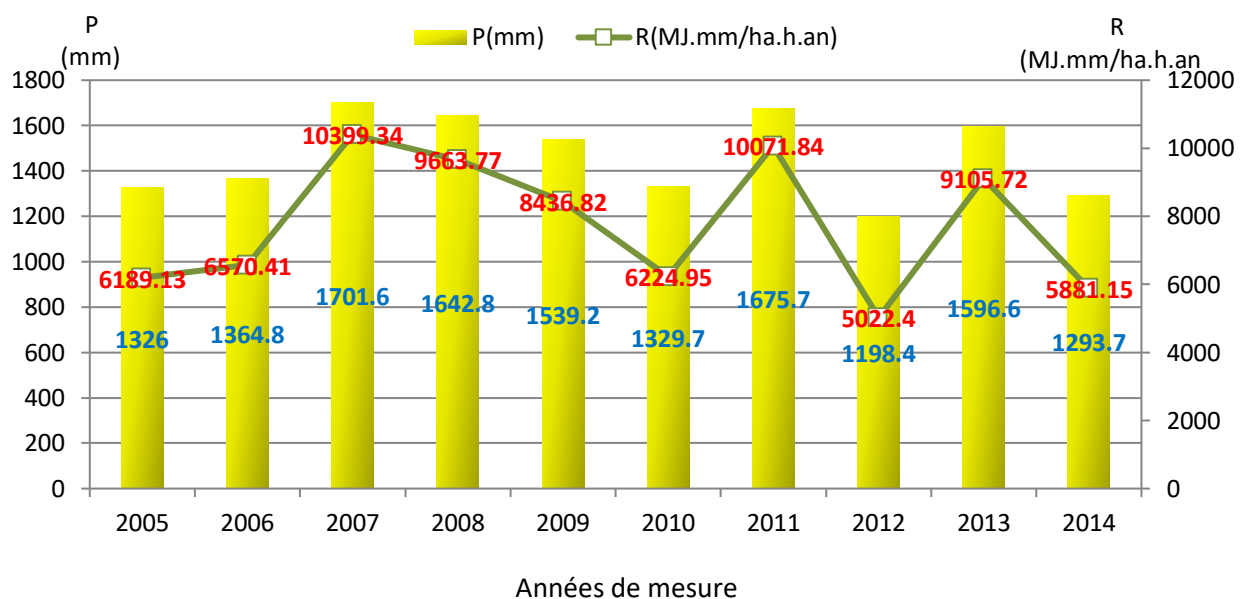


Figure 63 : Relation entre les précipitations et les valeurs d'indices d'érosivité annuels entre 2005 et 2014

L'analyse de la figure 63 montre que les deux variables sont liées, plus la hauteur des précipitations annuelles (P) augmente, plus les valeurs des indices annuels de R en 10 ans augmentent. Ainsi le croisement des deux variables et nos enquêtes de terrains sur les périodes de crise de dégradation des pistes, rapporte que les trois années les plus érosives citées ci-dessus ont été les périodes auxquelles les formes de dégradation ont été plus dynamiques sur les pistes. L'année 2007 avec près de 10 399,34 MJ.mm/ha.h.an marque le pic de cette décennie et témoigne de la gravité du phénomène, selon nos enquêtes.

En tenant compte du tableau de comparaison de l'Indice $R_{(USA)}$ annuel moyen, proposé par E. Roose, 1981 cité par F. Fournier, 1993, p 148 les valeurs d'indice R trouvées dans la zone d'étude, se situent et dépassent même la moyenne de R classifiée dans la zone subéquatoriale (tableau 61).

Tableau 61 : Comparaison de l'indice R(USA) et quelques régions du monde

Régions ou pays de mesure	R _(USA) annuel moyen
USA	50 - 550
Zone méditerranéenne	50 – 350
Zone tropicale sèche	200 – 600
Zone subéquatoriale	500 – 1400

Note : Tableau modifié par nous

Source : **Roose (1981) in Fournier (1993)**

Ainsi, la combinaison de l'indice d'érosivité et celui de Fournier (Tableau 62), ne montre aucune corrélation entre ces deux indices (figure 64), malgré l'utilisation des mêmes données de précipitations de 2005 à 2014.

Tableau 62 : Précipitation, indice de Fournier (IF) et d'érosivité (R) annuels entre 2005 et 2014 à Brazzaville et les environs

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyenne
P(mm)	1 326	1 364,80	1 701,60	1 642,80	1 539,20	1 329,70	1 675,70	1 198,40	1 596,60	1 293,70	1 466,85
IF	55,92	95,65	72,65	132,19	52,45	42,35	84,73	41,94	60,50	47,62	66,91
R	6 189,13	6 570,41	10 399,34	9 663,77	8 436,82	6 224,95	10 071,84	5 022,40	9 105,72	5 881,15	7 756,55

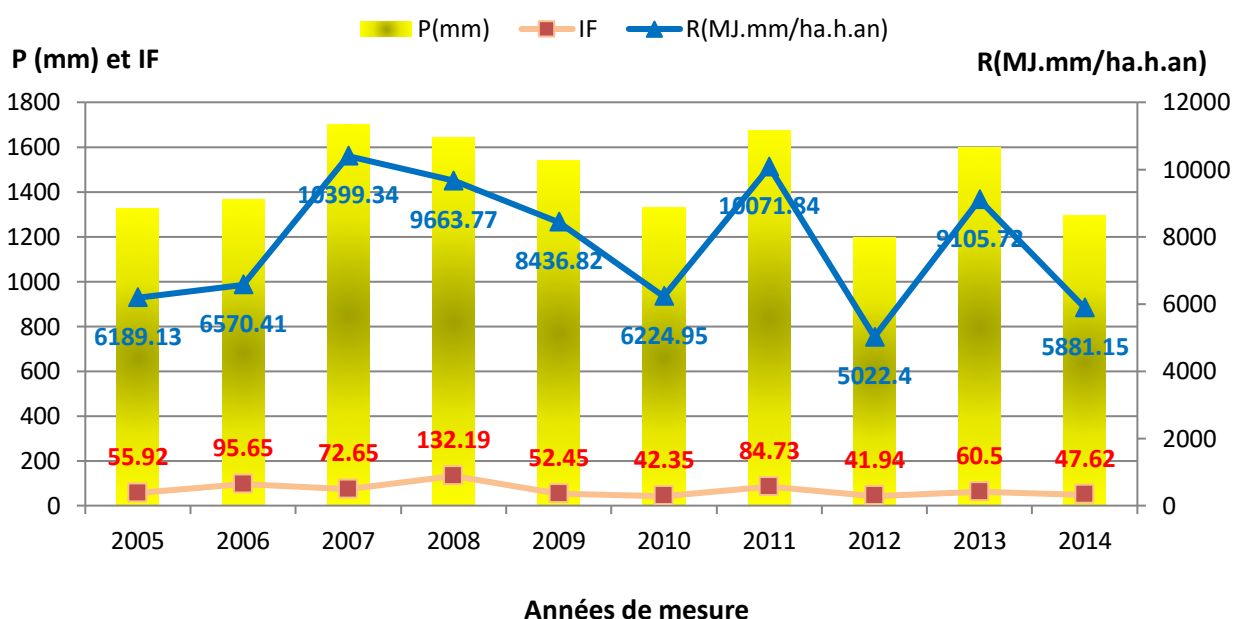


Figure 64 : Diagrammes combinés des précipitations, de IF et de R

La tendance marquée entre le diagramme en baton des précipitations et les courbes d'IF et de R prouve que plus les volumes de précipitations annuelles sont élevés, plus ces 2 indices sont également élevés. Ceci confirme que les volumes de précipitation jouent un rôle important dans la dégradation des pistes en terre dans la zone d'étude, à travers les ruissellements abondants sur les surfaces de roulement imperméabilisées par le trafic.

Les ravinements régressifs qui attaquent les pistes d'interfluve et des pistes en terrasse, sont dues au développement des ruissellements pluviométriques non canalisés, exploitant les sentiers agricoles ou les espaces proches des pistes dénudées, brulés et labourés.

Cependant, la figure 65 montre que la corrélation est positive et parfaite entre l'indice R et P(mm), du fait que la densité du nuage des points est intense, car $R^2=0,998$, par contre la corrélation entre l'indice IF et P(mm) est presque nulle, car $R^2= 0,331$ et se situe entre 0 et 0,5. Cette situation montre que l'indice d'érosivité des pluies (R) influence beaucoup plus la dégradation des pistes en terre dans la zone d'étude que l'indice de Fournier (IF), qui est une variable caractérisant l'agressivité du climat.

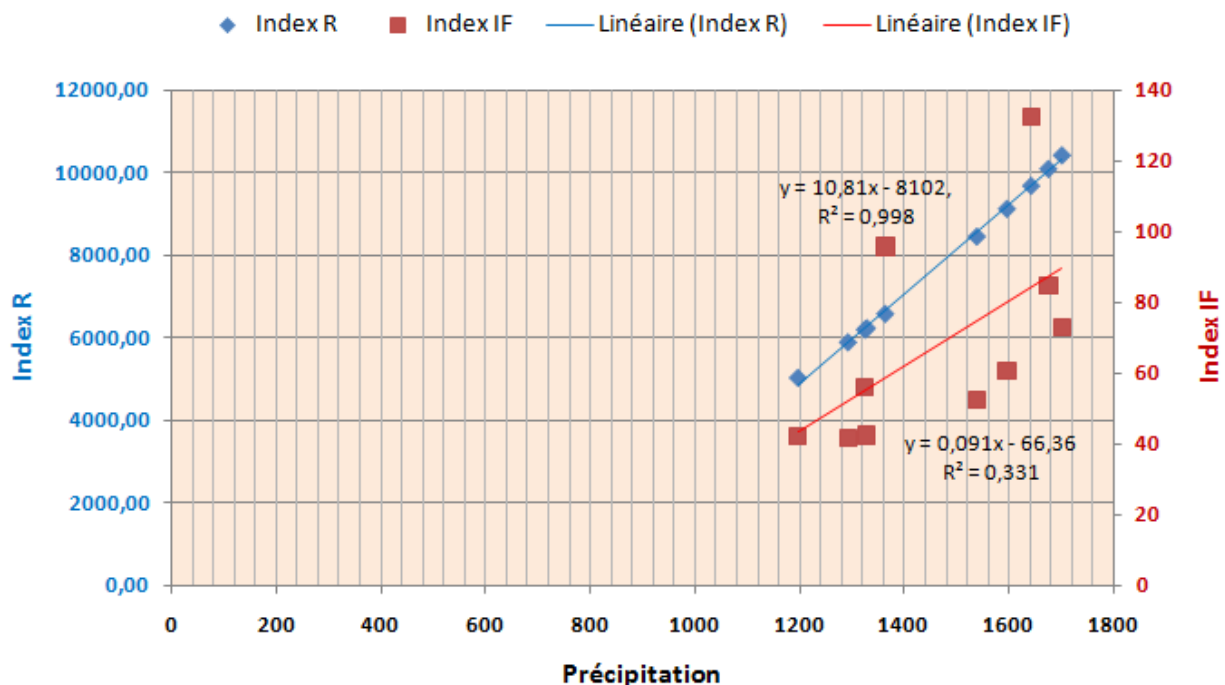


Figure 65 : Corrélation entre les hauteurs des précipitations annuelles, l'indice de Fournier (IF) et l'indice d'érosivité (R)

On peut donc confirmer que les volumes pluviométriques responsables des ruissellements souvent concentrés sont des agents d'arrachement et de transport des sédiments sur les pistes en terre mal conçues et non canalisées de la zone d'étude. Leur vitesse d'écoulement et la résistance du matériel remanié des pistes et des sols des espaces bordiers des pistes, dénudés par l'homme, déterminent leur ampleur. Ce ruissellement désigne, du point de vue hydrologique, le phénomène d'écoulement des eaux à la surface du sol, dont la circulation de l'eau se produit sur les versants en dehors du réseau hydrographique connectée ou pas à un drain permanent (C. Cosandey & M. Robinson, 2000, p 210).

De ce fait, dans le domaine sédimentologique, un agent d'érosion, de transport et de dépôt des sédiments à l'échelle du versant qui se caractérise par un écoulement dilué de particules sédimentaires dans de l'eau (P. Bertran & J.P. Texier, 1999, p 111), ne peut se manifester efficacement avec des effets érosifs sur les pistes en terre, que lorsqu'ils sont soumis à une situation topographique accidentée, dont les pentes sont importantes. Cela signifie que les ruissellements n'ont un effet érosif que lorsque les pentes sont sensibles, du point de vue degré et longueur sur les pistes et les espaces avoisinant ces dernières.

5.3.3. Evaluation de la sensibilité des pentes

L'analyse de la topographie de la zone d'étude a montré que la partie sud est du domaine du plateau des Cataractes, tandis que le nord est celui du plateau de Mbé. Etant donné que ces deux plateaux sont très accidentés, avec comme caractéristique l'alternance colline-vallée drainée et parfois sèche, elles confèrent à la zone d'étude des pentes allant de 0 à plus de 25% (Figure 66). La superposition du réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sur la carte des pentes est illustrée par la figure 67.

Selon C.Valentin, J. Poeson, L. Yongo, 2005, p 134, les ravines sont très fréquentes sur les plateaux où les pentes, plus abruptes, augmentent la vitesse de ruissellement initiant ainsi la création de ravines. Par ailleurs, le développement des croûtes à la surface et/ou aux pieds des plateaux peut générer un fort ruissellement et une forte érosion. En effet, la pente seuil d'initiation des ravines est très faible pour des terrains très encroûtés. Une surface de drainage plus importante accroîtra par ailleurs l'effet de la pente ce qui aboutira à plus de ruissellement et plus de ravines.

En effet, lors de nos observations de terrain, nous avons constaté que toutes les routes en général et les pistes en terre en particulier traversent à la fois les sommets et les flancs des collines, les versants et les bas-fonds des vallées. Bien que cela ne soit pas trop visible sur la figure 68, mais la complexité du tracé desdites pistes quasi imperméables, mal aménagées et dépourvues des systèmes de drainage des eaux, favorise la concentration des ruissellements pluviométriques sur les surfaces de roulement et sur les espaces dénudés de part et d'autre des bandes des routes. Etant donné que l'infiltration est faible sur les surfaces de roulement, la dégradation des pistes est dynamique. Elles évoluent rapidement en ravinement lorsqu'elles ne sont pas traitées à temps. Cela prouve que la pente, à travers sa valeur (degré ou pourcentage) et sa longueur, est un facteur déterminant dans le déclenchement de l'érosion et l'aggravation des différentes formes observées sur les pistes de Goma tsé-tsé.

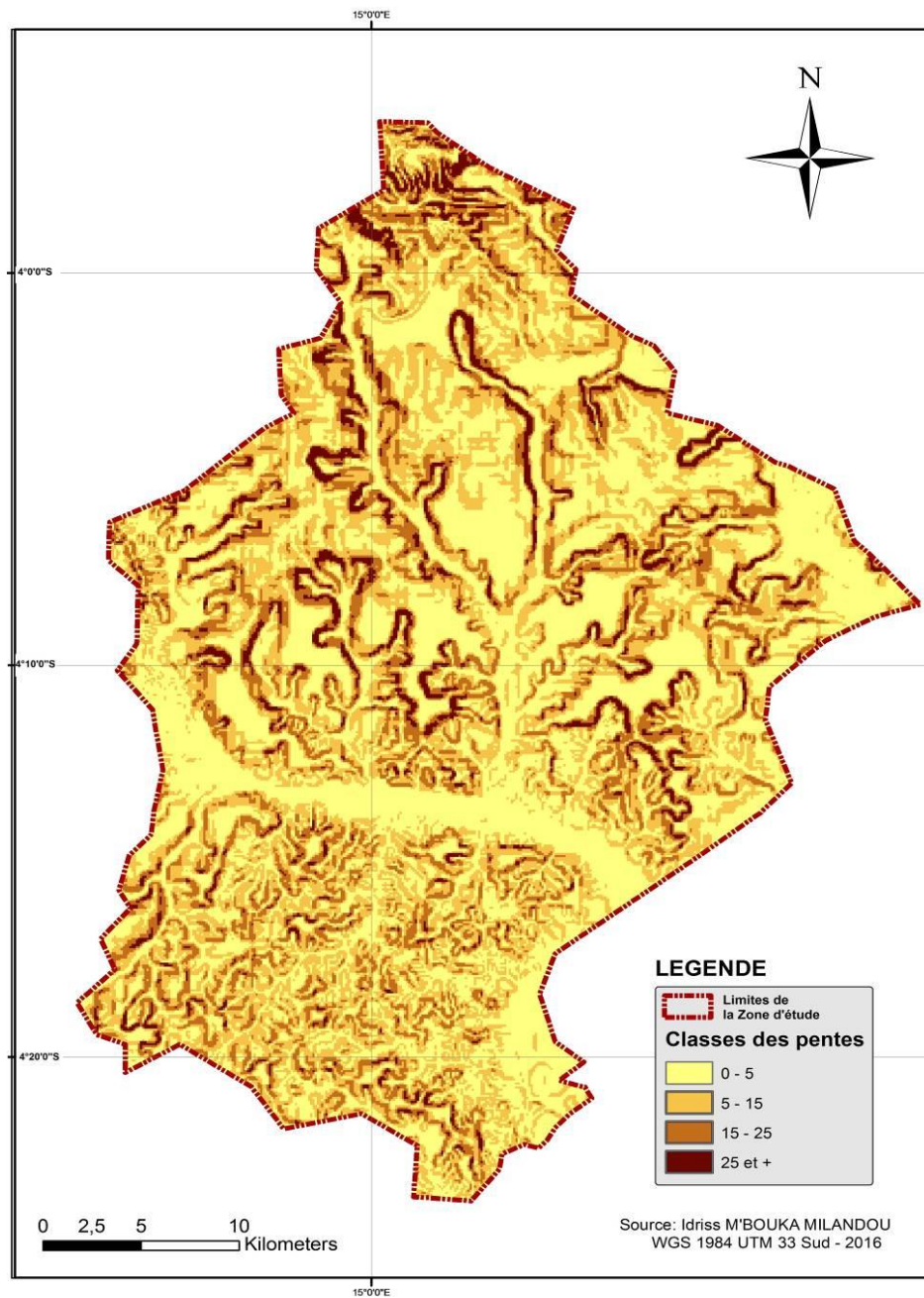


Figure 66: Carte des pentes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

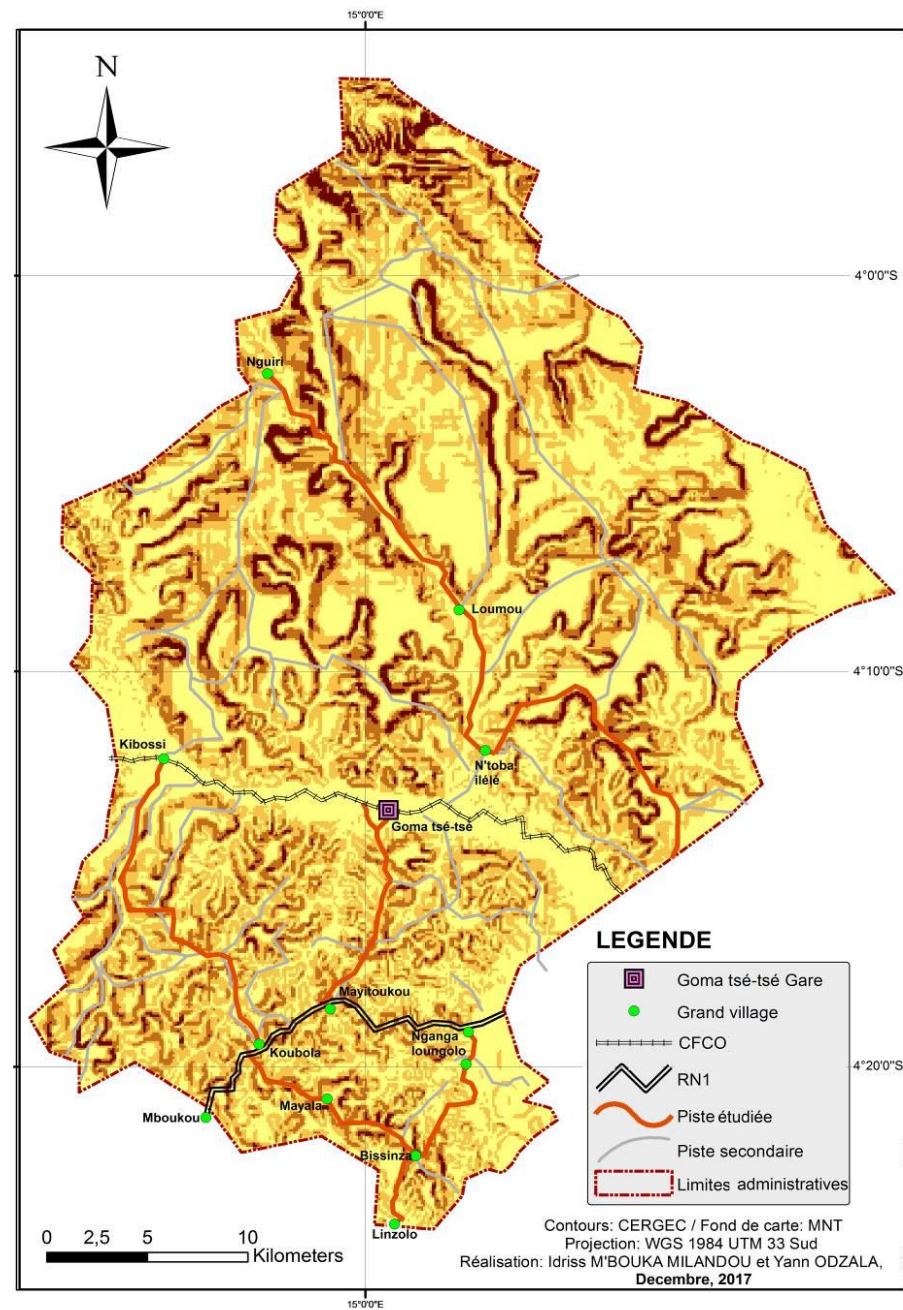


Figure 67 : Pentas et réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Ces ravinements sont tantôt longitudinaux, tantôt transversaux ou régressifs à la piste, comme décrit dans le chapitre V. Dans le premier cas, c'est la pente des sections routières qui est mise en cause. Etant donné que la surface de roulement de la piste est quasi imperméable, d'où une infiltration très limitée, les eaux ruissellent beaucoup plus. Le manque de bombement de la surface de roulement crée des érosions en pleine chaussée et sur les bordures des pistes. Certaines de ces formes continuent leur évolution linéaire tout en rétrécissant la largeur de la piste, d'autres, par contre, deviennent transversales. Dans le deuxième cas, les pentes des versants ou des collines sont mises en cause. Leurs formes et leur valeur qui dépassent parfois 25% favorise leur formation lorsque ces espaces sont dénudés, à l'exemple des espaces voués à l'agriculture ou brûlés, ou encore le long des sentiers agricoles qui entrecoupent les pistes principales.

Les figures 65 et 65 montre la carte des pentes avec les 4 classes de pentes en degré qui sont : 0-5% ; 5-15% ; 15-25% et 25% et plus, répertorié dans le tableau 47 avec les superficies occupées par chaque classe. Le tableau 63 et la figure 68 viennent en appui pour montrer les tendances des superficies occupées par chaque classe de pente en km² et en pourcentage (%).

Tableau 63 : Superficie par classes de pentes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Classe de pente (%)	Superficie			
	m ²	ha	km ²	Pourcentage (%)
0-5	4 288 828,5	42 888,285	4,29	0,35
5-15	357 164 800	3 571 648	357,16	29,27
15-25	625 296 450	6 252 964,5	625,30	51,24
25 et plus	233 575 260	2 335 752,5	233,58	19,14

Au regard de la figure 67, du tableau 63 et de la figure 68 ci-dessous, il ressort que de toutes les plages, les pentes de 15 à 25 degrés occupent environ 6 252 965 ha ou 625 km², soit environ 51,24 % de la superficie totale de Goma tsé-tsé.

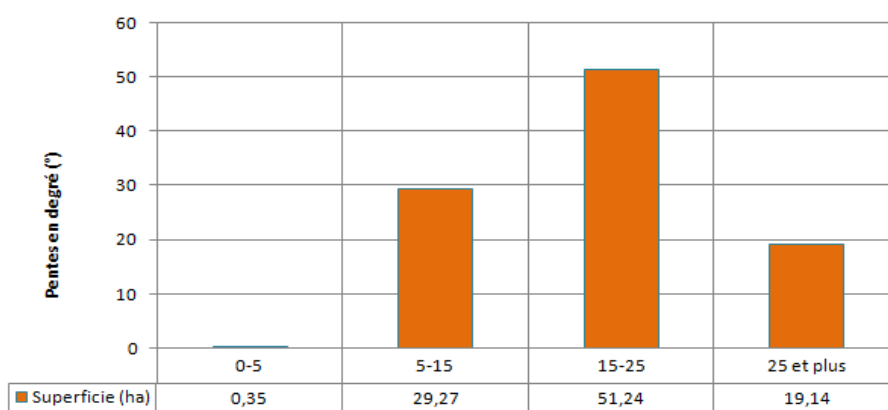


Figure 68 : Plages des pentes en % et superficie occupées en ha

Dans ces conditions, avec les indices moyens décennaux (2005-2014) de Fournier (IF) estimés à 66,91 (Tableau 43) et d'érosivité (R) estimé à 6 092,87 MJ.mm/ha.h.an (Tableau 44), la zone d'étude est soumise aux conditions permanentes de risque d'érosion et les pistes en terre, quasi imperméables, sont les espaces les plus affectés, car ces dernières arpentent sans protection toutes les unités topographiques dont les pentes varient souvent entre 15 et 25°. Sur ce point, un certain nombre de physiciens de sol, confirme topographiquement, 15° est une pente érosive. Cette classe des pentes est suivie, par celle allant de 5 à 15%. La superficie occupée par cette plage des pentes est de 42 888,285 ha (357,16 km²), soit 29,27% du territoire.

La zone en général et les pistes étudiées en particulier sont en situation permanente de risque d'érosion. 19,14% de la zone, soit 2 335 753 ha (233,58 km²) est du domaine de la plage de 25 et plus. Bien que la superficie soit petite par rapport aux deux premières plages, mais le risque d'érosion est très élevé. Les sections de piste en situation d'interfluve (sommet de colline et ligne de partage des eaux) sont les plus exposées à ces conditions. Elles sont beaucoup plus attaquées par les rigoles et les ravines transversales qui évoluent en ravinements régressifs, responsables des coupures de routes, appelés *roadcut* par les anglo-saxons. La plage des pentes de 0 à 5% occupe 0,35% soit 42 888,285 ha (4,29 km²). Cette infime superficie ne couvre que les bas-fonds des vallées drainées par le Djoué et ses influents, ainsi que quelques affluents qui renforcent le débit du fleuve Congo.

Dans ces zones de basses altitudes avec des pentes faibles, les routes ne sont pas totalement épargnées des problèmes d'érosion, car leur quasi imperméabilité à l'eau, la dégradation de la couverture végétale sur les versants et les flancs de colline et l'agressivité du trafic, ont pour conséquence la formation des ornières, des mares d'eau et des borbiers en saison pluvieuse et des ensablements des pistes en période sèche.

Mais, la notion de valeur de pente ne suffit pas pour évaluer l'impact de ce facteur sur l'érosion, celle de la longueur aussi s'impose.

- **Facteur topographique (LS) et dégradation des pistes**

Pour E. Roose, 1994, p 28 la longueur, la forme et surtout l'inclinaison de pente sont des paramètres qui influencent considérablement l'érosion des sols. Selon A. Zingg (1940), N. Hudson, 1973, p 321 et E. Roose (1994, p 37, la longueur de pente conditionne la vitesse de ruissellement et le transport des particules croît en fonction de la longueur de la parcelle.

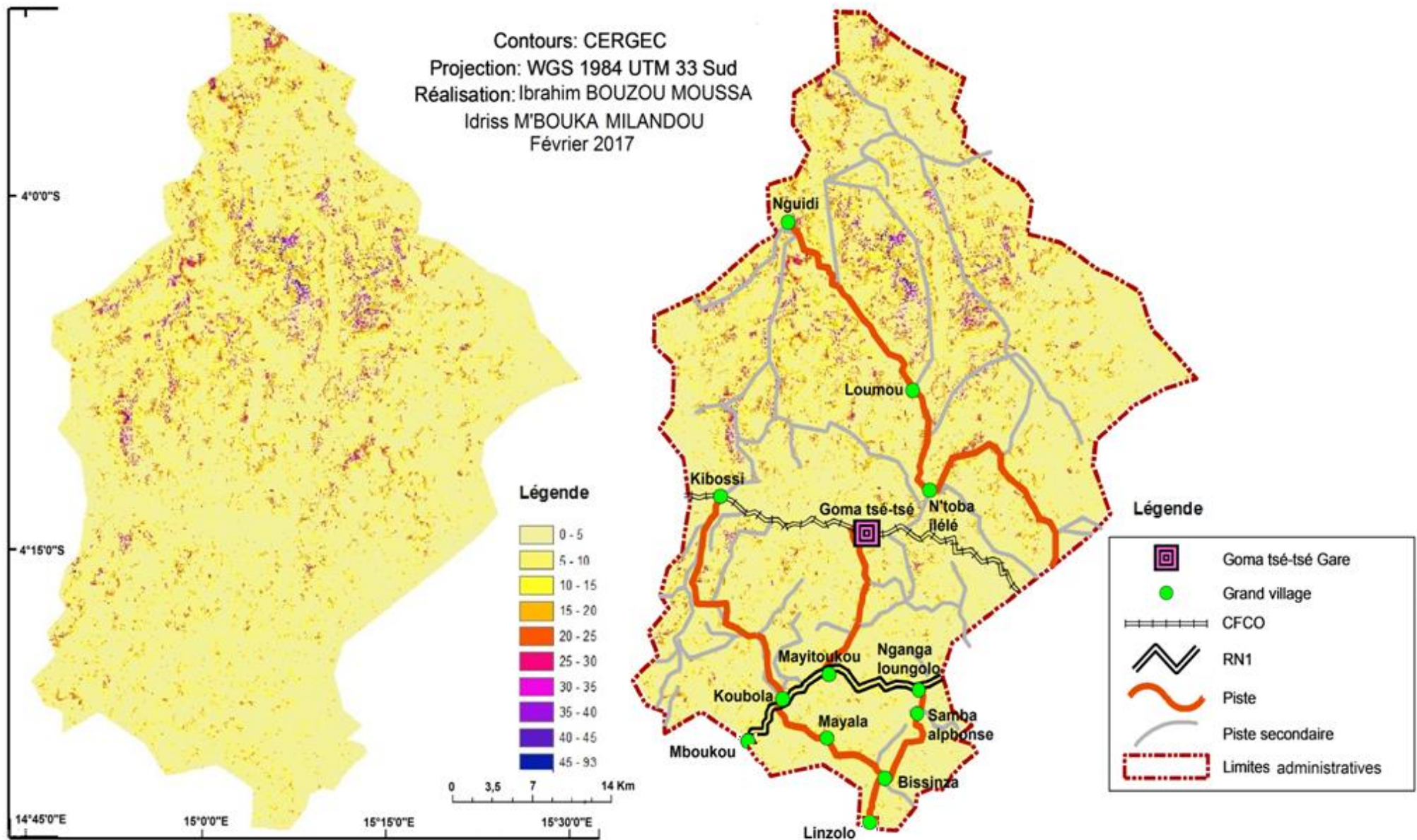
E. Baird, W. Floyd, L. V. Meerveld & al., 2012, p 4, stipulent que ‘*Longer road segments usually yield more sediment as these segments have a greater sediment supply and concentrate more water*’. Cela signifie que les pistes à pente longue produisent des grandes quantités de sédiments, dont les ruissellements en sont les principaux responsables. Pour R.E. Bilby, K. Sullivan & S.H Duncan, 1989, p 455, ces segments de pistes plus raides, en situation de versant de vallées ou de flancs de colline, peuvent transporter de grandes quantités de sédiments, en raison de l'augmentation de l'énergie de ruissellement. Depuis 2005, R.P.C. Morgan, p 274 soutient l'idée que les transports solides croissent de façon exponentielle avec le pourcentage de la pente. Ces processus ont pour effet de former des rigoles et des creusements à la surface du sol. Lorsque l'inclinaison ainsi que la longueur de la pente deviennent importantes, la vitesse et le volume de particules déplacées vers l'aval par ruissellement augmentent fortement.

En effet, une relation exponentielle existe entre la quantité de matériaux transportés et le gradient de la pente, ce qui s'explique notamment par la distribution asymétrique des particules transportées par le splash sur une surface en pente selon R.P.C. Morgan (2005) et X.L. Xu & al., 2008 cités par T. Wouters & E. Wolff, 2010, p 4.

A travers nos observations, les pistes qui ont des sections trop longues et en situation de versant des vallées, des sommets et des flancs de collines, produisent un ruissellement concentré des eaux qui dégrade les pistes, même latéritiques. Toutes les pistes étudiées, sans exception, sont confrontées à ce problème. La combinaison des valeurs de pentes et de leurs longueurs, a permis d'apprécier le facteur topographique de toute la zone à travers la figure 69. Ce facteur a permis d'évaluer la sensibilité des pentes de la zone d'étude en général et des secteurs de pistes en particulier. Cet indice reste le principal facteur accélérateur du processus d'érosion. Selon R. Fauck, 1954, p 378 et F. Fournier, 1967, p 10, il suffit d'une action pluviale pour déclencher le phénomène de l'érosion, puisque cette dernière apparaît sur des pentes très faibles, de l'ordre de 2%.

Cependant, toutes les études qui ont suivi montrent qu'il existe une forte relation entre le degré de pente et sa longueur, l'intensité de ruissellement et par suite, sa capacité à détacher et transporter des particules. Plus la pente est forte et longue, plus l'érosion est plus intense.

Mais étant donné que notre étude porte sur l'érosion des pistes en terre, nous nous sommes basés sur l'analyse du facteur LS des sections de pistes sur des bandes de 500 m de part et d'autre de la chaussée (figures 69A et 69B).



Figures 69A et 69B : Facteur topographique (LS) et réseau routier dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé

Les résultats cartographiques montrent qu'il y a 10 classes du facteur topographique dans la zone d'étude, qui partent de 0-5 à 45-93 et illustrées par différentes couleurs. Mais pour des raisons de précision et de clarté, les classes ont été réduites au nombre de 8, soit de 0-4 à 60-93. A cet effet, la première carte et le tableau 64 et la figure 70, illustrent les superficies en m², en ha, en km² et en pourcentage (%) de chaque classe du LS.

Tableau 64 : Classes de LS et les superficies concernées

Classe LS	Superficie			
	m ²	ha	km ²	Pourcentage (%)
[0-4]	7 439 394,73	74 393,9473	7,44	56,59
[5-9]	3 167 893,25	31 678,9325	3,18	24,09
[10-14]	1 347 303,27	13 473,0327	1,35	10,25
[15-18]	512 502,62	5 125,0262	0,51	3,89
[19-34]	618 631,28	6 186,3128	0,62	4,71
[35-46]	56 722,60	567,2260	0,06	0,43
[47-59]	4 115,92	41,1592	0,004	0,03
[60-93]	483,80	4,8380	0,0005	0,0036

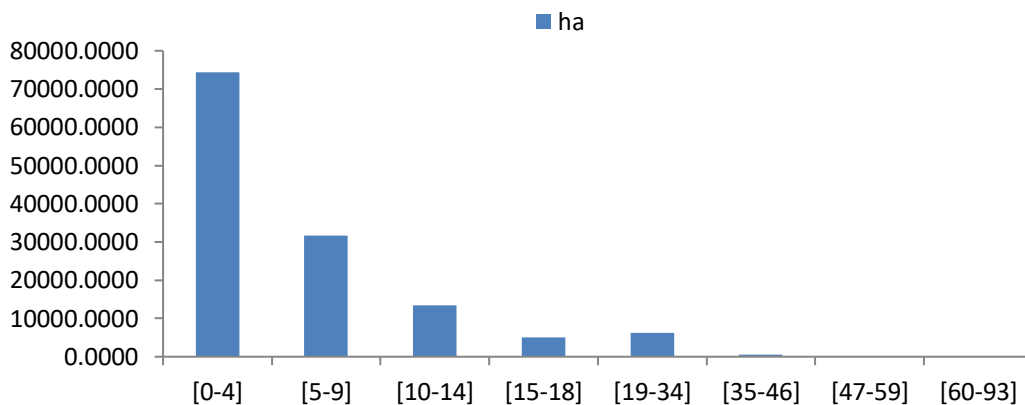


Figure 70 : Diagramme des classes de LS par superficie en ha

La distribution du facteur topographique (LS) montre que près de 57 %, soit 74 394 ha de la superficie de la zone fait partie de la classe du facteur LS de 0 à 4. Plusieurs sections des pistes étudiées font partie de ce domaine. Quelques exceptions peuvent être relevées dans cette zone, car malgré la faiblesse du facteur LS, les pentes moyennes sont estimées à 5 % (Figure 69A) et les sections de piste sont longues, de plus de 100 m. Dans ces conditions, certaines de ces sections sont affectées par l'érosion ravinante, déclenchée par les ruissellements qui prennent de la vitesse grâce à la longueur de pente, mais également de l'agressivité du trafic. Souvent, ces sections de pistes affectées, sont en situation d'interfluve, de terrasse, des pentes des vallées et de collines et même des bas-fonds.

Cette classe est suivie des 43% de superficie soumise à la somme des classes du facteur LS de 5-9 ; 10-14 ; 15-18 et 19-34. Bien qu'inférieure à la première classe, elle est beaucoup plus soumise aux événements érosifs les plus marqués surtout sur les sections des pistes en situation de versant de vallées, des flancs de collines et de terrasse avec des virages.

La somme des valeurs supérieures à 34, c'est-à-dire les classes de LS de 35-46 ; 47-59 et 60-93 n'occupe que 0,4636% de la superficie totale de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, soit 613 ha, est soumise à des conditions extrêmes d'érosion parce qu'elles coïncident généralement aux zones de hautes altitudes et des pentes élevées, d'où une susceptibilité à l'érosion. Mais peu de sections de pistes traversent ces secteurs. Ces dernières sont souvent en situation de terrasse ou en sommet de colline où elles se transforment carrément en tranchée, par le processus de surcreusement.

- Pistes en terrasse et ravinement routier

Sur 5 pistes étudiées, au moins 3 d'entre elles ont au moins une ou plusieurs sections traversant une zone de terrasse. Selon nos observations, c'est sur les sections de pistes en terrasse que les ravinements transversaux ou régressifs sont plus dynamiques. Ici les ravinements régressifs attaquent un seul côté, celui de la pente de versant ou de collines (figure 71).

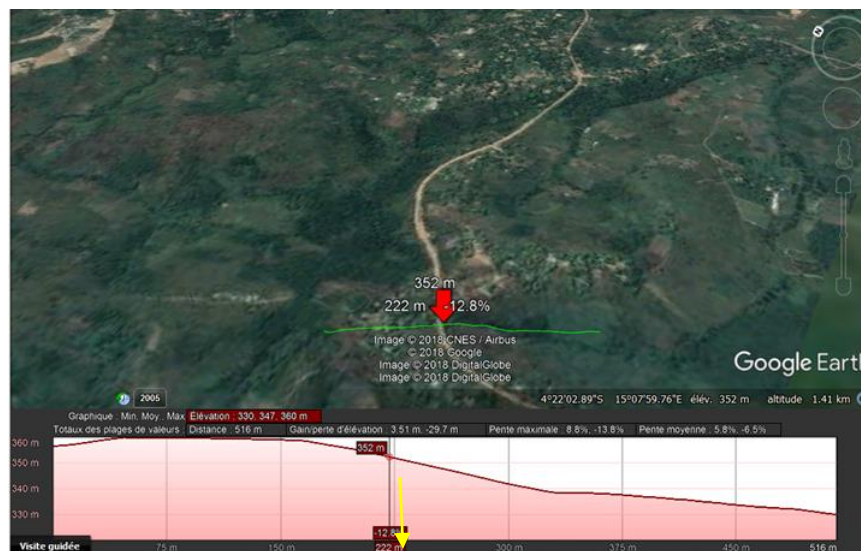


Figure 71 : Profil topographique de la section de la route en situation de terrasse vers Samba Alphonse (piste Nganga Loungolo-Linzolo)

Notes : La flèche indique la situation de la section de piste sur le profil topographique
 Echelle de hauteur : 1 cm = 330 m, Echelle de longueur : 1 cm = 37,5 m
 Pente maximale : 8,8%, pente moyenne 5,8%, Altitude (élévation) : 352 m

Les formes d'érosion se forment au bas de colline ou dans les bas-fonds de vallée et remontent facilement la pente qui dépasse dans la plupart des cas une pente de 20%. C'est le cas des sections situées vers Mabenga et vers Saint Isidore sur la piste Nganga Loungolo-Linzolo (figure 71), affectées par les ravinements importants de type régressif. Certains ravinements sont même figés. Sur la piste Sadelmi-Loumou- Nguidi, c'est le cas de la section bitumée entre Sadelmi et Case Barnier, avant le village Ntoba Ilélé qui est la plus affectée et enfin sur l'axe Mayitoukou – Goma tsé-tsé (figure 73) où les ravinements sont plus agressifs.

Pour P. Ratpatron, 1993, p 23, qui a étudié le phénomène d'érosion dans les savanes incluses du Mayombe au Congo, les ravinements qui affectent les pistes en terrasse sont dus à l'érosion anthropique remarquable par leur développement, les proportions qu'elles prennent. Les routes créent des discontinuités dans la topographie et la structure des versants à l'origine des plans d'attaque qui sont utilisées par l'érosion régressive et les glissements. Les ruissellements responsables de cette érosion régressive qui coupent les pistes de la zone d'étude en deux, sont renforcés par le talus subvertical bordant la route sur le côté amont de la colline.

En raison de la pente qui augmente brutalement et de la moindre résistance du sol mis à nu par les désherbages, les déforestations, les feux de brousse, on trouve la trace de ravines témoignant d'un ruissellement concentré, qui morde sur le versant ou qui se trouve dans le prolongement des niches de suffosion.

- Pistes d'interfluve et ravinement routier

Plusieurs sections des pistes de la zone d'étude sont en situation d'interfluve, c'est-à-dire au sommet de colline et des secteurs de ligne de partage des eaux (entre deux vallées).

On peut citer quelques sections de la piste latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé (figure 72), affectée à la fois par les ravinements régressifs et longitudinaux, les sections sur les pistes de Linzolo, affectées par les ravinements longitudinaux et régressifs.

Les deux pistes de Koubola-Mayala-Bissinza et Koubola-Kibossi, dont près de 50 % des sections sont affectées par des surcreusements et des arasements des pistes qui s'étalent sur des centaines de mètre de longueur et des profondeurs allant jusqu'à environ 5m.

Tout ceci montre que de telles routes sont en situation de risque et sont souvent affectées par des ravinements longitudinaux et régressifs.

La longueur et les valeurs des pentes des sections de pistes, jouent un grand rôle dans la dynamique des ruissellements, responsables de l'érosion des pistes.

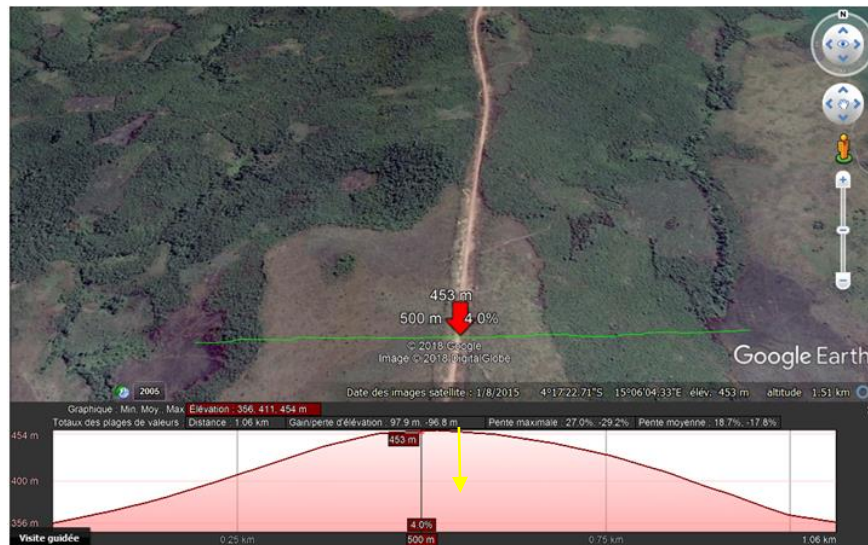


Figure 72 : Profil topographique de la section de piste en situation d'interfluve (Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare et village)

Notes : La flèche indique la situation de la section de piste sur le profil topographique

Echelle de hauteur : 1 cm = 356 m, Echelle de longueur : 1 cm = 0,08 km

Pente maximale : 27,0%, pente moyenne 18,7%, Altitude (élévation) : 453 m

Piste de bas-fond de vallée et ravinement routier

Selon P. Ratpatron, 1993, p 22, les pistes situées souvent sur les drains naturels peuvent jouer deux rôles principaux.

- Si elles suivent les drains, elles peuvent être utilisées de façon privilégiée par les ruissellements qui suivent le tracé de la piste. Dans ces conditions, les ravinements sont plus profonds et larges et sont à l'origine de glissements ou d'effondrements par affouillement qui mordent sur les bas-côtés et sur les parties bordières de la piste elle-même. Ces ravins se développent souvent dans les secteurs où la piste est en situation de pente facilitant le ruissellement concentré des eaux de pluie ;
- Si la piste traverse une vallée ou un bas-fond en coupant l'axe de drainage de sorte qu'elle forme un barrage à l'écoulement naturel, la route peut ainsi créer de nouvelles conditions de stockage des eaux qui sont retenues en amont, alors que l'aval autrefois humide s'assèche en partie. Ces barrages improvisés par remblaiement peuvent céder très rapidement à une surcharge de la pression hydrique et dès lors de véritables ravins, perpendiculaires à la route, peuvent s'ouvrir comme sous l'effet de chasse d'eau, relançant en aval une érosion ravinante qui griffe profondément le sol.

La figure 73 illustre une section de piste en situation de bas-fond de vallée, vers Nguidi, sur l'axe Sadelmi-Loumou-Nguidi.

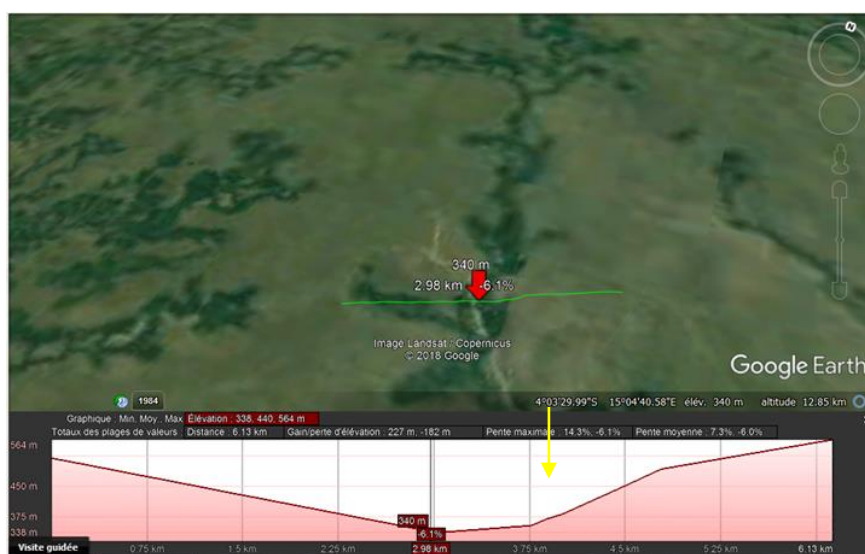


Figure 73 : Profil topographique de la section de piste dans un bas-fond de vallée (Sadelmi-Loumou-Nguidi)

Notes : La flèche indique la situation de la section de piste sur le profil topographique
 Echelle de hauteur : 1 cm = 375 m, Echelle de longueur : 1 cm = 0,375 km
 Pente maximale : 14,3%, pente moyenne 7,3%, Altitude (élévation) : 340 m

La disposition des sections routières expose les routes en terre de la zone d'étude aux dégradations dynamiques évoquées supra.

Conclusion partielle

En somme, les 5 pistes qui font l'objet de cette étude sont dans un état de dégradation très avancée. L'érosion hydrique qui commande cette dégradation se manifeste par plusieurs processus responsables des diverses formes. Au total 13 de ces dernières ont été dénombrées, soit 8 formes de dégradation mineure (FDM) et 5 formes d'érosion évoluée (FEE) ou ravinement. Bien que plus denses que les ravinements, les FDM restent jusqu'à preuve du contraire, les points de départ de la dégradation précoce et dynamique du réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. A l'étape des ravinements, elles ont occasionnées, pendant la période 2013-2016, des vides de volumes importants et par ricochet, des pertes considérables des matériaux, caractérisés par les sédiments, souvent pollués par les huiles moteurs et d'autres déchets anthropiques, issues des surfaces de roulement et des terres érodées de part et d'autres des chaussées.

D'autres conséquences affectent la vie des populations, dans les difficultés de leur mobilité (accès aux centres de santé, aux écoles et aux champs.) et du transport de leurs biens (marchandises et produits vivriers).

Les impacts sur l'environnement sont également visibles, car la sédimentation pollue le biotope et exhume les lits des cours d'eau, causant ainsi des inondations des espaces agricoles et des habitats, la submersion des ponts pendant les crues.

Ces phénomènes sont l'œuvre des ruissellements alimentés par des pluies abondantes qui exploitent d'autres facteurs naturels et humains. Ceci s'appuie également sur une perception assez bonne des populations locales sur les causes et les conséquences de cette dégradation routière ; car en moyenne, 42% de personnes pensent que l'abandon des routes par l'état est l'une des causes les plus importantes de ce phénomène et 28% des personnes perçoivent que le manque de drainage des eaux de pluie est à l'origine de ce phénomène. De même, en dehors des impacts sur l'environnement non identifiés par les populations, presque toutes les conséquences socio-économiques décrites supra ont été évoquées par ces dernières.

En effet, parmi les facteurs explicatifs de cette érosion routière, les premiers étudiés sont d'ordre humain, car elles sont à la base de la fragilisation des pistes. Elles sont caractérisés par la mauvaise structure des pistes, l'absence des systèmes de drainage des eaux et de stabilisation des talus routiers, la défaillance des techniques de lutte antiérosive utilisées par les populations, le manque d'entretien des pistes, le mauvais usage et l'agressivité du trafic, la reprise de la croissance démographique et l'occupation du sol.

Quant aux facteurs naturels, ils sont directement responsables du déclenchement des processus d'érosion et d'évolution des formes mineures en ravinements. Il s'agit de la sensibilité des sols sur lesquels les pistes ont été tracées, qui a été calculé à partir de l'indice d'érodibilité (K). Sa valeur tourne autour de 0,12 t.ha.h/ha.MJ.mm dans la partie sud de la zone d'étude, caractérisant ainsi une résistance moyenne des sols à l'érosion. Elle se situe à 0,40 t.ha.h/ha.MJ.mm dans le nord, caractérisant une sensibilité importante des sols sablonneux à l'érosion hydrique ; de l'agressivité climatique évalué en 10 ans, entre 2005 et 2014, dont la valeur moyenne de IF estimé à 66,91 et l'indice d'érosivité (R) des pluies estimé en moyenne à 7 757 MJ.mm/ha.h.an, dépassant le seuil de 5 000 MJ.mm/ha.h.an qui exprime une agressivité importante des pluies.

Ces 2 paramètres influencent largement la dégradation des pistes à partir des précipitations et leurs caractéristiques, capables d'éroder à la fois les sols et les routes; et enfin la topographie de la zone, à travers l'analyse des pentes qui dépassent 25% et du facteur topographique, dont les classes de LS de 0 à 18 occupent près de 94,82%. Ces variables montrent le rôle de la topographie accidentée du plateau des Cataractes sur la dégradation du réseau routier de la zone d'étude.

En sommes, tous ces résultats doivent faire l'objet d'une discussion, dans le but d'infirmier ou de confirmer les hypothèses émises au départ, qui ont d'ailleurs permis d'atteindre les objectifs fixés, tout en tenant compte des travaux déjà réalisés dans ce domaine, en milieu rural ou forestière dans le monde. Ce qui permettra de proposer des solutions de remédiation à ce phénomène dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. C'est l'objet de la troisième partie de cette étude



TROISIEME PARTIE :

DISCUSSION DES RESULTATS ET PROPOSITION DES SOLUTIONS DE REMEDIATION A LA DEGRADATION DES ROUTES DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE

Cette troisième et dernière partie de la présente étude, traite de la discussion des résultats obtenus et propose ensuite des solutions de lutte antiérosives, de protection et d’entretien des routes en milieu rural congolais en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier. Elle est constituée de 3 chapitres : le premier discute des résultats obtenus, le second chapitre propose, de façon détaillée, les solutions de remédiation à la dégradation des pistes en terre, dans la zone d’étude et le troisième présente un plan de gestion durable des pistes rurales au Congo en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier.

CHAPITRE 6 : DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS

Ce chapitre est consacré à l'analyse et la discussion des principaux résultats obtenus et présentés dans les chapitres 4 et 5 de la deuxième partie de cette étude, qui traitent respectivement des formes de dégradation des pistes et des pertes en matériaux engendrées et des différents facteurs explicatifs de cette dégradation routière. Son but est de confirmer ou d'infirmer, comme annoncé plus haut, les hypothèses formulées pour atteindre les objectifs fixés au départ.

6.1. Les formes de dégradation des routes en terre

Comme nous l'avons montré plus haut, l'érosion hydrique qui affecte le réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé se manifeste par des formes dites mineures (FEM) et des formes dites évoluées (FEE). Les premières se manifestent par deux grandes familles de formes à savoir, d'une part, les « *dégradations structurelles* » représentées par les ornières, les pertes des matériaux, les nids-de-poule, les tôles ondulées et les rigoles et, d'autre part, les « *dégradations par défaut de drainage* », représentées par des traverses, des bourbiers, des érosions de talus de déblai et des fossés.

Ces deux grandes familles de formes que nous avons qualifiées de « mineures », sont normalement les premiers signes de dégradation d'une piste en terre, surtout si elle n'est pas entretenue. Plusieurs auteurs en ont fait état dans le monde. Elles sont mentionnées, par exemple, dans un rapport anonyme publié en février 2006, p 24, au Mali, traitant de la « *dégradation des surfaces de routes non entretenues* ». Après avoir répertorié ces formes, ce rapport les décrit comme étant des désordres visibles à la surface de la chaussée et confirme que ces dernières constituent un processus d'usure par lequel la capacité fonctionnelle et structurale d'une chaussée diminue. Selon R. Tabbouchy (S.A.), p 1, les déformations, les nids-de-poule, les têtes de chat, les tôles ondulées, les bourbiers, les ravines et les traverses, sont les principaux responsables de la dégradation des pistes en terre au Maroc. R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare & al., 2008, p 4 et le NSW government et l'Office of Environment & Heritage Canada, 2012, p 2, qui ont étudié quelques unes de ces formes, les classifient parmi les dégradations qui affectent dynamiquement les routes forestières du Canada. Pour Egisbeecom, 2009, p 3, qui a, lui aussi, produit un rapport sur l'état de dégradation des pistes au Mali, ces formes représentent les signes précurseurs de fatigue et/ou de détérioration des routes en terre.

Mais en tout état de cause, certaines de ces formes mineures sont, dans la plus part des cas, des points de départ des formes majeures d'érosion ou formes d'érosion évoluées qui se manifestent par des ravinements spectaculaires.

En effet, les ravinements constituent les formes de dégradation les plus graves. Ils sont tantôt longitudinaux et leur agrandissement affectent de façon irréversible la route, tantôt transversaux et leur recul finit par provoquer la coupure de la route. Le ravinement procède par toutes les étapes notamment les rigoles, les ravines et les ravins. Ces processus aboutissent aussi à des surcreusements qui constituent un type de dégradation particulière qui a déjà fait l'objet d'une étude antérieure (L. Sitou & I.A.W. M'bouka Milandou, 2017, p 1) dans le plateau des Cataractes. Les ravinements des routes font l'objet de plusieurs travaux surtout dans les pays anglophones, arabophones et Asiatiques. Ainsi, plusieurs régions notamment des zones rurales ou forestières autres que celles du Congo, sont affectées par ce phénomène dans le monde avec des conséquences graves affectant directement les populations rurales et l'environnement. L. Cao, K. Zhang & Y. Liang, 2014, p 6 ont fait une comparaison entre l'érosion des routes et celles des zones de plantations et d'élevage en Chine. Ils ont constaté que les sols perdus à cause de l'érosion des routes en terre sont plus grandes en termes de quantité que ceux perdus dans les champs. En Iran, l'érosion des routes et des pistes forestières par le ravinement dégrade énormément les espaces forestiers et cause des dégâts énormes sur l'environnement (M. Akbarimehr & M. Naghdi, 2012, p 165). Au Nigéria, plusieurs états du sud-ouest, sont affectés par l'érosion des routes par le ravinement, selon I. A. Abdulfatai, 2014, p 125. Pour tous ces auteurs, la dégradation des routes en terre par ravinement a été reconnue comme étant un problème majeur de l'environnement. De même, les chercheurs comme H.A. Katz, M. Daniels & S. Ryan, 2013, p 1, ont évalué le ravinement dynamique affectant le Pikes Peak Highway, dans le Colorado, aux USA en évoquant parmi les conséquences majeures, des pertes importantes en terre. Ces travaux ne représentent qu'un échantillon de ce qui a été fait ailleurs et qui montre l'ampleur du phénomène sur les routes en terre, surtout en milieu rural ou forestier.

6.2. Les effets des dégradations des routes en terre

L'érosion hydrique qui affecte le réseau routier étudié ici a d'abord été appréciée par la fréquence et la densité du phénomène. Au cours de la période 2013- 2016, la piste de Linzolo (13,46 km), la plus affectée avec 16 formes de dégradation, avait une fréquence moyenne de 7,52% de ravinements par poste kilométrique (PK), pour une densité de 24,6% des ravines, des ravins et d'un surcreusement.

Elle est suivie par la route latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé (11,43 km), avec 11 ravinelements représentatifs pour une fréquence moyenne de 8,66% des formes par PK et une densité de 19% des ravines et des ravins. La piste Koubola-Kibossi (18,95 km) vient en troisième place avec 8 surcreusements, pour une fréquence moyenne de 5,38 desdites formes par PK, pour une densité de 8,4%. Le prolongement de cette piste qui va de Koubola à Bissinza (11,10 km), aboutissant sur l'axe de Linzolo, compte 6 surcreusements pour une fréquence de 9,09 % par PK et 10,8% de densité. La piste Sadelmie-Loumou-Nguidi, la plus longue de toutes (35,46 km) ne comptait que 8 ravinelements pour une fréquence moyenne de 2,87% des ravines et des ravins avec 4,4% de densité. Ces résultats sur la densité des formes ont été comparés à ceux trouvés par R. Langevin, H. L'Ecuyer, R. Pare & *al.*, 2008, p 4, qui ont travaillé sur les cas d'érosion du réseau routier dans les forêts aménagées du Québec (Canada). Selon ces auteurs, sur près de 11 000 km de chemin forestier, la densité des cas d'érosion par kilomètre de route varie entre 0,22 et 0,29 soit 22 à 29%.

Par ailleurs, les fréquences et les densités desdites formes se traduisent par des pertes énormes, constituées des matériaux arrachés sur les surfaces de roulement et des terres érodées par érosion mécanique et évaluée à partir du volume des vides laissés sur les chaussées. La piste de Linzolo (P1) la plus dégradée a perdu près de 39 785 tonnes de matériaux pour un volume mini de 23 403 m³, suivi de la piste Koubola-Kibossi (P4) avec près 19 624 tonnes de matériaux perdus sur 10 902 m³ de volume. La route Mayitoukou – Bissinza (P3), qui n'est autre que le prolongement de la piste précédente, vient en troisième position et a perdu près de 11 886 tonnes de matériaux sur 6 991 m³. Ces deux pistes (P3 et P4) sont spécifiquement affectées par les surcreusements et à cet effet, elles totalisent toutes les deux près de 31 510 tonnes des matériaux perdus. C'est pour autant dire que le surcreusement des routes représente l'une des conséquences les plus graves du ravinelement des routes. Quant aux routes de Mayitoukou-Goma tsé-tsé (P2) et Sadelmie-Loumou-Nguidi (P5), qui se placent en dernière position, elles ont perdus successivement près de 4 074 tonnes des matériaux sur un volume de 2 665 m³ et 2 042 tonnes des matériaux perdus sur un volume de vide de 1 276 m³.

Dans l'ensemble les routes en terre de la zone sud ont perdu au total 75 266 tonnes des matériaux perdus, contre 2 042 tonnes seulement sur la seule route du nord de la zone d'étude. Cela s'explique par le fait que la zone sud a plus de villages et regroupe des conditions favorables pour vivre (cours d'eau, couverture végétale assez dense, le passage d'une bretelle de la RN1, etc.).

Elle bénéficie, par ricochet, d'un réseau routier beaucoup plus utilisé par les transporteurs pour la mobilité des personnes et des biens, et ce en dépit des dégradations qui affectent ces routes. Si l'on compare nos résultats à ceux obtenus par d'autres chercheurs dans le monde, on constate que les pertes sont partout importantes, bien qu'il existe quelques disparités selon les régions. La route de Linzolo, avec ses 70 790 tonnes maxi de matériaux perdus, est assez comparable aux tonnages des terres perdus au sud-ouest du Nigeria (M. Ibitoye & S. Adegboyega, 2012, p 5). Selon ces auteurs, cette partie du Nigeria a perdu près de 84 786 tonnes. La différence entre la route de Linzolo et cette zone nigériane en termes de matériaux perdus est d'environ 13 996 tonnes. Elle est notable mais elle ne concerne que la seule route de Linzolo. Si l'on tient compte de la totalité des matériaux perdus sur les 5 pistes, estimée à 120 087 tonnes, ce chiffre dépasse largement les 84 786 tonnes obtenus par ces auteurs, dans cette zone qui regroupe les localités de Ode-Irele, Akotogbo, Ajagba et de Lipanu sur près de 30 km². La différence est de 35 301 tonnes entre cette zone et nos 5 pistes. Si l'on prenait en compte également l'érosion fine et même les ravinelements hors pistes, ce chiffre serait encore plus important.

En effet, certains auteurs qui ont évalué la quantité des terres perdues par ravinement, ont tenu compte de l'espace estimé en hectare (ha) pour une année ou en 6 mois. Il s'agit à titre d'exemple de : M. Naimi, M'H. Tayaa, S. Ouzizi & *al.*, 2003, p 241, qui ont estimé une perte totale de 187 tonnes de sols causée par l'érosion dans le Bassin versant de Nakhla (Rif Marocain) entre la période du 28/11/1997 au 12/06/1998 (9 mois), pendant laquelle 680 mm de précipitations ont été enregistrées ; L. Xiao, X. Yang & H. Cai, 2017, p 10, qui ont obtenu près de 931 t.km⁻¹.a⁻¹ (9,31 tonnes) à 522.0 t.km⁻¹.a⁻¹ (5,22 tonnes) de sols perdus par l'érosion entre 1990 et 2010, dans la province de Jiangxi (Chine) ; Jaramillo, 2007, p 167, qui a estimé les pertes annuelles des sédiments dus à l'érosion ravinante à plus de 8 000 tonnes/ha/année à Montréal (Canada) et de E. Roose, 1999, cité par R. Chebbani & S. Belaidi 1997, p 156, qui a évalué l'érosion ravinante en Algérie, qui prend une place relativement importante en relation avec le volume et l'intensité des précipitations, avec la topographie et l'énergie du ruissellement entre 1986 et 1995. Il a obtenu près de 90 à 300 tonnes de sols perdus par ha.an⁻¹. Quant à S.C. Nguemhe Fils, J. Etouna & M. Hakdaoui, 2014, p459, qui ont évalué les pertes en terre au Cameroun, dans la zone de Sanguéré-Djalingo et à Mbissiri n'ont trouvé que 05 à 35 tonnes/ha/an pour la première (système de culture conventionnel) ; 0.2 à 03 tonnes/ha/an (système conservateur) et 03 à 05 t/ha/an (sur le labour paillé) pour le second, selon A.R. Mermut & *al.*, 1997, cité par T. Wouters & E. Wolf (2010), p 2.

Tous ces exemples montrent que l'action érosive du sol n'agit pas de manière uniforme à la surface de la terre et selon R.P.C. Morgan, 2005, in T. Wouters & E. Wolf (2010), p 2, certaines régions du globe sont soumises à une perte pouvant dépasser plusieurs centaines de tonnes par km² par an comme la notre. D'autres à quelques tonnes/ha/an. Selon le site www.rivière-viaur.com, la Suède perd près de 4 à 10 tonnes/ha/an ; l'Espagne en perd 33 à 60 tonnes/ha/an/ et la France perd près de 40 tonnes/ha/an. Toutes ces quantités de matériaux sont faibles par rapport à celles perdues sur les 05 pistes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Les intensités des précipitations et leurs fréquences, ainsi que les modes d'utilisation du sol au cours du temps influencent la quantité de matières transportées (T. Wouters & E. Wolf, 2010, p 2). Autrement dit les disparités de ce phénomène à travers le monde s'expliquent par les différences qui existent au niveau des facteurs et des causes de ce phénomène.

Mais avant de commenter les résultats obtenus sur les causes et les facteurs, il importe de noter que les pertes en terre ne sont pas les seules conséquences qui affectent les zones concernées. Il y a les vides engendrés qui réduisent les espaces exploitables pour les routes elles-mêmes et pour d'autres activités le long des dites routes. En effet, ce phénomène environnemental par son ampleur, perdure depuis près de 30 ans dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, et affecte largement la vie des populations, à travers les difficultés de mobilité (accès aux centres de santé, aux écoles, aux champs et dans le transport de leurs biens.). Il y a aussi la pollution des cours d'eau par les sédiments issus de la destruction des routes. Celle-ci se manifeste par l'augmentation de la turbidité des eaux avec des conséquences notoires sur le biotope (poissons et organismes vivants). La pollution se manifeste aussi par l'ensablement des sols sur les rives des cours d'eau avec pour effet négatifs la destruction des sols agricoles sur ces espaces. Elle se manifeste enfin par une sédimentation des lits qui cause des inondations des espaces agricoles et des habitats dans certains villages, la submersion des ponts et des ponceaux pendant les crues. S'agissant des volumes de vides laissés par les ravinements, K.E. Seutloali, 2014, p 75 a trouvé 45,48 m³ mini, 65,35 m³ en moyenne et enfin 1 046,89 m³ maxi de volume, au sud-ouest de l'Afrique du Sud. On constate que le volume le plus faible des ravinements à Linzolo est d'environ 20 m³, il est donc plus faible que celui trouvé par K.E. Seutloali, 2014, p 75. Par contre le volume moyen et maxi des ravins de Linzolo, estimé à près de 2 776,09 m³ et à 19 097,8 m³ sont plus élevés que ceux trouvés par ce dernier. Quant à la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé, le cas est quasi similaire au niveau même du volume maximal des ravinements qui est de 1 243,62 m³, plus fort par rapport à celui trouvé par le même auteur.

Sur les pistes 3 et 4, les volumes faibles (501,87 m³ et 403,79 m³), moyens (1 414,10 m³ et 1 647,19 m³) et forts (2 014,74 m³ et 5 609,85 m³) sont plus élevés que ceux trouvés par le sud-africain et enfin pour la piste Sadelmi-Loumou-Nguidi, le volume le plus faible des ravinements estimé à près de 58,32 m³ est plus fort que celui trouvé par le même auteur, seul le volume moyen estimé à 293,65 m³ est faible par rapport à celui trouvé par ce dernier. Mais à l'exception de P2 et de P5, les volumes moyens sur P1, P3 et P4 dépassent largement ceux trouvés par H.A. Katz, J.M. Daniels & S. Ryan, 2013, p 6, sur la route du Pikes Peak Highway partiellement pavée entre les Cascade, Colorado et le sommet de Pikes Peak, aux USA. Ces derniers ont estimé les volumes des ravins en 2009 à près de 7 200 m³. Mais les volumes minimums et moyens, estimés respectivement à 3 620 et 5 970 m³, obtenus par ces auteurs, dépassent largement ceux obtenus par nous sur toutes les pistes, à l'exception près de P1 et P4. On peut donc confirmer que les volumes des ravinements routiers dépendent eux aussi de l'état du matériel remanié issue du substrat ou des formations géologiques de la zone, mais aussi de la défaillance des mesures de protection et de traitement des formes d'érosion inefficace lors de la manifestation des dégradations. Autrement dit des causes et des facteurs de ce phénomène dépend l'ampleur des vides.

6.3. Les causes et les facteurs de dégradation des routes en terre

Au regard des observations des processus de genèse, d'évolution et de disposition des dites formes de dégradation sur les routes en terre, ainsi que de leur quantification qui ont permis d'évaluer l'ampleur du phénomène dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, nous pouvons affirmer que les facteurs responsables de cette dégradation routière à la fois naturels et humains, car plusieurs chercheurs du domaine s'accordent sur la combinaison desdits facteurs comme étant responsables de la dégradation des routes en terre en milieu rurales et/ou forestières. Il s'agit entre autres de L. MacDonald, D. Anderson & W.E. Dietrich W.E, 1997, p 851, X. L. Xu, W. Liu, Y.P. Kong & al., 2009, p 497, M. Akbarimehr & R. Naghdi, 2012, p 165.

6.3.1. Les facteurs anthropiques

Dans notre contexte, avant de vérifier et déterminer ces facteurs, des enquêtes sociologiques ont été menées dans la zone d'étude. Cela a permis de connaître la perception des populations sur les causes de ce phénomène, afin de les confronter à nos résultats issues des analyses et de l'évaluation des facteurs explicatifs de cette dégradation routière, dans l'optique de proposer des méthodes de luttés adaptées aux conditions naturelles et anthropiques locales.

A l'issue desdites enquêtes, il ressort qu'en moyenne 42% de personnes pensent que l'abandon des routes par l'état est l'une des causes les plus importantes de cette dégradation routière par l'érosion et 28% perçoivent que le manque de système de drainage des eaux pluviométriques est à l'origine de ce phénomène. Les 30 % restant ont évoqué d'autres causes liées toutes à la responsabilité des hommes.

Fort de cette perception des populations locales, les facteurs anthropiques ont été observés, analysés et évalués en premier, car ils sont à la base de la fragilisation des routes en terre, avant que les causes naturelles ne favorisent le déclenchement des processus d'érosion et d'évolution des formes mineures en ravinements spectaculaires.

Les facteurs humains sont entre autres : (1) la mauvaise structure des pistes, (2) le manque de système de drainage et l'instabilité des talus, (3) la défaillance des techniques de lutte antiérosive sur les pistes, (4) le manque des travaux d'entretien des pistes, (5) la mauvaise exploitation des pistes et l'agressivité du trafic, (5) la reprise de la croissance démographique et l'occupation du sol. Les routes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé ont une mauvaise structure, c'est-à-dire qu'elles sont toutes dépourvu de bombement qui a pour rôle de faciliter l'évacuation des eaux de pluies sur la chaussée vers le système de drainage, ce qui les rend vulnérables aux dégradations multiples. Sur ce point, W. Elliot, 2013, p 564, dans leur étude en Idaho (USA), effectuée sur «*Recent findings related to measuring and modeling forest road erosion* », ont constaté que l'érosion d'une piste forestière en situation de terrasse est due en partie à la mauvaise conception de ladite infrastructure. Cette même surface de roulement n'est qu'en réalité le matériel remanié issus des sols et des formations géologiques en place. Sur les 5 routes en terre, il n'y a que la piste Mayitoukou – Goma tsé-tsé qui a bénéficié d'un apport de latérite avant la municipalisation accélérée du Pool. C'est le cas des routes en terre au Maroc, qui selon R. Tabbouchy (S.A.), p 1, ont pour couches de roulement, les sédiments issus de sols ou de la géologie en place, très sensibles à l'érosion. Ces caractéristiques sur une surface de roulement des pistes en terre, causent souvent la stagnation des eaux (marres d'eau), les bourbiers, les ornières, les rigoles, les nids-de poule et les faïençages qui peuvent évoluer en ravinement si les travaux d'entretien ne sont pas effectués. Cette affirmation s'appuie sur la thèse de W. Elliot, R. Foltz & P. Robichaud, 2009, p 4080, qui estiment en ces termes « *road surface erosion is influenced by flow path of the runoff and erodibility of the surface* ».

Ce signifie que *“l'érosion de la surface de roulement des pistes est influencée par les ruissellements pluviométriques et l'érodibilité du matériel remanié constituant cette surface”*. A cela s'ajoute le manque de couche de base sur ces pistes. Sur ce point, le BMP manual, 2001, p 10, estiment que les routes non revêtues ont besoin d'une bonne couche de fond ou de base pour supporter des charges lourdes et maintenir en état la surface de roulement. De même, le manque de système de drainage des eaux de ruissellement fragilise gravement la structure non constante de toutes les pistes de la zone d'étude. Ceci prépare les espaces bordiers routiers aux ruissellements souvent concentrés et dynamiques qui ravinent de façon longitudinale lesdites infrastructures. Dans le même rapport, il ressort que près de 80% des problèmes de chaussée peuvent être attribués à la présence d'eau provenant d'un mauvais drainage sur la chaussée. Mais si l'eau de pluie est toutefois dispersée à des intervalles réguliers grâce au système de drainage consistant, on peut éviter l'érosion des pistes. Hors les routes de la zone d'étude manque de caniveaux, des buses ou ponceaux et même des fossés latéraux faciles à creuser. Le projet sur l'installation des buses sur la route de Linzolo, dans le secteur de Bissinza-Linzolo, n'a pas abouti en 2013, bien que les dispositifs prévus et disponibles n'ont jamais été posés. Ils sont au contraire abandonnés au bord de la route. De même pendant la municipalisation accélérée du département du Pool, les sociétés qui ont remblayé la même route de Linzolo, avaient créé des zones de rétention d'eau, qui ressemblaient à l'époque aux impluviums. Le but de ces dispositifs était de diminuer la vitesse de ruissellement et limiter les dégradations. Curieusement ces dispositifs mal aménagés se sont transformés en ravinements régressifs. Ce phénomène a aussi été observé aux USA par W. Elliot & M. Tysdal, 1999, cités par W. Elliot, R. Foltz & P. Robichaud, 2009, p 4080, qui stipulent qu'il est possible que les drains eux-mêmes peuvent devenir des foyers de ravinement et de perte des grandes quantités des sédiments lorsqu'elles ne sont pas bien conçues. Quant à la défaillance des techniques de lutte antiérosive utilisées par les populations locales et les sociétés des BTP qui exploitent les carrières des pierres et de sables au fleuve Congo, couplé au manque d'entretien qui est pourtant primordial dans la protection et la durabilité des routes rurales, participent largement à la fragilisation et au fatigue desdites infrastructures. Sur ce point, J. EL-Faleh, 2007, p 1, dans son rapport de communication sur *« les effets des aménagements antiérosifs sur la protection des routes et la fluidité du transport terrestre »* en Tunisie, insiste que la protection des routes passe tout d'abord par la maîtrise des ruissellements, qui passe effectivement, comme évoqué supra, par l'aménagement des systèmes de drainage qui doivent être entretenus régulièrement.

Selon le même auteur, la maîtrise des ruissellements et d'autres stratégies de lutte antiérosive ont permis: « *l'infiltration des eaux de pluie et la réduction de la quantité ruisselée, l'atténuation des effets de l'érosion et la réduction du transport solide et la protection du réseau routier contre les dégâts provoqués par les ruissellements en Tunisie* ».

L'agressivité du trafic dont le TMJ dépassant largement le seuil de 50V/J sur 3 routes (P1, P2 et P5), pose un autre problème sur ces chaussées mal conçues, dans la multiplication des formes mineures sur les chaussées, qui se développent plus tard en ravinements. Notre analyse est renforcée par l'étude de R.E. Bilby, K. Sullivan & S.H Duncan, 1989 ;L.M. Reid, 1981;L.M. Reid &T. Dunne, 1984et L.W. Swift, 1984b,cités parKahklen, 2001, p 2, qui déclarent en ces termes que : “*Traffic intensity and vehicle characteristics affect many of the physical parameters that have been shown to be significant to sediment production from road surfaces*” Ce qui signifie que l'intensité du trafic et les types de véhicules affectent bon nombre des paramètres physiques qui occasionnent le décapage sédimentaire sur la route. De même pour B.D. Fahey &R.J. Coker, 1989 ; R.B. Foltz &E.R. Burroughs, 1990 ; S.R. Haydon &al., 1991, cité par Kahklen, 2001, p 3, le trafic détruit le matériau de surface, ce qui se traduit par une dégradation de la surface de roulement et par une augmentation du transport des sédiments par l'érosion mécanique. Le trafic peut également produire des ornières de route.Cette variable est à la base de beaucoup plus des ornières surtout lorsque la piste est humide pendant la saison pluvieuse. C'est le cas du tronçon Sadelmie-Ntoba Ilélé de la P5, qui est gravement affectée par l'orniérage et largement étudié par I.A.W. M'bouka Milandou &L. Sitou, 2017, p 1. Quant aux pistes Koubola-Bissinza et Koubola-Kibossi, affectées par des surcreusements, en sont arrivés là, à cause du mauvais traitement des ornières (I.A.W. M'bouka Milandou & L. Sitou, 2017, p 124).E. Baird, W. Floyd, L.V. Meerveld & al., 2012, p 4,pensent également que le trafic a des conséquences sur le décapage des sédiments à la surface de roulement des chemins ruraux et forestiers. Pour R.B. Foltz, 1996, p202, les routes à forte intensité de trafic ou celles dont les surfaces ne sont pas bien entretenues peuvent passer d'un aplatissage transversal à un orniérage important. Le débit concentré dans les ornières a une contrainte de cisaillement plus élevée, ce qui augmente sa capacité à éroder et à transporter les sédiments, augmentant ainsi l'érosion. R. Foltz, 2003cité parW. Elliot, R. Foltz & P. Robichaud, 2009, p 4080, a encore soutenu que ces ornières peuvent être réduites si l'on limite le trafic surtout en période pluvieuse, tout en entretenant régulièrement les pistes par des nivellements, en appliquant des matériaux consistants capables de résister à la pression des roues des poids lourds.

Dans la zone d'étude, le tronçon Case Barnier- N'toba Ilélé (P5), a un taux d'érosion par les ornières très faible par rapport aux pistes de la zone sud de la Sous-Préfecture. Les observations de l'état de ces pistes confirment cette différence. Cette assertion a été défendue par R. Foltz, 1996, p195, C. Luce & T. Black, 2001, p 2567, lors des recherches menées aux Etats Unis. Les résultats obtenus ont montré que les taux d'érosion sur les routes à faible trafic représentent 20 à 25% est moins que les taux d'érosion sur les routes à fort trafic. Mais M.J. Welsh, 2008, p 70, a observé des taux d'érosion sur les routes à faible trafic dans un sol granitique dans le Colorado à des niveaux généralement observés seulement sur les routes à forte circulation. Cela signifie que les matériaux constitutifs de la surface de roulement doivent être consistants, afin de retarder la dégradation surtout si les travaux d'entretien sont effectués quotidiennement. Les désordres qui découlent de cette agressivité du trafic, causés par les automobilistes sur les chaussées mal aménagé et non entretenu participe à la fragilisation des pistes en terre de la zone d'étude. Ils se caractérisent par la conduite hors pistes des automobilistes, qui tentent d'éviter les bourbiers, les mares d'eau et même les ornières, les nids-de-poule, les rigoles et les ravinements. Le DEAPEA, S.A., p 9, soutient cette thèse en ses termes « la conduite automobile hors route et le trafic routier sous les pluies affectent la durabilité de la route ».

Dans tous cela, la reprise de la croissance démographique et l'occupation du sol jouent un rôle important, car plus la population s'accroît, plus les activités quotidiennes sont dynamiques (exploitation des terres proches des routes avec pour conséquences la dégradation de la couverture végétale, les feux de brousses, la création des sentiers agricoles, les mauvaises pratiques agricoles, etc.). Ces activités influent de façon indirecte sur la fragilité des routes. Selon J. Leveque, 1994, p 333, qui a fait des recherches sur la relation 'homme-milieu' et les chercheurs comme R. Yongué-Fouateu, Z. Boli Baboule & E. Temgoua, 1994, p 333, l'une des causes principales de la dégradation de l'environnement terrestre est l'accroissement de la population humaine. C'est pour autant dire que lorsque l'environnement est détruit, les routes, surtout rurales qui en font partie, sont également affectées.

6.3.2. Les facteurs naturels

Tous ces facteurs humains qui fragilisent les routes en terre, de façon directe et indirecte, favorisent les facteurs naturels dans le déclenchement des formes de dégradation mineures qui évoluent de façon accélérée, en période pluviale de 8 mois (mi-septembre à mi-mai), en ravinements spectaculaires.

Ces facteurs sont caractérisés par la sensibilité des sols ou des formations géologiques sur lesquels les routes ont été aménagées, l'agressivité du climat et la topographie accidentée des sites.

En effet, la sensibilité des sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, sur lesquels les pistes sont aménagées, a été analysée en profondeur à partir de l'indice d'érodibilité des sols (K). Les résultats ont montré que le facteur K varie entre 0,12 t.ha.h/ha.MJ.mm, caractérisant une résistance moyenne des sols à l'érosion, dans pratiquement toute la partie sud et 0,40 t.ha.h/ha.MJ.mm caractérisant une sensibilité importante des sols sablonneux à l'érosion hydrique pour le nord.

Bien que cet indice montre que les sols, sur lesquels les pistes ont été aménagés au sud, sont assez résistants aux érosions, mais la réalité sur le terrain nous montre une autre réalité. Les routes en terre de cette zone sont les plus affectées, avec des formes de dégradation spectaculaire dont les volumes et les pertes en terre ont été évoqués plus haut. Ce qui explique tout simplement la fragilité causée par les facteurs humains évoqués supra, en dépit du milieu physique qui paraît pourtant assez stable. Quant à la piste Sadelmie-Loumou-Nguidi, aménagée sur une roche sablonneuse dont la vulnérabilité à l'érosion est très élevée, la dégradation par les ornières a déjà dépassé l'étape même des ornières depuis près de 4 ans. En dehors de l'ensablement de ladite piste, la chaussée était assez stable il y a de cela 10 ans. Les dégradations ont commencé à affecter cette route en 2013, lors des travaux de traitement la route de la deuxième bretelle de la RN1, Brazzaville-Mayama-Mindouli, par les chinois de la Société des BTP, CRBC. Puisque ces derniers ont pris la route de Loumou comme raccourci, pour transporter le matériel de travail.

Mais ces valeurs de K, sont très proches de celles obtenues en Afrique par E. Roose, 1980, p 274 et E. Roose & J.M. Sarrailh, 1989, p 13. Ces derniers ont trouvé des valeurs variant entre 0,12 pour les sols ferralitiques sur matériaux sablo-argileux, 0,15 pour les sols ferralitiques sur granit, 0,20 pour les sols ferralitiques sur schiste et jusqu'à 0,40 si les sols ferralitiques sont recouverts de dépôts volcaniques. Plus tard, E. Roose, 1994, p 52 dans ses travaux sur l'introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) pour le compte de la FAO, avait trouvé des valeurs d'indices variant de 0,20 à 0,30 sur les sols ferrugineux tropicaux et 0,01 à 0,10 sur les vertisols, et enfin 0,01 à 0,05 sur les sols gravillonnaires dès la surface.

L'ensemble des mesures effectuées au simulateur de pluie, même sur des parcelles de 50 m² donne des valeurs inférieures aux mesures de longue durée sur parcelles sous pluies naturelles car sur ces dernières, se développent plus facilement des rigoles. Les premières valeurs sont également proches de celles que nous avons obtenues dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé dont les sols sont ferrallitiques. Ces valeurs sont pourtant faibles par rapport aux indices d'érodibilité trouvés aux USA qui selon E. Roose, 1994, p 48 varient entre 0,70 pour les sols les plus fragiles, 0,30 pour les sols bruns lessivés, et 0,02 pour les sols les plus résistants. Pour ce même chercheur, il n'existe pas en réalité, un indice d'érodibilité par type de sol, mais cet indice évolue au cours du temps en fonction de l'humidité du sol, de sa rugosité, du couvert végétal, de la pente et des matières organiques.

Ces paramètres ne sont pas pris en compte au plus haut niveau des classifications pédologiques, on ne trouve pas de relation stricte entre l'érodibilité et les différents types pédologiques existants. Il est évident que l'on n'a pas encore réussi à résoudre le problème méthodologique d'estimation de la résistance des sols à l'érosion et son évolution au cours du temps. Actuellement, on cherche à classer les sols en fonction de différents tests adaptés à différents processus que l'on peut rencontrer dans différentes circonstances. Dans le même ordre d'idée, C. Valentin & J. L. Janeau, 1989-1890, p 47, a montré que l'indice d'instabilité structurale de Hénin était en bonne relation avec la résistance du sol à l'érosion si les gouttes tombent sur un sol sec, c'est à dire au début de la saison des pluies. Par contre, sur les sols humides de fin de saison des pluies, on obtient de meilleures corrélations entre les pertes en terre et les limites de liquidité d'Atterberg. J. De Ploey, 1971 cité par E. Roose, 1994, p 47, a mis au point un indice semblable sur des sols bruns lessivés d'Europe. Il faut également évaluer la capacité d'infiltration et la résistance du matériau au ravinement (force de cisaillement) dans le cas où les sols sont très sensibles au ruissellement.

Mais l'érodibilité des sols dépend largement de l'agressivité climatique. Ici les données de 10 ans (2005-2014) ont été évaluées à partir de l'indice de Fournier et estimé à 66,91 en moyenne et de l'indice d'érosivité des pluies (R) estimé en moyenne à 7 757 MJ.mm/ha.h.an. Ce dernier facteur influence largement la dégradation des pistes en terre, à partir des précipitations et de ses caractéristiques, qui ont la capacité d'éroder à la fois les sols et les pistes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Sur cet aspect, plusieurs auteurs ont confirmé cette thèse et certains ont trouvé presque les mêmes valeurs en Afrique tropicale chaud et humide, il s'agit de B.A. Mayima, 2015, p 59, qui a trouvé un IF de 50,41 à Kondi, dans le Kouilou (Congo), assez proche de celui que nous avons obtenu.

Selon cet auteur, cette valeur (50,41) exprime l'agressivité climatique du plateau côtier, car elle est proche de celles obtenues respectivement par M. Tchotsoua (1996), p 60, à Yaoundé (Cameroun) et M. Mietton, 1980, p 181 à Po Tibelé (Burkina-Faso). Mais, si l'on tient compte du modèle de M. Meddi, 2015, p 326, qui a utilisé l'IF modifié au Maroc, en établissant 5 classes d'IF décrites et catégorisées cet indice est faible. Mais quelques exceptions ont été relevées, si l'on tient compte de la valeur de IF annuelle, certaines années dépassent largement l'indice trouvé par B.A.Mayima, 2015, p 59. Il s'agit par exemple des années 2008 (IF : 132,19), 2005 (IF : 95,65), 2011 (IF : 84,73) et 2007 (IF : 72,65).

Mais avec l'indice d'érosivité des pluies (R), le seuil de 5 000 MJ.mm/ha.h.an exprimant réellement une agressivité forte des pluies sur la dégradation des sols en général et des routes en terre en particulier est largement dépassé. Toutes les années (2005-2014), ont des valeurs allant de 5 022, 4 à 10 399,34 MJ.mm/ha.h.an. Cette situation prouve à suffisance que les pluies à Brazzaville et les environs sont très agressives. Dans ces conditions, avec des pistes mal conçues, aménagées tout simplement sur les sols, non protégées et abandonnées et subissant la pression du trafic, les dégradations par érosion hydrique et ce à partir des ruissellements sont inévitables. Les chercheurs comme K. Délusca, 1998, p 40, qui a estimé l'érosion hydrique des sols à l'aide de USLE dans le bassin versant de la ravine Balan en Haïti, pendant 7 ans (1990-1996), avec des épisodes pluvieux supérieurs à 12,7 mm, a trouvé un indice d'érosivité estimé à 8097,96 MJ.mm/ha.h.an, très proche à celui que nous avons trouvé à Brazzaville et les environs. Il est de même pour celui trouvé à Sainte Lucie (10 000 MJ.mm/ha.h.an), aux USA, inférieur à ceux trouvés en 2007 (10 399,34 MJ.mm/ha.h.an) et en 2011 (10 071,84 MJ.mm/ha.h.an). Mais A.A. Moukendi Katamba, 2009, p 50, qui a évalué R dans le bassin versant de la Funa à Kinshasa (RDC), en tenant compte des données pluviométriques mensuelles récoltées sur une période de 20 ans (1987-2009), a trouvé une valeur moyenne de 220 MJ.mm/ha.h.an. C'est pour ainsi dire que l'Indice R dépend des hauteurs de précipitations annuelles ($P > 850$ mm ou $P < 850$ mm) et de la période (nombre d'année) en fonction des conditions climatiques et du milieu physique étudié.

Au regard de nos résultats et de ceux obtenus par quelques auteurs cités ci-dessus, il y a lieu de se questionner sur les facteurs de variation de l'indice d'agressivité pluviométrique dans le monde. W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1978, p 92, ont même affirmé que cette tendance ou variation d'agressivité pluviométrique augmente lorsqu'on se dirige vers l'hémisphère sud. Face à cette ambiguïté, nous nous sommes appuyés sur les valeurs de R par année pour établir un lien avec les crises de dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

L'année 2007 avec près de 10 399,34 MJ.mm/ha.h.an, dépassant largement la valeur de R (7659 MJ.mm/ha.h.an) trouvée en Floride aux USA (K. Délusca, 1998, p 49) était la plus catastrophique dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Les ravinements causés par exemple sur la route de Linzolo qui à l'époque, avait quelques lambeaux de bitume, nous avait poussé à entreprendre une étude de l'érosion dans le cadre d'une maîtrise de géomorphologie.

Mais les deux variables sur la sensibilité des sols et l'agressivité du climat, ne peuvent pas expliquer totalement la dégradation des routes en terre, dans la zone d'étude. L'analyse du facteur pente s'est imposée, à travers l'évaluation des valeurs des pentes, le facteur topographique (LS) et la situation topographique des sections de pistes.

Dans la zone d'étude les pentes vont de 0 à plus de 25% et la classe des pentes de 15 à 25% occupe près de 625,30 Km², soit 51,24 % de la superficie totale de la zone d'étude, suivi de la plage de 5 à 15% avec près de 29,27 % de surface occupée (357,16 Km²). En dehors de la plage de 25% à plus, qui n'occupe que 19% de la superficie de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, rien que les 2 premières classes de pente, où l'érosion hydrique des routes est naturellement plus dynamique, dépassent les 75% de la superficie totale de la zone d'étude, soit approximativement 10 000 Km². Ce qui expose à cet effet, les pistes en terre déjà fragilisées par les facteurs humains et exposées aux pluies abondantes. Hors le rôle de ce facteur sur l'érosion est reconnu par tous les physiciens du sol, à l'exemple de F.L. Duley & O.E. Hays (1933), J.H. Neal (1938), A. Zingg (1940), H.L. Borst & R. Woodburn (1949) cités par E. Roose, 1977, p 42. Ces derniers ont montré que les pertes en terre dues à l'érosion des sols croissent de façon exponentielle avec la variation de la pente. Pour L. Sitou & B.A. Mayima, 2013, p 9 qui ont réalisé une étude de l'érosion hydrique sur le plateau de Makélékélé à Brazzaville (plateau des Cataractes), pensent que sans inclinaison du terrain, le ruissellement serait faible, les sédiments détachés par le splash resteraient sur place et l'érosion mécanique serait donc nulle. Sur les versants et les flancs des collines, l'eau prend de la vitesse et par frottement, elle incise le sol, ce qui favorise le ravinement beaucoup plus le long des versants des vallées et des flancs des collines. Ces mécanismes se manifestent de façon permanente sur les 05 pistes de la zone d'étude entre la fin du mois de septembre jusqu'à mi mai de l'année suivante couvrant la saison de pluie.

Quant au facteur topographique (LS), il combine les valeurs des pentes et leur longueur, qui ne sont autre que les longueurs des sections des pistes, les pentes des vallées ou des collines bordant des routes.

Ici, la réalité est telle que la classe de LS de 0 – 4 occupe à elle seule près 60 % de la superficie totale de la zone d'étude. Mais nous avons préféré faire la combinaison des classes 0-4 ; 5-9 et 10 - 14 pour totaliser près de 70% de la superficie de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Ce qui semble se rapprocher des valeurs des pentes. En tout état de cause, cette variable joue un rôle important dans la dégradation des sections des pistes en terre, dans la zone d'étude. Les résultats trouvés dans la zone d'étude sont proches de ceux trouvés par A. Sadiki, S. Bouhlassa, J. Auajjar, A. Faleh, & J.J. Macaire, 2004, p 74 au Maroc, dans le bassin versant de l'oued Boussouab (Rif oriental), avec le facteur LS qui varie de 0,48 à 87,9. Pour ces auteurs, les pertes moyennes en sol augmentent linéairement avec l'inclinaison des pentes. Ils ont obtenu un coefficient de corrélation $R^2=0,98$, ce qui témoigne selon ces auteurs de l'importance de l'inclinaison des pentes dans le processus d'érosion en nappe au niveau dudit bassin. De même dans ce bassin, près de 55% de la surface présente des pentes supérieures à 15%, ce qui est tout à fait proche de la zone d'étude, dont près de 51% de la superficie présente des pentes entre 15 à 25°. De même, A.A. Mukendi Katamba, 2009, p57, qui a fait une contribution à l'analyse spatio-temporelle de l'occupation et de la perte des sols au niveau du bassin versant de la Funa, à Kinshasa (RDC), avait trouvé qu'à partir de la carte du facteur LS, les valeurs comprises entre 0 et 37 dominent le bassin versant; et que celles qui sont supérieures à 37 n'occupent qu'une petite superficie, mais les zones qui sont du domaine de cette valeur et plus, sont susceptibles à l'érosion.

La concordance entre le bassin de la Funa et la zone d'étude se situe effectivement au niveau du plateau des Cataractes, qui, comme annoncé tout au début, s'étale jusqu'en RDC. Les valeurs de LS sont presque les mêmes des deux côtés du fleuve Congo. Pour K. El Bouqdaoui 2007, p 68, l'érosion augmentait de façon exponentielle avec le degré de pente et que l'exposant moyen approchait la valeur de 1,4. Il avait également conclu que les pertes en sol étaient fonction de la longueur de la pente. A. Sadiki, S. Bouhlassa, J. Auajjar, A. Faleh, & J.J. Macaire, 2004, p 74, ont rapporté que lorsque l'inclinaison de la pente augmente, l'énergie cinétique des pluies reste constante mais le transport s'accélère vers le bas à cause de l'augmentation de l'énergie cinétique du ruissellement.

Par ailleurs, parlant des variables de pentes et de LS, il importe de relever que les principaux axes routiers choisis pour cette étude notamment ceux de Nganga-loungolo à Linzolo, de Mayitoukou à Goma tsé-tsé gare, de Koubola à Bissinza, de Koubola à Kibossi et de Sadelmie à Nguidi en passant par Loumou, traversent plusieurs types de sites topographiques qui augmentent leur vulnérabilité.

En effet, traversant un relief de plateau très disséqué, les routes de la zone d'étude traversent des terrasses taillées sur les versants des vallées et les flancs de collines, les sommets d'interfluve plus ou moins ondulés, les bas-fonds de vallées et quelques secteurs de plaines. Face à ces différentes situations topographiques des sections des pistes, les risques d'érosion sont élevés. Les conséquences de l'érosion sur ces routes témoignent de cette vulnérabilité. P. Ratpatron, 1993, p 1, avait fait le même constat dans son étude sur l'érosion dans les savanes incluses du Mayombe au Congo. Pour cet auteur, dans ce milieu forestier, les routes occupent à peu près toutes les positions topographiques, bien qu'elles tentent d'éviter les reliefs en se localisant dans les petites vallées intercollinaires et légèrement au-dessus de la limite supérieure des bas-fonds. Les résultats obtenus sont très solides en comparaison aux résultats d'autres recherches menées au Congo et ailleurs dans le monde. Après la vérification des hypothèses, les objectifs fixés ont été atteints.

Dans l'ensemble, le constat est que le milieu physique est assez stable, malgré la sensibilité des sols, l'agressivité du climat en général et la topographie accidentée du milieu. A cet effet, l'homme et ses activités sont incontestablement les premiers facteurs de la dégradation des routes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, car il fragilise non pas seulement le milieu, mais surtout les routes mal aménagées, qu'il utilise sans protection, ni entretien. Les conséquences induites de cette dégradation routière, sont presque les mêmes que celles perçues par les populations locales, car à l'instar des impacts sur l'environnement, d'autres conséquences socio-économiques ont été évoquées. Pour ce faire, des solutions idoines de rémediation à ce phénomène s'imposent. C'est l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 7 : PROPOSITIONS DES SOLUTIONS DE REMEDIATION A LA DEGRADATION DES PISTES RURALES DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE

Ce chapitre propose quelques solutions de lutte antiérosive pour les pistes de la Sous-Prefecture de Goma tsé-tsé. Ces solutions idoines sont proposées en tenant compte du milieu physique et humain de la zone d'étude. Elles sont curatives, car la dégradation des pistes est active et dynamique dans la zone.

7.1. Solutions de lutte antiérosive sur les pistes rurales de la zone d'étude

Depuis des décennies, les gouvernements qui se sont succédés au Congo, ont lutté tant bien que mal, contre de multiples problèmes d'érosion routière en milieu urbain, comme à Brazzaville et à Pointe-Noire, et sur quelques tronçons des routes nationales et départementales.

Dans la plupart du temps, cette lutte antiérosive a pour but d'épargner les populations des désastres causés par ce phénomène ou protéger les infrastructures de base, notamment les écoles, les centres de santé, les bâtiments publics et les routes. Mais ces efforts ne sont visibles qu'en termes de fonds alloués pour la circonstance, qui s'élèvent à des milliards de francs CFA. Cependant sur le terrain, les travaux d'éradication de l'érosion routière sont inefficaces.

Les routes se dégradent de plus en plus, à travers des FEME et des ravinements qui reprennent de l'ampleur. Si en milieu urbain, le problème est récurrent, malgré l'intervention de l'Etat, en milieu rural c'est le désarroi des populations qui ne savent plus à quel saint se vouer. Cela montre qu'en dehors de la défaillance des travaux d'aménagement ou de réhabilitation des pistes en milieu rural, les méthodes ou les techniques de lutte utilisées ne sont pas efficaces, car elles ne tiennent pas compte des caractéristiques du milieu naturel et même du facteur humain.

L'inefficacité des techniques antiérosives est due en partie, au matériel « rudimentaire » de travail utilisé, au manque de matériaux consistants de réhabilitation des pistes, au manque de finition et de suivi post-traitement des dispositifs de lutte antiérosive aménagés, mais également à l'abandon des pistes rurales par les décideurs, qui n'accordent pas assez d'importance surtout au traitement des diverses formes d'érosion qui les affectent.

Le matériel de travail utilisé, le manque de finition et de suivi des dispositifs de lutte anti-érosive confèrent aux méthodes utilisées, une inefficacité et une défaillance qui accentuent non seulement la fragilisation des pistes face à ce phénomène, mais également l'aggravation des FEME en ravinements spectaculaires. C'est pourquoi nous proposons ici quelques techniques plus améliorées qui tiennent compte du milieu naturel et humain de la zone d'étude.

L'idée est de combiner les techniques de construction des différentes infrastructures connues à ce jour avec une végétation à croissance rapide et à système racinaire important (M. Courtaud & F. Maccaferri, 2007 et F. Lelo Nzuzi, 2008 in T. Wouters & E. Wolff, 2010, p 17).

Certains chercheurs comme F. Lelo Nzuzi, 2008, cité par T. Wouters & E. Wolff, 2010, p 4, dans son ouvrage « *Kinshasa. Ville et environnement* », les techniques de lutte anti-érosive doivent mettre particulièrement en évidence l'usage de techniques simples (digues, drains, plantation,...) basées sur l'utilisation de matériaux peu coûteux ou de récupération (sacs de sable, fûts, pneus, carcasse de voiture, ordures,...).

Dans la lutte contre la dégradation des pistes, par l'érosion hydrique dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, l'accent a d'abord porté sur les techniques et/ou les méthodes de traitement curatif des différentes formes d'érosion hydrique. Parmi ces techniques existantes on peut citer : *le traitement mécanique des formes d'érosion moins évoluées (FEME), le traitement mécanique et bio-mécanique des ravinements longitudinaux et régressifs à la piste.*

7.2. Traitement curatif des formes de dégradation des pistes en terre

Comme énoncé et décrit dans le chapitre V, deux types de dégradation ont été observés sur les pistes étudiées dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé : les dégradations mineures, caractérisées par des formes d'érosion moins évoluées (FEME), telles que les têtes de chats, les tôles ondulées, les nids-de-poule, les ornières, les faïençages, les rigoles, les bourbiers, etc. ainsi que les dégradations majeures, caractérisées par des formes d'érosion évoluées (FEE), encore appelées ravinements, caractérisés par les ravines et les ravins longitudinaux et transversaux ou régressifs à la route.

Chaque forme de dégradation, nécessite un traitement curatif spécifique pour rendre exploitable à long terme les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

C'est pourquoi nous avons proposé deux types de traitement : le traitement curatif des FEME sur la surface de roulement et le traitement des ravineurs longeant et coupant les pistes.

7.2.1. Traitement mécanique des FEME : nivellement, profilage et reflachage

Les tôles ondulées sur la piste latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé, les nids-de-poule, les rigoles, les ornières, les faïençages, les mares d'eau sur toutes les pistes étudiées, ne peuvent disparaître qu'avec les travaux de nivellement, couplés au profilage et au reflachage.

A travers nos observations et analyses de terrain, couplées aux recherches bibliographiques, le simple remblayage utilisé par les populations locales ne résout rien.

Il suffit d'un TMJ même inférieur à 50 voitures par jour et d'une série de pluies battantes, de volume important, pour revenir à la case départ et même aggraver la situation.

L'éradication efficace des FEME nécessite les travaux de nivellement, de profilage et de reflachage. Cela exige une niveleuse, un opérateur et un compacteur mécanique. Selon Choctawhatchee, Pea & Yellow Rivers, 2010, p 3, il faut plutôt parler des opérations de « *blading and dragging* », qui consistent à raser et faire trainer le matériel remanié routier dans le but de combler les irrégularités surfaciques et rendre plus lisse la surface de roulement, en utilisant une niveleuse (figure 74 et 75A et 75B).

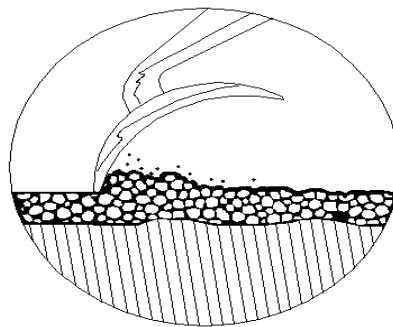


Figure 74: Nivellement d'une piste affectée par les dégradations mineures

©Choctawhatchee, Pea and Yellow Rivers (2010)

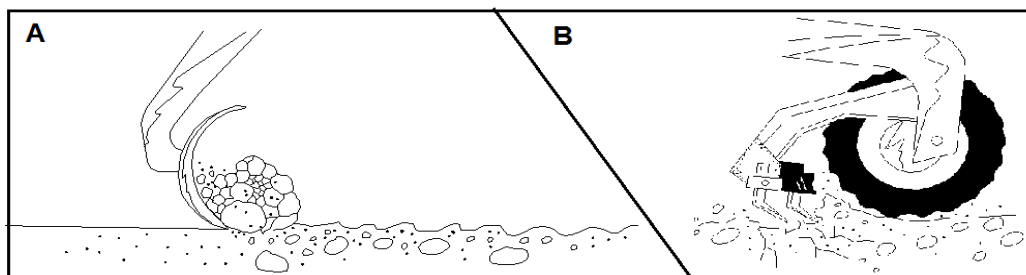


Figure 75 : A- Nivellement d'une piste dépourvue de couche de roulement (tels que les latérites), B-Travaux de brisement ou de cassure des routes à la surface des pistes en zone argileuse ou gréseuse (Inkisi)

©Choctawhatchee, Pea and Yellow Rivers (2010)

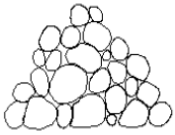
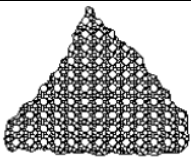

Pour alléger le coût des travaux, il est intéressant de traiter une longue section de piste de 100 m ou plus. Cette méthode de traitement mécanique rapide des FEME est proposée par presque tous les chercheurs, les techniciens des BTP, les bureaux d'étude et les Ministères de BTP, pourvu que les travaux se fassent selon les besoins et dans de bonnes conditions respectant les normes de traitement des pistes.

D. Turton, S. Anderson, R. Miller & al., 1990, p 24, soutiennent l'idée en ces termes : *“grade road surfaces only when necessary to eliminate rutting and surface erosion channels. Grading loosens road surface materials, causing erosion”*. Cela signifie qu'il est mieux de niveler les surfaces des routes lorsque cela est nécessaire pour éliminer les canaux d'ébranchage et d'érosion de la surface et les travaux de nivellement desserrent les matériaux de la chaussée, provoquant l'érosion.

Mais ces opérations de nivellement doivent tenir également compte des matériaux en place et ceux apportés pour les réparations diverses. C'est la seule méthode qui permet d'éradiquer avec efficacité les formes mineures avant qu'elles n'évoluent en ravinement.

A défaut d'utiliser la latérite comme couche de roulement après réhabilitation des pistes, les différents matériaux à utiliser pour accompagner le nivellement sont consignés dans le tableau 65, selon la comparaison effectuée dans « *Guidline for maintenance and service of unpaved roads* » de Choctawhatchee, Pea & Yellow Rivers, 2010, p 1.

Tableau 65 : Comparaison des matériaux favorables au traitement des pistes en terre affectées, inspirée de Choctawhatchee & al. (2010)

Figure	Matériaux et caractéristiques	Avantage dans le traitement des FEME et la réhabilitation des pistes en terre
 <p>A</p>	<p>Gravier ou <i>Gravel</i> en anglais, est caractérisé par des agrégats. Ils sont beaucoup utilisés dans le traitement et la réhabilitation des pistes en terre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'agrégat grossier augmente la résistance des sols de remblayage routier ; • L'agrégat grossier améliore la traction; • L'agrégat grossier est moins érosif, donc, réduit la dégradation de la surface de la chaussée.
 <p>B</p>	<p>Les sables ou <i>Sand</i> chez les anglo-saxon, caractérisé par des matériaux de 2 mm à 50 µm. Ils sont utilisés également dans les opérations de réhabilitation des pistes en terre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le sable a certaines propriétés des éléments fins et des agrégats grossiers • Les sables aident les sols argileux à mieux drainer et à retenir l'humidité dans les matériaux de cours
 <p>C</p>	<p>Les argiles ou <i>Clay</i> en anglais, se caractérisent par des matériaux inférieurs à 2 microns. Ils sont beaucoup utilisés dans le traitement des FEME et la réhabilitation des routes en terre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les argiles agissent comme un agrégat de ciment • La poussière indique la présence des particules fines • L'insuffisance des éléments fins empêchent la formation d'une surface résistante

Le ministère des travaux publics (MTP) du Maroc, par exemple, dans son « guide pour le choix de techniques de construction et d'entretien des routes non revêtues » datant de 1996, a mentionné que : *« les conditions d'humidité qui ont un effet important sur les opérations de nivellement et de profilage. Par temps très humide, on ne peut accomplir que peu de travail et, d'autre part, il est extrêmement difficile d'obtenir de bons résultats quand la surface est très sèche et dure. La meilleure période pour l'entretien est pendant ou peu après une pluie, ou après la saison des pluies, lorsque la superficie est assez ferme mais toujours suffisamment humide pour faciliter l'extraction, le déplacement et le compactage des matériaux. Sans cette humidité qui lie les matériaux de la surface, celle-ci ne restera pas longtemps sise et sans ravine ».*

Le nivellement et le profilage se font au même moment. Pendant les travaux, quelques personnes peuvent être mobilisées pour ramasser et ôter les pierres encombrant le travail et qui peuvent être déplacées lors des opérations de nivellement, et y laisser des creux. Lorsqu'on remarque des détériorations concentrées à certains endroits particuliers, alors, que le reste de la chaussée est toujours en bon état, on utilise en général le reflachage. Cette opération consiste à réparer les détériorations surfaciques de la chaussée par un apport des matériaux acceptables pour l'ensemble de la chaussée. Pour cela, il faudra enlever les graviers amassés au bord de la route avant de réaliser l'opération. Cette opération manuelle, peut être réalisée par les populations locales elles-mêmes, pour traiter les sections de pistes dégradées. Elles peuvent utiliser des brouettes et des pelles pour déplacer le matériau, ainsi que des râteliers pour l'étendre uniformément, et n'importe quel genre de pilons pour le compacter (MTP Maroc, 1995, p 37). Le transport des matériaux de la carrière jusqu'à la piste se fera avec des camions. Si la section à traiter est plus longue, plus de 100 m, une niveleuse peut être utilisée pour étendre le matériel. Dans le cas de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, les matériaux pouvant être utilisés pour finaliser le remblayage et le compactage de la surface de roulement et des bordures des pistes, peuvent provenir des carrières du fleuve Congo, notamment à 3 km de Bissinza.

Quant aux travaux de reflachage, ils se font nécessairement pendant et immédiatement après une longue saison de pluies. Il est très difficile d'obtenir un reflachage de qualité lorsque la surface est mouillée, mais pour la sécurité et le confort des automobilistes, il faut procéder à une réparation temporaire, sans se donner la peine de placer le matériau par couche, ni de compacter.

Ceci pallie aux conditions dangereuses, en attendant de pouvoir réaliser une réparation permanente. Cette réparation permanente doit avoir lieu dès que la surface de la route est suffisamment sèche (MTP Maroc, 1995, p 37).

L'ensemble des travaux de nivellement, de profilage et de reflachage doit être suivi par un compactage efficace, en utilisant un compacteur, afin de consolider et uniformiser la surface de roulement, en tenant compte de son bombement. Ce dernier doit être fait en tenant également compte de la situation topographique de chaque section de piste et du drainage des eaux. Le sens du drainage doit être respecté.

Les différents sens de drainage des eaux par rapport à la situation topographique des sections de pistes sont décrits plus bas. Si les travaux de traitement des FEME combinés à la réhabilitation des pistes ne se font pas en urgence, les FEME vont évoluer en ravinement. Ces dernières sont plus difficiles à traiter et nécessitent de ce fait des moyens financiers et matériels importants. De même les techniques utilisées doivent être efficaces et objectives en adéquation avec le milieu naturel et humain.

7.2.2. Traitement curatif des ravinements sur les pistes rurales

Comme évoqué plus haut, les ravinements sont les formes d'érosion évoluées (FEE) des ornières, des nids-de-poule, des rigoles, des faïençages, des tôles ondulées, pour ne citer que celles-là.

A ce sujet, plusieurs techniciens des BTP, des physiciens du sol, des géomorphologues ont proposés différentes méthodes et/ou techniques de lutte contre ce phénomène qui détruit tout sur son passage. Mais nous nous posons la question de savoir, si en utilisant ces techniques ou méthodes antiérosives, les techniciens des BTP, les aménageurs et les physiciens du sol ont tenu compte du milieu naturel (climat, sol-géologie, topographie, couverture végétale) et de l'occupation du sol des zones rurales?

C'est pourquoi dans cette étude, nous avons opté pour le traitement des formes de ravinements observés sur le terrain, en tenant compte du milieu naturel et de l'occupation du sol.

Par rapport à l'ampleur des dégâts causés sur les routes et leurs espaces proches ou assez éloignés, ces ravinements méritent un bon traitement consistant à combiner les méthodes curatives mécaniques et biologiques.

Après traitement mécanique d'un ravinement, les procédés biologiques doivent être impérativement appliqués pour stabiliser à long terme la zone traitée.

En dehors des gazons de moins en moins utilisés en milieu rural et des bambous pourtant utilisés pour stabiliser les zones sensibles, mais encore agressés ou exploités par les populations dans la zone d'étude, pour des raisons évoquées plus haut, le végétal par excellence, utilisé pour la stabilisation des espaces traités et des les formes d'érosion non remblayées est le vétiver(Photo 111).



Photo 111 : Touffes des vétivers et leurs longues racines.

© Abate & Simane(2012)

Nous proposons, l'utilisation de cette plante pour stabiliser les espaces ravinés après leur traitement mécanique, du fait qu'elle montre déjà ses preuves dans la stabilisation des espaces ravinés et même des talus routiers instables, dans le monde et bien récemment au Congo, où elle a été introduite en début des années 2000. Les spécialistes du vétiver dans la lutte antiérosive parlent de plus en plus du « *Système Vétiver (VS)* » selon M. Rostedt, 2004, p 82. Selon cet auteur, la Banque Mondiale (BM) a développé ce système en Inde, dans la conservation des sols et de l'eau. L. Xu, S. Lu & P. Truong, 2017, p 238, ont même estimé que le VS est maintenant utilisé dans près de 150 pays dans le monde. Ces végétaux sont 13 fois moins cher qu'une solution de type murs gabions ou béton (www.egis.fr).

En Australie, le VS a été utilisé avec succès pour contrôler l'érosion au pont de chemin de fer de Bromelton (à 5 km de Beaudesert) et au site du projet d'érosion du ruisseau West Moreton (dans le comté adjacent de Boonah) (M. Rostedt, 2004, p 82).

Au Congo, son efficacité dans la lutte antiérosive et la stabilisation des talus routiers sur la RN1, notamment sur les bretelles Brazzaville-Igné-Mindouli et Brazzaville-Kinkala, ainsi que sur des sites affectés par l'érosion, tels que le ravin de Massengo, dans l'arrondissement 9 de Brazzaville, Djiri n'est plus à démontrer.

Selon M. Rostedt, 2004, p 82, « *la capacité des vétivers dans la stabilisation des zones sensibles à l'érosion et aux mouvements de masse est due : à leurs systèmes racinaires étendus, profonds et pénétrants, leurs tiges dressées, la formation d'une haie épaisse lorsqu'ils sont plantés les uns près des autres, à leur utilisation pour surmonter les sols sulfatés acides, leur tolérance au climat froid et chaud, leur résistance à la sécheresse, à l'exploitation forestière et au feu, résistent dans les conditions de sol défavorables (salinité, acidité, alcalinité et sodicité), aux produits agrochimiques et aux métaux lourds. En dehors de ces capacités, ils piègent également les sédiments* ».

Les principes de stabilisation des ravinements par le Vétiver, donnés par M. Rostedt, 2004, p 81) sont très intéressants pour remédier à l'érosion ravinante des pistes en terre de Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Pour ce chercheur, ces végétaux : répandent le débit d'eau, réduisent la puissance érosive de l'écoulement en limitant la vitesse de ruissellement, piègent les sédiments érodés, permettent à l'eau de couler à travers les haies pour encourager le retour de la végétation indigène (herbes et arbres plus tard), ils sont naturels, à faible coût, mais leur plantation varie selon la pente (degré et longueur).

Lors du suivi des travaux de traitement des ravinements sur la route de Linzolo entre 2010 et 2013, nous étions inquiets du fait qu'aucune méthode biologique n'a été appliquée après remblayage des formes d'érosion.

Le constat est qu'après une année, le ravinement a repris de plus belle, à travers une érosion plus brutale avec des FEE plus nombreuses le long du parcours.

Selon I.A.W.M'bouka Milandou, L. Sitou & M.J. Samba Kimbata, 2016, p 361 la défaillance des travaux d'aménagement sur cette piste est à la base de la croissance de près de 44% de ravinements entre la période pré-municipalisation (2008-2009) et post-municipalisation (2014-2015).

La densité des ravinements par PK estimée à 3,48 avant les travaux de municipalisation (2008-2009) a atteint 5,01 ravinement/PK après les travaux de municipalisation (2014-2015).

Pour ces auteurs, le traitement des ravinelements ne consiste pas à retarder leur évolution, comme le pensent certains techniciens des BTP et aménageurs, mais plutôt d'éradiquer le phénomène, afin de protéger et stabiliser à long terme les zones affectées.

Les propositions de traitement curatif ont tenu compte des différents types de ravinelement et leurs dispositions sur les routes. Les aspects physiques (sol, pluviométrie et topographie) et humain (méthodes de lutte antiérosive locales, trafic et occupation du sol) du milieu ont été pris en compte.

- **Traitement bio-mecanique des ravinelements longitudinaux aux pistes**

Le traitement bio-mecanique concerne les ravines et les ravins qui taillent les rebords des pistes en terre dans la zone d'étude. L'opération consiste à remblayer les espaces bordiers routiers, affectés par les ravines et les ravins qui longent les pistes, avec des matériaux tels que les sédiments, les graviers, les sables et même les argiles.

Dans la zone, les grès de l'Inkisi, qui apparaissent à différents endroits peuvent être utilisés, car ils sont très efficaces dans le traitement des formes d'érosion. Après le remblayage des formes d'érosion, on plante sur les bordures des pistes, le vétiver de façon à les classer en colonne.

On sous-entend qu'un espace bordier de la route raviné est dépourvu de la couverture végétale, à cet effet le vétiver doit être planté jusqu'à atteindre la végétation naturelle de façon à le fondre dans la nature (figures 76 et 77).

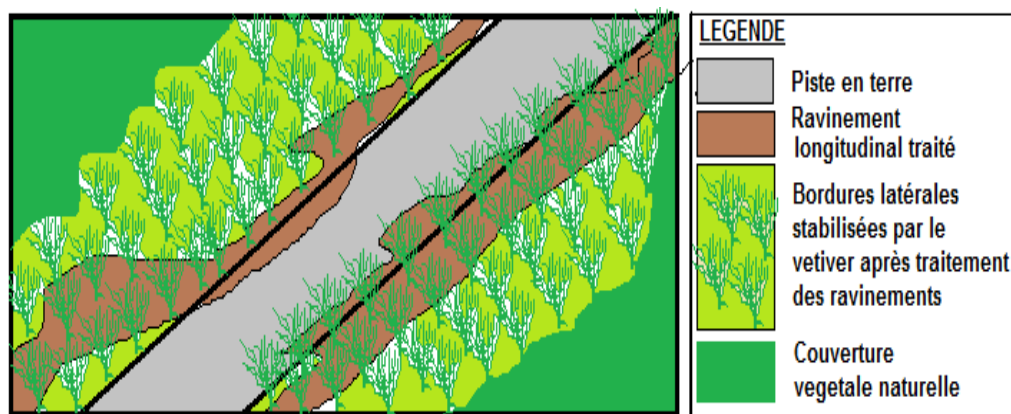


Figure 76 : Remblayage et stabilisation des rebords d'une section de piste en zone assez plane, affectés par les ravinelements longitudinaux

© Idriss M'bouka Milandou

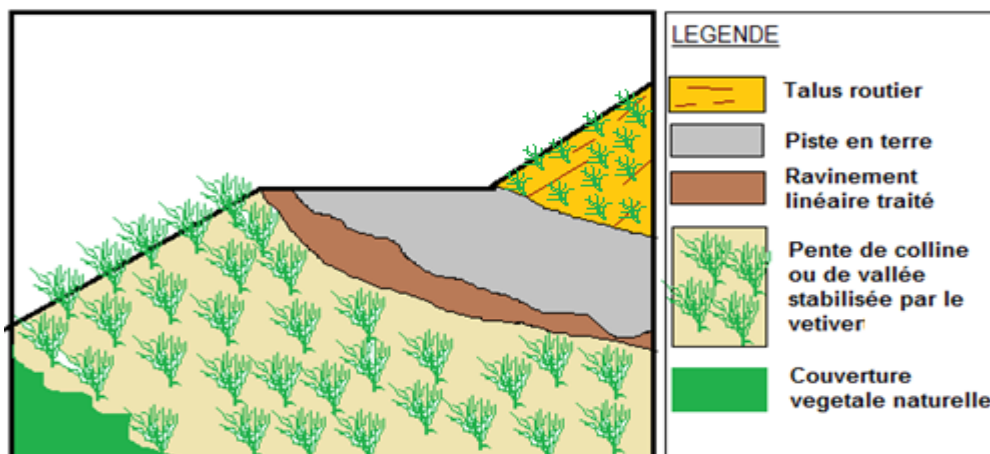


Figure 77 : Remblayage d'un ravinement longitudinal et stabilisation des pentes par le vétiver sur une piste en terrasse.
 © Idriss M'bouka Milandou

Dans le cas où les espaces sont couverts de façon naturelle, les plantes peuvent être limitées à un certain niveau, en s'assurant que la végétation naturelle sera protégée. Cette méthode remplace efficacement les géosynthétiques utilisés dans les pays développés pour stabiliser une pente ou un talus routier instable. La renaturalisation des rebords routiers doit tenir compte de la situation topographique de chaque section de piste. Le début de la saison pluvieuse (octobre) est favorable pour le remblaiement et la plantation des végétaux. Ces derniers doivent être arrosés dans un premier temps avant l'arrivée des pluies en fin septembre et début octobre. Dès l'arrivée des premières pluies, le problème d'arrosage ne va plus se poser, car la fréquence et le volume de ces dernières suffisent pour que les vétivers s'alimentent en eau et se développent en quelques semaines. Une fois bien enracinées ou établies, ces plantes feront leur preuve sans arrosage supplémentaire. Mais ils doivent être protégés contre les feux de brousse et les piétons qui peuvent les détruire à tout moment. Pour une meilleure stabilisation des zones traitées et des talus instables, les végétaux doivent être disposés en bandes (photos 112 et 113, Planche n°38).

PLANCHE N° 39 : Stabilisation des talus routiers par les vetivers



Photos 112 et 113: vétiver stabilisant les rebords d'une piste au Vietnam.

Avec cette combinaison bio-mécanique dans le traitement des ravinelements longitudinaux, les pistes dans la campagne congolaise en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier, seront stabilisées le long des parcours et protégées contre les érosions qui les rétrécissent.

- **Traitement bio-mécanique des surcreusements des pistes en terre**

Les surcreusements des pistes, qui sont considérés comme des ravinelements longitudinaux majeurs avec des pertes de terres importantes doivent être remblayés totalement, au moment où le processus est encore au début. Mais lorsque la forme a pris corps avec plusieurs mètres de profondeur, il faudra procéder à la stabilisation des parois instables par des méthodes bio-mécaniques.

• **Remblayage mécanique des surcreusements**

Les surcreusements les moins évolués et plus nombreux, qui affectent les pistes de Koubola-Kibossi, Koubola-Bissinza et à Bissinza sur l'axe Nganga Loungolo-Linzolo, peuvent être directement remblayés avec des matériaux tels que les sédiments sableux, argileux, gravillonnaires et gréseux (Inkisi). De même, les ordures ménagères et les carcasses de voitures, peuvent constituer la première couche de remblaiement, avant d'ajouter les matériaux cités ci-dessus.

Le tout est suivi d'un compactage intense avec le compacteur mécanique. Une fois la tranchée colmatée, on peut retrouver le niveau de piste d'antan. Il faudrait ensuite prévoir les fossés latéraux pour canaliser les eaux de pluies et protéger les espaces situés de part et d'autre de la piste retracée, par le système vétiver. Ces plantes doivent être disposées comme décrit plus haut.

Mais cette méthode nécessite des moyens colossaux en termes de fonds et de matériaux. Seul l'Etat ou les organisations internationales (Banque mondiale, PNUD, etc.) peuvent financer ces travaux. Cependant, lorsque les surcreusements prennent de l'ampleur, c'est-à-dire, deviennent plus graves en terme de longueur et de profondeur, comme c'est le cas des surcreusements de plus de 1 000 m³ localisés sur les pistes Koubola-Kibossi et Koubola-Bissinza (réf. Tableaux 23 et 24 ; page 141 et 143), ils ne peuvent pas être remblayés du fait qu'ils vont nécessiter beaucoup de tonnes de terre et seront plus coûteux. Pour ce faire, la stabilisation des parois est la solution la plus adaptée.

- **Stabilisation bio-mecaniques des parois des surcreusements**

A défaut d'être colmatés complètement à cause de l'ampleur du phénomène, les surcreusements peuvent être stabilisés dans le but de conserver le tracé de la piste. Ici, ce sont les parois de la forme qui doivent être stabilisées pour éviter l'évolution latérale de la forme. Pour ce faire, le plancher qui est la surface de roulement de la piste, doit également être stabilisé.

Le travail de stabilisation doit précéder celui de l'adoucissement rectiligne ou l'adoucissement en gradins des pentes des parois, de façon à diminuer leur raideur trop inclinée dans le cas des surcreusements rectangulaires ou trapézoïdaux. Le but est de les rendre trapézoïdales (Figure 78A, 78B, 78C et 78D).

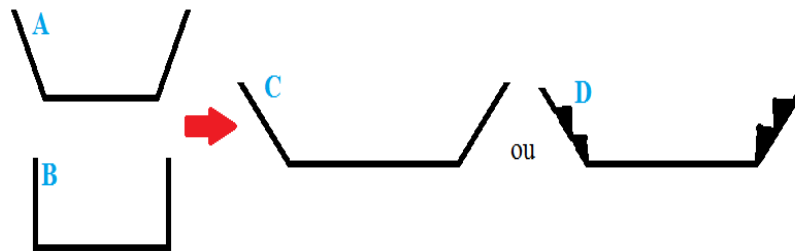


Figure 78 (A, B,C et D) : Traitement des surcreusements trapézoïdaux et rectangulaires par adoucissement des parois et des gradins avant le planting des vetivers

© Idriss M'bouka Milandou, 2017

L'adoucissement rectiligne diminue le caractère trop abrupt des pentes, ce qui diminue l'énergie des ruissellements pluviométriques et protège la route des divers mouvements de masse (éboulement, détachement vertical de blocs de sols, fissurations, etc.).

A partir de nos observations, nous avons constaté que les surcreusements en trapèze dont les talus sont moins inclinés résistent mieux aux éboulements que les formes en trapèze et en rectangle aux parois abruptes. Ce travail se fera par un rasage des parois à l'aide des engins excavateurs, appelés "*POKLINS*" spécialisés dans le creusement des routes en tranchée, ou même à la main avec des pelles, pourvu que la main d'œuvre soit nombreuse.

Après les travaux mécaniques ou manuels d'adoucissement du surcreusement, le système vétiver (VS) doit être appliqué pour mieux stabiliser les parois. A cet effet, les végétaux doivent être disposés de façon entrecroisés comme illustré sur la photo 114.



Photo 114: Applications of Vetiver grass for landscape stabilization (GTZ-IFSP/ South Gonder,2005)

Les vétivers doivent être également plantés de part et d’autres des espaces bordant le surcreusement pour éviter l’évolution latérale de la forme par fissuration et détachement des pans entiers qui vont basculer sur la piste (figure 79).

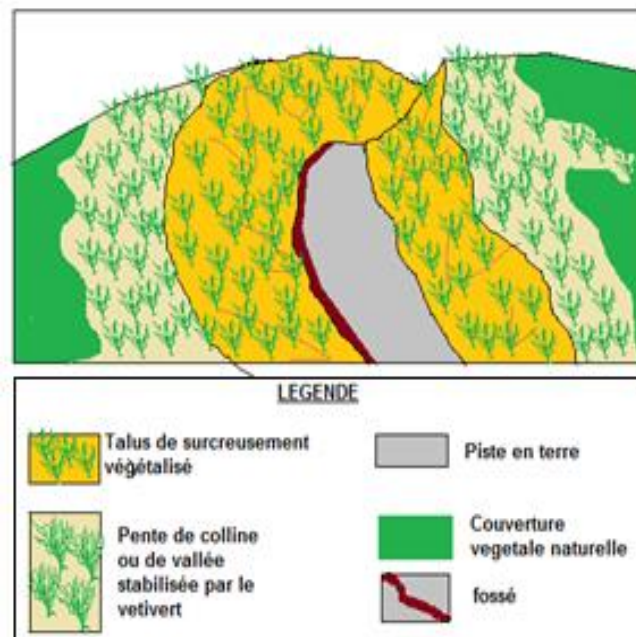


Figure 79 : Méthode de protection des parois des espaces bordiers d'une piste surcreusée.

© Idriss M’bouka Milandou, 2016

L’adoucissement des parois en gradins peut être appliqué avant de réaliser le planting des vétivers. Son avantage est qu’elle diminue l’énergie des ruissellements venus des parois des surcreusements ou des talus (Figure 80).

Les gradins sont aménageables dans les secteurs où les sols sont argileux ou argilo-sableux (SEC 1 ; 2 ; 3). A cet effet, il faudrait prévoir des caniveaux ou des fossés latéraux pour maîtriser les ruissellements sur la piste et ceux venus des parois stabilisées biologiquement.

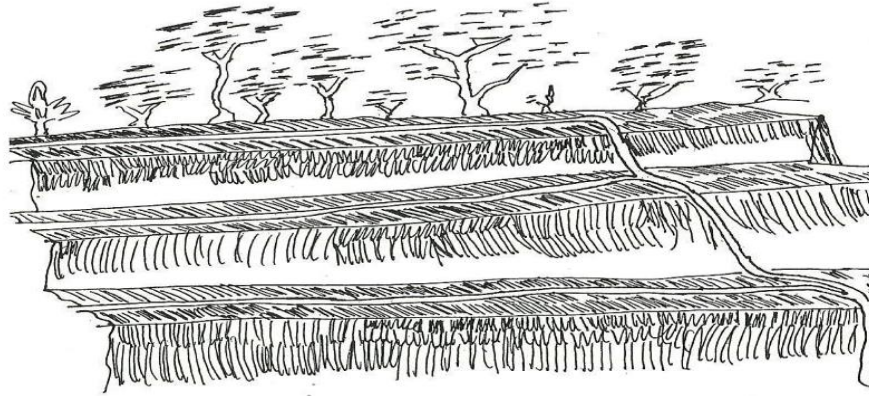


Figure 80 : Parois ou talus d'un surcreusement de piste disposé en gradin couplé aux caniveaux.
©Bassoukissa, 2012

Cette méthode bio-mécanique est également utilisée dans la stabilisation des talus routiers au Congo. Le cas de la bretelle Nganga-Loungolo – Kinkala est une illustration parfaite de cette méthode.

Les secteurs de Touboula, de Massissia et de Saint Isidore, sur l'axe de Linzolo et quelques sections de piste vers Mayitoukou peuvent être stabilisés de cette manière.

Mais si l'Etat dispose de plus de moyens financiers, tout en tenant compte de l'importance socio-économique d'une piste, on peut stabiliser les parois des surcreusements par la technique du béton et ou la combinaison de deux techniques antiérosives : *la méthode du béton projeté et la méthode d'armement du sol par des poutrelles*.

Ces méthodes ont été utilisées sur quelques routes nationales au Congo, pour stabiliser les talus routiers. C'est le cas de la RN1, Igné-Mindouli (Pool) et la section réhabilitée et bitumée Dolisie- Pointe-Noire dans le Mayombe (Photo 115, 116 et 117, Planche n°39).

Dans ce cas, il faudrait également prévoir des caniveaux en petites terrasses (Photo 118, Planche n°39) pour maîtriser les eaux jusqu'au pied du talus ou des parois. Ces eaux doivent être évacuées ensuite par les caniveaux ou les fossés bien aménagés, en tenant compte du bombement de la surface de roulement de la piste.

PLANCHE N° 39 : Stabilisation des talus routiers par les méthodes mécaniques

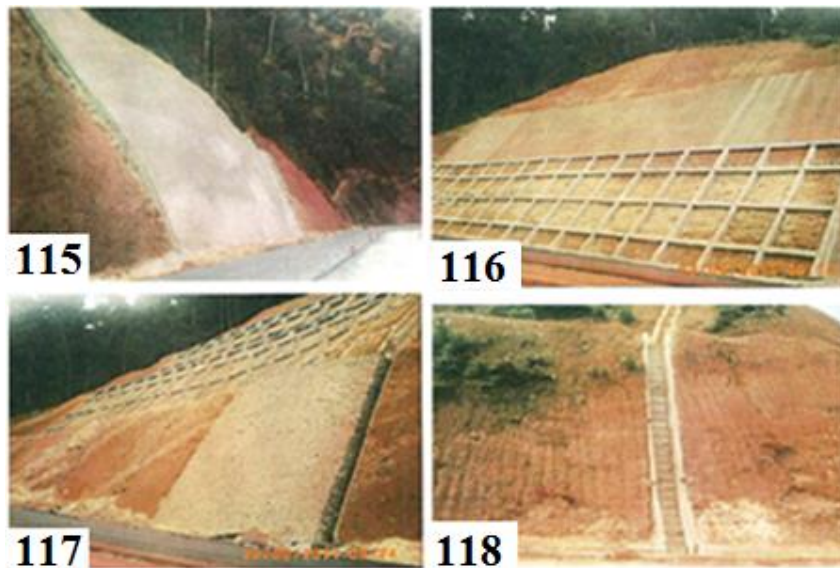


Photo 115 : Talus stabilisé par la technique de béton ; Photos 116 et 117 : Talus Stabilisés par la méthode du béton projeté et la méthode d'armement du sol par des poutrelles ; Photo 118 : Caniveau en petite terrasse.

© Bassoukissa (2012)

Pour ce faire, un ou deux caniveaux ou fossés doivent être prévus d'un côté ou de part et d'autre de la piste pour protéger la route des eaux en provenance de l'amont de la piste (ouverture du surcreusement) et sur les parois à stabiliser. Le bombement de la surface de roulement doit être orienté dans le sens de la pente en direction des caniveaux ou des fossés latéraux (figure 81A, 81B et 81C).

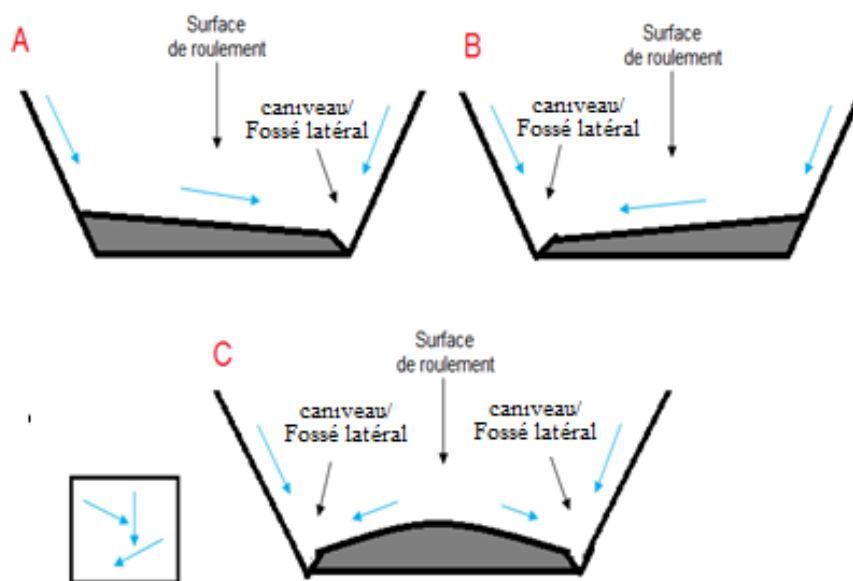


Figure 81 (A et B): Inclination d'une piste surcreusée d'un côté, pour évacuer l'eau dans les caniveaux ou les fossés latéraux, (C): Bombement de la piste surcreusée pour diriger les eaux dans les caniveaux ou les fossés latéraux (de part et d'autre)

© Idriss M'bouka Milandou (2017)

- **Traitement bio-mecanique des ravinelements régressifs aux pistes en terre**

Les ravinelements transversaux, dits régressifs, qui coupent souvent les pistes en situation d'interfluve ou de terrasse peuvent être traités par trois techniques différentes : le traitement bio-mecanique ; le gabionnage et l'installation des digues en sacs remplis des terres couplés au système vétiver.

• **Traitement des ravinelements régressifs**

Ces formes d'érosion doivent être chargées du bas vers le haut, par des ordures ménagères, des carcasses de voitures ou d'autres déchets de toute nature, avant le remblayage de la surface par divers sédiments cités plus haut et en l'occurrence les grès de l'Inkisi. Après cette opération, le planting des vétivers peut s'effectuer, en respectant leur disposition sur les pentes et la période de mise en terre, selon les procédés décrits plus haut (figures 82A et 82B).

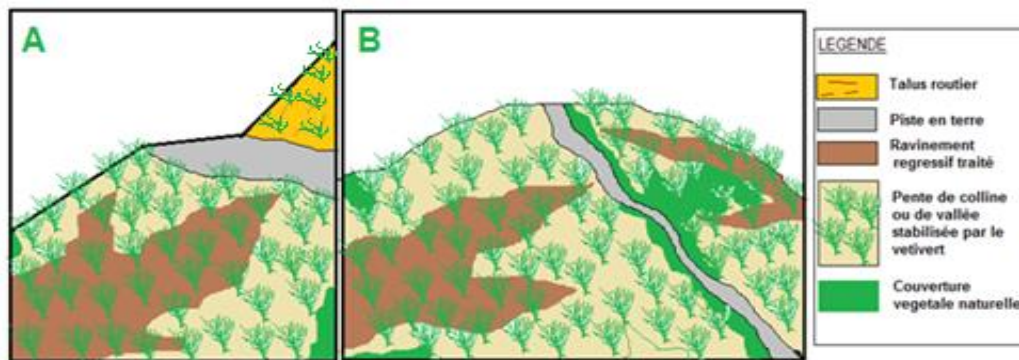


Figure 82 : Exemple de traitement bio-mecanique des ravinelements régressifs sur une piste en terrasse (A) et en situation d'interfluve (B)

© Idriss M'bouka Milandou, 2017

Après ces deux opérations, qui nécessitent une importante main d'œuvre de la localité ou l'intervention de l'Etat avec des moyens financiers et techniques importants, les autorités locales doivent s'atteler à prendre des mesures de protection des espaces traités, contre les activités de l'homme (création de sentiers, désherbages, feux, labours, etc.). Cela permettrait de favoriser une bonne croissance des végétaux, qui sera accompagnée de la poussée d'une couverture végétale naturelle, mais également de la restauration des caractéristiques des sols (structures, matière organique, porosité, etc.).

• **Le gabionnage des ravinelements régressifs**

Le gabionnage est une technique qui consiste à fabriquer des cages métalliques en fils de fer galvanisé de classe C triple torsion, empilées de pierres les uns des autres, dans le but de former une barrière filtrante des eaux de ruissellement.

Le remplissage des pierres dans les gabions se fait de manière à placer les grosses pierres sur les faces externes du gabion. Le grillage maintient les pierres ensemble et les empêche de bouger sous la pression de l'eau, puis on attache solidement trois tirants aux mailles latérales pour éviter l'affaissement des côtés du gabion. Le couvercle est fabriqué à part, puis lié au panier au moment de la finalisation du remplissage des pierres. Ainsi d'autres gabions doivent être construits et remplis de pierre à côté du premier, pour faciliter une bonne juxtaposition pour consolider une bonne liaison entre eux dans le ravinement (www.reseda-niger.net).

Cette technique de lutte contre l'érosion et même d'aménagement des sols peut être appliquée ou utilisée en zone sablonneuse et même latéritique, en milieu urbain ou rural (www.reseda-niger.net). Etant donné que la zone d'étude est géologiquement dominée par l'Inkisi, couverte des sables Batékés par endroits au sud, et dominée par ces derniers dans toute la partie septentrionale, ces dispositifs de lutte seront efficaces contre les ravinements routiers. Ainsi les ravinements régressifs les plus graves, peuvent être stabilisés en transformant leurs planchers en gouttières ou collecteurs géants, comme ce fut le cas au sud de Brazzaville (Makélékélé-Kingouari) et au nord-est (Djiri). Ces collecteurs servent de maîtrise de ruissellement dans les bas-fonds du ravinement stabilisé, comme ce fut le cas pour le grand ravin de Kingouari, dans le petit bassin versant de la Mfilou à Brazzaville (Photo 119, Planche n°40). Ce dispositif permet de stabiliser également les rebords des talus instables le long des pistes. Dans ce cas, tout le talus ne sera pas gabionné. Les gabions peuvent être construits au bas du talus (photo 120, Planche n°40) et le reste de la pente peut faire l'objet de végétalisation par les vétivers.

PLANCHE N° 40 : Stabilisation des ravins et des talus instables par des gabions



Photo 119 : Stabilisation par gabionnage d'un ravin à Kingouari - Brazzaville. ©Ndona et Truong (SA)



Photo 120 : Stabilisation d'un talus instable par le gabionnage. © www.google.com

Ailleurs on utilise d'autres végétaux autres que le vétiver, notamment des gazons. Cette méthode a été utilisée le long du talus routier du quartier « la fougère » à Makélékélé, mais également sur la rivière Mfilou, à Kinsoundi, à Brazzaville, pour stabiliser les berges des cours d'eau qui sont souvent érodées par les ruissellements concentrés qui proviennent des routes en situation de vallée.

Les sections de route qui sont dans cette situation dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, peuvent être stabilisées pour éviter les ravinements et diminuer la sédimentation des cours d'eau. Ce dispositif permet, entre autres, de ralentir la vitesse des eaux pendant les crues, d'enrayer le phénomène d'érosion hydrique qui a des effets décapants sur la croûte superficielle du sol et de favoriser l'épandage et la sédimentation dans les vallées (www.reseda-niger.net).

Sur les pistes de la zone d'étude, affectés par les ravinements régressifs, la fabrication desdits dispositifs doit se faire sur place, dans le ravinement en traitement, comme ce fut le cas pour les ravins de Kingouari (Makélékélé) et d'Emeraude (Djiri) à Brazzaville. Le coup de construction des gabions est très élevé, en termes de finance, surtout dans le transport des pierres, l'achat des fils de fer et la main d'œuvre. Seul l'Etat, à travers les autorités préfectorales de Kinkala et sous-préfectorales de Goma tsé-tsé, peuvent y faire face pour stabiliser les ravins régressifs qui coupent les pistes de Goma tsé-tsé.

L'avantage de la zone, c'est sa proximité du plateau des cataractes où les pierres utilisées dans le gabionnage, peuvent être extraites et transportées facilement par camion sur les pistes affectées. La plus grande carrière se situe à 3 km de Bissinza, sur la route Nganga Loungolo - Linzolo. Pour la main d'œuvre, elle est très abondante dans la zone d'étude, pourvu qu'il y est une mobilisation des jeunes, qui au départ doivent être informés et formés dans la technique de construction des gabions dudit dispositif. Pour ce faire l'approche HIMO, qui consiste à utiliser la haute intensité de la main d'œuvre, utilisé dans beaucoup de pays africains, s'impose.

A cause de leur coût élevé, les gabions sont utilisés dans la lutte contre l'érosion régressive et l'instabilité des talus sur les routes d'importance économique. Mais si l'Etat n'a pas assez de moyen ou le projet de gabionnage des ravins tarde, les populations ensemble avec les autorités sous-préfectorales peuvent utiliser la méthode des digues des sacs de ciment remplis de sédiments couplée au système vétiver.

- **La stabilisation des ravineurs régressifs par les digues couplée au VS**

Les digues des sacs remplis de sédiments sont déjà utilisées par les populations locales dans la lutte anti-érosive, mais avec peu de résultats concrets. Il suffit donc d'améliorer ce système pour stabiliser les érosions régressives *in situ*. Cette amélioration consiste à mieux construire le dispositif dans les ravineurs, en suivant les techniques et les méthodes qui devraient être mises à la disposition des populations à travers des campagnes de sensibilisation. En général les matériaux utilisés sont les sacs de ciment vide, remplis des sédiments. Les sacs doivent être superposés les uns sur les autres (Photo 121, Planche n°41). On n'utilise pas des pierres pour remplir les sacs, car elles vont vite les trouser. Après aménagement des digues, les vétivers doivent être plantés entre les sacs pour consolider le dispositif (Photo 122 ; 123 et 124 Planche n°41).

PLANCHE N° 41 : Stabilisation des ravineurs par le couplage des digues de sacs remplis des terres et le vétiver



Photo 121: Ravinement régressif traité par la construction d'une digue de sacs de ciment remplis de sédiments à Brazzaville (Quartier nord-ouest de Brazzaville), Photo 122 : Planting des vétivers entre les sacs de ciments, Photos 123 et 124 : Croissance efficace des vétivers sur la digue.

© Ndong et Truong (2006)

Pour A. Ndong & P. Truong, 2006, p 13, le vétiver incorporé entre les sacs remplis de sédiments va renforcer le dispositif en stabilisant les sols sous les digues. La profondeur de leurs racines stabilise les sacs par rapport à la pente. De même sa croissance facilite l'infiltration rapide des eaux dans les sols, entre les sacs. Si l'opération se fait en période sèche (mi-septembre), il faudrait arroser pendant un certain temps (4 fois par semaine, pendant 1 mois) pour que les végétaux poussent vite avant l'arrivée des grandes pluies en octobre.

Dès que les vétivers seront fixés entre les sacs, on aura plus besoin d'arrosage. Sans l'application du vétiver, les sacs seuls ne peuvent résister à l'érosion, car le passage répété des hommes sur les sacs, fragilise le dispositif. Les sacs sont obstrués, les sédiments sont libérés, ainsi les digues se vident. En une seule pluie de volume important, tout le dispositif peut céder et se laisser emporter par les ruissellements. Les deux auteurs cités ci-dessus qui ont présenté l'efficacité du vétiver dans la stabilisation des ravinelements dans les quartiers nord-ouest de Brazzaville, ont beaucoup insisté sur ce point. C'est pourquoi dans nos propositions de traitement mécanique des ravinelements, les méthodes biologiques viennent en appui pour renfoncer, consolider et stabiliser à long terme les sites traités.

En milieu rural congolais en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier, les populations peuvent elles-mêmes construire ces dispositifs, pourvu qu'elles soient informées et formées dans les techniques efficaces d'aménagement et dans le planting des vétivers. Ainsi les ravinelements régressifs des pistes de Linzolo, de Sadelmie-Case-Barnier et de la piste latéritique Mayitoukou- Goma tsé-tsé, peuvent être stabilisés.

Le traitement des formes d'érosion est plus coûteux que la prévention du phénomène. C'est pourquoi il est mieux de prévenir que de guérir, par des méthodes préventives appropriées. Dans cette étude, toutes les méthodes préventives contre la dégradation des routes par l'érosion hydrique et ses conséquences induites, sont incorporées dans un « plan de gestion durable des routes ou des pistes en milieu rural au Congo, en général et à Goma tsé-tsé en particulier ». C'est l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 8 : PLAN DE GESTION DURABLE DES PISTES EN TERRE DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE

Les pistes en bon état facilitent le développement économique des villages et l'accès aux services sociaux en zone rurale (B. Rattanatray, 2009, p 1). C'est pourquoi une bonne gestion des pistes en terre, qui constituent l'ossature principale du réseau routier au Congo, doit être pour le gouvernement le fer de lance du développement socio-économique des campagnes congolaises, comme c'est le cas pour la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.

Ce chapitre présente un plan de gestion efficace et durable des pistes rurales au Congo en général et dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en particulier. Il est basé sur quatre opérations : la réhabilitation, la protection, l'entretien et l'utilisation rationnelle des pistes rurales (figure 83).

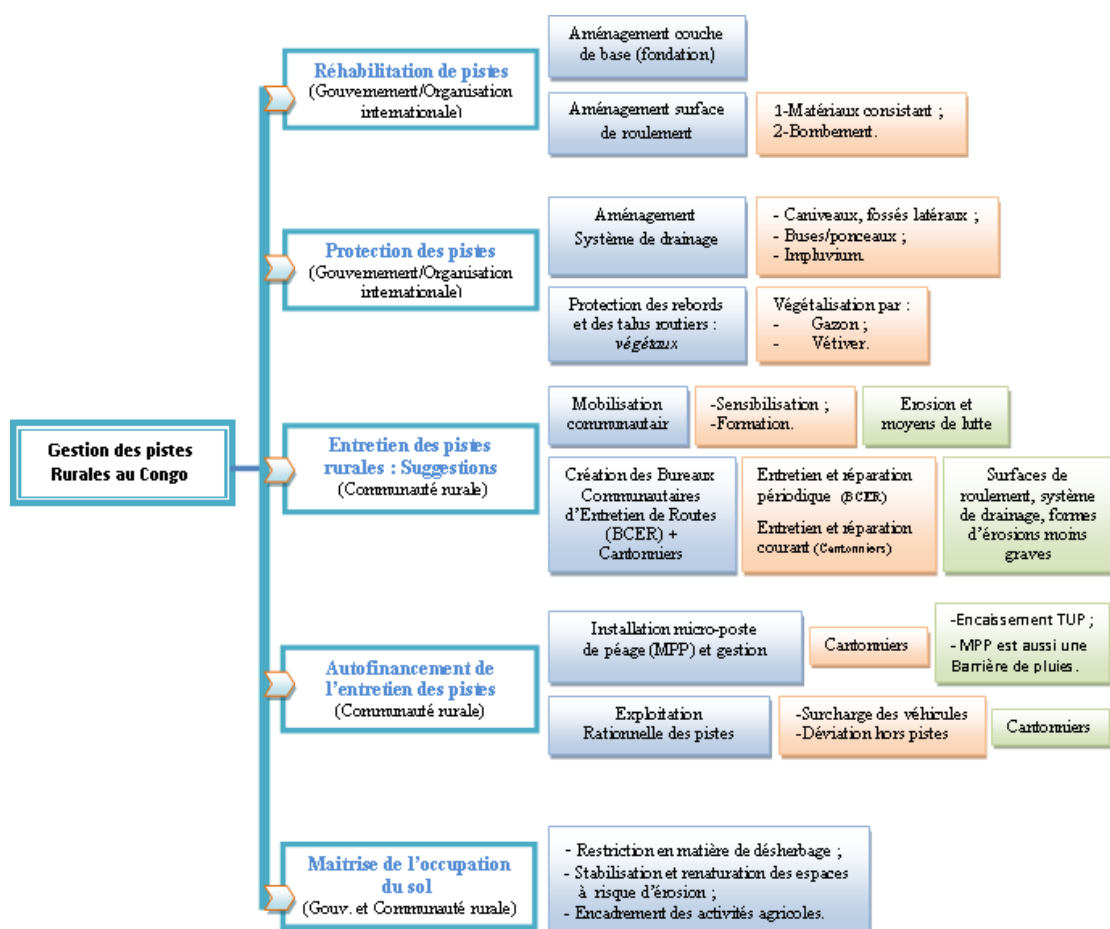


Figure 83 : Plan de la gestion des pistes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé
© Idriss M'bouka Milandou, 2017

Ces opérations doivent être menées prioritairement par les populations locales elles. Pour ce faire, un plan d'autofinancement desdits travaux doit être mis en œuvre. En effet, le plan s'appuie sur la *politique de mobilisation communautaire et d'autofinancement des travaux d'entretien des pistes (PMCA-TE)*, à partir de l'approche de la Haute Intensité de la Main d'Oeuvre (HIMO). La figure 83 décrit plusieurs étapes nécessaires pour réussir cette gestion

8.1. Réhabilitation des pistes en terre

Au Congo, la réhabilitation et l'aménagement des routes menés dans le cadre de la municipalisation accélérée (2004-2016), ont porté principalement sur les routes urbaines, préfectorales, départementales et nationales, au détriment des pistes rurales en terre. Ce qui fait qu'en milieu rural, nombreuses Sous-Préfectures, comme notre zone d'étude, n'ont pas bénéficié concrètement des travaux de réhabilitation des pistes. Cela a constitué un handicap pour le développement local des villages surtout ceux éloignés des routes nationales et départementales. La réhabilitation des pistes rurales demeure par conséquent une priorité nationale.

8.1.1. Aménagement de la couche de base ou fondation

La réhabilitation des pistes passe l'aménagement de la couche de base ou fondation d'une piste en réhabilitation est aménagée dans le cadre des travaux de dimensionnement des routes. Ce dernier consiste à aménager la structure de la piste constituée de la plate forme, de l'assiette et de l'emprise. L'ensemble de cette couche doit être consistante et apte à supporter les poids. C'est pourquoi, les pistes doivent avoir une couche de base ou fondation de la couche de roulement comme le décrit I. Tockol, 1993, p 17.

Le tableau 66 proposé par le MTP Maroc, 1995, p 30, permet d'adopter l'épaisseur d'une route en terre est fonction de trafic, de la prépondérance des dégradations d'origine diverse (climat, trafic, CBR.) et de la facilité d'intervention.

Tableau 66 : Dimensionnement d'une route en terre en fonction du PTC et du CBR

CBR du sol support	Trafic Poids Lourds (PTC>1,5t)		
	0-15	15-45	45-150
3-5	30	-	-
5-7	25	-	-
7-10	20	25	30
10-15	15	20	25
>15	15	15	20

Source : MTP Maroc (1995)

La zone grise indique la nécessité soit d'une couche de forme avec un matériau conforme aux prescriptions du CPC et une épaisseur de 50 cm, soit d'une stabilisation du sol sur 20 cm de profondeur. Si le trafic moyen journalier (TMJ) se situe entre 50 et 260 véhicules par jour, comme c'est le cas des pistes de Linzolo, de Mayitoukou-Goma tsé-tsé au sud et de la bretelle Sadelmie-Case Barnier au nord, un revêtement superficiel est économiquement plus rentable.

Cependant, le manque de couche de base, qui est la condition d'une route durable fragilise la piste par l'agression du trafic dominé en partie par les poids lourds selon C. Babilotte, C. Soulie, C. Berdier & al., 1994, 1998 et 2009, cités par I.A.W. M'bouka Milandou & L. Sitou, 2017, p 14. Selon W. Elliot, 2013, p 567, l'érosion d'une piste forestière en situation de terrasse est due en partie à sa mauvaise conception, notamment la défaillance de toute la structure. C'est pourquoi, les pistes dans la campagne congolaise en général et dans la zone d'étude en particulier, méritent un bon dimensionnement qui doit tenir compte des réalités du milieu physique (climat, sol, topographie) et humain, notamment le trafic et leur utilisation, afin qu'elles soient résistantes dans le temps et garantir la stabilité du trafic qui est l'un des facteurs socio-économiques de développement de l'arrière pays. Ces travaux de réhabilitation devraient être entrepris par l'Etat ou une organisation internationale (Union Européenne, Banque Mondiale, etc.) à travers les ministères habilités (travaux publics, etc.), en utilisant des engins lourds (tracteur, poklins, etc.) pour aller vite.

Ces travaux consisteront à bien aménager la surface de roulement capable de résister au trafic et au poids, ainsi qu'à la pression des pneus par essieu des automobiles. Pour ce faire, après les travaux de nivellement mécanique, il faudrait utiliser un bon matériel de surface et un bombement adapté à la situation topographique de la section de piste. Ces caractéristiques doivent être appliquées dans le strict respect des normes internationales, adaptées à chaque milieu.

8.1.2. Aménagement consistant de la surface de roulement

Pour bien aménager la surface de roulement, il faudrait de bons matériaux résistants et un bon bombement pour évacuer les eaux de ruissellement.

- Les matériaux de surface de roulement

Selon le BMP manual, 2001, p 17, la route non revêtue est capable d'évacuer l'eau, lorsque sa surface de roulement est étanche et imperméable.

Pour ce faire, il faut un matériel constitué des particules fines servant de cohésion pour le maintien de cette surface de roulement, pour éviter la perte de matériel dû à l'affaissement sous l'effet du trafic, ce qui favorise la genèse des ornières, des ondulations et des nids-de-poule. Les techniciens et ingénieurs des BTP, ont proposé un certain nombre de matériaux qu'on peut utiliser comme couche de roulement, tels que la latérite et les matériaux graveleux.

Ces derniers ont été proposés par le MTP Maroc, 1995, p 36, comme couche de surface des pistes. Ces matériaux doivent avoir un minimum de résistance aux contraintes tangentielles sinon les dégradations auront lieu très rapidement. La résistance du matériel est liée à la cohésion et au frottement interne. Les graviers ont une cohésion nulle et un angle de frottement interne élevé. Les sols fins ont une bonne cohésion mais celle-ci diminue lorsque la teneur en eau augmente. Les graviers par temps sec n'ont pas la cohésion nécessaire pour supporter le trafic.

La résistance par temps humide est possible si l'angle de frottement est élevé donc si les matériaux sont concassés. Par conséquent il est nécessaire d'apporter un certain pourcentage d'éléments fins en surface, au squelette en matériaux concassés pour avoir une cohésion suffisante. Mais en Afrique au sud du Sahara, l'idéal est d'utiliser la latérite. Ces matériaux montrent leur preuve au Congo. La « *latérite* » est le nom donné au sol résultant de l'altération chimique des roches et ayant subies le phénomène de « latéritisation ».

Le matériau utilisé pour la surface de roulement, telle que la latérite que nous proposons comme meilleur alternatif dans la réhabilitation des pistes sablonneuses de la zone d'étude, doit avoir plusieurs caractéristiques, entre autres : la **granularité** acceptable qui est la composition d'un matériau ayant un excès d'éléments fins et se présentera comme un sable dans lequel nageront quelques graviers ne pouvant jouer aucun rôle et la **dureté**, pour résister au trafic en période d'exploitation de la route soumise aux frottements entre granulats. Ceci dépend de la plasticité des matériaux (MTP Maroc, 1995, p 36).

- **Le bombement de la surface de roulement**

Les pistes en terre doivent être aménagées en tenant compte des caractéristiques géométriques et géotechniques, surtout si des travaux de bitumage ou de latéritisation sont prévus à moyen terme. Le bombement a pour principe de donner une forme convexe à la surface de roulement afin d'éviter la stagnation des eaux sur la chaussée et faciliter le ruissellement des eaux surfaciques vers les caniveaux ou les fossés et les ponceaux ou les buses.

Selon le MTP Maroc, 1995, p 36, le bombement est l'une des fonctions importantes à effectuer lors des nivellements et de profilage, dans le but de rétablir et conserver la surface de roulement d'un chemin de façon à ce que l'eau de ruissellement puisse suivre le chemin le plus court pour être évacué de la surface de roulement. Ce bombement dépend largement de la situation topographique d'une section de piste. Mais il est important de noter que la géométrie de la chaussée peut toute fois changer selon chaque section de piste, car il est difficile, surtout dans le plateau des Cataractes et même de Mbé, qu'une route soit tracée sur une zone à surface topographique homogène sur près de 3 km.

Les pistes de la zone d'étude confrontées à cette situation, traversent tantôt les sommets des collines (interfluves), les pentes des vallées et des collines et les bas-fonds de vallées. Pour les sections des pistes en situation d'interfluve ou de pentes de vallées ou de collines, la chaussée doit avoir la forme concave, avec près de 3% de pente de part et d'autre de la surface de roulement (figures 84A et 84B).

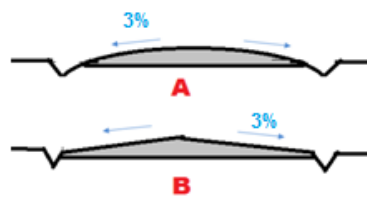


Figure 85 (A et B): Modèles de bombement d'une piste rurale standard
© Idriss M'bouka Milandou, 2017

Ainsi, l'eau sera rapidement évacuée de part et d'autre de la chaussée dans les caniveaux ou les fossés.

Pour des sections en situation de terrasse, la surface de la piste doit être soit penchée également de 3% du côté du talus où une canalisation sera aménagée ou du côté du versant ou du flanc de colline pour évacuer les eaux, avec des collecteurs, dans les bas-fonds des vallées (figure 85A et 85B).

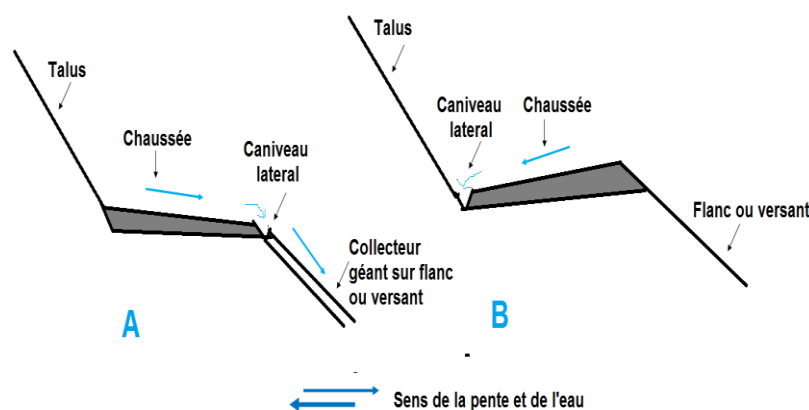


Figure 85 (A et B): Morphologie des pistes en terre en situation de terrasse
© Idriss M'bouka Milandou, 2017

Enfin toutes ces opérations doivent être terminées par un compactage, avec un bon compacteur vibrant lourd. Mais, la bonne qualité de la surface de base et la surface de roulement ne suffisent pas pour garantir la durabilité des pistes en milieu rural ou même forestier, qui subissent non seulement la pression du trafic des poids lourds, mais également l'agressivité climatique, à travers des volumes importants de pluies. Pour ce faire, la protection desdites infrastructures doit être assurée.

8. 2. Protection des pistes en terre

Protéger la piste, c'est maintenir sa structure et garantir sa durée dans le temps, pour le bien des populations locales. Plus la route est bien protégée, plus les travaux de réparation et de réhabilitation seront moindres. Les formes d'érosion, qu'elles soient, seront rares. Cette protection est conditionnée par l'aménagement d'un système de drainage consistant, capable de maîtriser l'eau, mais également d'autres dispositifs de rétention d'eau ou de cassure des ruissellements le long des pistes, tels que les impluviums et les bassins de rétention.

8.2.1. Système de drainage des eaux

Selon le DEAPEA, S.A. p 2, les routes sont souvent affectées par l'érosion lorsqu'on ne parvient pas à empêcher le ruissellement des eaux à la surface de roulement. Il est donc important de doter une piste, quelque soit sa typologie, d'un système de drainage des eaux capable de maîtriser les ruissellements.

Selon P.J. Griffiths, A.B. Hird & P. Tomlinson, 2000, p 25, le réseau de drainage doit être construit pour faciliter la collection et l'évacuation efficace et rapide des eaux. Un bon drainage routier ne signifie pas seulement de bien canaliser les eaux, mais également maintenir et entretenir l'environnement, la santé publique, les ressources d'eau naturelles et la prévoyance des futures activités d'entretien.

Le système de drainage doit se constituer: des caniveaux en prisme rectangulaire latéraux ; des fossés latéraux, des ponceaux ou des buses et des impluviums (figures 88A, 88B, 88C et 88D). En dehors de la maîtrise des ruissellements des eaux sur la chaussée, ces dispositifs jouent le rôle de protection de la surface de roulement contre les stagnations des eaux grâce à leur bombement ou leur inclinaison dans le sens contraire des pentes de vallées ou des collines. Les eaux ainsi maîtrisées sur la chaussée et dans les canalisations, doivent être ensuite évacuées loin des pistes (bas-fond de vallée, pied de colline, etc.). Ces drains sont construits en béton, sur un seul côté ou de part et d'autre de la chaussée (figures 86A et 86B).

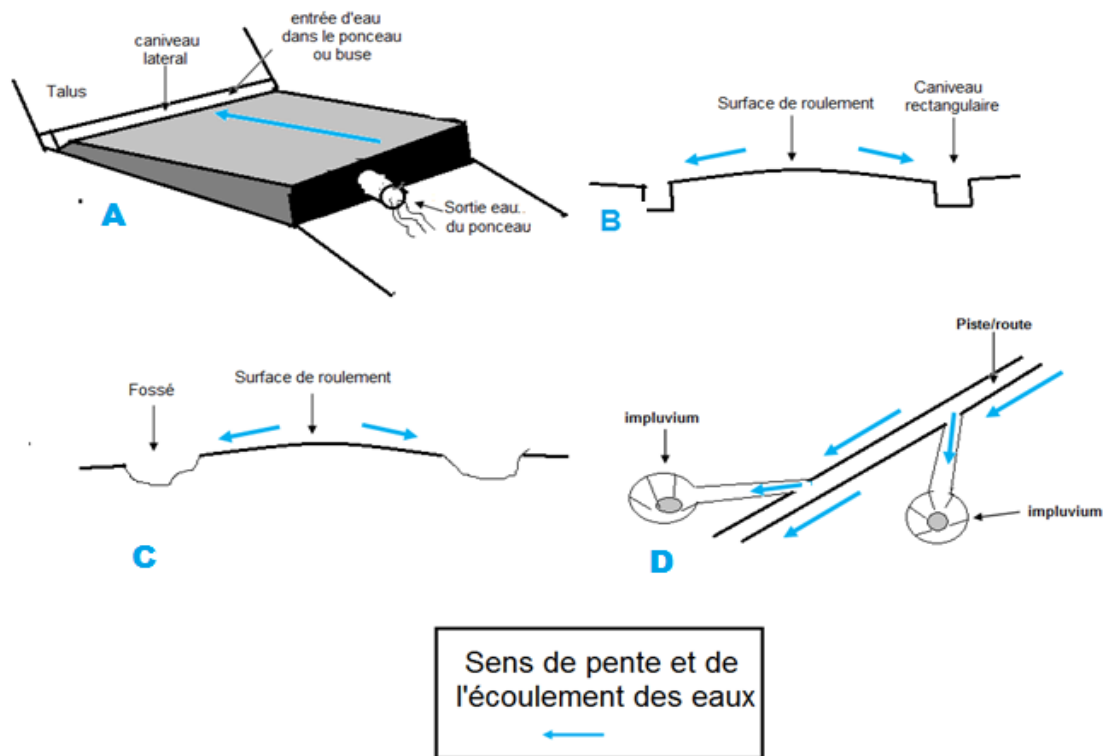


Figure 86: (A) Piste avec caniveaux latéraux rectangulaire, (B): Piste avec ponceau ou buse, en situation de terrasse, (C): Piste avec fossés latéraux, (D): Piste avec impluviums
 ©Idriss M'bouka Milandou, 2017

- Les caniveaux à prisme rectangulaire

À défaut des caniveaux en V de type rase-compagne qui ne sont pas efficaces par rapport à l'agressivité pluviométrique dans le plateau des Cataractes, il faudrait aménager des caniveaux à prismes rectangulaires, plus profonds et consistants. La route de Linzolo dotée auparavant des caniveaux en V n'a pas résisté aux ruissellements concentrés, qui sont à l'origine de sa dégradation sévère depuis près de 2 décennies.

La Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, qui est une zone tampon entre Brazzaville et la partie sud-ouest du département du Pool, doit bénéficier d'un réseau routier bien protégé avec des canalisations à prisme rectangulaire de volume conséquent, ceci permettra de bien canaliser les eaux de pluies et éviter les débordements des ruissellements susceptibles de provoquer des érosions sur la surface de roulement et de part et d'autre des pistes (figure 86B).

• Les fossés latéraux

Les fossés latéraux sont des caniveaux naturels creusés de part et d'autre de la piste, directement dans la roche, pour évacuer les eaux de ruissellement issues de la chaussée et des espaces bordiers de la piste (figure 86C).

Par ailleurs, le fond des fossés doit par exemple être maintenu à un niveau d'au moins un mètre au dessous du niveau de l'accotement ; de même ils ne doivent pas avoir une pente longitudinale analogue à celle de la route, car ils vont faciliter l'augmentation de la vitesse des ruissellements (MTP Maroc, 1995, p 21). Ce type de canalisation fait partie des solutions palliatives en attendant de trouver des moyens financiers conséquents pour implanter des fossés latéraux en béton. Ces derniers sont courants sur les routes rurales africaines en général et congolaises en particulier. Leur entretien consiste à désherber et enlever les déchets qui peuvent freiner l'écoulement des eaux. Cela permettra d'éviter que ces fossés se transforment en ravinement longitudinaux.

Dans la zone d'étude, ils existent juste vers Saint Isidore jusqu'au pont de Mfoumou-Ndoulou, avant le marché de Linzolo, sur l'axe Nganga Loungolo-Linzolo. On en trouve aussi sur la piste latéritique Mayitoukou-Goma tsé-tsé. Malgré cela, certains de ces fossés débordent et se transforment

L'aménagement de ce type de fossés nécessite des techniques et des matériaux appropriés et un entretien régulier, pour qu'ils durent et afin de bien protéger la route. Les matériaux doivent être de préférence proche des grès, comme l'Inkisi et la Mpioka ou carrément des latérites. Dans les zones de sables, comme sur la route de Loumou, les fossés doivent être aménagés avec de la latérite apportée des zones qui en possèdent. Le mieux serait donc de latériter les pistes afin de mieux aménager ces fossés, en attendant l'intervention de l'état. Selon le MTP Maroc, 1995, p 21, les fossés divergents doivent être conçus avec une pente longitudinale d'environ 1 à 2% (pratiquement parallèles aux courbes de niveau) et une longueur telle qu'ils finissent par être à niveau. Les résidus en provenance de fossés divergents doivent être évacués du côté le plus bas. Les raccordements entre les fossés latéraux et les fossés divergents doivent avoir un rayon de courbure d'au moins cinq mètres (5 m), pour éviter les risques d'affouillement à ces endroits. L'espacement de fossés divergents dépend de plusieurs facteurs. Il s'agit principalement de l'érodibilité du sol, de la largeur et de la pente de la route notamment de la pente transversale au niveau du sol. Dans le cas des sols très érodibles les fossés doivent être conçus avec des espacements qui renforcent la résistance à l'érosion.

Le creusement des fossés, tout comme des canalisations, doivent obligatoirement avoir un débouché sûr, par lequel les eaux seront évacuées soit dans les bas-fonds des vallées drainées ou des pieds de collines bien protégés.

Pour MTP Maroc, 1995, p 21, si cela n'est pas possible, les fossés latéraux doivent être interrompus à intervalles réguliers par des barrages et l'eau évacuée vers les fossés divergents, où elle sera dispersée par infiltration, par évaporation ou par écoulement en surface. Pour nous, on peut utiliser les impluviums après chaque interruption des fossés.

- Les impluviums

Les impluviums sont des tranchées plus ou moins larges creusées sur le côté de la route, en diagonale avec celle-ci, avec une forte inclinaison et se terminant comme une reculée. Ce sont des voies de garage dans lesquelles s'accumulent les eaux de ruissellement et à partir desquelles elles s'infiltrent et ou s'évaporent. Ces dispositifs permettent de réduire l'agressivité des ruissellements et partant les risques de dégradation de la piste (figure 86D).

Il en existe sur les pistes de Linzolo (Photos 84 à 85, Planche n°30, Réf. page 190) et de Mayitoukou. Mais plusieurs de ces dispositifs sont mal conçus et non entretenus. Ainsi, ils se transforment en ravinement, comme cela a été décrit dans le chapitre 6, surtout lorsqu'ils ont pour exutoire les versants des vallées ou les flancs des collines.

En dehors des impluviums, certains chercheurs et techniciens des BTP, dans d'autres pays développés, proposent l'aménagement des zones de rétention d'eau chargée de sédiments (BMPs, S.A., p 132) (figure 87). Ce dispositif a les mêmes capacités que les impluviums : rétention des eaux, évaporation ou infiltration.

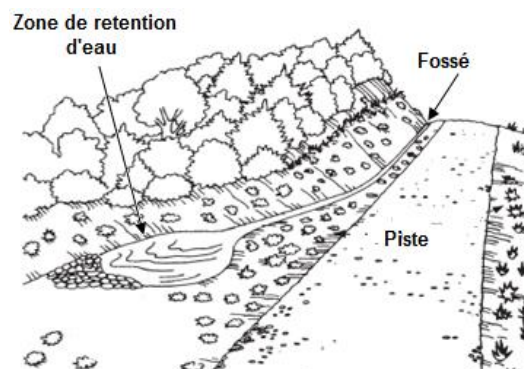


Figure 87 : Vue perspective d'une piste avec zone de rétention d'eau
©BMPs (SA)

Dans le cas d'infiltration, les deux dispositifs doivent être nettoyés régulièrement pour éviter qu'une couche d'argile ou de croûte imperméable s'y forme et empêche l'infiltration. L'eau accumulée peut déborder à la prochaine pluie et créer des dégâts.

- **Les ponceaux ou les buses sous les pistes**

Le terme « ponceau » désigne des conduites cylindriques en métal ou en béton (buses), des dalots de forme rectangulaire en bois ou en béton permettant d'évacuer l'eau du côté aval de la route, sous la surface de roulement (figure 86A).

Ces derniers doivent déboucher dans un bas-fond, de préférence drainé par un cours d'eau. Sous ces ponceaux en aval (à la sortie), il faudrait prévoir des pierres ou des gabions, pour éviter que l'espace puisse être raviné et remonter sur la route. Les débouchés en cascade peuvent être efficaces si on dispose d'une hauteur suffisante pour les construire. Si toutes ces mesures sont trop coûteuses ou risquent d'être insuffisantes, il peut être justifié de prévoir une buse ou un dalot plus large ou de réduire sa pente. L'obstruction des buses ou dalots dont les dimensions ne permettent pas à un homme de s'y glisser peut être évitée par l'installation d'une grille à son extrémité amont. Les buses et dalots doivent faire l'objet d'un entretien au bon moment pour éviter leur détérioration ainsi que celle de la route. L'entretien consistera à maintenir le libre passage de l'eau, à lutter contre les affouillements et à réparer les dégâts causés à l'ouvrage (MTP Maroc, 1995, p 24).

Tout ce qui constitue les systèmes de drainage doit être disposé selon la situation topographique des pistes. Quatre (4) situations topographiques des pistes dans la zone d'étude ont fait l'objet de notre analyse (Tableau 67).

Tableau 67 : Situation topographique des sections de pistes et la disposition des drains

Situation topographique de piste	Type de drain	Sens du drain	finalité
Section de piste au sommet de colline (interfluve)	Caniveaux latéraux rectangulaire ou en V	De part et d'autre, de la piste	Atteindre le pied de colline pour évacuer l'eau (choisir le flanc de la colline le plus proche de la piste)
	Impluviums et bassins de rétention	De part et d'autre de la piste, à chaque 100 ou 200 m	Affaiblissement des ruissellements, stockage des eaux, infiltration et évaporation des eaux
Section de piste dans le bas-fond des vallées	Caniveaux latéraux rectangulaires profonds, avec jonction au cours d'eau drainant la vallée	De part et d'autre, le long de la piste	Réception des eaux venues des versants et drainage vers le bas-fond
Section de piste en terrasse	Caniveau latéral rectangulaire ou en V	Au bas du talus (Déblai de piste)	Drainage latéral de l'eau jusqu'au bas-fond ou l'évacuation d'une partie de l'eau dans le ponceau ou la buse
	Ponceau ou buse	Sous la piste en travers,	Connexion avec le caniveau latéral au bas du talus, déversement de l'autre côté de la pente

La problématique de la disposition des drains ou de l'orientation des eaux de ruissellement sur les pistes a fait l'objet de plusieurs études dans le monde.

Aux Etats Unis par exemple, D. Turton, S. Anderson, R. Miller & *al.*, 1990, p 3, dans leur travail sur «*Best Management Practice for Forest Road Construction and Harvester Operations in Oklahoma* », ont donné quelques dispositions de piste, par rapport au drainage des eaux, et cela se rapproche de nos propositions et selon le type de terrain. Quelques unes des composantes du système de drainage d'une piste en terre, tels que les canalisations en V et rectangulaires et les ponceaux latéraux doivent avoir une certaine dimension standard, mais surtout en tenant compte du climat de la zone d'étude. La zone d'étude qui a un climat avec des volumes des précipitations annuels d'environ 1 400 mm d'eau, doit bénéficier des canalisations consistantes pour maîtriser toutes ces eaux de pluie. Les eaux collectées par la route imperméable elle-même et celles venues des villages (toitures des maisons), des talus, des versants et des flancs de collines, aboutissent souvent sur la piste et doivent être maîtrisées et canalisées. En ce qui concerne les ponceaux P.J. Griffiths, A.B. Hird & P. Tomlinson, 2000, p 27 pensent que les ponceaux latéraux doivent être disposés sous la piste en respectant la largeur et la valeur des pentes de chaque section de piste (Tableau 68).

Tableau 68 : Recommended spacing of Cross-drain Culverts

Road Grade	Spacing	
Valeur de pente de section de piste (%)	Espacement entre les ponceaux latéraux sous-piste	
	Feet (inches)	Centimetre (cm)
2-5	500-300	152- 91
6-10	300-200	91- 61
11-15	200-100	61 - 30
16-20	100	30

Note : 1 feet égale à 12 inches équivaut à 30,48 cm

Source : Griffiths & *al.* (2000)

De même les tuyaux à utiliser doivent avoir un certain diamètre donné, qui tient compte du volume pluviométrique de la zone et de l'espace en hauteur entre la chaussée et les ponceaux. Toutes les recommandations techniques, qui sont du domaine du génie civil, doivent être respectées. Ici nous les avons évoqués pour montrer, comment les pistes doivent être aménagées pour qu'elles résistent, à long terme, aux facteurs naturels et humains de l'érosion des pistes, analysés dans le chapitre V.

8.2.2. Protection des rebords et des talus routiers par les végétaux

Les rebords et les talus des pistes réhabilitées doivent nécessairement être protégés par les végétaux de toutes natures, dont les plus courants sont les vétivers (figure 88). C'est une solution alternative à l'aménagement du système de drainage. Mais il ne s'agit pas seulement de planter les végétaux, il faudrait aussi les préserver contre la pression de l'homme (passage des piétons, trafic, désherbage et feux de brousse).

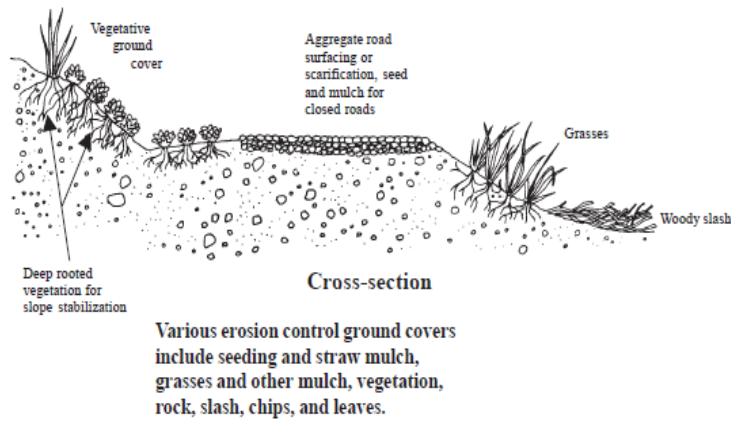


Figure 88 : Protection des talus et des versants des pistes par des herbes à racines profondes
©BMPs (SA)

Cette méthode biologique permet de protéger les rebords des pistes contre les ruissellements venus pourtant de la chaussée imperméable. Ces ruissellements sont souvent responsables des érosions latérales. Pour les pistes en terrasse, cette méthode s'avère être efficace. Il est de même pour les pistes en situation d'interfluve et de bas-fond de vallée. De même, les talus routiers doivent être non pas seulement protégés, mais également stabilisés contre les mouvements de masse (Photos 125 et 126, Planche n°42), comme évoqué et décrit plus haut.

PLANCHE N° 41 : Stabilisation des talus par la méthode biologique

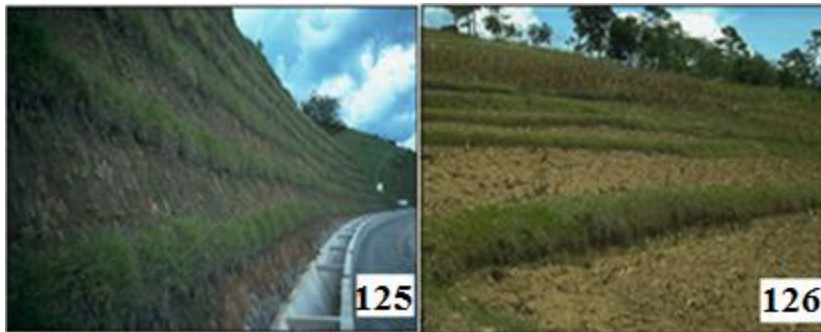


Photo 125 : Stabilisation d'un talus d'une route par les herbes dressés dans le sens des courbes de niveau ;
Photo 126 : Stabilisation d'un talus par les vétivers dans le sens des courbes de niveaux.

Etat de Colorado, USA,
© BMPs (S.A.)

A défaut des vétivers qui ont montré leurs preuves dans le traitement des ravinements et la stabilisation des espaces traités, comme indiqué plus haut, la végétation naturelle est un bon rempart contre les érosions hydriques en général et celle des pistes en particulier. Selon C. Graf, A. Böll & F. Graf, 2003, p 1, l'utilisation des plantes pour lutter contre l'érosion et les glissements en surface s'est constamment développée et a fait ses preuves dans de nombreux types de construction.

Aujourd'hui, les termes qualifiant les ouvrages de protection à l'aide de plantes (constructions vivantes, techniques végétales, génie biologique, génie écologique, etc.) sont aussi nombreux que les définitions s'y rapportant. L'une d'elles est principalement fondée sur des processus naturels auxquels s'ajoutent des aspects pratiques ainsi que les derniers acquis de la recherche.

Dans les secteurs sablonneux de savanes basses, comme sur la piste Sadelmie-Loumou-Nguidi, les vétivers peuvent renforcer la couverture naturelle. Etant donné que dans cette partie de la Sous-Préfecture les sols sablonneux sont sensibles à l'érosion, l'utilisation des vétivers peut aider à protéger la route le long des bordures.

La résistance des vétivers face aux érosions hydriques et à l'instabilité des talus a été déjà évoqué et est connue, d'où il suffit de les préserver face aux piétons et aux pyromanes. L'engazonnement et le planting de bambous peuvent également être utilisés dans la protection des pistes, pourvu que ces derniers ne soient pas détruit par l'homme. Cette action peut être prise en charge par les BCER.

Aux Etats-Unis d'Amérique, la protection de certaines pistes rurales ou forestières est assurée par la plantation des herbes et des vétivers. Les herbes et les vétivers sont plantés sur les pentes des vallées ou des collines des pistes en terrasse et sur les talus instables. Une méthode de construction d'un dispositif en bois pour diminuer l'intensité des ruissellements et bloquer les sédiments est également efficace pour protéger les pentes des versants ou des collines des pistes en terrasse (figures 89A et 89B).

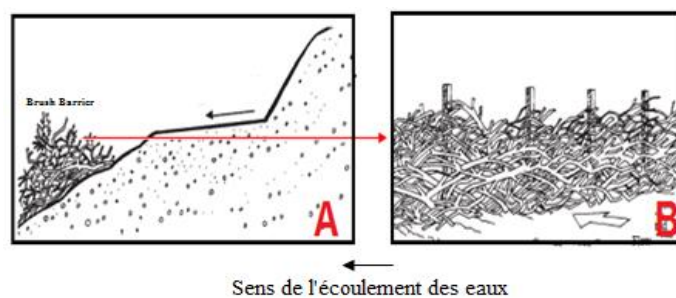


Figure 89 : (A): Limitation des ruissellements et captage des sédiments par un dispositif en bois sur une piste en terrasse, (B): Détail du dispositif de la figure 90A)
© BMPs (S.A.)

Ces végétaux peuvent être plantés et entretenue par les populations locales ou les cantonniers. Si l'Etat peut mettre les moyens qu'il faudrait, les bordures des pistes et les talus instables peuvent être géosynthétisés ou stabilisés en béton, comme cela a été évoqué plus haut.

8.3. Entretien des pistes rurales en terre: *quelques suggestions*

Le système d'entretien des pistes doit être efficace, comme le pense Rattanatray, 2009, p 1, qui a fait le suivi des travaux de réhabilitation et d'entretien des pistes au Laos en 2009, en Asie du sud-ouest. Pour ce technicien, après réhabilitation d'une route en terre, un travail d'animation doit être mené auprès des populations des villages desservis, dans le but de les conscientiser à trouver des solutions pour l'entretien quotidien ou périodique de leur route. Toutefois, on ne peut pas attendre le gouvernement pour faire ce travail, les populations peuvent s'en occuper elles-mêmes. C'est pourquoi une mobilisation de la communauté locale s'impose.

8.3.1. La mobilisation communautaire

Pour pérenniser la durée de vie des pistes rurales dans les pays en voie de développement, une politique efficace de mobilisation communautaire basée sur la Haute Intensité de la Main d'Oeuvre (HIMO) doit être menée. Au Congo, cette politique est possible et pourrait faciliter le développement socio-économique du milieu rural. L'état devrait prendre l'initiative de sa vulgarisation en effectuant les premiers financements nécessaires. Les efforts fournis dans cadre de la municipalisation accélérée et du PDARP peuvent être également orientés vers la sensibilisation et la formation des populations locales sur les techniques d'entretien du réseau routier.

- **la sensibilisation** : sensibiliser les populations en matière d'érosion, c'est leur informer des connaissances essentielles sur les causes de l'érosion hydrique et les conséquences induites, dont la route est l'une des principales victimes. Pour ce faire, des séminaires doivent être organisés sur chaque axe routier, en regroupant les personnes volontaires dans les villages. Ces regroupements doivent être pilotés par les chefs des villages, sous l'autorité de l'administration de la Sous-Préfecture. L'information sur les causes et les conséquences du phénomène érosif sur la vie des populations, sera donnée par des géomorphologues, assistés par les gestionnaires de l'environnement, les techniciens des BTP et les opérateurs de développement communautaire. Mais la simple connaissance de la notion d'érosion, ses causes et ses conséquences ne suffit pas, les populations doivent être capables de lutter efficacement contre ce phénomène, c'est l'objet de la formation.
- **la formation** : former les communautés dans la lutte contre l'érosion qui détruit tout sur son passage, c'est outiller les populations, aux méthodes et techniques de lutte contre ce phénomène, en attendant l'intervention souvent tardive de l'Etat.

L'objet de cette formation est d'apprendre aux communautés : les techniques d'entretien des pistes. De même certaines méthodes curatives utilisées jusqu'à nos jours, par les populations locales, peuvent être améliorées. A l'issue des séminaires d'information et de formation, il serait intéressant de créer des bureaux communautaires d'entretien des routes sur chaque axe routier. Ces bureaux doivent être créés sous l'autorisation, l'impulsion et la motivation des autorités préfectorales du Pool, de la Sous-Préfecture et des chefs de village.

8.3.2. Bureaux Communautaires d'Entretien des Routes (BCER)

Les hommes et les femmes de chaque village, ayant suivi la formation peuvent intégrer volontairement les BCER. Pour ce faire, l'approche HIMO évoquée plus haut, doit être adoptée pour réussir les travaux d'entretien des pistes.

L'objectif spécifique de l'approche HIMO, est de mobiliser une main d'œuvre importante pour pouvoir réussir les travaux d'entretien des pistes. Cette approche a déjà montré ses preuves dans beaucoup de pays, surtout en voie de développement dans le monde, notamment en République Démocratique du Congo, au Madagascar et au Burkina-Fasso, pour ne citer que ceux-là.

Elle peut s'adapter à la situation des routes de desserte agricole du point de vue des normes techniques et du volume de trafic attendu (D. Duplat, P. Bonkena, A. Mesu & al., 2008, p 2).

En effet :

- elle permet de responsabiliser la population riveraine par leur implication directe dans la réhabilitation et l'entretien ;
- elle favorise et encourage l'adhésion des populations à la recherche des solutions aux problèmes qui les concernent (approche participative) ;
- elle permet de créer un processus endogène de maintenance grâce aux ressources humaines locales qui seront utilisées et aux matériels de travail qui sont trouvables dans le milieu ;
- elle permet, par ricochet, de réaliser une économie substantielle des devises nécessaires pour le pays et de créer des emplois lors de l'exécution de différents chantiers dans l'aire du projet ;
- elle augmente les chances d'une pérennisation des actions au niveau des bénéficiaires après la période de financement du projet ;
- enfin, elle permet d'impliquer un grand nombre de bénéficiaires.

Chaque BCER devrait disposer d'une équipe d'envergure pour les interventions d'urgence sur le traitement des poches d'érosion qui affectent les pistes et la mise en pratique de quelques méthodes de protection des pistes, notamment, le planting du vétiver, des gazons, des bambous et la protection de la végétation naturelle qui protège la route.

Les BCER doivent disposer également des locaux permanents où l'on peut tenir des réunions pour préparer les interventions de terrain mais aussi des séances de travail de toute sorte. Les locaux doivent enfin disposer des dépôts pour la conservation du matériel de travail (pelles, râtaux, pioches, houes, brouettes, bottes, combinaisons de travail, appareil photo, etc).

Avec plus de moyen, l'Etat pourrait doter ces BCER de tracteurs, comme c'est le cas dans chaque mairie à Brazzaville. Le chef du BCER sera élu parmi les personnes ayant suivi la formation. Il doit servir de relais entre le BCER et l'autorité sous-préfectorale et peut bénéficier toutefois des formations sur le développement rural et la stabilisation des infrastructures rurales.

- Création des BCER par axe routier : suggestion

Dans le cas de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, il serait intéressant d'avoir des BCER sur les 5 axes routiers étudiés. Un BCER sur la piste de Nganga-Loungolo –Linzolo (BCER-LINZOLO) installé au village Linzolo qui va également gérer la piste Koubola-Bissinza. Un BCER à Koubola sur la RN1 (Brazzaville-Kinkala) pour gérer la piste Koubola-Kibossi (BCER-KOUBOLA) ; un BCER à Loumou pour la gestion de l'axe Sadelmie – Loumou-Nguidi (BCER-LOUMOU).

Ces mini-postes de péage (MPP) seront coordonnés par le BCER CENTRAL de Goma tsé-tsé, qui doit aussi gérer la piste latéritique Mayitoukou-Goma tsé-tsé (tableau 69).

Tableau 69: Nombre des BCER et des cantonniers par axe routier dans la zone d'étude

Zone géographique	BCER	Axe routier	Nombre de Cantonnier	Nombre de PK à gérer/ Cantonnier
Sud de la Sous-Préfecture	BCER LINZOLO	Nganga-Loungolo - Linzolo	03	03km/C
		Koubola - Bissinza	03	03 km/C
	BCER GOMA TSE-TSE (CENTRAL)	Mayitoukou – Goma tsé-tsé (gare et village)	03	03 km/C
	BCER KOUBOLA	Koubola - Kibossi	03	03 km/C
Nord de la Sous-Préfecture	BCER LOUMOU	Sadelmi-Loumou-Nguidi	06	03 km/C

- Rôle et taches des équipes des BCER

Comme annoncé plus haut, les BCER ont pour but d'entretenir les pistes afin de garder une piste bien aménagée en bon état et assurer sa durabilité dans le temps. Entretien la piste, c'est traiter les formes mineures, combattre les ravinements de volume moyen par des techniques de lutte antiérosive améliorées, associant les remblayages et la stabilisation des sites par la végétation et enfin entretenir les systèmes de drainage des eaux.

Dans le site internet, www.villesetcommunes.info du *Cabinet CGV-Engineering*, il est mentionné que l'entretien routier est l'ensemble des actions à réaliser sur les routes afin que leur état demeure satisfaisant et pour qu'elles offrent une sécurité suffisante à des vitesses appropriées et à faible coût pour les usagers. L'entretien routier constitue donc une composante importante dans la stratégie de développement du réseau routier. Selon le même site web, deux types d'entretien doivent être effectués, il s'agit de l'entretien préventif qui est l'ensemble des tâches entreprises pour prévenir les dégradations pouvant apparaître sur la route et ses dépendances et l'entretien curatif, qui est, quant à lui, l'ensemble des opérations à réaliser pour corriger les défauts apparents sur la route et ses dépendances. De même ces types d'entretien se déclinent en deux catégories: l'entretien courant (normal et spécifique) et l'entretien périodique.

- **L'entretien périodique** englobe les opérations pluriannuelles de maintenance (telles que les renforcements et les revêtements). Ce type d'entretien doit être attribué à l'Etat, qui avec des moyens importants (fonds et machines des travaux publics) peut le réaliser après 5 ans. Cela permettra de renforcer les couches de latérites usées par la combinaison du trafic et des facteurs naturels tels que les pluies si ces routes sont aménagées avec ces matériaux.
- **L'entretien courant** porte sur les actions de routine qui en principe devraient s'étendre sur toute l'année avec un but précis : celui d'améliorer la praticabilité de la piste aménagée ou réhabilitée (www.mtpt-benin.net). Les pistes en terre nécessitent d'être entretenues de façon mécanique, notamment le curage mécanique des fossés latéraux et divergents ; mais également de façon manuelle : désensablement et désherbage des caniveaux et des ponceaux. L'entretien quotidien ou périodique augmente la durée de vie d'une piste.

Ainsi, l'entretien des pistes devrait porter sur la chaussée et les composantes du système de drainage.

8.3.3. Entretien des surfaces de roulement des pistes

La surface de roulement des pistes, avec son bombement et son matériel remanié consistant, doit être entretenue de façon quotidienne ou périodique, selon l'agressivité climatique et le trafic. Selon le MTP Maroc, 1995, p 33, le but de l'entretien est de maintenir la surface assez lisse et ferme et de la débarrasser des matériaux détachés et de conserver le bombement de la chaussée pour permettre une bonne évacuation des eaux de la surface de la chaussée. Mais d'une manière spécifique, les travaux d'entretien d'une piste en terre portent sur le nivellement (reprofilage) déjà évoqué dans le traitement des formes d'érosion moins évoluées, le reflachage et le rechargement des matériaux sur la chaussée, qui permet de maintenir l'épaisseur de la chaussée. Si le rechargement n'est pas fait de façon quotidienne, en tenant compte du volume du trafic et de la pluviométrie, la piste peut se transformer en une sorte de collecteur d'eau. Cette situation peut dynamiser l'érosion et dégrader la piste. Il faut donc maintenir l'épaisseur de la surface de roulement, supérieure ou égale à 8 cm. Cette opération peut concerner les ornières. Pour éviter le déclenchement du processus de mise en place du surcreusement, les ornières devraient être rechargées au lieu d'aplanir la ride centrale les séparant.

Dans la zone d'étude et selon le niveau de trafic sur chaque piste, le rechargement peut se faire par l'Etat, après chaque saison pluvieuse par année, pour éviter des dépenses énormes. L'entretien des surfaces doit être effectué par les BCER. Pour ce faire, sur une piste de 10 km, on peut prévoir deux (2) cantonniers qui vont toutes fois surveiller, en période pluvieuse, l'état de la piste et intervenir en premier lieu sur l'entretien, avant l'intervention des BCER. Muni d'une moto, des pelles et autres outils de travail, le cantonnier est celui qui doit traiter toutes les formes d'érosion mineure avant qu'elles n'évoluent en ravinement. Si une pluie engendre un ravinement grave, le cantonnier informe rapidement le BCER et la Sous-Préfecture pour qu'un travail d'envergure soit engagé.

8.3.4. Entretien des composantes du système de drainage

L'entretien du système de drainage a pour but de nettoyer et réparer les caniveaux, les fossés, les ponceaux et les impluviums pour dégager les sédiments, les sables et d'autres déchets qui bloquent un bon drainage des eaux. Un système de drainage non entretenu, n'est pas capable de maîtriser les ruissellements.

La non maîtrise des eaux de pluies est responsable de plusieurs formes d'érosion évoquées dans ce document. Il faut donc nettoyer les caniveaux, les fosses et les buses, en les désensablant lorsqu'ils sont bouchés pour éviter la stagnation des eaux, qui provoque un débordement sur la route et de part et d'autre de la chaussée.

L'eau sur la route, sous l'influence du trafic, favorise la formation des mares d'eau, des bourniers ou des rigoles. Quand elle se déverse sur les bas-côtés de la piste, elle peut creuser la pente et ces ravinements peuvent, par érosion régressive, atteindre et affecter la piste.

Pour le MTP Maroc, 1995, p 38, les fossés latéraux de la route sont conçus pour transporter, le long du chemin, l'eau qu'ils interceptent jusqu'aux ponceaux transversaux ou jusqu'aux canalisations de déversement. Si ces fossés se bouchent, l'eau reflue. Après un certain temps, l'eau stagnante sature l'assiette du chemin et réduit sa résistance et sa stabilité. Les fossés de déversement ont pour but de canaliser l'eau loin de la route. Quand le fossé est obstrué par la végétation ou par des débris, l'eau reflue et sature le chemin. C'est pourquoi un bon système de drainage dûment entretenu est essentiel pour que la route puisse être exploitée dans de bonnes conditions.

Il est mentionné dans le site www.mtpt-benin.net, que d'autres types de travaux énumérés ci-dessous sont importants, car ils répondent spécifiquement à des nécessités d'interventions sur le réseau routier en vue de maintenir l'accessibilité de la route en attendant son aménagement proprement dit ou pour rétablir la circulation sur une route coupée ou sur un ouvrage menacé d'effondrement. Il s'agit de : « *traitement de points critiques* », « *travaux d'urgence* » ou « *réparations d'ouvrage* »

L'entretien des systèmes de drainages des eaux sur les pistes est exclusivement réservé aux cantonniers. Ils doivent s'assurer du bon fonctionnement des systèmes.

Lorsque les caniveaux sont bouchés par les sables ou les sédiments de toutes origines, le cantonnier doit s'atteler à les nettoyer, en les désensablant. Si les buses ou les ponceaux qui servent de collecteur latéraux d'eau vers les pentes sont bouchés par les herbes et les sédiments, le cantonnier doit les nettoyer. Il est de même pour surveiller les pierres mises en bas de l'ouverture du ponceau. Le cantonnier doit veiller à sa stabilité et réparer le cas échéant si l'eau a tout emporté, en cas de pluies torrentielles. Le BCER n'intervient que lorsqu'un caniveau, un fossé, un impluvium, etc. a lâché. En ce moment, le bureau va travailler pour réhabiliter l'ouvrage ou le dispositif avant la prochaine pluie.

8.4. Autofinancement des travaux d'entretien des pistes rurales

Sans un fond disponible, l'entretien des pistes en milieu rural est impossible. En effet, les BCER pourraient installer des micro-postes de péage sur les pistes à fort trafic. Le but serait de collecter les taxes de roulage journalier à chaque passage de véhicules pour renflouer la caisse de fonds voués à l'autofinancement des travaux évoqués plus haut, mais également gérer l'exploitation rationnelle des pistes. La gestion des micro-postes de péage serait affectée aux cantonniers qui doivent être recrutés parmi les personnes volontaires ayant suivi la formation évoquée plus haut.

8.4.1. Installation des micro-postes de péage (MPP) et leur gestion

La réhabilitation d'une ancienne route coûte plus cher que l'aménagement d'une nouvelle piste, car la réhabilitation inclue le nivellement et la restructuration de toute la chaussée, l'aménagement du système de drainage et le traitement des ravinelements spectaculaires.

A titre d'exemple, les travaux de réhabilitation de la RN1 Brazzaville-Kinkala (70 km) entre 2007 et 2009, dont la section Nganga Loungolo – Mboukou fait partie du réseau routier de la zone d'étude, a coûté près de 56 millions d'euros, soit 36 milliards et 400 millions de FCFA. En plus le financement de ces travaux était mixte, l'Etat congolais et le Fond Européen de Développement (FED) (Ministère du plan, des travaux publics et de l'équipement, 2009, p 1). Cela signifie qu'il est mieux de prévenir que de guérir. C'est pourquoi les micro-postes de péage qui seront installés par axe routier, seront gérés pas les cantonniers, sous la supervision des CBER. Ces postes permettront de réglementer le trafic, d'être utilisé comme barrière de pluie pour interdire le trafic sous la pluie, qui constitue l'une des mesures appliquées dans les pays tropicaux comme en RDC, mais également de collecter les frais de roulage qui permettront d'entretenir la piste.

L'Etat, qui n'a pas une politique d'entretien des pistes rurales, peut encourager les BCER dans l'application de cette mesure, avec les garanties de la libre gestion des fonds par la communauté locale. Dans le cas de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, on peut proposer 2 micro-postes de péages (MPP) ou plus sur chaque piste en tenant compte de son kilométrage total. La réglementation du trafic et la collecte des fonds se feront en prélevant la *Taxe d'Utilisation de Piste (TUP)* au passage de chaque véhicule. Une amende peut être infligée aux automobilistes qui échappent au MPP, en tenant compte du type de véhicule et de la charge transportée.

Cette taxe est payable seulement une seule fois par jour et dépendrait du type de véhicule afin de ne pas décourager les automobilistes qui desservent les villages les plus éloignés de la zone (tableau 70, figure 90).

Tableau 70 : Nombre de MPP par route et la TUP par type de véhicule

Piste	Nombre de MPP	Niveau d'installation	TUP par type de véhicules		
			Berline	4X4	Poids lourds
Nganga-Loungolo - Linzolo	02	1. Soumouna 2. 2é pont Linzolo	300	600	1.000
Koubola – Bissinza	01	1. Bissinza 2. Koubola			
Mayitoukou – Goma tsé-tsé	01	1. Mayitoukou			
Koubola - Kibossi	02	1. Kibossi 2. Koubola			
Sadelmi-Loubmou- Nguidi	02	1. Case Barnier 2. Loumou 3. Nguidi			

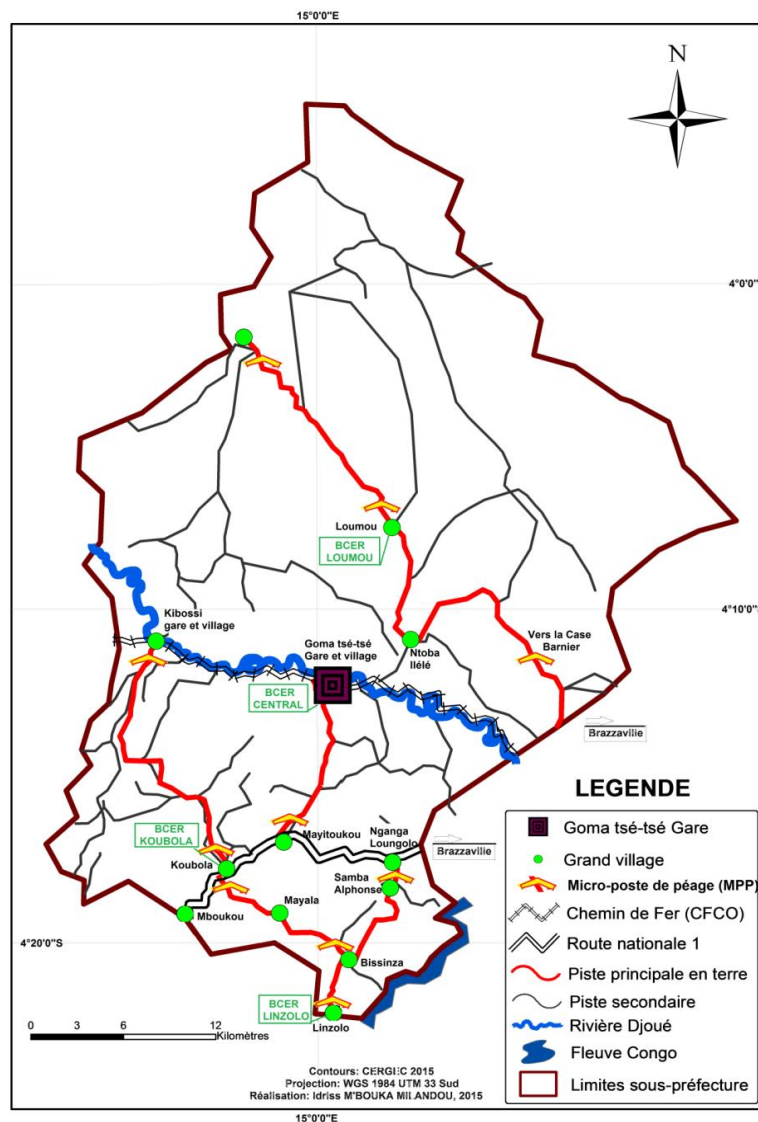


Figure 90 : Suggestion sur la disposition des MPP et des BCER par axe routier

Les TUP prélevées sont gérées par le secrétariat de chaque BCER qui transmet chaque fin du mois tous les fonds au BCER central de Goma tsé-tsé. Ce dernier procède à la répartition des parts. Une part des fonds sera allouée à la caisse réservée aux travaux d'entretien de la piste; une autre au paiement des 50% des émoluments des cantonniers, car l'autre moitié est payée par la Sous-Préfecture ; et enfin une dernière partie sera réservée pour le remplacement du matériel et pour l'encouragement des membres du BCER à chaque fois qu'il y aura des travaux d'entretien. Les fonds récoltés peuvent aider à entretenir les pistes de deuxième catégorie que nous n'avons pas prise en compte par rapport à leur faible importance économique. Toutefois, il est à noter que le BCER ne fait pas partie de la Sous-Préfecture, il est un outil d'assistance communautaire dans la réhabilitation, la protection et l'entretien des pistes. C'est donc un outil de développement communautaire indépendant. Nous avons simulé les avantages des TUP dans la zone d'étude, à travers une projection mensuelle et annuelle en tenant compte du trafic moyen journalier(TMJ), obtenu lors de nos enquêtes sur le terrain et au départ de Brazzaville. Les résultats du tableau 71 sont encourageants.

Tableau 71 : TUP par rapport au TMJ, TMM et TMA par piste dans la zone d'étude

Piste		Nganga Loungolo-Linzolo (P1)		Mayitoukou – Goma tsé-tsé (P2)		Koubola-Bissinza (P3)		Koubola-Kibossi (P4)		Sadelmie- Case Barnier (T1P5)		Case Barnier-Loumou-Nguidi (T2P5)	
		TMJ	TUP	TMJ	TUP	TMJ	TUP	TMJ	TUP	TMJ	TUP	TMJ	TUP
Type de véhicule	Berline	38	11.400	30	9.000	0	0	0	0	50	15.000	01	300
	4x4	28	16.800	25	15.000	01	600	01	600	21	12.300	02	1.200
	Poids lourd	24	24.000	20	20.000	03	3.000	04	12.000	09	9.000	05	5.000
Total TUP - Jour (Cfa)		52.200		44.000		3.600		12.600		36.300		6.500	
Total TUP -Mois (Cfa)		1.566.000		1.320.000		108.000		378.000		1.089.000		195.000	
Total TUP -Année (Cfa)		18.792.000		15.840.000		1.296.000		4.536.000		13.068.000		2.340.000	
Total annuel des TUP dans toute la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé										55.872.000 FCFA			

Notes : TUP-J : taxe d'utilisation de piste journalière ; TUP –M : taxe d'utilisation de piste mensuelle ; TUP- A : taxe d'utilisation de piste annuelle. La TUP est facturée en franc CFA.

Si l'on tient compte des moyennes des TMJ, TMM et TMA, on constate que plus la piste est fréquentée, malgré les dégradations observées, plus les recettes du TUP seront élevées. A titre d'exemple, la piste de Linzolo la plus utilisée de toutes, aura un TUP journalier de 52.200 CFA, soit 1.566.000 FCFA pour un mois et enfin 18.792.000 FCFA pour une année. Ce montant représente déjà un fonds important pouvant subvenir aux besoins significatifs de traitement des ravinelements, mais aussi dans la réhabilitation, la protection, l'entretien des pistes et le paiement des cantonniers, ainsi que l'achat du matériel.

Avec ces mêmes fonds, le BCER peut réaliser les travaux d'installation des ponceaux ou des buses, le creusement des fossés ou des impluviums.

A cet effet, si ce plan est appliqué, la situation peut évoluer positivement. Le trafic peut augmenter par piste. Plusieurs pistes pourraient atteindre voire dépasser les prévisions de la piste de Linzolo en TUP journalier, mensuel et annuel. Dans ces conditions la taxe pourrait être revue à la baisse, de moitié pour chaque type de véhicule. Les fonds issus de la TUP doivent être gérés et canalisés pour éviter les mécontentements des usagers de la route et des populations locales. Les automobilistes, les plus indécis peuvent résister ou émettre un refus catégorique de paiement des taxes. A ce moment, les BCER peuvent faire recours aux autorités sous-préfectorales et les chefs des villages pour faire respecter la rigueur de la loi. Des policiers ou des agents des eaux et forêts peuvent jouer ce rôle.

Cette politique de gestion des pistes, combinée à l'approche HIMO a prouvé son efficacité dans beaucoup de pays en Afrique au sud du Sahara. Dans le Bas-Congo, en RDC, le projet de réhabilitation des pistes agricoles, par l'approche HIMO, a bénéficié des bureaux de coordination, pour une bonne organisation du travail et une coordination avec les autorités locales.

Les résultats produits à partir de ce projet sont très satisfaisants, car il a permis, avec l'appui du gouvernement de la RDC, de réhabiliter 571,4 km de routes sur 600 prévus, soit 95,2 %, sans oublier les travaux d'entretien effectués et la construction des dispositifs de lutte antiérosive, en mobilisant près de 1.862.785 hommes par jour (H.J.) pour la main d'œuvre (D. Duplat, P. Bonkena, A. Mesu & al., 2008, p 7).

Pour B. Rattanatray, 2009, p 1 qui a coordonné ce même type de projet au Laos, en Asie du sud-ouest, cette activité a permis de rendre service à la communauté en augmentant les échanges. Pour ce chef de projet, maintenir des pistes en bon état permet de pouvoir facilement sortir des villages les denrées agricoles, même les plus lourdes (maïs, arachide, etc.). Cela paraît évident, mais il faut savoir qu'auparavant il n'était pas possible de cultiver certaines productions dans cette zone car les transporteurs ne pouvaient pas venir les prendre durant une grande partie de l'année. Les agriculteurs ne pouvaient cultiver que les produits « légers » comme le coton et quand le prix de ces matières baissait ils n'avaient pas d'alternatives. Maintenant la liste des productions possibles est plus grande, ce qui donne plus de choix aux paysans. L'effet économique pour ces villages est donc très intéressant.

Au Burkina Faso, la mise en pratique de l'approche HIMO, par les organismes comme HELVETAS, Expert Afrique et la Swiss Agency for Development and Cooperation, entre 2002 et 2010, a également produit des résultats satisfaisants. Car cela a permis de rendre praticable plus de 300 km de piste toute l'année et 126 autres ouvrages de franchissement ont été construits. De même 50 villages ont été désenclavés sur un total de 500 000 ménages. A partir de cela, il y a eu augmentation du volume des activités économiques et des profits dans les villages, la mobilité accrue et le gain de temps considérable pour les déplacements, l'amélioration de l'accès aux services sociaux (école et centre de santé), la fertilité des sols en bordure de pistes ainsi que la gestion de l'eau pour l'agriculture et l'élevage.

8.4.2. Exploitation rationnelle des pistes

L'utilisation rationnelle d'une piste nécessite à la fois la conscience des automobilistes qui sont les principaux usagers et l'application des pratiques nécessaires à la préservation de l'infrastructure de développement.

- La surcharge des véhicules

Au Congo, la majorité des usagers des pistes, ne se soucie pas de la préservation des infrastructures. Elle privilégie le profit au détriment de la conservation de la route. En effet avec des poids toujours plus importants transportés par les véhicules, les pistes subissent une pression qui accélère leur dégradation. C'est pourquoi les poids transportés doivent être respectés.

D'après A. Bihonof & C. Hounnonvi & SENOU, 2011, p 28, les automobilistes ne doivent pas excéder les normes réglementaires du gabarit, qui est de 4 m et de la charge à l'essieu qui ne doit pas dépasser 11,5 tonnes. Cela doit être respecté en évitant des surcharges dans le but de transporter plus de marchandises et de personnes pour faire le profit.

- Les déviations hors pistes

Par ailleurs, les déviations hors pistes et l'ouverture des pistes secondaires par les chauffeurs doivent être réglementées car elles sont souvent à l'origine de certaines dégradations qui affectent le réseau routier et que nous avons décrites dans le chapitre consacré aux facteurs humains de ladite dégradation des pistes.

En effet, ces pratiques sont d'autant dangereuses qu'elles ont malheureusement lieu pendant les périodes pluvieuses et souvent sous la pluie.

Les automobilistes qui s'entêtent à commettre cette infraction devraient être sanctionnés. Ce travail de surveillance de surcharge des véhicules et des déviations hors piste devrait être effectué au niveau des micro-postes de péage par les cantonniers, pour mieux contrôler également le trafic.

8.5. Maitrise de l'occupation du sol

Les pistes sont dégradées tantôt par des sables décapés en amont et transportés par les ruissellements, tantôt par des ravinements qui se forment sur la chaussée, sur ses bordures directes ainsi que ceux qui sont régressifs. Il revient à dire que l'occupation du sol, qui est l'un des facteurs de ladite dégradation des pistes en terre, doit être maîtrisée. Les activités qui influencent l'occupation des sols dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, notamment l'agriculture et la coupure du bois pour divers besoins, ont pour impacts directs : le labour et la mise à nu des sols par le désherbage et la déforestation. Quelques mesures devraient être prises pour la préservation de la végétation aux bords des routes et dans le cadre de l'encadrement des activités agricoles, mais aussi de la stabilisation et la renaturation des zones proches des pistes, sensibles à l'érosion.

8.5.1. Restrictions en matière de désherbage et de déforestation

L'objectif principal desdites restrictions, que peuvent prendre les autorités sous-préfectorales, en collaboration avec les BCER, c'est de limiter le désherbage des espaces proches des pistes, sans objectif et de conserver le reste des forêts ombrophiles dans les bas-fonds des vallées ou aux pieds des collines, pour éviter de provoquer des érosions régressives.

Le couvert végétal est le premier facteur déterminant de la protection des sols contre l'érosion pluviale. Il apporte donc au sol la matière organique et le protège contre l'impact des gouttes de pluie et la déflation éolienne. Le feuillage des ligneux et des graminées amortit l'impact des gouttes d'eau sur le sol. L'absence ou la faiblesse de la couverture végétale favorise et accélère le ruissellement. De même la destruction de la litière par les feux accroît également le ruissellement des eaux. Les sols sont par conséquent exposés à une dégradation, donc à l'érosion (A. Rabdo, 2006, p 75). C'est pourquoi ces restrictions permettant de protéger les espaces immédiats et assez éloignés des pistes, doivent tenir compte surtout de la situation topographique des pistes. A titre d'exemple, les sections des 5 pistes en situation de terrasse, d'interfluve ou dans les bas-fonds des vallées, doivent bénéficier de la protection de la couverture végétale bordière sur une bande de 100 m de large, de part et d'autre de la chaussée.

Cette réglementation devrait provenir directement du Gouvernement pour éviter ou contourner les multiples problèmes de revendication des propriétaires fonciers. Elle aura plus de chances d'être respecté par les populations que n'importe quelle mesure prise sur le terrain par le BCER.

8.5.2. Stabilisation et renaturation des espaces à risque d'érosion

Les secteurs de pistes très couverts doivent faire l'objet de protection, car la végétation naturelle est un grand facteur de protection contre l'érosion. On peut parler de stabilisation du couvert végétal. Au cas où elle a été dégradée sous la pression anthropique (désherbage, déforestation, feux de brousse, labours, etc.), on pourra procéder à la renaturation des zones dénudées. Celle-ci consiste à laisser pousser les végétaux en interdisant aux populations leur exploitation. Là où les végétaux ne poussent pas assez vite et dans le souci de vite protéger des zones à risque longeant la piste, on peut utiliser le système vétiver, comme évoqué plus haut, ce qui permettra une croissance végétale en binôme : végétation naturelle et vétivers.

Selon C. Graf, A. Böll & F. Graf, 2003, p 2, la stabilisation et la renaturation des zones menacées d'érosion et de glissement par la couverture végétale revêt une importance primordiale pour la protection contre les dangers naturels. C'est pourquoi la mise en place d'un système naturel apte à se développer et stable à long terme est très importante. Les plantes intégrées dans les ouvrages biotechniques remplissent des fonctions essentielles dans la stabilisation des matériaux du sol. En dehors des propriétés citées ci-dessus, elles favorisent le drainage et leurs racines renforcent la stabilité des matériaux du sol. Le système racinaire remplit normalement une double fonction: il pourvoit à l'ancrage des plantes dans le sol et leur permet de prélever l'eau et les éléments nutritifs dont elles ont besoin. L'importance de son extension est donc à la mesure du volume de sol qu'il stabilisera et des quantités d'eau et d'éléments nutritifs qu'il emmagasinera.

8.5.3. Encadrement des activités agricoles

Dans la zone d'étude, les activités agricoles sont pratiquées en trois endroits : les versants des vallées, les flancs de collines et les bas-fonds de vallées. La situation topographique de la zone contraint les agriculteurs à pratiquer l'agriculture dans des secteurs sensibles à l'érosion. Ces secteurs sont souvent en hauteur ou en bas des pistes. D'où la combinaison des causes de déclenchement de l'érosion.

La première possibilité favorable à la genèse des formes d'érosion est que l'eau provenant des pistes, déversée latéralement sur les pentes désherbées et labourées peut affecter les champs et creuser des tranchés qui remontent par régression à la route. Pour éviter cela, il faudrait que les sillons soient établis dans le sens des courbes de niveaux du versant ou du flanc de la colline et ce de façon superposée. Cela permettra de ralentir la pression des ruissellements venus du sommet de la colline ou à la surface des pistes, capable d'éroder la pente. Là également, les techniques et les outils de labours déjà évoqués plus haut doivent être respectés, ainsi que la durée de jachère. Pendant les récoltes, les sillons doivent être maintenus, afin de continuer à bloquer les ruissellements linéaires, diffus et concentrés.

La deuxième possibilité d'érosion des pentes avoisinant les pistes a lieu lorsque les activités agricoles sont concentrées dans le bas-fond des vallées ou les pieds de collines. Il est connu que dans le Pool, les populations exploitent à n'importe quelle saison, les sols situés le long des cours d'eau dans les bas-fonds ou aux pieds des collines, sols dont la fertilité résulte des dépôts sédimentaires venus de l'amont (sommet de collines, versants, etc.), avec l'humidité liée à la proximité des cours d'eau et le caractère forestier des bas-fonds qui leur confère les éléments minéraux et la matière organique importants, regroupent toutes les conditions nécessaires pour un développement agricole. Ce qui fait que même en saison sèche de mai au début du mois d'octobre, les légumes (tomates, poivrons, piments, etc.), les ignames, et les feuilles de manioc sont plantées. Cet état des choses, fait qu'il y ait surexploitation de ces zones basses, sans penser à la protection des sommets et des pentes. Les mauvaises techniques de labours, provoquent parfois la formation des rigoles dans ces bas-fonds. Ces dernières, par érosion régressive peuvent attaquer la pente et remonter vers la route.

Dans ces conditions, il faudrait protéger la couverture végétale et même les arbres en amont, sur les pentes non exploitées et enfin informer les populations, sur les méthodes de labour et les outils convenables de travail dans la zone pour éviter les érosions qui affectent les pistes. Dans les deux cas, la jachère doit faire partie des techniques de restauration des sols. Elle a pour but de suspendre toute forme d'exploitation des espaces destinés à l'agriculture pendant plusieurs années, afin de fertiliser encore plus les sols. Elle constitue un moyen pour la consolidation du couvert végétal. Selon A. Ragbo, 2006, p 6 dans les systèmes traditionnels, la pratique de la jachère reste la seule technique de régulation et de stabilisation des milieux constamment perturbés par l'homme. Le temps de repos nécessaire à la reconstitution du potentiel physique, chimique et biologique des écosystèmes est empiriquement déterminé par le paysan.

Ce temps varie généralement de 5 à 10 ans et plus, selon la région climatique, la nature du sol et les cultures pratiquées. Les paysans congolais en général et ceux de la zone d'étude en particulier ont cette culture de la jachère.

Mais de nos jours, avec l'état de la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, causant ainsi la rareté des produits de première nécessité et de la nourriture, le besoin en terre pour l'agriculture augmente de plus en plus. Le temps de jachère est réduit. Dans certains cas, comme le soutient A. Ragbo, 2006, p 18, le temps de jachère a disparu. La conservation du potentiel agricole est amoindri et face à cela les populations s'activent à planter à n'importe quel moment et à n'importe quel endroit. Après la récolte, on peut utiliser le paillage, qui est une technique traditionnelle de conservation des sols. Selon le même auteur, au Burkina-Faso cette technique est beaucoup répandue sur la plaine centrale. La technique consiste à couvrir le sol sur une épaisseur de 2 cm d'herbe ou de paille sèche. Là où l'herbe n'est pas suffisante, certains producteurs utilisent les feuilles sèches de différents arbres. Un autre avantage du paillage est dans l'action des termites qu'il attire. Ces dernières creusent des galeries dans les sols et à la surface en détruisant les croûtes de battance. Grâce aux termites, la porosité et la perméabilité du sol augmentent de façon considérable. Une autre pratique incontrôlée doit être évitée, la multiplication des sentiers supplémentaires permettant d'atteindre les champs. Un versant ou un flanc de colline griffé de sentiers est plus vulnérable à l'érosion régressive. Un seul sentier doit être tracé de façon à casser les ruissellements. Dans ce cas, il est souhaitable de suivre les courbes de niveau.

Toutes ces méthodes de restriction sur la dégradation de la couverture végétale, la protection ou la végétalisation des espaces à risque et l'encadrement des activités agricoles sont efficaces pour protéger les pistes des érosions régressives. Les BCER doivent s'assurer de la bonne protection de la couverture végétale et la pratique rationnelle des activités agricoles. Les pistes elles-mêmes, doivent faire l'objet des travaux d'entretien, car sans entretien, ces infrastructures se fragilisent et se dégradent précocement.

Conclusion partielle

Les résultats obtenus dans cette étude, sont en adéquation avec les caractéristiques physiques et humaines du milieu. Les hypothèses ont été vérifiées et les objectifs fixés ont été atteints. Il ressort de cette étude que le milieu physique est assez stable au sud, malgré la sensibilité des sols dans la partie nord de la Sous-Préfecture.

Mais toute la zone est affectée par l'agressivité des pluies, qui à travers les ruissellements abondantes, exploite les sections des pistes en situation topographique accidentée. L'autre faiblesse de ces routes en terre, c'est leur mauvais aménagement, la défaillance ou l'absence totale des drains et le manque d'entretien. Quant à l'homme, il fragilise le milieu physique et les routes en terre, à travers ses diverses activités. A cet effet, l'atténuation ou le traitement total du phénomène s'impose, en impliquant les populations locales.

Les méthodes ou les techniques de traitement des formes de dégradation mineure et majeure, permettent de rendre plus praticable, quelque soit les saisons, les pistes en terres en milieu rural congolais en général et à Goma tsé-tsé en particulier. Mais le traitement curatif comme tel ne suffit pas, le suivi ou le *monitoring* doit être effectif... car, il est souvent constaté que les sites traités sont souvent abandonnés et les populations peuvent elles-mêmes fragiliser les dispositifs qui sont sujets à nouveau d'une crise d'érosion qui peut s'avérer plus grave qu'auparavant. C'est pourquoi le traitement des formes d'érosion quelle qu'elles soient, doit faire l'objet d'un monitoring pour pérenniser la stabilité des sites et protéger les routes. Toutes ces méthodes sont incorporées dans le plan de gestion des routes en milieu rural, que nous avons élaboré.

Cette gestion englobe leur réhabilitation, leur protection et leur entretien pour renforcer leur pérennité dans le temps et faciliter la mobilité des personnes et des biens. La réhabilitation redonne aux pistes une structure standard qui doit tenir compte de l'évacuation des eaux hors des chaussées. L'évacuation des eaux de pluie, responsables des différents types d'érosion, n'est possible que lorsque le système de drainage est bien conçu et entretenu. Ce système doit également tenir compte de la situation topographique de la section de piste, pour une meilleure orientation des eaux. L'autre volet de cette politique de gestion, est d'inciter la communauté rurale à prendre en charge l'entretien des pistes par la création des BCER et le recrutement paritaire (Sous-Préfecture-BCER) des cantonniers chargés de l'entretien courant des pistes. L'installation des micro-postes de péages sur les axes routiers d'importance capitale, permettra de collecter des fonds d'autofinancement des travaux d'entretien des pistes. Le but est de pallier au problème récurrent d'entretien des pistes par les communautés locales concernées, que l'Etat n'arrive pas à gérer. Le système HIMO utilisé et réussi dans beaucoup des pays en voie de développement, est un outil incontournable et nécessaire dans le maintien des pistes rurales, facteur de développement socio-économique de l'arrière pays.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude, il est important de rappeler les objectifs. Ainsi, nous nous sommes fixés comme objectif principal l'étude de la dégradation des pistes en terre par l'érosion hydrique et de ses conséquences dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, au sud du Congo. Cet objectif principal visait de façon spécifique l'analyse de l'état des lieux des routes en terre et de leurs caractéristiques physiques, l'évaluation (typologie, description et quantification) et la cartographie du phénomène et enfin, la proposition des solutions de remédiation efficaces et durables.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs hypothèses ont été émises dont l'hypothèse principale qui stipule que les pistes rurales de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé sont l'objet d'une intense érosion hydrique qui freine le développement socio-économique de cette localité. Ces hypothèses ont été vérifiées à partir d'une méthodologie associant l'approche qualitative et l'approche quantitative. En effet, cette étude a montré que ce réseau routier est en proie à une érosion hydrique très dynamique qui le dégrade depuis plus de 2 décennies.

Pour ce qui est de l'état des lieux, cette étude indique que le réseau routier de cette zone est dominé par des pistes en terre mal aménagées et non entretenues. En effet, sur un réseau de 386 km environ, les routes ou pistes en terre, couvrent près de 360,85 km, soit près de 93,48% du réseau et 24,91 km (6,45%) de routes bitumées. Le réseau bitumé ne concerne que la section de la RN1 (Brazzaville- Mboukou) et la section bitumée Sadelmi-Case Barnier, en pleine dégradation. Constitué de routes principales en terre, d'une route latéritique et des pistes secondaires, ce réseau aurait joué un rôle important dans le développement socio-économique de la zone d'étude, s'il avait été bien aménagé, mieux protégé et bien entretenu. Malheureusement ces infrastructures sont en proie à une érosion hydrique très dynamique qui rend très difficile la circulation des populations.

Les dégradations engendrées par cette érosion, responsables des rétrécissements, des coupures, des ensablements et des bourbiers routiers, sont de deux (2) types à savoir : les formes de dégradations mineures et les formes d'érosion évoluées. Les premières sont plus nombreuses que les deuxièmes, mais par manque de dispositif approprié, elles n'ont pas été quantifiées. Elles sont constituées de formes issues des dégradations structurelles des routes (ornières, pertes de matériaux, nids-de-poule, tôles ondulés et rigoles) et des formes causées par défaut de drainage et d'assainissement.

Les deuxièmes sont des ravinements. Elles sont plus graves en termes d'occupation d'espace, de dégâts causés et des pertes énormes des terres. Les formes d'érosion évoluées sont caractérisées par des ravinements longitudinaux aux pistes, des surcreusements qui les transforment en tranchées et des ravinements régressifs qui les coupent en deux. Leur densité moyenne sur chaque route est d'environ 14,24%, avec un taux moyen d'érosion de 6,64 % par km, pour une longueur moyenne de toutes les pistes estimée à 19 km.

Ces ravinements ont occasionné en moyenne 98 750,3235 tonnes de pertes en matériaux (terres et matériel remanié), pour un volume moyen de 57 878,59 m³. Les routes de Linzolo (55 288,08 tonnes en moyenne), de Koubola-Kibossi (21 672,19 tonnes en moyenne) et de Koubola-Bissinza (13 155,025 tonnes en moyenne) sont les plus affectées et les surcreusements de routes s'avèrent les formes les plus graves et les plus spectaculaires en termes de profondeur et de longueur.

Plusieurs facteurs tant humains que physiques sont responsables de cette fragilisation et de la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. Les premiers ont été analysés et ont prouvé que toutes les routes en terre étudiées ont une mauvaise structure physique, leurs couches de base sont directement utilisées comme couche de roulement sans aucune protection, c'est pourquoi elles ne supportent pas un trafic lourd et fort. L'absence des canalisations observée sur pratiquement toutes ces pistes, l'expose à une dégradation à la fois linéaire et transversale, commandée par les formes d'érosion diverses.

Les techniques de lutte utilisées par les populations sont inefficaces, elles manquent de finition et de suivi, c'est pourquoi certaines d'entre elles ne permettent pas le colmatage ou le blocage des formes d'érosion. Au contraire, elles facilitent leurs évolutions latérales ou longitudinales. De même les talus routiers ne sont pas stabilisés, ils continuent de subir les mouvements de masse et déversent des quantités importantes de sols sur les pistes qui deviennent parfois sableuses en saison sèche et boueuses, à certains endroits, en période pluvieuse. Cette situation est aggravée par le manque d'entretien de ces routes, le mauvais usage par les chauffeurs qui créent des déviations extra-chaussées et l'agressivité du trafic qui est caractérisée par un TMJ supérieure à 50 automobiles sur les $\frac{3}{4}$ des routes étudiées.

La croissance démographique constatée, qui est due à la municipalisation accélérée et à la réhabilitation du tronçon de la RN1 (Brazzaville-Kinkala), a occasionné une forte pression sur le milieu naturel, à travers une occupation du sol accrue, caractérisée par l'intensité des activités agricoles et la déforestation.

En 2015, la ZOC a atteint 42 789 ha soit 30,30% du territoire, contre 10 803 ha, soit 7,65 % seulement en 1975, ce qui représente une évolution de près de 23 % en 40 ans. Bien que cette occupation du sol a été parfois freinée par les conflits armés dans le Pool, dans les années 1997 à 2001, elle a néanmoins affaibli et affecté indirectement le réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé. A cela s'ajoute la multiplication des sentiers agricoles perpendiculaires aux pistes et les pratiques agricoles non encadrées, qui influencent de façon indirecte l'érosion régressive qui affecte les pistes.

Quant aux facteurs physiques, ils participent de près ou de loin au déclenchement (genèse), à l'accélération ou l'amplification du processus d'érosion et des formes engendrées.

Dans le cadre de cette dynamique érosive des pistes, les facteurs physiques à stigmatiser sont principalement les caractéristiques des sols, l'agressivité pluviométrique et la pente.

Les sols sont sablo-argileux au sud de la zone d'étude, sur la rive droite du bassin versant du Djoué. Ils sont assez résistants à l'érosion, car leur indice d'érodibilité dans les trois premiers secteurs routiers (SEC1, 2 et 3) varie entre 0,10 et 0,25 t.ha.h/ha.MJ.mm. Cela revient à dire que la fréquence et la densité des ravinelements routiers constatées ici sont dues en grande partie aux facteurs humains. Seul le secteur 4, couvrant la partie nord de la Sous-Préfecture, sur près de 94 930 ha, a des sols sensibles à l'érosion, car l'indice d'érodibilité (K) est estimé à 0,40 t.ha.h/ha.MJ.mm. Le faible taux d'érosion calculé sur la piste Sadelmie-Loumou-Nguidi, est dû à la faible présence humaine et ses activités, et donc à l'usage faible de la piste, presque abandonnée. Mais plus Brazzaville s'étalera le long de cet axe, plus le taux d'érosion sur cette piste augmentera.

L'agressivité climatique de Brazzaville et ses environs, a été confirmée à travers l'analyse des données pluviométriques de la station climatique de Maya-Maya de 2005 à 2014.

Cette agressivité a été évaluée à partir des moyennes de l'indice de Fournier estimé à 66,91 et de l'indice d'érosivité (R) estimés 7 756,55 MJ.mm/ha.h.an, sur près de 1 466,85 mm de précipitation moyenne annuelle en 10 ans (2005-2014). Ces indices qui dépassent 50 pour le premier et 5 000 MJ.mm/ha.h.an pour le deuxième, expriment une agressivité notoire de la pluviométrie. En effet, dans les conditions de forte intensité et de fréquence soutenue des pluies, la plus grande partie des précipitations échappent à l'infiltration et exploitent, par des ruissellements dynamiques les sections de pistes imperméabilisées et des espaces bordiers des chaussées souvent dénudés et dépourvus de système de drainage.

Quant aux pentes, de par leurs caractéristiques, elles participent effectivement à la dégradation des pistes dans cette partie du Pool. La cartographie de la zone par le MNT a montré que près de 12 160 365 ha, soit près de 99,65% du territoire ont des pentes qui varient de 5 à plus de 25°. Cette topographie met les pistes en situation de risque permanent de dégradation, car les sections des routes en situation d'interfluve, de flanc de colline et de versant et de bas-fond de vallées, ne peuvent échapper à la dynamique des ruissellements abondants pendant la saison pluvieuse, quelque soit les types de sols. Ces pentes sont aggravées par leurs longueurs, qui ne sont autre que les longueurs des sections des routes et de quelques espaces bordiers. Elles varient de 100 à plus de 300 m, ce qui fait que le facteur topographique (LS) calculé avec le MNT varie entre 5 et près de 93, sur près de 43% du territoire. Dans toutes ces situations, les infrastructures routières non protégées et non entretenues, ne peuvent échapper à l'érosion mécanique.

Cette étude prouve que la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé est due à une érosion anthropique. En effet, cette dégradation assez poussée contraste nettement avec la stabilité des paysages environnants. L'érosion se manifeste le long des axes routiers. Or dans la plupart des secteurs traversés par les pistes, l'érosion est presque inexistante.

Cette situation prouve que les pistes réunissent elles-mêmes les conditions de cette dégradation. L'homme qui aménage mal ces pistes sans aucune protection et les utilise en désordre, favorise leur destruction par manque d'entretien. Cela est d'autant préoccupant que l'indifférence des pouvoirs publics, le manque de plan d'entretien et de gestion de ce réseau routier augurent d'une pérennisation de ce phénomène, ce qui risque de maintenir voire aggraver la précarité de la vie des populations riveraines.

Cette thèse qui fait le diagnostic de cette érosion et relève les conséquences vécues et potentielles qu'elle engendre, formule une série de propositions. Celles-ci concilient le respect des normes d'aménagement, combinées aux techniques bio-mécaniques de traitement des formes d'érosion engendrées. Ces propositions s'appuient sur un plan de gestion durable des routes, basé sur leur réhabilitation, leur protection, leur entretien et aussi sur leur utilisation rationnelle.

L'entretien des pistes consiste à mobiliser les communautés locales et nécessite l'application de la Haute Intensité de la Main d'Œuvre (HIMO), très efficace et beaucoup utilisée dans d'autres pays sub-sahariens.

Les résultats de cette étude, bien qu'assez représentatifs en termes de kilométrage de pistes, des formes de dégradation classifiées et des ravinelements quantifiés, ne peuvent être généralisés sur l'ensemble du réseau régions du pays.

Les résultats de cette étude y compris les solutions proposées peuvent constituer une base de réflexion et d'actions à d'autres études du même genre et portant sur d'autres secteurs du Congo.

En effet, à moyen terme, nous souhaitons que d'autres chercheurs, puissent s'approprier, cette problématique et mener des études dans toutes les Sous-Préfectures du Congo, en tenant compte de la réalité physique et humaine de chacune d'elles. Ces études doivent être renforcées par la modélisation de l'érosion (mineure et majeure) en appliquant totalement le *RUSLE*. Le but est de créer un modèle d'étude de l'érosion des routes et de disposer une base de données dans cette problématique à la disposition des décideurs pour une meilleure remédiation du phénomène au cas par cas, c'est-à-dire, selon chaque localité par rapport à son milieu physique afin d'atténuer la dégradation des pistes rurales pour promouvoir le développement des campagnes, qui est l'un des facteurs de développement socio-économique du Congo.

BIBLIOGRAPHIE

1. **ABATE Habtemariam&SIMANE Belay, 2012**, *Multiple benefits of the vetiver system and its environmental application in Ethiopia*. Technical Report. doi: 10.13140/RG.2.1.1692.5040.
2. **ABDULFATAI Ibrahim Asema, 2014**, “Review of Gully Erosion in Nigeria: causes, impacts and possible solutions”. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2(3), 125-129.
3. **ABDOURHAMANE TOURE Amadou, 2011**, *Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : dynamique actuelle et récente en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques*, Thèse de doctorat. Université de Bourgogne, France. Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00833028>.
4. **AFD, S.A., Les infrastructures rurales**, Rapport sur les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) en Afrique.30 p.
5. **AIPCR, 2006**, Séminaire Technique CT.2, thème : *Auscultation et Gestion des Routes Revêtues et non Revêtues*, Bamako, Mali. Repéré à <https://www.piarc.org/ressources/documents/actes-seminaires06/c42-mali06/8671,3-GKeita.pdf>.
6. **AKBARIMEHR Mananeh & NAGHDI Ramin, 2012**, “Reducing erosion from forest roads and skid trails by management practices”, *Journal of Forest Science*, 58 (4), 165-169.
7. **ALONGO Sylvain &KOMBELE Ferdinand, 2013**, “Évolution de la densité apparente et du rapport C/N du sol sous les variétés exotiques et locale de manioc dans les conditions naturelles de Kisangani(R.D.Congo)”. *Annales de l'Institut Facultaires des sciences agronomiques de Yangambi, spécial (1)* , 197-214. Repéré à <https://hal-auf.archives-ouvertes.fr/hal-00877116/document>
8. **ANONYME, 2006**, *Dégradation des chaussées non entretenues*, Rapport technique. Bamako, Mali. 50 p.
9. **ANPD, 2013**, *Guide pédologique « Les sols »*. Communication présentée aux Journées de l'ère 2012-2013, Belgique. 7 p.
10. **ATLAS JEUNE AFRIQUE, 1977**, *Atlas de la République P. du Congo*. Paris, Ed. Jeune Afrique, 65 p.
11. **AVENARD Jean Michel, 1962**, *La solifluxion ou quelques méthodes de mécanique des sols appliquées aux problèmes géomorphologiques des versant*, Centre de Documentation Universitaire, Paris, 164 p.

12. AVIAS J.V., S.A., “Sur quelques mécanismes de l'érosion d'origine anthropique dans le massif du Coiron, Ardeche (étude de cas), et sur leur évolution depuis la Fin du dix-neuvième siècle”, *Université Libre du Vivarais – CERGA*.7 p.
13. BAIRD Elizabeth, FLOYD William, MEERVELD Lija Van., & ANDERSON Axel ,2012, “Road Surface Erosion, Part1: Summary of Effects, Processes, and Assessment Procedures”. *Streamline-Watershed Management Bulletin*, 12 (1), Summer, 1-35. Repéré. citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.634.3778
14. BARRACLOUGH, Solon L., & GHIMIRE Krishna B., 2000, *Agricultural expansion and tropical deforestation: poverty, trade and land use*, Earthscan, XVII+150 p.
15. BELLON Loic, 2009, *Développement sous logiciel libre d'outils génériques d'estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols*. Rapport de stage IRD, Unité ESPACE 140 ; Univ. de la Nouvelle-Calédonie-CRISP. INP Toulouse-ENSEEIH. 30 p.
16. BERTRAN Pascal & TEXIER Jean Pierre, 1999, “Facies and microfacies of slope deposits”, *Catena*, 35, 99-121.
17. BIHONOF Alex, HOUNGNONVI Claoudia, & SENOU, 2011, *Analyse des entraves au développement du transport routier. La dégradation des routes et la multiplicité des postes de contrôle routier*. Diplôme de technicien supérieur (DTS). Université d'Abomey – Calavi (Bénin). Repéré à <https://www.memoireonline.com>.
18. BILBY Robert E., SULLIVAN Kathleen & DUNCAN Stanley H., 1989, “The generation and fate of road-surface sediment in forested watersheds in southwestern Washington”. *Forest Science* 35 (2), 453-468.
19. BIROT Pierre, 1981, *Les processus d'érosion à la surface des continents*, Paris, Masson, 605 p.
20. BMP Manual, 2001, *The Massachusetts- Unpaved Roads: A Guidebook on How to Improve Water Quality While Addressing Common Problems*. Prepared by Berkshire Regional Planning Commission - Prepared for Massachusetts Department of Environmental Protection, Bureau of Resource Protection - US Environment Protection Agency, Region 1. Project 98-06/319- Winter. 50 p.
21. BMPs, S.A., Chapter 13, “Erosion control - one of the best, most inexpensive ways to protect the road and the environment. Just do it”. 12 p.

22. **BOCHET Esther, GARCIA-FAYOS Patricio, & TORMO Jaume, 2005**, “Plant establishment and soil erosion in road slopes”, *Geophysical Research Abstracts*, 7(17), 110–21.
23. **BOCHET Ester, GARCIA-FAYOS Patricio&TORMO Jaume, 2010**, “How can we control erosion of road slopes in Semiarid Mediterranean areas?”*Soil Improvement and Native Plant Establishment. Land Degradation & Development*, 21, 110-121.
24. **BOHI Zondjé Poanguy Bernadin, 2008**, *Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : le cas de la région de l’Agnéby (Côte d’Ivoire)*, Thèse de Doctorat en géotechnique, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France, 144 p.
25. **BOLLINNE Arthure&ROUSSEAU Pierre, 1978**, “Erodibilité des sols de moyenne en haute Belgique. Utilisation d’une méthode de calcul du facteur K de l’équation universelle de perte en terre”. *Bull. Soc.Géogr. de Liège*, 14(4), 127-140.
26. **BROWN, Robert B., 2003**, “Soil Texture”, *Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida*, Fact Sheet SL29, 8 p.
27. **BRUNET-MORET Yves, 1963**, *Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale. République de Haute-Volta*, Rapport ORSTOM, Comité Inter-Etats d’Etudes Hydrauliques, 23 p., multigr.
28. **BRUNET-MORET Yves, 1967**, *Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale. République de Côte d’Ivoire*. Rapport ORSTOM, Comité Interafricain d’Etudes Hydrauliques, 20 p., multigr.
29. **BURNINGHAM Sally, &STANKEVICH Natalya, 2005**, “Importance de l’entretien des routes et moyens d’y parvenir”. *Banque Mondiale/Transport Note n° TRN-4* Juin. Washington, DC (USA), 12 p.
30. **CAO Longxi, ZHANG Keli, & LIANG Yin, 2014**, “Factors affecting rill erosion of unpaved loess roads in China”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(13), 1812-1821.
31. **CAREY Bruce, 2006**, “Gully erosion”, *Facts/ Land series -Natural Resources and Water-Managing Queensland’s natural resources...for today and tomorrow*. L81, March. Produced by : Natural Ressource Sciences. QNRM05374. 4 p.
32. **CEE, 1967**, *Etude de chaussées économiques en Afrique*, Sérié Développement de l’Outre-mer. Services des publications des communautés Européennes. 15 p.

33. **CEMAC, 2001**, *Code communautaire de la route*, rapport du conseil des ministres des routes, des pays membres (Congo, Gabon, Tchad, Cameroun, Guinée Equatoriale, Sao Tomé et Principé, Angola). 55 p.
34. **CHAKRAVARTY Sumit & SHUKLA Gopal, 2012**, “Deforestation: Causes, Effects and Control Strategies”, *Department of Forestry-Pomology & Post Harvest Technology, Faculty of Horticulture- Uttar Banga Krishi Viswavidyalaya, Pundibari- ICAR Research Complex for Eastern Region, Research Center, Plandu Ranchi- India*. 27 p.
35. **CHEBBANI Rachid & BELAIDI Sullivan, 1997**, “Etude de la dynamique du ravinement : suivi de deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen”. *ORSTOM, Montpellier, Bull. Réseau Erosion*, 17, 152-160.
36. **CHOCTAWHATCHEE, PEA, & YELLOW RIVERS, 2000**, *A guideline for maintenance and service of unpaved roads*, Recommended Practices Manual. Watershed Management Authority, February. 69 p.
37. **CMR, 2003**, *Rapport du congrès mondial de la route*, Durban, Afrique du Sud. 11 p.
38. **COLCHESTER Marcus & LOHMANN Larry, 1993**, “The Struggle for land and the fate of forest”. *Zed books, London. Forestry: An Int. Journal of Forest Research*, 67(2), 167–168.
39. **COSANDEY Claude & ROBINSON Mark, 2000**, *Hydrologie continentale*, Paris, Edit. Armand Collin, 360 p.
40. **COSSON Jacques, 1955**, Notice explicative sur les feuilles Pointe-Noire et Brazzaville. Carte géologique de reconnaissance au 1/500 000. Gouv. Général AEF, Dir. des Mines. 55 p.
41. **COSTEA Marioara, 2013**, “Using the Fournier Indexes in estimating rainfall erosivity. Case study-the Secasul Mare Basin. “Lucian Blaga” Univ., Faculty of Sciences. Sibiu, Romania, 313-320.
42. **CROPPER Maureen & GRIFFITHS Charles 1994**, “The interaction of population growth and environmental quality”. *American Economic Review*, 84, 250-254.
43. **DADET Paul, 1969**, Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo, au 1/500.000. Mem. BRGM., n°70, 103 p.
44. **DEAPEA, S.A., Partie II Chapitre 14 : Routes Rurales-Les impacts environnementaux potentiels des Programmes de Développement dans le Secteur et leurs causes**. 33 p.
45. **DENIS Bernard, 1974**, Notice explicative n°52. *Carte pédologique au 1/200 000 Brazzaville-Kinkala*, Rép. Pop. du Congo, ORSTOM, Paris, 101 p.+ 1 carte h.t.

46. **DELUSCA Kénel, 1998**, *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 bassin versant de la ravine Man*, Haïti, Maîtrise en Études de l'Environnement, Faculté des Études Supérieures et de la Recherche, Université de Moncton, 122 p.
47. **DESCOINGS Bernard, 1975**, "Les grandes régions naturelles du Congo", *Candollea* 30, 91-120.
48. **D.G.T Congo, 2012**, *Le transport routier au Congo Brazzaville*, Publication des services économiques, mai, 3 p.
49. **DIANE Mamady, 2005**, *Impacts environnementaux des pistes rurales à Fada N'gourma*, EIER-Master en développement. Catégorie, Géographie. 19 p.
50. **DOUAY Didier & LARDIEG Emmanuel, 2010**, *Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle*, ANTEA, GINGER et GALLIGGE / Agence de l'eau – Adour-Garonne / Ets public de l'état (France). 28 p.
51. **DRIDI Brahim & DILMI Amal, 2011**, "Poids des différentes caractéristiques des sols dans l'estimation de leur rétention en eau". *Etude et Gestion des Sols*, 18(4), 247-257.
52. **DUMAS Pascal, 2010**, "Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa à Païta - Bouloupari (Nouvelle-Calédonie)", *Cahier d'outre mer*. 252, Octobre-Décembre, Nouvelle-Calédonie, 567-584.
53. **DUPLAT Dimitri, BONKENA Papy, MESU Antoine, & HOSTE Hendrik, 2008**, Le projet « réhabilitation et entretien de routes rurales dans la province du Bas-Congo/District du Bas-Fleuve »-Juillet. Repéré à [https:// www.pdfactory.com](https://www.pdfactory.com).
54. **EGISBCEOM, 2009**, *Catalogue des dégradations des routes non revêtues*, Rapport du Ministère de l'Équipement et des Transports (MET), Direction Nationale des Routes (DNR), République du Mali et de l'Union Européenne. 30 p.
55. **EHRHARDT-MARTINEZ Karren, 1998**, "Social determinants of deforestation in developing countries: A cross-national study", *Social Forces*, 77, 567-586.
56. **El BOUQDAOUI Khaddouj, 2007**, *Approche méthodologique de l'évaluation du risque potentiel d'érosion des sols du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc) à l'aide de la télédétection et du SIG*. (Thèse d'Etat de géologie appliquée, Université Mohammed V - Agdal, Faculté des Sciences, Rabat). 199 p.

- 57. EL-FALEH Jalel, 2007, *Effets des aménagements antiérosifs sur la protection des routes et la fluidité du transport terrestre*. Ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques-Direction générale de l'aménagement et de la conservation des terres-République Tunisienne. 12^e Colloque international annuel du SIFEE sur « évaluation environnementale et transports Concepts, Outils et méthodes ». Genève du 18 au 22 juin. 70 p.**
- 58. EL GAROUANI Abdelkader, CHEN Hao, & LEWIS Lawrence, 2007, "The impacts of land use/land cover changes and climate regime on the spatial patterns of erosion and deposition by sensing and GIS : Case of Tlata river catchment (Morocco)". 2nd International Conference of GIS/RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Guangzhou. China, September 7-13.24 p.**
- 59. ELLIOT William, 2013, "Erosion Processes and Prediction with WEPP Technology in Forest in the northwestern U.S. Transactions of the ASABE". *Erosion & landscape evolution*, 56 (2), 563-579.**
- 60. ENABOR Ephraim & SAGUA Olivier, 1988, "Ecological Disaster in Nigeria, Soil Erosion, Introduction and Recommendations". In Sagua, V.O, Enabor, E.E, Ofomata, GEK, Ologe, K.O and Oyebande Lekan (Eds) *Ecological Disaster in Nigeria:Soil Erosion Federal Ministry of Science and Technology, Lagos, Nigeria, 7-20.***
- 61. FANCHA M'bark, 1999, *Réflexions sur la gestion des routes en terre : typologie des routes en terre*, DPE Chtouka Inezgane – Agadir, 25 p.**
- 62. FAO, 2007, *Manuel d'évaluation locale de la dégradation des terres dans les zones sèches* (version traduite), 66 p.**
- 63. FAUCK Roger, 1963, *Elément de conservation des sols et de lutte contre l'érosion*. Ecole Nationale des Cadres Ruraux, Ministère de l'enseignement technique et professionnel et de la formation des cadres. République du Sénégal.61 p.**
- 64. FAUCK Roger, 1954, "Les facteurs et l'intensité de l'érosion en Moyenne Casamance", *Sénégal. In C. R. Congrès Internat., AISS, Léopoldville, Congo belge, Tome VI, 376-379.***
- 65. FOLTZ Robert, 1996, "Traffic and No-Traffic on an Aggregate Surfaced Road: Sediment Production Differences". Procs. of the FAO seminar on "Environmentally Sound Forest Road and Wood Transport" Sinaia, Romania, 17-22 June. Rome: FAO, 195-204.**

- 66. FOLTZ Robert, RHEE Hakjun, & ELLIOT William, 2008**, “Modeling changes in rill erodibility and critical shear stress on native surface roads”. *Hydrologic Processes* 22, 4783-4788.
- 67. FORSYTH Adam, BUBB Ken & COX Malcolm, 2006**, “Runoff, sediment loss and water quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain Pinus plantation”, *Forest Ecology and Management*. 221(1), 194-206.
- 68. FOURNIER Frédéric, 1960**, *Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*, Presses univ. de France, Paris, 201 p.
- 69. FOURNIER Frédéric, 1967**, “La recherche en érosion et conservation des sols dans le continent Africain”. *Sol Africain*, 12 (1967) , 5-53.
- 70. FOURNIER Frédéric, 1993**, “Agressivité climatique et risque érosifs dans la région de Dschang- ouest Cameroun”. Documents techniques du projet Santchou – Département de foresterie, *Université de Dschang*, 6 (1993), 145-156.
- 71. FOURRIE Laetitia, PEIGNE Josephine, VEDIE Hélène, GARCIN Alain, GOMA FORTIN Nathalie, 2013**, “Projet SolAB : Limiter le travail du sol et évaluer la fertilité des sols en agriculture biologique” - *Innovations Agronomiques*, 30 (2013), 125-138.
- 72. GANZA BAMULEZI Gloire, MUGARUKA BIBENTYO Toussaint & MUGISHO BIRHENJIRA Espoir, 2014**, “Caractérisation d'un bassin sédimentaire à l'aide d'une analyse structurale : cas du bassin gréseux de l'inkisi affleurant à Kinshasa (RDC)”, *European Scientific Journal*, 10 (29), 184-193.
- 73. GEORGES Yvio, 2008**, *Evaluation de l'érosion dans le Bassin versant de la rivière Grise (Haïti)*, Master en gestion des risques naturels. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. Repéré à <https://www.memoireonline.com>.
- 74. GIMENO-GARCIA Eugenia, ANDREU Perez Vicente & RUBIO José Luis, 2007**, “Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean Shrubland”, *Catena* 69, 150–160.
- 75. GIRARD Michel Claude, WALTER Christian, RÉMY Jean Claude, BERTHELIN Jacques & MOREL Jean Louis, 2005**, *Sols et environnement*, Paris, Dunod, 816 p.
- 76. GOVERS Gerard, EVERAERT Wilfried, POESEN Jean, RAUWS Guerrit, DE PLOEY Jean, & LAUTRIDOU Jean Pierre, 1990**, “A long flume study on the dynamic factors affecting the resistance of a loamy soil to concentrated flow erosion”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 313-328.

77. **GRAF Christoph, BÖLL Albert & GRAF Frank, 2003**, ‘Des plantes pour lutter contre l'érosion et les glissements en surface’, *Institut fédéral de recherches WSL*, CH-8903 Birmensdorf. 8 p.
78. **GRANDJEAN Gilles, BITRI Adnan, PENNETIER Céline, MERIC Ombeline, & MALET Jean Philippe, 2006**, ‘Caractérisation de la structure interne et de l'état hydrique de glissements argilo-marneux par tomographie géophysique : l'exemple du glissement-coulée de Super-Sauze’, *C.R.Geoscience*, 338, 587-595.
79. **GRIFFITHS Peter., HIRD A. Barry & TOMLINSON Peter, 2000**, *Rural road drainage design for environmental protection*, Unpublished Project Report, PR/INT/192/00, Copyright Transport Research Laboratory March. 40 p.
80. **GILLIJNS Katleen, GOVERS Gerard, POESON Jean, MATHIJS Erik, & BIELDERS Charles, 2005**, *Erosion des sols en Belgique. Etat de la question*. Institut royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres, ASBL.Cahier n°10, Mai. 80 p.
81. **GUETCHO TAKEDO Martial, 2010**, *Etude de la stabilisation des chaussées routières à base des latérites avec les extraits du Parkia Biglobosa*, Master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement, option Génie Civil, Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE).15 juin, 89 p.
82. **GUILLOT Bernard, &PEYROT Bernard, 1979**, ‘Etude du fonctionnement des vallées sèches du plateau de Mbé (Congo). Problèmes hydrologiques et morphologiques’, *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, 16 (3), p. 205-231.
83. **GUZZETI Faustin, CARRARA Alberto, CARDINALI Mauro, & REICHENBACH Paola, 1999**, ‘Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy’, *Geomorphology*, 31, 181-216.
84. **HORTON Robert Elmer, 1933**, ‘Erosional development of streams and their drainage basin: hydrological approach to quantitative morphology’, *Géol. Soc. Amer. Bull.* 56, 275-370.
100. **HOUABALOUKOU Jean Andrien, 2002**, *Les conditions physiographiques et les régimes Hydro-logiques des principaux cours d'eau de la région du Pool (Lefini, Djoué, Loufou- lakari)*, Maîtrise de géographie physique, UMNG, Congo, 139 p.
101. **HUDSON Norman, 1973**, *Soil conservation*, Edit. BT. Batsford Ltd, Londres, 320 p.

- 102.HUGHES Andrew, PROSSER Ian, STEVENSON Jannelle, SCOTT Anthony, LU Hua, GALLANT J., & MORGAN Christ (2001).** *Gully erosion mapping for the National Land Water Resources Audit*. Technical Report 26/01, CSRO Land and Water, Camberra, Australia. 20 p.
- 103.IBITOYE Matthew & ADEGBOYEGA Suleiman, 2012,** *Ingenious Approach to Soil Erosion Control in Southwest Nigeria*, FIG Working Week 2012, Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage, Rome, Italy, 6-May,. TSO8F-Planning Environment and Tourism, 6059. 11 p.
- 104.IGN & ORSTOM, 1975,** Carte de Brazzaville et les environs au 1 : 250 000°, 1 planche.
- 105.HELVETAS &EASADC, 2002,** Manuel de Formation des Comités d'Entretien des Routes Rurales. Bamenda, mai, 123 p.
- 106.EPNAC, 2013,** *Contenu des études préalables à la réalisation d'une zone de rejet végétalisée. Groupe de travail national sur « l'Evaluation des procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités »*, Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA). Mars, 16 p.
- 107.JAMET Rémi, 1969,** *Carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000, feuille de Pointe Noire*, Notice explicative, ORSTOM, centre de Brazzaville. 1 p.
- 108.JARAMILLO Fernando, 2007,** *Estimating and modeling soil loss and sediment yield in the Maracas-St Joseph River Catchment with empirical models (RUSLE and MUSLE) and a physically based model (Erosion 3D)*, Thesis of Civil and Environmental Engineering Department - McGill University, Canada, 145 p.
- 109.JEJE Lawrence Kosoko, 2005,** *Urbanization and Accelerated Erosion: The case of Effon-Alaaye in Southwestern Nigeria*. Seminar Paper. Department of Geography, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria. 40 p.
- 110.KAHKLEN Keith, 2001,** "A Method for Measuring Sediment Production from Forest Roads", *USDA. Forest Service. Pacific Northwest Research Station. Research Note*. PNW-RN-529. April. 19 p.
- 111.KAMGANG KABEYENE BEYELA Veronique, EKODECK Georges Emmanuel., &NJILAH IsaacKONFOR, 2001,** "Evolution géochimique des formations latéritiques dans l'écosystème périforestier du sud-est Cameroun : Kandara", *African Journal of Science and Technology (AJST). Science and Engineering Series*, 2(1), 19-32.

- 112.KATZ Harry Alexander, DANIELS Michael, &RYAN Sandra, 2013, “Slope-area thresholds of road-induced gully erosion and consequent hillslope-channel interactions”,*Earth Surface Processes and Landforms*. 39(3): 285-295. <https://doi.org/10.1002/esp.3443>**
- 113.KHALI ISSA Lamiae, BEN HAMMAN LECH-HAB Khadija, RAISSOUNI Ahmed, &EL ARRIM Abdelkrim, 2016, “Cartographie Quantitative du Risque d’Erosion des Sols par Approche SIG/USLE au Niveau du Bassin Versant Kalaya (Maroc Nord Occidental)”, *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (8), 2778-2795.**
- 114.KIRKBY Mike John & MORGAN Royson Philip Charles, 1980, *Soil erosion*, John Wiley et Sons, Chichester, 316 p.**
- 115.LACLAU Jean Pierre, 2001, *Dynamique du fonctionnement minéral d’une plantation d’eucalyptus. Effets du reboisement sur un sol de savane du littoral congolais ; conséquences pour la gestion des plantations industrielles*. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 145 p**
- 116.LANGEVIN Robert, L’ECUYER Harmel, PARE Rock, &LAFONTAINE Nathalie, 2008, “ Méthodologie d’évaluation des cas d’érosion du réseau routier dans les forêts aménagées du Québec”, *Ministère des Ressources naturelles et de la Faune- Dir. de l’environnement et de la protection des forêts*. Québec, mai. 26 p.**
- 117.LARAQUE Alain, PANDI Albert, BERTHELOT Marc, &MIETTON Michel, 1994, “Écoulement et transports de matière dans le bassin versant du Djoué, affluent du fleuve Congo-Zaïre”, *Hydrologie de surface*. CEREG, Univ. Louis-Pasteur, 9(2), 153-168.**
- 118.LE BISSONNAIS Yve, THORETTE Jacques, BARDET Cecile, &DAROUSSIN Joel, 2002, *L’érosion hydrique des sols en France*. IFEN & INRA.106 p.**
- 119.LEGARE André & Associés Inc., 2005, *L’entretien du réseau routier du Québec, l’exigence de solutions durables – Québec (CANADA)*, Novembre, 114 p.**
- 120.LE MARECHAL Alain, 1966, Contribution à l’étude des plateaux Batéké. Géologie, Géomorphologie, Hydrogéologie. ORSTOM, Brazzaville, 42 p.+ 4 Carte.**
- 121.LEVEQUE Jean, 1994, *Environnement et diversité du vivant*. Explora, Cité des Sciences et de l’Industrie. Pocket, ORSTOM. 127 p.**
- 122.LUCE Charles&BLACK Thomas, 2001, “Effects of traffic and ditch maintenance on forest road sediment production”, *Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, Reno, Nevada, 25-29 (5), 67-74.**

- 123.LUSAMBA Kibayu Michel, 2010**, *Evolution des pratiques de sécurisation des conditions de vie dans 3 quartiers populaires de Kinshasa. Enjeux et conséquence de la production spatiale et sociale de la ville*, Thèse de doctorat en science sociale, Faculté des sciences économiques, sociales, politiques et de communication, Université Catholique de Louvain.396 p.
- 124.MACARY Francis & BERVILLE Denis , 2003**, *bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement*. Synthèse bibliographique, Repéré à <http://www.cemadoc.irstea.fr/cemoa>.
- 125.MACDONALD Lee, ANDERSON Donard & DIETRICH William E, 1997**, "Paradise threatened: Landuse and erosion on St John, US Virgin Islands". *Environmental Management* 21(6), 851-863.
- 126.MACDONALD Lee, SAMPSON Robert W., &ANDERSON Donard, 2000**, "Runoff and road erosion at the plot and road segment scales, St John, US Virgin Islands. Special Issue",*Earth Surfaxe Processes and Landforms* 26, 251-272.
- 127.MAPM du Maroc, 1998**, *Aménagement rural*. Rapport sur la stratégie de développement rural projetée à l'horizon de deux décennies (2020). 9 p.
- 128.MAYIMA Brice Anicet, 2015**, *Erosion hydrique sous plantation d'eucalyptus des plateaux côtiers de Pointe-Noire (sud du Congo)*, Thèse de Doctorat uniqueen Géographie physique, spécialité Géomorphologie, Univ. Marien Ngouabi, Congo), 226 p.
- 129.MBEMBA René Darnel, 2014**, *Les facteurs explicatifs de ladéforestation et de la dégradationdes forets dans le département dupool : analyse du processus REDD⁺*, Mémoire de Master Recherche Economie du Développement Durable, Univ. Marien Ngouabi, Congo), 29 p.
- 130.M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, 2009**, *Etude de l'érosion hydrique à Linzolo et ses environs, au sud de Brazzaville (Rép. du Congo)*, Mémoire de Maitrise de géographie physique, Univ. Marien Ngouabi, Congo). 112 p.
- 131.M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, 2013**, *Etude de la dégradation des routesen milieu tropical chaud et humide : cas du Congo Brazzaville - analyse bibliographique*, Mémoire de DEAdé géographie physique, Univ. Marien Ngouabi, Congo), 99 p.
- 132.M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, SITOU Léonard, &SAMBA-KIMBATA Marie Joseph, 2016**, "Evaluation du ravinement sur la route de Linzolo, dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé (Congo) entre les périodes 2008-2009 / 2014-2015",*Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 28 (2016), 349 – 366.

- 133.M'BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams& SITOU Léonard, 2017,** “Degradation of Loumou track through Ruts in Brazzaville Western Periphery: Forms Characterization, Traffic and Rainfall Aggressiveness Analysis (Republic of Congo), J. Basic and Applied Scientific Research, 7 (12) 8- 17.
- 134.MENSAH Amégah Komlan, 2010,** *Amélioration du système d'entretien des pistes rurales: cas du projet de réhabilitation du tronçon Sotouboua - Somiéda*, CERFER - BTS Génie Civil. Repéré à [https:// www.memoireonline.com](https://www.memoireonline.com).
- 135.MEDDI Mohammed, 2015,** “Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du Nord”, *Larhyss Journal*, 12(24), 315-336.
- 136.MIETTON Michel, 1980,** *Recherches géomorphologiques au Sud de la Haute Volta. La dynamique actuelle dans la région de Po-Tiebele*, Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle Université de Grenoble, France, 233 p.
- 137.MTP Maroc, 1995,** *Guide pour le choix de techniques de construction et d'entretien des routes non revêtues*, Direction des routes et de la circulation routière- Maroc - avril. 53 p.
- 138.MINISTERE DU PLAN, DES TRAVAUX PUBLICS ET DE L'EQUIPEMENT, 2009,** *Rapport sur la réhabilitation du tronçon de la RNI (Brazzaville-Kinkala)*.Etat congolais et Fond Européen de Développement (FED). 2 p.
- 139.MORGAN Royson Philip Charles, 2005,** *Soil Erosion and Conservation*, Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd.
- 140.MUKENDI KATAMBA, Al Aimé, 2009,** *Contribution à l'analyse spatio-temporelle de l'occupation et de la perte des sols au niveau du bassin versant de la Funa (Kinshasa/RDC)*, Mémoire d'Ingénieur, Université de Kinshasa, Repéré à [https:// www.memoireonline.com](https://www.memoireonline.com).
- 141.MYERS Norman, 1994,** *Tropical deforestation: rates and patterns. In: The Causes of Tropical of Tropical Deforestation. The economic and statistical analysis of factors giving rise to the loss of the tropical forest*, London, UK: Brown, K. and Pearce, D. UCL Press.
- 142.NAIMI Moustapha, TAYAA M'Hammed, OUZIZI Said, CHOUKHR-ILAH Reddouane Shouker-Ilah, & KERBY Mario, 2003,** “Estimation du ravinement dans le Bassin versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc)”, *Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II*, Rabat, Maroc. 12 p.
- 143.NDONA Alain&TRUONG Paul, 2006,** “Ravine rehabilitation in Brazzaville, Congo”, *Vetiver Network International Seminary*. 15 p.

- 144.NEBOIT René, 1991, *L'homme et l'érosion. L'érosion des sols dans le monde.*** Publications de la Faculté des Lettres de Clermont-Ferrand II, n° 34, 269 p.
- 145.NGAZZI Paul Miki Junior, 2009, *Etude d'évaluation des impacts des travaux d'aménagement antiérosifs par des gabions de neuf ravins catastrophiques dans les quartiers Ngamakosso, Talangai, Mikalou, Nkombo et Massengo à Brazzaville,*** Mémoire de DEA en géographie physique, Univ. Marien Ngouabi, Congo, 139 p.
- 146.NGAZZI Paul Miki Junior, 2017, *Evaluation de l'efficacité des méthodes de lutte contre l'érosion hydrique à Brazzaville,*** Thèse de Doctorat unique en Géographie physique, spécialité Géomorphologie, Univ. Marien Ngouabi, Congo, 143 p.
- 147.NGUEMHE FILS Salomon César, ETOUNA Joachim, & HAKDAOUI Moustapha, 2014, 'Apport de l'OT et du SIG à la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant productif de Sanguéré, Nord-Cameroun, Afrique'', *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 9 (1), 449-479.**
- 148.IDHOKO Kingsley, 2015, Evaluation of erosion effects on some roads in Yenagoo City of Bayelsa State, Nigeria. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4 (11), 2319-7064.**
- 149.NSW Government & Office of Environment and Heritage, 2012, *Erosion and sediment control on unsealed roads. A field guide for erosion and sediment control maintenance practices.*** 82 p.
- 150.NSW-EPA, 2012, *Forest infrastructure. The NSW Environment Protection Authority (EPA).*** Repéré à [https:// www.epa.nsw.gov.au](https://www.epa.nsw.gov.au).
- 151.OLAGUNJU Temidayo Ebenezer, 2015, "Impacts of Human-induced Deforestation, Forest Degradation and Fragmentation on Food Security", *New York Science Journal*, 8(1), 4-16.**
- 152.PAUL-HUS Catherine, 2011, *Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie. Essai présenté au centre de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (m. Env.);*** Centre Universitaire de Formation en Environnement; Univ. de Sherbrooke 127 p.
- 153.PEDERSEN Harold, & HASHOLT Brown 1995, "Influence of wind speed on rain splash erosion", *Catena* 24, 39-54.**
- 154.PIMENTEL David, 2006, "Soil erosion: a food and environment threat", *College of Agriculture and Life Sciences – Cornell University. Environment, Development and Sustainability* 8, 119-137.**

- 155. PINSTRUP-ANDERSON Per & SHIMOKAWA Satoru, 2007, ‘‘Infrastructures rurales et développement agricole’’ *Revue d’économie du développement*, 15(4), 55-90.**
- 156. POESEN Jean, NACHTERGAELE Jeroen, VERSTRAETEN Gert, & VALENTIN Christian, 2003, ‘‘Gully erosion and environmental change: Importance and research needs’’, *Catena* 50, 91–133.**
- 157. RAGDO Abdoulay, 2006, *Inventaire des techniques de lutte antiérosive dans le degré carré d’Ouahigouya au Burkina Faso*, Mémoire de Maitrise de géographie, Univ. de Ouagadougou, Burkina Faso, 152 p.**
- 158. RATPATRON Pierre, 1993, *Erosion dans les savanes incluses du Mayombe congolais, étude de géomorphologie*. Rapport présenté ORSTOM, Pointe Noire – Congo. 38 p.**
- 159. RATTANATRAY Bounmi, 2009, *Une expérience intéressante de gestion de pistes rurales par des producteurs au Laos*. Ministère de l’Agriculture du Laos – direction du projet de coopération. 12 p.**
- 160. RAWLS Walter J., BRAKENSIEK Donald L., & SAXTON Keith E. , 1982, ‘‘Estimating Soil Water Retention from Soil Properties’’, *J.Irrig.Drain.Eng.*108 (IR2), 166-171.**
- 161. RENARD Kenneth G., FOSTER George R., WEESIES Glenn A., & PORTER Jeffrey P., 1991, ‘‘RUSLE revised universal soil loss equation’’ *J. Soil Water Conservation*, 46 (1), 30-33.**
- 162. REPUBLIQUE DU CONGO, décret n°2016-168 du 30 avril 2016, portant nomination des nouveaux membres du gouvernement en 2016.**
- 163. REPUBLIQUE DE GUINEE, DIRECTION NATIONALE DU GENIE CIVIL ET L’USAID CONAKRY, 1991-1996, *Impact des pistes rurales - rapport définitif*. Projet National d’Infrastructures Rurales. DEVTECH SYSTEM INC. Washington, USA. 127 p.**
- 164. REY Freddy & BERGER Frédéric, S.A., ‘‘Interactions végétation-érosion en génie écologique pour la maîtrise de l’érosion en montagne’’, CEMAGREF Grenoble. Unité de recherche Ecosystèmes et Paysages Montagnards. France. 8 p.**
- 165. RGPH, 1984, *Rapport du Recensement Général de la Population et de l’Habitat*, République Populaire du Congo. 55 p.**
- 166. RIOU Gérard, 1990, *L’eau et les sols dans les systèmes tropicaux, systèmes d’érosion hydrique*, Paris, France, Coll. Masson géographie, 222 p.**

- 167.RITTER Jim, 2015, ‘L’érosion du sol –Causes et effets’** Version remplacée de la fiche technique n°89-064 du Ministère de l’agriculture, de l’alimentation et des affaires rurales de l’Ontario (Canada) (MAARO), 572-751.
- 168.RIVERSON John, GAVIRIA Juan, & THRISCUTT Sydney, 1991, *Les routes rurales au sud du Sahara: leçons d’expérience de la Banque mondiale.*** Document technique 141 de la Banque mondiale, Département technique de la région Afrique. Washington .71 p.
- 169.ROOSE Eric, 1975, *Erosion et ruissellement en Afrique de l’ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales.*** ORSTOM, Centre d’Adiopodoume-Laboratoire de pédologie. Abidjan, Aout. 89 p.
- 170.ROOSE Eric&LELONG F., 1976, ‘Les facteurs de l’érosion hydrique en Afrique Tropicale. Etudes sur petites parcelles expérimentales de sol’***Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 18(2), 365-374.
- 171.ROOSE Eric, 1977, ‘Application of the USLE in West Africa. In: Soil Conservation and Management in the Humid Tropics’***Greenland et Lal (eds). John Wiley*, 177-188.
- 172.ROOSE Eric, 1980, *Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d’Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées,*** Thèse Doctorat ès Sciences, Université d’Orléans, France, 587 p.
- 173.ROOSE Eric, 1986, ‘Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d’érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes’**,*Bull. Réseau Erosion* 16, 87-97
- 174.ROOSE Eric&SARRAILH Jean-Marie, 1989, ‘Erodibility de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d’érosion sous pluies naturelles’**, Cah. ORSTOM Pédol, 25(1-2), 7-30.
- 175.ROOSE E., 1994, *Introduction à la gestion conservatoire de l’eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES),*** Directeur de recherche en pédologie-Centre ORSTOMMontpellier, France Service des sols - ressources, aménagement et conservation. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Bull. Pédologique de la FAO.70 p.
- 176.ROSTEDT Mavis, 2004, ‘Using Vetiver for Gully Erosion Control’**, Beaudesert Landcare Group Inc., Beaudesert, Queensland, Australia; *AU J.T.* 8(2), 81-85.

- 177.SADIKI Abdelhamid, BOUHLASSA Saïdati, AUAJJAR Jamal, FALEH Ali, &MACAIRE Jean Jacques, 2004, ‘Utilisation d’un SIG pour l’évaluation et la cartographie des risques d’érosion par l’Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc): cas du bassin versant de l’oued Boussouab’’, *Bulletin de l’Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, 26, 69-79 ;**
- 178.SALIM Said, S.A., *La perte de matériaux des pistes rurales*. Rapport CNER. 13 p.**
- 179.SAMBA Joseph Léon, 2012, *Une approche d’aménagement de bassin versant et de stratégie de prévention et d’atténuation de l’érosion hydrique a Brazzaville en République du Congo. Journée thématique sur la gestion intégrée des ressources naturelles dans le paysage d’Afrique Centrale: le rural, l’urbain et leur convergence*. 4^e Réunion plénière des partenaires du partenariat pour les forêts du bassin du Congo, N’Djamena, Tchad du 19 au 22 sept. 61 p.**
- 180.SAMBA Gaston&M’BAYE Diop, 2000, ‘Bilan hydrique dans la région du Pool (République du Congo)’’, *Cahiers Agricultures*, 9(1),47-53.**
- 181.SANDS Roger,2005, “Forestry in Global Context”. CABI Publishing, 2 p.**
- 182.SAUTTER Gilles, 1969, *Essaies sur les formes d’érosion en « Cirque » dans la région de Brazzaville (Rép. du Congo)*, Ed. CNRS, 9, 124 p.**
- 183.SEUTLOALI Khoboso Elisabeth, 2014, *Assessing soil erosion associated with main roads in south-eastern South Africa*. Thesis of the College of Agriculture, Science and Engineering, (Doct. of Philisophy in Environmental Sciences, University of KwaZulu-Natal, South Africa), 148 p.**
- 184.SEUTLOALI Khoboso Elisabeth &BECKEDAHL Heinrich Reinhard, 2015, “Understanding the factors influencing rill erosion on roadcuts in the south eastern region of South Africa’’. *Solid Earth*, 6., 633–641, doi:10.5194/se-6-633-2015**
- 185.SCHMID Roger, 2012, *Réhabilitation de pistes rurales et lutte contre l’érosion. Bilan de 16 ans d’intervention de la DDC à l’est du Tchad*. Confédération Suisse, DFAE, DDC et Bureau de la Coopération Suisse au Tchad. 11 p.**
- 186.SCHWARTZ Dominique & RAMBAUD Dominique, 1983, ‘Contribution des analyses de sables (granulométrie, morphoscopie et exoscopie) à une étude morphopédologique : Lousseke de Gangalingolo (Pool, R.P. du Congo)’’. Tentative de reconstitution paléogéographique et généralisation. ORSTOM, Brazzaville, 38 p.**
- 187.SCHWARTZ Dominique, 1986, “Les sols des environs de Brazzaville et leur utilisation’’. ORSTOM Santé Urbanisation et AGECO. Publié avec le concours de la Mission Française de Coopération et d’Action Culturelle. Brazzaville. R. P. Congo, 37-56.**

- 188.SCHWARTZ Dominique, 1987**, ‘‘Les podzols tropicaux sur sables Batékés en République Populaire du Congo, description, caractérisation, genèse’’, 7 p.
- 189.SIKALF Frank&MIR-EMARATI Djalal, S.A.**, *Utilisation des latérites en technique routière au Cameroun*. Rapport d’étude du Laboratoire National de Génie Civil (LABOGENIE), Yaoundé (Cameroun), 277-288.
- 190.SITOU Leonard, 2008**, Dynamique et cause de l’érosion dans la périphérie nord de Brazzaville, *La revue AHOHO*, 2, LARDYMES, Repéré à <http://www.lodel.tg.refer.org/ahoho>.
- 191.SITOU Leonard & MAYIMA Brice Anicet, 2011**, Feux de brousse et risques de ruissellement et d’érosion hydrique sous savanes et plantation d’Eucalyptus des plateaux côtiers du Congo Brazzaville. Annales de la Faculté des Arts, Lettres et Sciences humaines de l’Univ. de Ngaoundéré. 13, 195-207.
- 192.SITOU Léonard&MAYIMA Brice Anicet, 2013**, Erosion hydrique en milieu urbain : cas du plateau de Makélékélé au sud de Brazzaville, Congo. Annales de l’Université de Ngaoundéré, Cahier de l’IGRAC, 6 (9), 119-135.
- 193.SITOU Leonard&M’BOUKA MILANDOU Idriss Auguste Williams, 2017**, ‘‘Etude De Surcreusement Des Pistes Rurales Ou Forestières, Sur Le Plateau Des Cataractes: Cas Des Routes Koubola - Kibossi Et Koubola – Bissinza (République Du Congo)’’, *European Scientific Journal* July edition 13(21), 116-138.
- 194.SLIMI Ahmed&LARUE Jean Pierre, 2010**, ‘‘Risques de glissement et aménagements : l'exemple du glissement d'un remblai autoroutier à l'ouest de Bouira (Grande Kabylie, Algérie)’’, *Physio-Géo*, 4, 87-106.
- 195.STENGEL Pierre & GELIN Sandrine, 1998**, *Sol: interface fragile*, France, Ed. INRA, Coll. Mieux comprendre, 222 p.
- 196.STONE Robert Paul, & Hilborn Don, 2000**, ‘‘Equation universelle des pertes en terre (USLE)’’. Fiche technique-Sol et Génie rural. Commande n°00-002, Mai, AGDEX 572/751. Ontario-Ministère de l’Agriculture, de l’Alimentation et des Affaires rurales.8 p.
- 197.TABBOUCHY Rachid, S.A.**, *Indicateurs d’état de dégradation des pistes rurales*. Service Auscultation des Chaussées (SAC) au CNER. 8 p.
- 198.TAYLOR Brendan D., & GOLDINGAY Ross L., 2010**, ‘‘Roads and Wildlife: Impacts, Mitigation and Implications for Wildlife Management in Australia’’, *Wildlife Research*, 37(4), 320-331, DOI: 10.1071/WR09171.

- 199. TOCKOL Idrissa, 1993, *Contribution à l'étude de graveleux latéritiques dans les pays du Sahel : cas des routes non revêtues*, Thèse de Doctorat du M.Sc.A., Génie Civil, Ecole de Génie, Université de Moncton, Canada, 225 p.**
- 200. TCHOTSOUA Michel, 1989, *L'érosion des versants dans un centre urbain tropical de moyenne montagne : le cas des bassins de deux affluents du Mfoundi (Abièrgue nord et Ntem) Yaoundé*, Mém. de maîtrise, Université de Yaoundé, Cameroun, 176 p.**
- 201. TCHOTSOUA Michel, 1996, "Dynamique informelle de l'espace urbain et érosion accélérée en milieu tropical humide: le cas de la ville de Yaoundé, Cameroun". In : Neuvième réunion du Réseau Erosion 9- Bull., (13) ,131-142**
- 202. TURTON Donald, ANDERSON Steven, MILLER Robert & HITCH Kenneth 1990, *Best Management Practices (BMP) for Forest Road Constructions in Oklahoma*. Cooperative Extension Service-Division of Agricultural Sciences and Natural Resources – Oklahoma State University. Forestry Extension Report 5. 32 p.**
- 203. VALENTIN Christian & JANEAU JeanLouis, 1989-90, "Les risques de dégradation structurale superficielle de la couverture pédologique en savane humide de Côte d'Ivoire" Cahier de l'ORSTOM série Pédologie, 1-2, 41-52.**
- 204. VALENTIN Christian, POESEN Jean, & Li YONG, 2005, "Gully erosion: Impacts, factors and control" Catena, 63, 132–153.**
- 205. VAN CAILLIE Xavier Daniel, 1989-1990, "Erodibilité des terrains sableux du Zaïre et contrôle de l'érosion", Cahier ORSTOM, Série Pédologie, 25 (1-2), 197-208.**
- 206. VAN IMSCHOOT Marc & D'HONT Yves, 1994, *Réhabilitation et entretien des routes rurales par la méthode à haute intensité de main-d'œuvre (HIMO) Antsirabe – Madagascar ; rapport principal ; revue du projet MAG 003*, 78 p.**
- 207. VAN ASCH Theodore W.J, MALET Jean Pierre, VAN BEEK Ludovicus P.H., & AMITRANO David, 2007, "Techniques, issues and advances in numerical modelling of landslide hazard", Bull. de la Société Géologique de France, 178 (2), 65-88.**
- 208. VENNETIER Pierre, 1966, *Géographie du Congo Brazzaville*, ORSTOM, Enseignement Supérieur en Afrique Centrale, Paris, Gauthier Villard, 174 p.**
- 209. WELSH Michael Jean, 2008, *Sediment production and delivery from forest roads and off-highway vehicle trails in the Upper South Platte River watershed, Colorado*. Unpublished MS Thesis. Fort Collins, CO: Colorado State University, 237 p.**

- 210. WISCHMEIER Walter Henry & SMITH Dwight David & UHLAND Russel Edouard, 1958**, ‘‘Evaluation of factors in the soil loss equation’’, *Agricultural Eng.*, 39 (8), 458-462 et 474.
- 211. WISCHMEIER Walter Henry & SMITH Dwight David, 1965**, *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. Agricultural Handbook, 282, US Government Print Office. Washington, DC, 47 p.
- 212. WISCHMEIER Walter Henry, JOHNSON C.B., & CROSS B.V., 1971**, ‘‘A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites’’, *J. of Soil and Water Conservation*, 26(5), 189-192.
- 213. WISCHMEIER Walter H. & SMITH Dwight David, 1978**, *Predicting Rainfall Erosion Losses; A guide to conservation planning*, Agriculture handbook N°537. US department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, DC, USA, 163 p.
- 214. WOUTERS Thomas & WOLFF Eléonore, 2010**, ‘‘Contribution à l’analyse de l’érosion intra-urbaine à Kinshasa (R.D.C.)’’ – *Belgeo3 – Miscellaneous, Edi : National Committee of Geography of Belgium / Société Royale Belge de Géographie*, 293-314.
- 215. XIAO Linlin, YANG Xiaohan, & CAI Hongyan, 2017**, ‘‘The Indirect Roles of Roads in Soil Erosion Evolution in Jiangxi Province, China: A large Scale Perspective.’’ *Sustainability and MDPI. Vincenzo Torretta*. January 2017, 12 p.
- 216. XU Liyu, LU Shengluan & TRUONG Paul, 2017**, ‘‘Vetiver System for Agriculture Production’’. Reviewer, Proc. ICV-3, Guangzhou, Chine, 6-9 October, 234 - 246.
- 217. XU Xian-Li, LIU Wen, KONG Ya-Ping, ZHANG Ke-Li, YU Bofu, & CHEN Ji-Ding, 2009**, ‘‘Runoff and water erosion on road side- slopes: Effects of rainfall characteristics and slope length’’, *Transportation Research*. 14(7), 497-501.
- 218. YONGUE-FOUATEU Rose, BOLI BABOULE Zacharie & TEMGOUA Emile, 1994**, ‘‘Erosion hydrique en milieu urbain : le cas du site d’Oyomabang dans la ville de Yaoundé’’. IRD 10 p.

SITES WEB CONSULTÉS

1. <https://www.bkconseil.com/> Rapport analytique sur : « *le réseau routier de la République du Congo (routes bitumées et en terre)* », 2012. (Consulté le 01/08/2014).
2. <https://www.mtpt-benin.net/> Rapport d'étude 2013/République du Bénin « *Entretien courant des pistes et actions de routine annuelles pour l'amélioration de la praticabilité des pistes aménagée ou réhabilitées* ». (Consulté le 10/01/2015).
3. http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS -USDA & NRCS (2008): Soil Quality Indicators (Indicator – Test- Function). (Consulté le 12/04/2015).
4. <https://www.cnsee.org/statistique-population/> Données démographiques du RGPH de la république du Congo en 2007, (Consulté le 20/09/2015).
5. <https://www.unt.unice.fr/> Rapport scientifique sur « *La morphoscopie des sables, la vitesse d'écoulement des eaux et le transport des limons et des sables fins* ». (Consulté le 14/12/2015).
6. <https://www.nrs.fs.fed.us/fmg/nfmg/docs/mn/roads.pdf> / Technic Rapport of Territory management department, US, « *Aménagement des surfaces de roulement des pistes en terre (bombement et degré) pour le drainage efficace des eaux* ». (Consulté le 05 janvier 2016).
7. <https://www.arcade-vivre.asso.fr/> Rapport d'étude technique sur « *l'utilisation des latérites dans la réhabilitation des pistes au Mali pour le désenclavement des zones enclavées, avec des techniques simples, maîtrisées par les entreprises locales* ». (Consulté le 02/04/2016).
8. <https://www.statistics-cameroon.org/>Rapport socio-économique du Cameroun sur « *la crise économique dans les années 80 : crise de dégradation des routes (enclavement des localités rurales et difficultés de mobilité, d'écoulement des productions sur les marchés des centres urbains)* ». (Consulté le 12/05/2016).
9. <http://www.ipsinternational.org/> Inter Press Service Information, 2012, sur « *l'utilisation des bambous dans la lutte contre l'érosion des sols et la restauration des terres dégradées* ». (Consulté le 14/05/2016).
10. <https://www.afdb.org/fr/> Rapport du projet « *réhabilitation du secteur agricole et rural en République démocratique du Congo* » (PRESAR), Groupe Banque Africaine de Développement, 2005. (Consulté le 18/05/2016).
11. <https://www.helvetas.org/> Rapport technique sur le projet d'entretien et de gestion des routes rurales au Tchad par le « *Swiss Intercooperation* », 2006. (Consulté le 05/07/2015).

12. <https://www.blm.gov/bmp/> Technical Information « *3 méthodes de protection routière aux Etats Unies d'Amérique : méthodes physique, méthodes végétatives ou biologiques et méthodes biotechniques* ». U.S. Department of the Interior. Bureau of Land Management. (Consulté le 08/07/2016).
13. <https://www.togoreforme.com/> Rapport d'étude technique/République du Togo : « *Les types de route et leur importance : routes internationales, routes urbaines, routes rurales* ». (Consulté le 14/07/2016).
14. <http://www.haute-garonne.gouv.fr/content/download/14416/99875/file/DDRM31-051216.pdf>. Conseil Régional Haute Garonne de France (2006), Rapport technique sur « *L'entretien des systèmes de drainage et la restauration des fosses en bordure de route pour un bon drainage des eaux de ruissellement* ». (Consulté le 09/11/2016).
15. <https://www.villesetcommunes.info/> Rapport technique Français sur « *les types d'entretien routier : entretien préventif et curatif* ». (Consulté le 14/12/2016).
16. <https://www.capafrika.org/egssaa/> Study report, *technology & Engineering* 2009. Solid waste: Generation, handling, treatment and disposal. Chapter 15 in Environmental guidelines for small-scale activities in Africa (EGSSAA). (Consulté le 27/12/2016),
17. <https://www.developpement-durable.gouv.fr/>, MEDDTL de France (2011). Routes et développement durable. (Consulté le 30/12/2016),
18. <https://www.reseda-niger.net/>, le gabionnage – répertoire de fiches techniques. BP 12 719, Niamey, Niger NIF 6999, (Consulté le 05/06/2016),

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Coupe transversale d'une section de FEE-TPZ.....	42
Figure 2 : Coupe transversale d'une section de FEE-REC	42
Figure 3 : Coupe transversale d'une section de FEE-V	42
Figure 4 : 6 morphologies potentielles de sections transversales	43
Figure 5 : Diagramme triangulaire des textures des sols selon USDA	53
Figure 6 : Situation et limites de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	68
Figure 7 : Coupes géologiques de synthèse de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	69
Figure 8 : Carte topographique de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	70
Figure 9 : Carte géologique de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	71
Figure 10 : Les sols de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	78
Figure 11 : Températures moyennes, minimales et maximales de Brazzaville et les environs (2003-2014)	80
Figure 12 : Diagramme de précipitations moyennes mensuelles de 1980 à 2014 à Brazzaville et les environs.....	81
Figure 13 : Moyennes des précipitations maxi en 24h, de 1980 à 2014, Station de Maya–Maya (Brazzaville)	82
Figure 14 : Bilan hydrique simplifié du sol à Brazzaville de 2004 à 2013	83
Figure 15 : Diagramme des moyennes mensuelles de fréquences de pluies entre 1980 et 2014.....	84
Figure 16 : Evolution de la population de Brazzaville de 1974 à 2010	89
Figure 17 : Le réseau routier de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	91
Figure 18 : Illustration d'une chaussée en milieu rural et urbain	96
Figure 19 : Différentes parties d'une route bitumée	96
Figure 20 : Coupe transversale courante d'une piste.....	98
Figure 21 : Situation topographique des routes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé (A: route en situation d'interfluve, B: route en terrasse, C: route en situation de bas-fond de vallée)	99
Figure 22 : Carte des routes retenues pour cette étude.....	100
Figure 23 : FDM sur les pistes en terre, latéritées et bitumées dégradées.....	113
Figure 24: Processus de surcreusement et d'arasement de piste en terre.....	127
Figure 25 : Ravinement régressif vers une piste en terre en situation d'interfluve	129
Figure 26: Ravinement régressif vers une piste en terre en situation terrasse.....	129
Figure 27 : Localisation des ravinelements sur les pistes en terre de la Sous-Préfecture	133
Figure 28 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste de Linzolo	134
Figure 29 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare	136
Figure 30 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste Koubola-Bissinza	138
Figure 31 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste Koubola-Kibossi.....	139
Figure 32 : Fréquence des ravinelements par PK sur la piste Sadelmi-Loumou-Nguidi	141
Figure 33 : Densité moyenne des ravinelements par piste en terre	143
Figure 34 : Relation entre taux de ravinement et le kilométrage des pistes à partir du nuage des points de la courbe polynomiale	144
Figure 35 : Volume et quantité de matériaux perdus (terre et MR) dans la Sous-Préfecture de Goma tsé- tsé.....	155
Figure 36 : Exemple d'une route coupée et village menacé par un ravin régressif et digité.....	157
Figure 37 : Exemple des ravinelements longitudinaux rétrécissant la piste.....	157
Figure 38 : Croquis morphologique du ravin de Mabenga (2007-2010).....	158

Figure 39 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la route de Linzolo.....	169
Figure 40 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la route latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé	171
Figure 41 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la piste Koubola-Bissinza	173
Figure 42 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la piste Koubola-Kibossi	174
Figure 43 : Les tendances de la perception des populations sur la dégradation de la piste de Loumou	176
Figure 44 : Tendances moyennes de la perception des populations sur les causes de la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	177
Figure 45 : Moyenne des perceptions sur les conséquences de la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	179
Figure 46 : Profils des pistes en situation topographique calme ou accidentée.....	185
Figure 47 : Dispositif de bambou dans un ravinement linéaire à la piste.....	196
Figure 48 : Nombre et types de véhicules par jour sur les pistes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	205
Figure 49 : Taux combiné des TMJ, TMM et TMA dans la zone d'étude	206
Figure 50 : Croissance de la population du département du Pool de 2007 à 2015	209
Figure 51 : Occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 1975.....	216
Figure 52 : Occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 1995.....	216
Figure 53 : Occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 2015.....	217
Figure 54 : Evolution de l'occupation du sol dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	220
Figure 55 : Triangle des textures du SEC1.....	228
Figure 56 : Triangle des textures du SEC2.....	229
Figure 57 : Triangle des textures du SEC3.....	231
Figure 58 : Triangle des textures du SEC4.....	235
Figure 59 : Relation entre coefficient de perméabilité et les codes de perméabilité des sols	240
Figure 60 : Sectorisation de l'indice d'érodibilité (K) dans la sous-préfecture de goma tse-tse	243
Figure 61 : Situation des pistes par rapport aux indices K des sols dans la sous-préfecture de Goma tse-tse	243
Figure 62 : Courbes des tendances de P et p sur l'indice de Fournier (1960).....	248
Figure 63 : Relation entre les précipitations et les valeurs d'indices d'érosivité annuels entre 2005 et 2014.....	250
Figure 64 : Diagrammes combinés des précipitations, de IF et de R.....	251
Figure 65 : Corrélation entre les hauteurs des précipitations annuelles, l'indice de Fournier (IF)	252
Figure 66 : Carte des pentes de la sous-préfecture de Goma tse-tse.....	253
Figure 67 : Pentes et réseau routier de la sous-préfecture de Goma tse-tse	253
Figure 68 : Plages des pentes en % et superficie occupées en ha	255
Figures 69A et 69B : Facteur topographique (LS) et réseau routier dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	258
Figure 70 : Diagramme des classes de LS par superficie en ha.....	259
Figure 71 : Profil topographique de la section de la route en situation de terrasse vers Samba Alphonse (piste Nganga Loungolo-Linzolo).....	260
Figure 72 : Profil topographique de la section de piste en situation d'interfluve (Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare et village)	262

Figure 73 : Profil topographique de la section de piste dans un bas-fond de vallée (Sadelmi - Loumou-Nguidi)	263
Figure 74 : Nivellement d'une piste affectée par les dégradations mineures.....	285
Figure 75 : A- Nivellement d'une piste dépourvue de couche de roulement, B-Travaux de brisement ou de cassure des routes à la surface des pistes en zone argileuse ou gréseuse (Inkisi).....	285
Figure 76 : Remblayage et stabilisation des rebords d'une section de piste en zone assez plane affectés par les ravinelements longitudinaux	291
Figure 77 : Remblayage d'un ravinement longitudinal et stabilisation des pentes par le vétiver sur une piste en terrasse. © Idriss M'bouka Milandou	292
Figure 78 (A, B,C et D) : Traitement des surcreusements trapézoïdaux et rectangulaires par adoucissement des parois et des gradins avant le planting des vetivers	294
Figure 79 : Méthode de protection des parois des espaces bordiers d'une piste surcreusée.	295
Figure 80 : Parois ou talus d'un surcreusement de piste disposé en gradin couplé aux caniveaux.	296
Figure 81 (A et B): Inclination d'une piste surcreusée d'un côté, pour évacuer l'eau dans les caniveaux ou les fossés latéraux, (C): Bombement de la piste surcreusée pour diriger les eaux dans les caniveaux ou les fossés latéraux (de part et d'autre)	297
Figure 82 : Exemple de traitement bio-mécanique des ravinelements régressifs sur une piste en terrasse (A) et en situation d'interfluve (B)	298
Figure 83 : Plan de la gestion des pistes en terre dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	303
Figure 84 (A et B): Modèles de bombement d'une piste rurale standard	307
Figure 85 (A et B): Morphologie des pistes en terre en situation de terrasse.....	307
Figure 86: (A) Piste avec caniveaux latéraux rectangulaire, (B): Piste avec ponceau ou buse en situation de terrasse, (C): Piste avec fossés latéraux, (D): Piste avec impluviums	309
Figure 87 : Vue perspective d'une piste avec zone de rétention d'eau	311
Figure 88 : Protection des talus et des versants des pistes par des herbes à racines profondes	314
Figure 89 : (A): Limitation des ruissellements et captage des sédiments par un dispositif en bois sur une piste en terrasse, (B): Détail du dispositif de la figure 91A)	315
Figure 90 : Suggestion sur la disposition des MPP et des BCER par axe routier.....	323

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Cadre conceptuel de l'étude.....	35
Tableau 2: Codification morphologique de FEE	41
Tableau 3 : Classification des codes par structure de sol	55
Tableau 4 : Classe de perméabilité des sols, correspondant à la typologie à la nature et à l'aptitude à l'infiltration des eaux	57
Tableau 5 : Codes de perméabilité des sols par rapport à la texture	57
Tableau 6 : Indice d'érodibilité et sensibilité des sols à l'érosion hydrique	58
Tableau 7 : Classes, description et catégorie de l'Indice de Fournier	60
Tableau 8 : Classes des indices d'érosivité (R) des pluies.....	61
Tableau 9 : Précipitations moyennes mensuelles de 1980 à 2014 à Brazzaville et les environs	81
Tableau 10 : Précipitations maximales en 24h de 1980 à 2014 à Brazzaville et les environs	81
Tableau 11 : Moyennes mensuelles des fréquences de pluie entre 1980-2014	84
Tableau 12 : Caractéristiques de la population de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé en 2007	88
Tableau 13 : Types et codification des FEE sur les pistes de la zone d'étude	125
Tableau 14 : Etat de dégradation des pistes par zone.....	132
Tableau 15 : Densité des types de ravinement sur la P1	135
Tableau 16 : Densité des types de ravinements sur la P2.....	137
Tableau 17 : Densité des types de ravinements sur la P3.....	138
Tableau 18 : Densité des types de ravinements sur la P4.....	140
Tableau 19 : Densité des types de ravinements sur la P5.....	141
Tableau 20 : Taux moyen des ravinements par kilomètre de piste	143
Tableau 21 : Matériaux perdus sur la piste de Linzolo	146
Tableau 22 : Matériaux perdus sur la piste de Mayitoukou	148
Tableau 23 : Matériaux perdus sur la piste Koubola-Bissinza	150
Tableau 24 : Matériaux perdus sur la piste Koubola-Kibossi.....	152
Tableau 25 : Matériaux perdus sur le tronçon Sadelmi-Loumou-Nguidi.....	154
Tableau 26 : Moyenne des volumes et des matériaux perdus par piste dans la zone d'étude	155
Tableau 27 : Répartition par route et par village des personnes interrogées par catégorie socio-professionnelle	168
Tableau 28 : Causes de la dégradation de la piste de Linzolo, selon les populations	169
Tableau 29 : Causes de la dégradation de la piste latéritique de Mayitoukou selon la population	171
Tableau 30 : Perception des populations sur les causes des surcreusements sur l'axe Koubol -Bissinza	173
Tableau 31 : Perception des causes des surcreusements de la piste Koubola-Kibossi.....	174
Tableau 32 : Perception des populations sur les causes de la dégradation de la piste de Loumou	176
Tableau 33 : Taux moyen de la perception des populations sur les causes de la dégradation des routes en terre	177
Tableau 34 : Conséquences de la dégradation des pistes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé, selon la population locale	179
Tableau 35 : Nature, épaisseur, densité apparente et largeur moyenne des pistes	185
Tableau 36 : Fréquence d'usage des méthodes de lutte antiérosive dans la zone d'étude	199
Tableau 37 : Types de véhicules et trafic par piste entre 2014 et 2015	204
Tableau 38 : Croissance démographique du département du Pool entre 2007 et 2015.....	209
Tableau 39 : Superficies des aires occupées par l'homme et la couverture végétale	217
Tableau 40 : Texture et matière organique des sols du SEC1	227

Tableau 41: Pourcentage des valeurs texturales du SEC1 réévaluées	227
Tableau 42 : Indice de porosité du SEC1 par rapport à la texture des sols	228
Tableau 43 : Texture et matière organique des sols du SEC2	229
Tableau 44 : Réévaluation des valeurs moyennes des textures des sols du SEC2.....	229
Tableau 45 : Indice de porosité du SEC2 par rapport à la texture des sols	230
Tableau 46 : Texture et matière organique des sols du SEC3	230
Tableau 47 : Réévaluation des valeurs des textures moyennes du SEC3.....	230
Tableau 48 : Indice de porosité du SEC3 par rapport à la texture des sols	231
Tableau 49 : Caractéristiques des sols ferrallitiques désaturés au sud de la zone d'étude.....	232
Tableau 50 : Taux des éléments de sols par rapport aux horizons et aux profondeurs selon Denis (1974).....	233
Tableau 51 : Texture et matière organique des sols de Brazzaville nord et nord-ouest.....	233
Tableau 52 : Texture et matière organique des sols dans le plateau de Mbé.....	234
Tableau 53 : Réévaluation des valeurs moyennes des textures du SEC4.....	234
Tableau 54 : Indice de porosité du SEC4 par rapport à la texture des sols	235
Tableau 55 : Classe et code structural des sols par secteur de piste par rapport au taux d'argile dans le sol.....	237
Tableau 56 : Parcelles expérimentales et codes des sites sur chaque piste	238
Tableau 57 : Vitesse d'infiltration, coefficient de perméabilité, typologie des sols, classes et codes de perméabilité	238
Tableau 58 : Indice d'érodibilité (K) par secteur de piste.....	242
Tableau 59 : Indice annuel de Fournier à Brazzaville et les environs (2005-2014).....	247
Tableau 60 : Erosivité annuelle des pluies entre 2005 et 2014 à Brazzaville et les environs.....	249
Tableau 61 : Comparaison de l'indice R(USA) et quelques régions du monde.....	251
Tableau 62 : Précipitation, indice de Fournier (IF) et d'érosivité (R) annuels entre 2005 et 2014 à Brazzaville et les environs	251
Tableau 63 : Superficie par classes de pentes dans la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	255
Tableau 64 : Classes de LS et les superficies concernées	259
Tableau 65 : Comparaison des matériaux favorables au traitement des pistes en terre affectées inspirée de Choctawhatchee & al. (2010).....	286
Tableau 66 : Dimensionnement d'une route en terre en fonction du PTC et du CBR.....	304
Tableau 67 : Situation topographique des sections de pistes et la disposition des drains	312
Tableau 68 : Recommended spacing of Cross-drain Culverts.....	313
Tableau 69: Nombre des BCER et des cantonniers par axe routier dans la zone d'étude	318
Tableau 70 : Nombre de MPP par route et la TUP par type de véhicule	323
Tableau 71 : TUP par rapport au TMJ, TMM et TMA par piste dans la zone d'étude	324

LISTE DES PLANCHES DE PHOTOS

PLANCHE N° 1 :	51
PLANCHE N° 2 :	56
PLANCHE N° 3 :	72
PLANCHE N° 4 :	75
PLANCHE N° 5 :	87
PLANCHE N° 6 :	95
PLANCHE N° 7 :	101
PLANCHE N° 8 :	103
PLANCHE N° 9 :	104
PLANCHE N° 10 :	105
PLANCHE N° 11 :	114
PLANCHE N° 12 :	118
PLANCHE N° 13 :	120
PLANCHE N° 14 :	121
PLANCHE N° 15 :	126
PLANCHE N° 16 :	126
PLANCHE N° 17 :	128
PLANCHE N° 18 :	130
PLANCHE N° 19 :	135
PLANCHE N° 20 :	137
PLANCHE N° 21 :	139
PLANCHE N° 22 :	140
PLANCHE N° 23 :	142
PLANCHE N° 24 :	158
PLANCHE N° 25 :	160
PLANCHE N° 26 :	162
PLANCHE N° 27 :	163
PLANCHE N° 29 :	188
PLANCHE N° 28 :	188
PLANCHE N° 30 :	190
PLANCHE N° 31 :	191
PLANCHE N° 32 :	193
PLANCHE N° 33 :	194
PLANCHE N° 34 :	195
PLANCHE N° 35 :	198
PLANCHE N° 36 :	202
PLANCHE N° 37 :	212
PLANCHE N° 38 :	292
PLANCHE N° 39 :	297
PLANCHE N° 40 :	299
PLANCHE N° 41 :	301
PLANCHE N° 42 :	314

LISTE DES PHOTOS ISOLEES

Photo 12: Vue d'une pente défrichée pour l'agriculture à Linzolo.....	90
Photo 15 : Piste latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé gare et village.....	97
Photo 27: Perte des matériaux (levée de poussière) sur la piste de Mayitoukou	115
Photo 28 : Exemple des tôles ondulées sur une route au Mali	115
Photo 29: Nids-de-poule sur la route de Linzolo, en plein dégradation et en cours de transformation en piste en terre, par la perte des matériaux vers Touboula.....	117
Photo 91 : Traitement défaillante des ornières vers Mayala, sur la piste Koubola-Bissinza.....	192
Photo 110 : Savane basse brulée vers Kibossi.....	213
Photo 111 : Touffes des vétivers et leurs longues racines.....	289
Photo 114: Applications of Vetiver grass for landscape stabilization.....	295

LISTE DES IMAGES SATELITALES

Image satellitale 1 : Evolution d'un ravin régressif vers la route de Linzolo, à Bissinza.....	129
Image satellitale 2 : Sédimentation d'un ruisseau à Touboula et menace de coupure de la route par le ravin digité régressif à Touboula, sur l'axe de Linzolo.....	163
Image satellitale 3 : Ravinement et dépôt des sédiments dans un bas-fond de vallée à Saint Isidore, sur la route de Linzolo.....	164



ANNEXES

ANNEXE 1

Modèle de fiche 1 : Observation de l'état des routes de la zone d'étude

Secteur	Type de route				Types de matériau x	dispositif de drainage		Autre dispositif de protection	
	Route bitumée	Route latéritique	Route en terre	Autre		Oui	Non	Oui	Non

Modèle de fiche 2 : Identification typologique des formes de dégradation mineures (FDM)

Route	Forme de dégradation structurelle				Forme de dégradation par défaut de drainage				Observation

ANNEXE 2

Modèle de fiche 3 : Identification et quantification typologique des formes d'érosions évoluées

Route	Type de ravinement						Forme géométrique	Longueur	largeur		Profondeur		Coordonnées géographiques	Secteur village	PK
	Ravine		Ravin		Autres				W	W'	P	P'			
	L	T	L	T	L	T									

Modèle de fiche 4 : Perception de l'érosion des pistes par les populations locales

Axe routier :/ Zone géographique :								
Village	Coordonnées géographiques	Tranche d'âge		Catégorie socio-professionnelle			Cause de l'érosion	Conséquence
		12-25	25 à +60	E	CR	ACEP		

ANNEXE 3

Tableau 1 : Résumé des résultats des causes de la dégradation de la route de Linzolo selon les personnes par taux

Cause de l'érosion des pistes	Pourcentage des personnes
Sensibilité surface de roulement	0,0%
Pluie, ruissellement, manque de canalisation	42%
Abandon des pistes par l'Etat	41%
Mauvais usage par les automobilistes	02%
Topographie des routes	0
Phénomène surnaturel	15%
Total	99,99%

Tableau 2 : Résumé des résultats des causes de la dégradation de la route latéritique de Mayitoukou-Goma tsé-tsé selon les personnes par taux

Cause de l'érosion des pistes	Pourcentage des personnes
Sensibilité surface de roulement	0,0%
Pluie, ruissellement, manque de canalisation	42,84%
Abandon des pistes par l'Etat	33,33%
Mauvais usage par les automobilistes	0,0%
Topographie des routes	14,28%
Phénomène surnaturel	9,52%
Total	99,97

ANNEXE 4

Tableau 3 :Résumé des résultats des causes de la dégradation de l'axe Bissinza-Koubola selon les personnes par taux

Cause de l'érosion des pistes	Pourcentage des personnes
Sensibilité surface de roulement	0,0%
Pluie, ruissellement, manque de canalisation	0,0%
Abandon des pistes par l'Etat	33,33%
Mauvais usage par les automobilistes	0,0%
Topographie des routes	0,0%
Phénomène surnaturel	66,67%
Total	99,97

Tableau 4 :Résumé des résultats des causes de la dégradation de l'axe Koubola-Kibossi selon les personnes par taux

Cause de l'érosion des pistes	Pourcentage des personnes
Sensibilité surface de roulement	10%
Pluie, ruissellement, manque de canalisation	23,34%
Abandon des pistes par l'Etat	43,33%
Mauvais usage par les automobilistes	3,33%
Topographie des routes	0%
Phénomène surnaturel	20%
Total	100%

ANNEXE 5

Tableau 5 : Résumé des résultats des causes de la dégradation de la piste Sadelmi- Loumou- Nguidi selon les personnes par taux

Cause de l'érosion des pistes	Pourcentage des personnes
Sensibilité surface de roulement	12%
Pluie, ruissellement, manque de canalisation	38%
Abandon des pistes par l'Etat	56%
Mauvais usage par les automobilistes	4%
Topographie des routes	0%
Phénomène surnaturel	0%
Total	100

Tableau 6 : Moyenne des conséquences de la dégradation de la piste à Goma tsé-tsé selon la perception des populations

Conséquences de l'érosion des routes	Perception par taux des personnes (%)
RCP	26
ADP	4
DAHE	17
APT	26
DCPL	27
Total	100

ANNEXE 6

Modèle de fiche 5 : Appréciation des méthodes locales de lutte anti-érosives

Route	Type et caractéristiques des méthodes de lutte anti-érosive							Fréquence d'utilisation	Efficacité	Défaillance

Modèle de fiche 6 : Echantillonnage des sols

Période (J/M/A) : Village.....Piste.....						
Site (S)	Coordonnée géographique	Caractéristiques des sites	Type de sol	Unité topographique	Profondeur	Note D'échantillons

ANNEXE 7

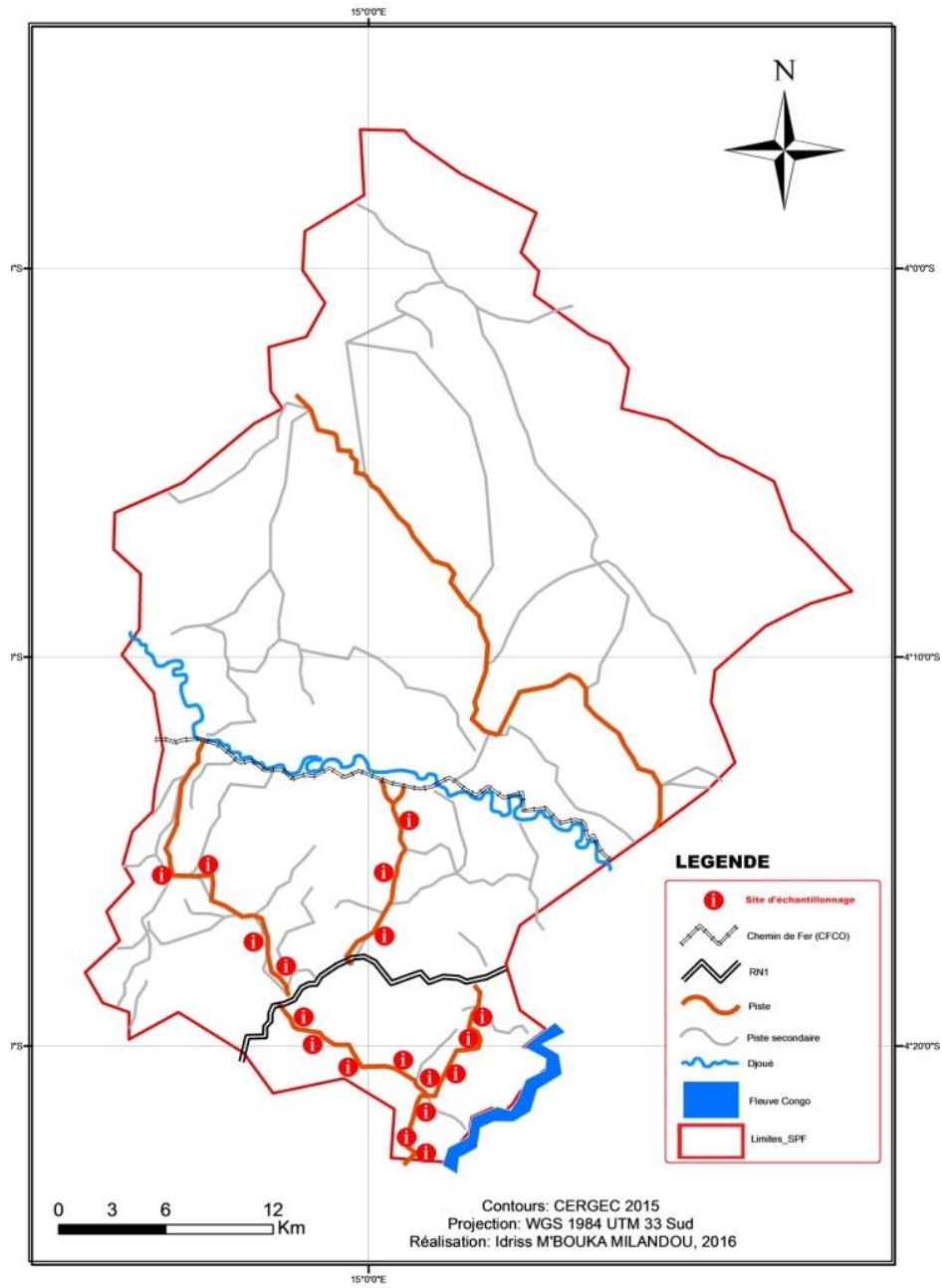


Figure 1 : carte des sites d'échantillonnage des sols dans le sud dans la zone d'étude

ANNEXE 8

Modèle de fiche 7 : Densité apparente (Sol et Matériel remanié)

Période (J/M/A) :Village.....Piste.....						
Site (S)	Coordonnée géographique	Caractéristiques des sites	Type de sol	Unité topographique	Type de Cylindre	Note D'échantillons

Modèle de fiche 8 : Infiltrometrie

Saison/mois :année :									
Piste.....Type de sol.....									
Site (S)	Type d'espace (herbacé-nu-semi herbacé)	Coordonnée géographique	Distance/ route	Quantité D'eau (litre)	Nombre d'essai				Temps (minute/s)
					E1	E2	E3	E _n	

ANNEXE 9

Tableau 7 : Température Moyenne mensuelle Sous Abri(2003 à 2014)

Année	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Total	Moyenne
2003	19,8	20,2		22,0	21,8	22,1	22,4	22,3	22,5	22,8	22,6	20,4	238,9	21,7
2004	19,3	19,4		22,0	21,5	22,3	22,6	22,4	22,9	22,5	22,3	19,9	237,1	21,6
2005	19,5	19,9	21,3	21,7	21,7	21,5	22,5	22,8	22,8	23,0	22,1	19,7	258,5	21,5
2006	19,5	19,2	20,9	21,6	21,7	22,0	21,7	22,2	22,1	22,2	21,3	21,0	255,4	21,3
2007	19,2	20,6	21,7	21,8	21,8	22,5	22,2	22,0	22,3	23,1	22,8	20,0	260,0	21,7
2008	18,8	20,7	21,9	22,2	22,2	22,5	22,5	22,5	22,3	22,5	22,4	20,1	260,6	21,7
2009	19,4	20,4	21,9	22,6	22,4	22,6	21,7	20,1	22,9	22,0	23,0	21,1	260,1	21,7
2010	20,1	22,1	22,1	23,3	22,4	22,0	23,0	21,6	23,5	23,3	20,8	20,0	264,2	22,0
2011	19,7	20,2	21,6	22,2	21,9	22,4	21,9	20,1	22,5	22,4	22,9	21,1	258,9	21,6
2012	19,5	20,2	21,8	22,3	22,4	22,5	22,8	22,0	23,0	22,9	22,4	20,8	262,6	21,9
2013	19,6	19,5	21,8	22,4	22,4	22,2	23,0	23,0	23,5	23,1	22,7	20,8	264,0	22,0
2014							22,9	23,3	23,2	23,1	22,9			

Source : ANAC, 2015

Tableau 8: Température Maxi. Moyenne Sous Abri(2003 à 2014)

Année	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Total	Moyenne
2003	28,6	29,9	30,3	31,3	30,9	30,8	30,0	31,8	32,1	32,2	31,5	29,5	368,9	30,7
2004	28,0	29,3	30,3	31,8	30,7	30,3	30,3	31,7	32,2	32,0	31,4	28,3	366,3	30,5
2005	28,2	29,8	31,4	30,7	31,3	30,5	31,5	32,4	32,7	32,9	30,6	27,7	369,7	30,8
2006	28,8	29,2	30,3	30,9	30,5	30,0	31,2	31,7	32,4	32,3	33,0	31,1	371,4	31,0
2007	28,1	28,5	30,6	30,9	30,6	30,5	31,2	31,6	32,8	32,8	32,0	28,8	368,4	30,7
2008	28,5	29,1	31,7	32,0	31,3	30,5	30,8	32,5	32,2	31,9	31,5	28,2	370,2	30,9
2009	27,6	28,0	31,5	31,8	31,2	30,7	30,5	31,1	32,9	31,4	32,1	28,6	367,4	30,6
2010	28,9	29,4	32,0	33,0	31,5	30,6	31,9	32,9	33,3	33,2	32,4	29,8	378,9	31,6
2011	28,1	29,4	31,3	31,1	30,6	29,9	30,6	28,6	32,3	32,9	31,6	28,8	365,2	30,4
2012	28,2	29,3	30,7	31,3	31,0	30,5	31,0	31,2	33,0	32,3	30,8	28,9	368,2	30,7
2013	28,2	29,7	31,1	31,5	30,9	30,4	31,8	32,4	32,6	32,8	31,8	28,9	372,1	31,0
2014							30,8	32,3	31,8	32,3	31,7			

Source : ANAC, 2015

ANNEXE 10

Tableau 9 : Précipitations maximale en 24 h, de 1980 à 2013

Année	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Total	Moyenne
1980	0,3	20,5	32,9	122,2	355,0	272,8	60,4	244,0	105,8	207,5	87,2	11,0	1519,6	126,6
1981	0	22,3	59,5	179,4	217,9	208,8	88,3	135,7	142,5	301,1	0,9	1,7	1358,1	113,2
1982	0	0,8	27,0	143,6	235,3	187,2	86,1	195,3	306,9	155,1	171,5	0	1508,8	125,7
1983	0,1	0	0	58,9	342,8	161,2	181,4	272,9	100,5	287,2	64,9	0,9	1470,8	122,6
1984	0	2,3	14,9	99,0	231,1	102,7	135,7	37,1	297,7	90,7	74,6	8,0	1093,8	91,2
1985	11,5	3,5	22,1	163,3	286,1	193,5	185,0	72,7	262,1	415,5	236,6	0	1851,9	154,3
1986	0	1,4	88,6	93,9	187,5	113,1	92,9	73,8	143,1	206,7	148,3	28,9	1178,2	98,2
1987	6,6	8,2	30,7	118,6	125,1	89,4	54,4	77,2	285,6	139,0	69,7	0	1004,5	83,7
1988	27,2	11,0	4,9	153,3	329,4	202,7	234,3	392,3	94,2	97,3	40,0	26,4	1613	134,4
1989	0	4,1	32,0	231,6	257,6	282,7	243,9	67,0	150,6	139,8	111,7	0,1	1521,1	126,8
1990	0	0,6	53,6	337,0	266,2	195,2	133,9	265,5	100,9	169,1	384,1	78,0	1984,1	165,3
1991	0	0	5,4	52,8	101,6	48,0	301,2	62,0	154,8	182,7	145,3	2,4	1056,2	88,0
1992	0	0	33,1	111,6	275,3	158,8	113,3	130,5	101,6	154,9	127,0	6,5	1212,6	101,1
1993	0	0	38,9	168,3	187,4	197,5	247,7	76,3	204,4	174,1	100,9	0,3	1395,8	116,3
1994	0	39,5	34,1	214,5	490,6	223,1	31,2	83,6	281,2	154,4	117,2	0	1669,4	139,1
1995	0	33,3	63,0	175,5	237,8	183,0	148,2	100,2	202,3	160,1	262,8	0	1566,2	130,5
1996	0	0	40,0	78,3	80,8	82,2	140,2	96,6	189,6	107,0	236,4	0	1051,1	87,6
1997	0	—	—	—	—	—	196,0	191,9	353,1	232,4	80,6	0	1054	150,6
1998	0	0,1	62,5	—	328,9	174,1	—	138,2	332,9	188,2	70,6	19,7	1315,2	131,5
1999	15,2	2,1	24,2	55,6	387,1	236,4	241,3	153,9	179,7	112,4	97,2	61,8	1566,9	130,6
2000	0	0	37,8	92,3	329,9	326,1	109,8	235,1	43,6	159,3	115,8	0	1449,7	120,8
2001	0,1	—	19,6	68,3	201,8	71,3	98,7	137,4	337,9	139,0	212,8	0	1286,9	117,0
2002	0,4	TR	74,5	121,0	325,6	305,1	126,0	137,3	118,8	238,8	186,6	20,1	1654,2	150,4
2003	2,3	0	39,6	94,2	338,8	108,5	129,1	170,7	112,3	151,2	18,9	7,2	1172,8	97,7
2004	1,3	4,8	98,9	167,1	192,5	240,9	138,2	108,1	171,3	109,8	1,3	0,3	1234,5	102,9
2005	2,0	TR	32,8	173,8	272,4	281,9	108,9	39,5	165,8	148,8	98,6	1,5	1326	120,5
2006	Traces	2,1	14,8	280,2	361,3	165,6	107,1	141,0	178,3	172,0	102,9	0,3	1525,6	138,7
2007	0	52,7	19,6	259,0	351,6	193,5	139,8	184,9	212,6	179,5	108,2	0,2	1701,6	141,8
2008	—	4,9	30,7	283,7	466,0	194,3	154,5	71,3	154,5	158,3	124,6	0	1642,8	149,3
2009	Traces	TR	—	—	126,9	—	251,2	—	150,8	284,2	159,0	—	972,1	194,4
2010	0	0	13,5	110,1	195,8	205,7	155,9	139,2	227,5	237,3	44,7	TR	1329,7	120,9
2011	0	0	53,4	152,3	376,8	205,2	294,6	84,3	128,8	259,2	121,1	0	1675,7	139,6
2012	0	0,2	32,2	147,1	199,6	224,2	62,9	78,7	198,5	122,8	132,2	0	1198,4	99,9
2013	0	7,0	18,3	146,4	310,8	218,6	154,0	145,7	174,3	298,2	123,3	0	1596,6	133,1
2014	0	0	0	0	0	0	182,0	41,3	252,2	103,3	199,3	0	778,1	124,8

Source : ANAC, 2015

ANNEXE 11

Figure 10 : Evolution de la population de Brazzaville de 1974 à 2010

Année	1974	1984	1994	2004	2007	2010
Population	321 403	585 812	937 600	1 000 000	1 350 000	1 550 000

Source : RGPH, CHSEE (1974 ; 1984 ; 1994 ; 2004 et 2007) et PNUD

(2010)

Tableau 11 : Taux de ravinement par PK sur la route Nganga Loungolo-Linzolo

PK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
Effectif	0	1	5	0	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	16
Fréquence	0	0,06	0,31	0	0,38	0,13	0,13	0	0	0	0	0	0	0	1
	0%	6,25%	31%	0%	38%	13%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Tableau 12 : Taux de ravinement par PK sur l'axe Mayitoukou-Goma tsé-tsé

PK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Effectif	3	3	1	0	0	0	0	0	3	0	1	0	11
Fréquence	0,27	0,27	0,09	0	0	0	0	0	0,27	0	0,09	0	1
	27%	27%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	27%	0%	9%	0%	100%

ANNEXE 12

Tableau 13: Taux de ravinement par PK sur la piste Koubola – Bissinza

PK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Effectif	2	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	6
Fréquence	0,33	0,17	0	0,17	0	0	0	0,17	0	0,17	0	0	1
	33%	17%	0%	17%	0%	0%	0%	17%	0%	17%	0%	0%	100%

Tableau 14 : Taux de ravinement par PK de la piste Koubola-Kibossi

PK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total
Effectif	2	2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Fréquence	0,25	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	25%	25%	13%	13%	0%	0%	0%	13%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Tableau 15 : Taux de ravinement par PK de la piste Sadelmi-Loumou- Nguidi

PK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	35	Total
Eff.	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Fqce	0	0,38		0,13	0,13	0	0	0	0	0	0,13	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0%	38%	0%	13%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	3
FICHE PRESENTATIVE DE LA THESE	4
DEDICACE	6
REMERCIEMENT	7
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	9
RESUME	10
INTRODUCTION	12
PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE, METHODOLOGIE ET CADRE GENERAL DE L'ETUDE	14
CHAPITRE 1 : CADRE THEORIQUE ET CONTEXTE DE L'ETUDE	15
1.1. Etat de la question	15
1.1.1. Route et développement socio-économique	15
1.1.2. Erosion hydrique et dégradation des routes en terre	19
1.1.3. Protection des routes en terre.....	23
1.2. Clarification des concepts clés.....	26
1.3. Contexte et justification de l'étude	30
1.4. Problématique	32
1.5. Questions de recherche.....	33
1.5.1. Question Principale	33
1.5.2. Questions secondaires	33
1.6. Objectifs de recherche	33
1.6.1. Objectif principal	33
1.6.2. Objectifs spécifiques	33
1.7. Hypothèses de recherche	34
1.7.1. Hypothèse principale.....	34
1.7.2. Hypothèses secondaires	34
1.8. Orientation de l'étude et choix de la démarche.....	36
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE, OUTILS DE TRAVAIL ET DIFFICULTES RENCONTREES	37
2.1. Méthodologie d'approche	37
2.1.1. Documentation utilisée	37
2.1.2. Travaux de terrain	37
2.1.3. Travaux de laboratoire et de bureau	49
2.2. Outils de travail et instruments de mesure.....	64
2.4. Difficultés rencontrées	65
CHAPITRE 3 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE, DU RESEAU ROUTIER ET DES ROUTES CHOISIES COMME MATERIEL D'ETUDE	67
3.1. Un cadre naturel fragile.....	67
3.1.1. Situation et limites de la zone d'étude.....	67
3.1.2. Relief de plateaux disséqués et géologie dominée par des sables	69
3.1.3. Des sols sablonneux sensibles à l'érosion hydrique.....	76
3.1.4. Un climat agressif	79
3.1.5. Un réseau hydrographique dense	84
3.1.6. Une végétation sous pression anthropique.....	86
3.2. Un cadre anthropique dynamique	88

3.2.1. Une démographie décroissante	88
3.2.2. Des activités anthropiques fragilisant le milieu naturel.....	89
3.3. Présentation du réseau routier de la zone d'étude	91
3.3.1. Les routes du nord et leurs rôles socio-économiques	92
3.3.2. Les routes du sud et leur importance socio-économique	93
3.3.3. Typologie des routes de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé	95
3.4. Présentation des axes routiers étudiés	99
3.4.1. La route Nganga Loungolo – Linzolo (P1).....	101
3.4.2. La piste Mayitoukou – Goma tsé-tsé gare (P2).....	102
3.4.3. La route Koubola – Mayala- Bissinza	103
3.4.4. La route Koubola – Kibossi Gare.....	104
3.4.5. La route Sadelmi – Loumou – Nguidi (Louweto).....	105
Conclusion partielle	107
DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESULTATS.....	110
CHAPITRE 4 : TYPOLOGIE ET BILAN QUANTITATIF DES DEGRADATIONS ROUTIERES ET LEURS CONSEQUENCES DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE.....	111
4.1. Processus et typologie des formes de dégradation des pistes	111
4.1.1. FDM et leurs conséquences sur les pistes.....	112
4.1.2. Formes d'érosions évoluées (FEE) sur les pistes en terre de la zone d'étude.....	122
4.2. Bilan quantitatif des ravinements sur les pistes en terre et leurs conséquences dans la sous-préfecture de Goma tsé-tsé	132
4.2.1. Fréquences et densités des ravinements sur les pistes	132
4.2.2. Quantité des matériaux perdus sur les pistes	144
4.2.3. Les conséquences environnementales des ravinements de pistes dans la zone d'étude	156
4.2.4. Les conséquences socio-économiques de la dégradation des pistes dans la zone d'étude	156
CHAPITRE 5 : FACTEURS EXPLICATIFS DE LA DEGRADATION DES ROUTES EN TERRE DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE.....	167
5.1. Perception des populations sur la dégradation des pistes : causes et conséquences	167
5.1.1. Causes de la dégradation des pistes selon les populations locales	168
5.1.2. Conséquences induites de la dégradation des pistes selon les populations.....	178
5.2. Facteurs humains de la dégradation des pistes dans la zone d'étude	183
5.2.1. Mauvaise structure des pistes.....	183
5.2.2. Manque de système de drainage et instabilité des talus routiers	187
5.2.3. Défaillance des techniques de lutte antiérosive sur les pistes	192
5.2.3. Négligence des méthodes biologiques dans la lutte antiérosive.....	197
5.2.4. Manque des travaux d'entretien des pistes	200
5.2.5. Mauvaise exploitation des pistes et agressivité du trafic	201
5.2.6. Reprise de la croissance démographique et occupation du sol	208
5.3. Facteurs naturels de la dégradation des pistes en terre dans la zone d'étude.....	225
5.3.1. Erodibilité des sols par secteur de piste de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	225
5.3.2. Rôle de l'agressivité climatique dans la dégradation des routes en terre de la Sous-Préfecture de Goma tsé-tsé.....	246
5.3.3. Evaluation de la sensibilité des pentes	253
Conclusion partielle	263

TROISIEME PARTIE :DISCUSSION DES RÉSULTATS ET PROPOSITION DES SOLUTIONS DE REMÉDIATION A LA DÉGRADATION DES ROUTES DANS LA SOUS-PRÉFECTURE DE GOMA TSE-TSE.....	266
CHAPITRE 6 : DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS.....	267
6.1. Les formes de dégradation des routes en terre.....	262
6.2. Les effets des dégradations des routes en terre.....	262
6.3. Les causes et les facteurs de dégradation des routes en terre	262
6.3.1. Les facteurs humains	262
6.3.2. Les facteurs naturels	262
CHAPITRE 7 : PROPOSITIONS DES SOLUTIONS DE REMEDIATION A LA DEGRADATION DES PISTES RURALES DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE.....	283
7.1. Solutions de lutte antiérosive sur les pistes rurales de la zone d'étude	283
7.2. Traitement curatif des formes de dégradation des pistes en terre	284
7.2.1. Traitement mécanique des FEME : nivellement, profilage et reflachage.....	285
7.2.2. Traitement curatif des ravinements sur les pistes rurales	288
CHAPITRE 8 : PLAN DE GESTION DURABLE DES PISTES EN TERRE DANS LA SOUS-PREFECTURE DE GOMA TSE-TSE	303
8.1. Réhabilitation des pistes en terre	304
8.1.1. Aménagement de la couche de base ou fondation	304
8.1.2. Aménagement consistant de la surface de roulement.....	305
8. 2. Protection des pistes en terre	308
8.2.1. Système de drainage des eaux.....	308
8.2.2. Protection des rebords et des talus routiers par les végétaux.....	313
8.3. Entretien des pistes rurales en terre: quelques suggestions	316
8.3.1. La mobilisation communautaire.....	316
8.3.2. Bureaux Communautaires d'Entretien des Routes (BCER)	317
8.3.3. Entretien des surfaces de roulement des pistes	320
8.3.4. Entretien des composantes du système de drainage	320
8.4. Autofinancement des travaux d'entretien des pistes rurales.....	322
8.4.1. Installation des micro-postes de péage (MPP) et leur gestion	322
8.4.2. Exploitation rationnelle des pistes.....	326
8.5. Maitrise de l'occupation du sol.....	327
8.5.1. Restrictions en matière de désherbage et de déforestation	327
8.5.2. Stabilisation et renaturation des espaces à risque d'érosion	328
8.5.3. Encadrement des activités agricoles.....	328
Conclusion partielle	330
CONCLUSION GENERALE ET PERPECTIVES	332
BIBLIOGRAPHIE.....	337
SITES WEB CONSULTES	357
LISTE DES FIGURES.....	357
LISTE DES TABLEAUX	361
LISTE DES PLANCHES PHOTOS	361
LISTE DES PHOTOS ISOLEES.....	361
LISTE DES IMAGES SATELITALES	365
ANNEXES	366
TABLE DES MATIERES.....	379

Résumé **Etude de la dégradation des routes en terre, par l'érosion hydrique, en milieu rural : cas de la Sous-Préfecture de Goma tsétsé (Sud du Congo)**



Depuis plus de deux décennies, le réseau routier de la sous-préfecture de Goma tsétsé dans le département du Pool au sud du Congo, est sévèrement affecté par une intense érosion hydrique dont l'étude des principaux processus et facteurs a été l'objectif principal de ce travail. Trois types d'opérations complémentaires combinant des approches qualitatives et quantitatives ont été menés pour atteindre cet objectif. Il s'agit de la collecte, du traitement et de l'analyse des données sur ce phénomène. La collecte des données qualitatives et quantitatives a été menée à la fois à partir des documents disponibles et sur le terrain où le travail a porté sur les observations, les enquêtes sociales, la quantification du phénomène, l'analyse des certains variables considérées

comme facteurs déterminants. Le traitement des données a été réalisé au laboratoire et au bureau. Ainsi, près de 93 % de routes de la zone d'étude sont en terre et les dégradations affectent d'abord les surfaces de roulement à partir de plusieurs formes mineures qui évoluent en ravinements longitudinaux et transversaux à la route. La densité moyenne de ravinement par kilomètre de route est d'un peu plus de 14 %. Les ravinements ont occasionné au total près de 98 750,32 tonnes de matériaux perdus. Ces dégradations sont causées à la fois par des facteurs humains dont les principaux sont les imperfections d'aménagement de route en terre, le manque de maîtrise de drainage des eaux de pluie sur les chaussées, la défaillance des méthodes de lutte anti-érosive, le manque d'entretien des pistes, l'agressivité du trafic et l'occupation du sol, et des facteurs physiques dominés par une forte agressivité des pluies attestée par l'indice d'érosivité (R) estimés à 7 756,55 MJ.mm/ha.h.an, pour un volume moyen des précipitations annuelles de 1 466,85 mm entre 2005 et 2014, par l'érodibilité des sols autour des pistes, dont les indices (K) sont compris entre 0,10 et 0,45 t.ha.h/ha.MJ.mm, par un relief accidenté avec des pentes qui varient de 5 à plus de 25%. La solution à cet épineux problème réside dans la mise en place d'un plan de gestion des pistes rurales basé sur le système HIMO permettant de mobiliser et d'impliquer la main d'œuvre locale dans l'entretien et la protection du réseau routier. L'application de ce plan devrait intégrer la sensibilisation et l'initiation des populations aux techniques de maintenance et d'entretien de la chaussée et aux méthodes mécaniques et biologiques de traitement des ravines, avant que celles-ci ne puissent évoluer en ravins susceptibles de rétrécir ou de couper les pistes. Il est également prévu la gestion du trafic par les bureaux de contrôle et d'entretien des routes (BCER) dans le but de collecter les taxes d'utilisation des pistes (TUP) qui serviront de fonds nécessaire pour exécuter les travaux d'entretien et de protection des routes en terre de la zone d'étude.

Mots clés : Congo, sous-préfecture de Goma tsétsé route en terre, dégradation, érosion hydrique.

Abstract **Study of dirt roads degradation, by water erosion, in rural areas: case of Goma tsétsé Sub-Prefecture (South of Congo)**

Since two decades, the sub-prefecture of Goma tsétsé road network in Pool Department of southern Congo, is severely affected by intense water erosion, the study of the main processes and factors was the main objective of this work. Three types of complementary operations combining qualitative and quantitative approaches were conducted to achieve this objective. This is the collection, processing and data analysis about this phenomenon. The qualitative and quantitative data collection was conducted both through documents and in the field where the work focused on observations, social surveys, phenomenon quantification, several variables analysis considered as determining factors. Data processing was done in the laboratory and at the office. Thus, nearly 93% of roads in the study area are in the ground and degradations first affect the running surfaces from several minor forms that evolve in longitudinal and transverse gullies on the road. The average gully density per kilometer of road is just over 14%. The gullies resulted in a total of 98,750.32 tonnes of lost material. These degradations are caused by both human factors, the main ones are the imperfections of road construction in the earth, the lack of control of rainwater drainage on roads, the erosion control methods failure, the lack of runway maintenance, traffic aggression and land use, and physical factors dominated by heavy rain aggression as evidenced by erosivity index (R) estimated at 7 756.55 MJ.mm/ha.h.year, for an average annual rainfall of 1,466.85 mm between 2005 to 2014, by soils erodibility around the slopes, whose erodibility index (K) are between 0,10 and 0,45 t.ha.h / ha.MJ.mm, by a rugged relief with slopes which vary from 5 to more than 25%. This thorny problem solution lies in the rural roads implementation management plan based on the HIMO system to mobilize and involve the local workforce in the road network maintenance and protection. This plan implementation should integrate the populations sensitization and initiation to the maintenance technics of pavement and mechanical and biological methods of gullies treatment, before they can evolve into gullies that may shrink or cut tracks. It is also planned traffic management by roads control and maintenance (RCM) in order to collect the tracks user fees (TUF) which will be used as funds necessary to carry out maintenance works and protection of study area.

Keywords: Congo, sub-prefecture of Goma tse-tse, road, degradation, water erosion, erodibility, erosivity