



UNIVERSITÉ DU BURUNDI

GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI

Dépôt institutionnel officiel

<https://repository.ub.edu.bi>

Contribution à l'étude spatio-temporelle des problèmes de dégradation de l'environnement en zone urbaine et péri-urbaine de Bujumbura : cas des sites de Kinama et Karama

Niyonkuru, Schadrack; Sous la direction de : Dr Anicet Sindayihebura

2022-03

UB, FS

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2421>

UNIVERSITE DU BURUNDI
FACULTE DES SCIENCES



**CONTRIBUTION A L'ETUDE SPATIO-TEMPORELLE DES PROBLEMES DE
DEGRADATION DE L'ENVIRONNEMENT EN ZONE URBAINE ET PERI-URBAINE DE
BUJUMBURA : CAS DES SITES DE KINAMA ET KARAMA.**

NIYONKURU Schadrack

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir :

Le diplôme de master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement (MSGIE)

Option : Génie de l'environnement

Sous la direction de : Dr Anicet SINDAYIHEBURA

Bujumbura, Mars 2022

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Président : Dr. Seconde NTIHARIRIZWA

Secrétaire : Prof. Charles BAKUNDUKIZE

Membre : Dr. Ir. Elysé NTIRANYIBAGIRA

Directeur : Dr. Anicet SINDAYIHEBURA

DEDICACE

A ma chère Maman ;

A mes Frères et Sœurs ;

A ma famille ;

A tous ceux qui me sont chers;

Je dédie ce Mémoire

NIYONKURU Schadrack

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements s'adressent au Directeur de ce Mémoire, le Docteur Anicet SINDAYIHEBURA pour son encadrement, son encouragement, et ses orientations durant la réalisation de ce travail. Sans son aide et implication dévouée à chaque étape du processus, ce travail et ce document n'aurait jamais été réalisé. Je lui remercie pour sa bonne initiative de vouloir diriger ce mémoire malgré ses multiples responsabilités, sa bonne et meilleure collaboration, ses riches conseils ainsi que sa rigueur scientifique m'ont été d'une grande importance. Qu'il trouve ici mes grandes reconnaissances.

Mes vifs remerciements s'adressent également à ma chère Maman qui m'a donné la chance de fréquenter l'école et qui a toujours été près de moi moralement et matériellement, à mes frères et sœurs pour leur soutien ainsi qu'à toute ma famille. Je leur dis sincèrement merci.

Je tiens aussi à remercier tous mes éducateurs depuis l'école primaire jusqu'à l'Université du Burundi plus particulièrement ceux de la Faculté des Sciences, de manière extraordinaire ceux du Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement pour leur sacrifice, qu'ils trouvent ici le fruit de leurs multiples efforts.

J'adresse également mes sincères remerciements à la deuxième promotion de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement avec qui nous avons été ensemble durant ce cursus de formation. Leur très bonne collaboration m'a été très bénéfique. Qu'ils trouvent dans chaque ligne de ce mémoire ma profonde satisfaction et gratitude.

Je tiens à remercier vivement la famille IGIRUKWISHAKA Jean Bosco pour avoir apporté une main mise durant notre cursus de formation au Master en sciences et gestion intégrée de l'environnement. Qu'ils trouvent à chaque ligne de ce travail, l'expression de ma sincère reconnaissance.

J'exprime ma sincère reconnaissance envers toute personne qui, de près ou de loin a contribué d'une manière ou d'une autre durant ce parcours de formation ainsi que pendant la réalisation de ce travail. Je vous dis merci beaucoup et vous témoigne toute ma reconnaissance.

RESUME

La cause principale des changements environnementaux à l'échelle mondiale est généralement l'intensification des activités anthropiques. L'homme essaie toujours de couvrir son bien-être en satisfaisant ses besoins. Pour ce faire, il doit faire recours aux ressources naturelles dont l'exploitation nécessite un esprit conscient des générations futures.

La croissance démographique occasionne directement une demande accrue des ressources naturelles et l'extension des villes. Les villes s'étalent très largement, se mêlant aux zones rurales de manière diffuse, empêchant une lecture claire et cohérente du territoire à cause du besoin croissant d'espace. L'extension urbaine s'accroît parallèlement avec une demande en matériaux de construction dont l'exploitation non contrôlée génère à son tour des risques de dégradation environnementale.

La ville de Bujumbura au Burundi est en pleine croissance depuis l'arrêt de la guerre civile en 2003 et de nouveaux quartiers naissent au jour le jour après le défrichement des zones agricoles et de la végétation. Il revient donc au scientifique de disponibiliser des outils pouvant alerter les décideurs politiques sur les problèmes consécutifs à cette suburbanisation.

Une étude a été entreprise à cet effet sur deux sites périphériques de la ville de Bujumbura pour étudier les problèmes de dégradation environnementale associés à la dynamique spatiotemporelle des deux sites entre les années 2005 et 2020.

Les deux sites sont le site de Kinama situé dans la plaine, au nord de la ville de Bujumbura, et le site de Karama, situé au Nord-est de la ville, au niveau des contreforts de Mimirwa. Il s'agit d'un site qui était pour l'extraction des matériaux rocheux de construction. L'évolution de l'occupation du sol a été étudiée par classification supervisée dans ArcGIS10.4.1 des images satellitaires ETM de 2005 et 2010 et des images OLI-TIRS de 2015 et 2020.

Les résultats obtenus ont prouvé une régression de la couverture végétale de 631,81ha pour le site de Kinama de 2005 à 2020 alors que la surface couverte par les bâtiments a augmenté de 575,58ha durant cette période. La surface non couverte a également augmenté, ce qui met le site en risque d'érosion et facilite les inondations.

Le cas similaire aux résultats du premier site s'est confirmé pour le site de Karama où le bâti a progressé de 203,84ha alors la couverture végétale a régressé de 210,31ha, avec une petite régression de la surface nue au profit des bâtiments.

Notre étude a mis en cause l'explosion démographique qui engendre la demande accrue des ressources naturelles mais aussi des surfaces excédentaires pour l'habitation. Nous n'avons pas oublié les effets des changements climatiques qui viennent s'associer aux activités de l'homme.

Des perspectives relatives à la gestion des logements par la politique des logements sociaux, la gestion efficace des naissances pour maîtriser la croissance démographique et le renforcement des capacités de la population Burundaise en matière de gestion de l'environnement ont été émises pour pouvoir contribuer au garanti d'un environnement sain.

Mots clés : Environnement, Dégradation, dynamique spatiotemporelle, images satellitaires, ArcGIS.

ABSTRACT

The main cause of environmental changes on a global scale is generally the intensification of human activities. Human always tries to cover his well-being by satisfying his needs. In order to achieve his goals, he must use the natural resources whose exploitation requires a conscious mind of future generations.

Population growth causes directly an increased demand for natural resources and the expansion of cities. Cities are spread very widely, mixing with rural areas in a diffuse way, preventing a clear and coherent identification of the territory because of the infinite need for space. Urban sprawl is increasing in parallelism with a demand for construction materials, the exploitation of which generates risks of environmental degradation.

The city of Bujumbura in Burundi has been growing since the end of the civil war in 2003 and new neighborhoods are springing up day by day after the clearing of agricultural areas and vegetation. It is therefore up to the scientist to make available tools that can help policy makers to remedy the consequent problems of this over-urbanization.

For this purpose, a study was undertaken on two peripheral sites of the city of Bujumbura to study the problems of environmental degradation associated with the spatiotemporal dynamics of the two sites between the years 2005 and 2020. The two sites are Kinama located in the north of Bujumbura city and Karama, located in the northeast of the city at the foothills of Mimirwa. This is a site that was valued by quarry operators.

The ETM 2005, 2010, and OLI-TIRS 2015, 2020 satellite images of the two sites were downloaded and processed by supervised classification in ArcGIS10.4.1.

The results obtained showed a regression in the vegetation cover of 631.81 hectares for the Kinama site from 2005 to 2020, while the area covered by buildings increased by 575.58 hectares during this period. The uncovered surface has also increased what puts the site at risk of flooding. The same case was confirmed for the Karama site where the built up surface has increased by 203.84 hectares while the vegetation cover has regressed by 210.31 hectares, with a small regression of the bare surface in favor of the buildings.

Our study has stressed the demographic explosion which generates the increased demand for natural resources but also for surplus surfaces for housing. We have not forgotten the effects of climate change associated with human activities.

Perspectives relating to the management of house building through the social housing policy, the effective management of births to control population growth and the Burundian population information in terms of environmental management have been issued in order to be able to contribute to the guarantee of a healthy environment.

Keywords: Environment, degradation, spatiotemporal dynamics, Landsat images, ArcGIS.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	vi
TABLE DES MATIERES	viii
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
SIGLES ET ABREVIATIONS	xii
AVANT-PROPOS	xiii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. Contexte et justification.....	1
2. Problématique.....	3
3. Objectifs.....	5
Objectif global	5
Objectifs spécifiques.....	5
4. Questions de recherche	6
5. Hypothèses.....	6
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA DEGRADATION ENVIRONNEMENTALE ET LES PROBLEMES CONNEXES.....	7
I.1. Introduction	7
I.2. Pression démographique et dégradation environnementale	7
I.3. Extension urbaine et dégradation environnementale.....	10
CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE	12
II.1. Localisation de la zone d'étude.....	12
II.2. Description de la zone d'étude.....	13
II.3. Topographie	13
II.4. Géologie.....	14
II.5. Climat, Pluviométrie et température	15
II.6. Hydrographie	18
CHAPITRE III. MATERIELS ET METHODES.....	19

III.1. Choix des données	19
III.2. Prétraitement des images	20
III.2.1. Composition colorée	20
III.2.2. Extraction de la zone d'étude	22
III.3. Classification des images.....	23
III.4. Analyse de la dynamique de l'occupation du sol	25
CHAPITRE IV: PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS.....	27
IV.1. PRESENTATION DES RESULTATS	27
IV.1.1. SITE DE KINAMA	27
IV.1.1.1 Dynamique des changements spatio-temporels de l'occupation des terres	27
IV.1.1.2. Synthèse des types d'occupation des terres de 2005, 2010, 2015 et 2020	33
IV.1.1.3. Calcul des statistiques des classes d'occupation de sol entre 2005 et 2020	33
IV.1.2. SITE DE KARAMA.....	34
IV.1.2.1. Dynamique des changements spatio-temporels de l'occupation des terres	34
IV.1.2.2. Synthèse des types d'occupation des terres de 2005, 2010, 2015 et 2020	40
IV.2. DISCUSSION DES RESULTATS	42
IV.2.1. Evolution de l'occupation du sol dans le site de Kinama entre 2005 et 2020	42
IV.2.2. Evolution de l'occupation du sol dans le site de Karama entre 2005 et 2020	43
IV.2.3. Comparaison de la dynamique spatiotemporelle des deux sites entre 2005 et 2020 ..	44
CHAP V. CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS	46
V.1. CONCLUSION GENERALE	46
V.2. SUGGESTIONS	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Zone d'étude	12
Figure 2. Topographie de la ville de Bujumbura.....	13
Figure 3 : Illustration des étapes de la composition colorée	22
Figure 4. Illustration de l'extraction de la zone d'étude.....	23
Figure 5. Illustration de la classification supervisée	25
Figure 6. Couverture du sol du site Kinama en 2005.....	28
Figure 7: Couverture du sol du site Kinama en 2010.....	29
Figure 8. Couverture du sol du site Kinama en 2015.....	31
Figure 9. Couverture du sol du site Kinama en 2020.....	32
Figure 10. Couverture du sol du site Karama en 2005.....	35
Figure 11. Couverture du sol du site Karama en 2010.....	36
Figure 12. Occupation du sol du site de Karama en 2015.....	38
Figure 13. Occupation du sol du site de Karama en 2020.....	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1 : Tableau climatique de Bujumbura (climate-data.org).....	17
Tableau 2: Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2005	27
Tableau 3.Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2010	29
Tableau 4. Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2015	30
Tableau 5 : Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2020	32
Tableau 6 : Evaluation de la tendance des classes d'occupation du sol entre 2005 et 2020.....	33
Tableau 7 : Etat de la couverture du sol de Karama en 2005.....	34
Tableau 8 : Etat de la couverture du sol de Karama en 2010.....	36
Tableau 9 : Etat de la couverture du sol de Karama en 2015.....	37
Tableau 10: Etat de la couverture du sol de Karama en 2020.....	39
Tableau 11 : Evaluation de la tendance des classes d'occupation du sol entre 2005 et 2020	40

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composante Principale
CEA	: Commission Economique des Nations Unies pour l’Afrique
CTB	: Coopération Technique Belgique
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
FAO	: Food and agriculture organization
GIS	: Geographic Information System
Ha	: hectare
ISTEEBU	: Institut des statistiques et des études économiques du Burundi
MEA	: Ministère de l’environnement et de l’assainissement
MEEATU	: Ministère de l’Eau, de l’Environnement, de l’Aménagement du Territoire et de l’Urbanisme
OLI	: Operational Land Imager
ONU	: Organisation des nations unies
PNUD	: Paragramme des Nations unies pour le développement
PNUE	: Programme des Nations unies pour l’environnement
QGIS	: Quantum Geographic Information System
SETEMU	: Services techniques municipaux
TIRS	: Thermal Infrared Sensor
UN	: United Nations
USGS	: United State Geological Survey

AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé dans le cadre des travaux de fin des études de Mastère en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement, Spécialité Génie de l'environnement. Il porte sur la contribution à l'étude spatiotemporelle des problèmes de dégradation de l'environnement en zone urbaine et péri-urbaine de Bujumbura : cas des sites de Kinama et Karama.

L'idée de réaliser cette étude est née de notre conscience soucieuse d'un environnement sain qui n'est pas satisfait au vue de l'extension de la ville de Bujumbura. Ainsi, une intention de contribuer dans la mise en place des outils et données chiffrées pouvant permettre dans la prise de conscience et des mesures de gestion intégrée de l'espace urbaine de Bujumbura nous a conduit à réaliser cette étude. L'étude a permis d'identifier à quel niveau la végétation a été érodée en faveur des bâtiments et les impacts potentiels y associés.

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte et justification

La cause principale des changements environnementaux à l'échelle mondiale est généralement l'intensification des activités anthropiques. Ainsi, ces conversions, notamment le changement des domaines forestiers et/ou boisés en terres agricoles, sont généralement associées à des effets négatifs sur le climat, les réserves de carbone terrestres, la perte de la biodiversité (Brun et al., 2018 ; FAO & PNUE, 2020).

La pression anthropique se caractérise par les feux de brousse tardifs et incontrôlés, l'agriculture itinérante sur brûlis, la quête permanente du bois énergie, le surpâturage et l'accroissement démographique. La perte du couvert végétal expose les sols qui sont soumis aux agents d'érosions de toutes sortes (Djimadoum., 2015). Il s'en suit de vastes étendues de terres complètement nues et impropres à l'agriculture dont la mise en valeur est rendue difficile par les moyens rudimentaires dont disposent les paysans (Madjiadingar, 2005). De plus, ces sols nus exposent les populations à des fréquences répétées des vents violents qui entraînent souvent la destruction des habitations, l'ébranchage et surtout la chute des arbres entiers réduisant ainsi le couvert végétal (Madjiadingar et al., 2015). Cette situation pourrait créer à la longue des déséquilibres écologiques.

Dans d'autres cas, les conversions ont entraîné une augmentation de l'érosion des sols, des températures à la surface des terres, une diminution des taux d'évaporation et des précipitations, ainsi qu'une modification des régimes pluviométriques. Ces observations sont d'autant plus vérifiées dans les zones à forte densité humaine et marquées par des conditions climatiques assez contrastées et une forte demande en terres cultivables et des espaces de pâturage (Muller et al., 2011).

Quant à la ville, elle est devenue très illimitée. Elle n'est plus un objet simple, accessible, unifié, lisible. On ne sait pas quand on y entre, quand on en sort. Elle s'est étendue dans la campagne, les modes de vie urbains sont pratiqués par tous, où qu'ils habitent. Où est la ville ? Où est la campagne ? Nul ne peut le dire maintenant. Nul ne peut spécifier l'un ou l'autre. La ville est éclatée (Chalas, 1997).

Depuis longtemps, les enceintes n'existent plus et l'urbanisme s'étend très loin. Le besoin d'espace n'aboutit au fait que la ville s'étale très largement, se mêlant aux zones rurales de manière diffuse, empêchant une lecture claire et cohérente du territoire. Ce phénomène d'étalement des villes est bien connu depuis les années 70. «Tout un vocabulaire - nouvelles banlieues, "suburbanisation", "rurbanisation", "exurbanisation", périurbanisation,... a tenté de définir ce phénomène de croissance urbaine apparu il y a une vingtaine d'années (République du Burundi & PNUD, 2014).

La multiplicité des expressions souligne la complexité des processus de croissance périphérique des agglomérations et donc la difficulté des auteurs d'aboutir à une qualification de ce phénomène» (<http://www2.urbanisme.equipement.gouv.fr/cdu/accueil/bibliographies/periurb/periurb1.htm>, visité le 21/08/2021).

La population urbaine mondiale est passée de 30 % en 1950 à 55 % en 2018 et avoisinera près de 70 % d'ici 2050 d'après les statistiques des Nations Unies (UN, 2018). La ville de Bujumbura quant à elle possède une population en pleine croissance ; elle comptait une population de 321 000 habitants en 1999 (République du Burundi & PNUD, 2014), tandis qu'en 2008, elle avait déjà atteint une population de 497 166 habitants (ISTEEBU, 2008). Cette population est projetée à 692 364 habitants en 2020, et à 760 932 et 825 701 habitants respectivement pour les années 2025 et 2030 (ISTEEBU, 2013).

La population galopante de la ville de Bujumbura présente des répercussions négatives sur l'environnement urbain et périurbain, étant donné qu'elle n'est pas suivie d'un bon programme d'occupation, d'affectation et de gestion du sol dans le strict respect des aires protégées, des espaces d'intérêt public et des espaces à régime de protection particulière mais aussi des espaces pour la production agricole (République du Burundi, 2012).

On assiste à une destruction, dans l'indifférence totale, des lits et des berges des rivières traversant la Mairie de Bujumbura par l'extraction des matériaux de construction qui ne respecte pas les normes environnementales (République du Burundi, 2013).

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la contribution à la relève de ce défi par la mise en évidence des impacts en matière de dégradation de l'environnement ainsi que le coût de l'inaction sur d'importants impacts qui se manifestent sur le plan économique, environnemental et social.

Nous allons évaluer les impacts de la dynamique spatiotemporelle d'occupation de la rizière de Kinama à Bujumbura et d'extraction des matériaux rocheux de construction dans les carrières de Karama en commune Isale de la province Bujumbura rural.

Des conclusions seront sorties de notre travail et nous permettront de dégager des recommandations pour une gestion durable de l'environnement et des ressources naturelles. Dans ce cadre, sur base de la problématique que nous avons dégagée, des objectifs qui vont nous permettre de confirmer ou d'infirmer nos hypothèses ont été fixés.

2. Problématique

Les conversions des paysages végétaux et les modifications dans les formes d'utilisation des terres ont été identifiées comme les facteurs majeurs des changements environnementaux à l'échelle mondiale (Zoungana et al., 2018). La cause principale de ces facteurs est généralement l'intensification des activités anthropiques.

Pour la première fois, la diversité biologique est en crise à cause de l'une des espèces vivantes qui la constituent la nôtre. En effet, notre fantastique capacité d'adaptation nous a permis de nous répandre sur toute la surface de la Terre, d'éliminer nos concurrents, de devenir ainsi l'espèce invasive la plus efficace de toute l'histoire de la vie.

Il y a 20 000 ans, alors que notre espèce était déjà présente presque partout à la surface du globe, nous n'étions que 5 millions et nous serons 9 milliards en 2050. Aucun autre gros mammifère omnivore n'a jamais atteint un effectif dépassant la dizaine de millions (Caspar A. Hallmann, 2017)

Cette capacité d'adaptation, cette efficacité que nous avons si souvent utilisée contre le reste du vivant, serons-nous capables de les consacrer désormais à nous réconcilier avec cette biodiversité à laquelle nous appartenons? Si nous ne parvenons pas à enrayer la présente crise d'extinction, notre biodiversité dont nous avons un besoin vital par les services qu'elle nous rend gratuitement depuis toujours, la planète nous deviendra invivable (Godard, 2001).

A l'échelle mondiale, les villes ne cessent de croître et de rassembler un pourcentage toujours plus grand de la population mondiale : c'est l'urbanisation. Cette dernière est l'une des manifestations humaines les plus marquantes du siècle (Nicolas M., 2012)

Dans les pays développés, environ 80% de la population habite dans des agglomérations« urbaines», alors que dans les pays en développement, le phénomène est en pleine explosion en raison de dynamismes démographiques et spatiaux (Nguimalet, 2007).

La croissance urbaine mal maîtrisée, conjuguée à cette importante poussée démographique a eu un effet négatif sur les ressources naturelles et particulièrement celles de l'eau et de la consommation des terres. Ces denrées sont rares et précieuses. La croissance urbaine impacte en premier lieu les terres agricoles, provoquant une dépendance alimentaire du pays et aggrave par la même occasion sa balance des paiements (ChalasY.et Dubois-Taine, 1997).

Lorsque la croissance urbaine se fait sans développement économique suffisant, les investissements dans les infrastructures et services urbains de base souffrent d'étranglement, incapables de suivre le rythme de croissance des besoins, et se dégradent faute de faire l'objet d'une maintenance. Besoins mal satisfaits, mais aussi gaspillage des ressources et forte exclusion sociale sont alors les manifestations de ce manque de viabilité (Godard, 2001).

L'urbanisation, surtout quand elle est rapide, a des conséquences économiques, environnementales et politiques sur la vie. Elle favorise généralement la transition démographique et fait apparaître de nouveaux problèmes environnementaux (inondations : avec l'installation des populations sur d'anciennes rizières où la nappe est affleurente, et la pollution de la nappe phréatique : avec les dépôts d'ordures sur des bas-fonds).Au cours des millénaires, de nouvelles formes de vie apparaîtront, se développeront, mais les Humains ne seront plus là pour les voir (Janbon et al., 2020).

Au Burundi, malgré la disponibilité des plans directeurs d'urbanisme (horizon 2045 pour la ville de Bujumbura), n'échappe pas à la tendance d'extension urbaine. En effet, à raison d'une forte demande en logements, la croissance spatiale des villes est marquée par la densification des quartiers centraux existants et des lotissements qui sont à l'origine de la création de nouveaux quartiers en périphérie de la ville (TOYI O., 2012, Kabanyegeye et al., 2021).

Ainsi, le site de Kinama a connu une dégradation progressive de la zone agricole (rizière) au profit des habitations, ce qui est une inévitable cause d'une érosion de la biodiversité et de la perte de tous les services écosystémiques y compris le rendement des exploitations agricoles. Ces pratiques

ont abouti à la détérioration de la qualité de l'environnement urbain notamment à travers la suppression de la couverture végétale originelle (BOGAERT J. et al.2008).

Le site de Karama, quant à lui, a connu des pratiques néfastes liées à l'utilisation des ressources naturelles conduisant à sa dégradation. Ainsi, l'exploitation des matériaux rocheux de construction a provoqué le défrichement de la couverture végétale, la dégradation du sol, la pollution de l'air et de l'eau, la perte de la biodiversité et le façonnement du paysage (ANDRIAMASINORO et al., 2012).

L'exploitation artisanale des matériaux rocheux de construction a Karama s'est accompagné de l'ouverture de tranchées, de puits, du décapage et du retournement des sols, ce qui a rendu le sol assez fragile. La destruction progressive de la terre arable a généré en conséquence la réduction de la terre cultivable qui a finalement été valorisée pour habitations.

L'exploitation des matériaux rocheux de construction dans le site de Karama et l'extension de la ville de Bujumbura vers cette zone périphérique ont contribué à la destruction du couvert végétal et ont prédisposé le sol à des processus d'érosion souvent intenses avec pour conséquences des risques de sédimentation des cours d'eau en aval (MARADAN D. et al., 2011).

3. Objectifs

Objectif global

L'objectif global de notre travail est d'analyser les impacts environnementaux occasionnés par les modifications temporelles d'occupation du site de Kinama et le site d'extraction des matériaux rocheux de construction situé à Karama sur le mont Gasenyi, afin de contribuer à la protection de l'environnement.

Objectifs spécifiques

Notre travail porte sur les objectifs spécifiques suivants :

- ✓ Utiliser les outils de la géomatique dans la gestion des problèmes environnementaux.
- ✓ Evaluer la dynamique d'occupation du sol des deux sites entre les années 2005, 2010, 2015 et 2020

- ✓ Montrer la progression de l'urbanisation entre 2005 et 2020 sur les sites de Kinama et Karama et les problèmes de dégradation environnementale associés

4. Questions de recherche

Les résultats de cette étude nous permettront de répondre aux questions de recherche suivantes :

1. L'extension de la ville de Bujumbura aurait-elle occasionnée une dégradation de la couverture végétale à Kinama et à Karama?
2. La ville de Bujumbura a-t-elle connue une extension remarquable entre 2005 et 2020 ?
3. L'extraction des matériaux rocheux de construction à Karama a-t-elle une influence sur la végétation ou l'extension de la ville de Bujumbura ?

5. Hypothèses

Les hypothèses ci-dessous ont été formulées :

1. La couverture végétale des sites de Kinama et Karama est dégradée.
2. La ville de Bujumbura a connu une extension spectaculaire entre 2005 et 2020
3. L'extraction des matériaux rocheux de construction à Karama a occasionné une perte de la couverture végétale et une extension de la zone bâtie.

Notre étude couvrira deux sites dont le site Kinama et le deuxième site constituée par la zone des carrières de Karama, colline Gasenyi, Commune Isale, Province Bujumbura. Nous nous proposons d'identifier les problèmes de dégradation environnementale au cours du temps, d'une part suite à la croissance démographique et à l'occupation du site de Kinama et d'autre part, à cause de l'exploitation abusive des carrières sur le site Karama à Gasenyi, sur les contreforts des Mirwa.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA DEGRADATION ENVIRONNEMENTALE ET LES PROBLEMES CONNEXES

I.1. Introduction

Dans les pays en développement, la conjugaison de la pauvreté et de la croissance démographique dans les milieux fragiles aboutit à une dégradation des ressources non renouvelables, ou difficilement renouvelables, notamment les forêts, les sols et les eaux. Ainsi, la dégradation des terres fragiles affecte environ 25 % de la superficie terrestre et menace les moyens d'existence de plus de 900 millions de personnes dans une centaine de pays (Kawtar et al., 2004)

L'homme se croit le maître de la nature. Il est possible maintenant qu'on se rende compte que l'homme a de plus en plus besoin de la nature pour vivre. La nature n'est pas éternelle. Nous sommes sur la seule planète habitable à des milliers d'années. C'est ça l'origine des problèmes.

L'ONU rappelle dans son rapport GEO-4 que la dégradation de l'environnement « *compromet le développement et menace les progrès futurs en matière de développement* » et « *menace également tous les aspects du bien-être humain. Il a été démontré que la dégradation de l'environnement est liée à des problèmes de santé humaine, comprenant certains types de cancers, des maladies à transmission vectorielle, de plus en plus de zoonoses, des carences nutritionnelles et des affectations respiratoires* » (Anonyme, 2007).

I.2. Pression démographique et dégradation environnementale

La perte de biodiversité sans précédent à laquelle nous faisons face est associée en grande partie aux facteurs anthropiques. La dégradation des écosystèmes, leur destruction sont le résultat direct ou indirect de l'activité humaine (Tabutin et al., 1992).

La pression démographique sur l'environnement constitue pour certains, un des facteurs d'analyse les plus importants à prendre en compte quand on s'interroge sur la dégradation environnementale.

Cette pression peut être définie comme l'intensité de la charge exercée sur un territoire par ses habitants, charge qui croît avec la densité de la population (Mesle et al., 2011). Une forte pression démographique peut provoquer l'appauvrissement des terres, l'épuisement des ressources, et rendre vulnérables les populations.

Selon Abdourhamane et ces co-auteurs(2012) ,la dégradation des ressources naturelles est principalement imputable aux pratiques non durables telles que le déboisement, le surpâturage, la forte démographie toujours croissante, le besoin énergétique croissant, la surexploitation des ressources fourragères, l'exploitation industrielle accrue, etc.

La FAO a estimé qu'entre 1900 et 2000 le continent africain a perdu 52 millions d'hectares de forêts, représentant 56% de la réduction du couvert forestier mondial (FAO, 2014).

En plus de l'activité humaine, il existe des risques auxquels sont exposées les populations et qui ne diminuent pas. Les catastrophes naturelles sont imprévisibles et les connaissances qu'ont les hommes sur les mouvements de la terre et du ciel resteront trop lacunaires pour palier à ces catastrophes (Pinson, 2017).

On dispose cependant d'une bonne connaissance des régions et des lieux particulièrement exposés à ces risques naturels, et ces données permettent soit d'interdire les établissements humains sur ces sites, soit de prendre des dispositions préventives et/ou techniques propres à limiter les effets de ces différents types de problèmes (règles antisismiques, dispositifs de digues ou de canalisation, normes contre la force du vent...). Mais, par ailleurs, en dépit de ces progrès, le caractère dévastateur et imprévisible de ces phénomènes semble être encore renforcé par une activité humaine insuffisamment attentive à l'équilibre des écosystèmes.

Après les effets imprévus de l'activité humaine, tout particulièrement sur le climat et la croûte terrestre, s'ajoutent en effet les risques qui sont directement imputables au manque de prévention. Les activités industrielles présentent également des conséquences dangereuses, leurs effets sont encore aggravés par l'augmentation milliardaire des populations et par leur capacité accentuée de transformation de la planète (Massiah, 2000).

L'intensification de la production n'est pas tant suscitée par la fabrication d'objets et de services utiles à l'humanité, que par une course au profit qui tend à une exploitation aveugle des ressources de la planète. La conférence de la Terre à Rio en 1992 a montré qu'on ne portait pas suffisamment attention à la préservation et au renouvellement de ces ressources (Pinson, 2017).

Pendant ce temps, l'environnement continue de subir des atteintes multiples. L'anthropisation, beaucoup plus agressive qu'autrefois, progresse en effet de manière tendancielle au travers des activités socio-économiques qui exercent une pression considérable sur les ressources naturelles et génèrent pollutions et déchets de tout ordre. Le phénomène est loin de s'atténuer, étant donné que la demande énergétique va en s'accroissant, notamment dans les grands centres urbains africains qui essaient de combler des retards accumulés (Ndiaye, 2013).

La recherche de solutions écologiques, des actions correctives ou préventives se révèle pour la plupart insuffisante ou inadaptée, entravée par de multiples contraintes politiques et économiques, ne permettant guère le respect et l'effectivité des règlements en vigueur.

La dégradation représente un processus parfois interprété comme une étape ultime. A l'intérieur des différents cycles qui caractérisent les dynamiques terrestres, une orientation à la dégradation est nécessairement appelée à s'inverser, si toutefois on se donne une mesure d'appréciation temporelle qui n'est pas celle de l'échelle humaine.

La nécessité de satisfaire les besoins pressants à court terme d'une population à forte croissance démographique conjuguée aux effets climatiques néfastes notamment pluviométriques, débouchent sur des pratiques néfastes d'utilisation des ressources naturelles conduisant à leur dégradation. (MEA, 2007)

L'extraction des ressources naturelles provoque le déboisement, la déforestation, la dégradation des sols, la pollution de l'air, des sols et de l'eau, la perte de la biodiversité et le façonnement du paysage (Andriamasinoro et al., 2012).

L'exploitation artisanale de l'or ou des matériaux terrestres s'accompagne en général d'ouverture de tranchées, de puits, du décapage et du retournement des sols, avec pour corollaire la fragilisation des sols et la destruction progressive des terres arables et par conséquent la réduction des terres cultivables. Celle-ci contribue à la destruction du couvert végétal et prédispose le sol à des

processus d'érosion souvent intenses avec pour conséquences des risques de sédimentation des cours d'eau (Maradan et al., 2011).

La dégradation de l'environnement et par conséquent celle des ressources naturelles est aujourd'hui d'autant plus inquiétante qu'elle ne laisse indifférents ni acteurs de développement, ni chercheurs (Akognongbe, 2014).

L'industrie, bien que peu présente, participe à la dégradation des environnements urbains. Dans la ville d'Addis-Abeba par exemple, les effluents des tanneries empoisonnent des rivières ; les habitants voisins des usines doivent supporter des odeurs pestilentielles (Pourtier, 2005).

I.3. Extension urbaine et dégradation environnementale

Le monde est confronté à une explosion urbaine tendancielle. L'explosion urbaine en Afrique est mal maîtrisée par les pouvoirs publics. Ainsi, malgré les efforts notés, le système d'aménagement urbain fondé sur une planification prospective est pratiquement inexistant. Dans la plupart des villes, l'urbanisation sauvage, le non traitement des déchets domestiques et industriels et le non-respect de l'environnement manifesté par une partie de la population sont autant de facteurs qui accentuent l'insalubrité, la pollution des sols, de l'air et des eaux (Pourtier, 2005).

L'étalement urbain est l'un des éléments occasionnant la dégradation de l'environnement. L'étalement urbain désigne le phénomène de la périurbanisation. Il s'agit d'un terme souvent utilisé en urbanisme pour décrire une extension des surfaces urbanisées, souvent sous la forme d'un habitat pavillonnaire de faible hauteur avec des jardins. Ce phénomène ne se traduit pas forcément par la transformation de communes rurales en communes urbaines, car l'habitat d'une commune peut s'étendre sans accroissement de sa population (Laugier, 2012).

L'urbain est un « territoire artificialisé » qu'on désigne géographiquement de « tâche urbaine » ou « ville » ce qui est à l'opposé du « rural » (Macaba, 2015).

Ainsi, le développement économique et la croissance démographique exercent des pressions de plus en plus fortes sur le milieu naturel d'où résultent la dégradation, morcellement ou même la disparition des écosystèmes (Mearns, 1995).

L'augmentation de l'urbanisme et la sécheresse favorisent la dégradation des sols, qui a pour conséquence la déforestation et la surexploitation des sols (Cea, 2009).

Les conséquences de cette dégradation sont variées. C'est notamment l'extinction d'espèces, une perte de biodiversité, une perte de qualité de l'air, la pollution de l'eau, l'érosion du sol et une augmentation de l'effet de serre liée à la pollution de l'atmosphère.

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Au cours de la réalisation de ce travail, deux sites situés à la périphérie de la ville de Bujumbura ont été exploités. Le site Kinama, situé au nord de la ville de Bujumbura, zone Kinama de la commune Ntahangwa et le site de Karama, situé au Nord-Est de de la ville de Bujumbura, dans la commune Isare de la Province Bujumbura (Figure 1).

II.1. Localisation de la zone d'étude

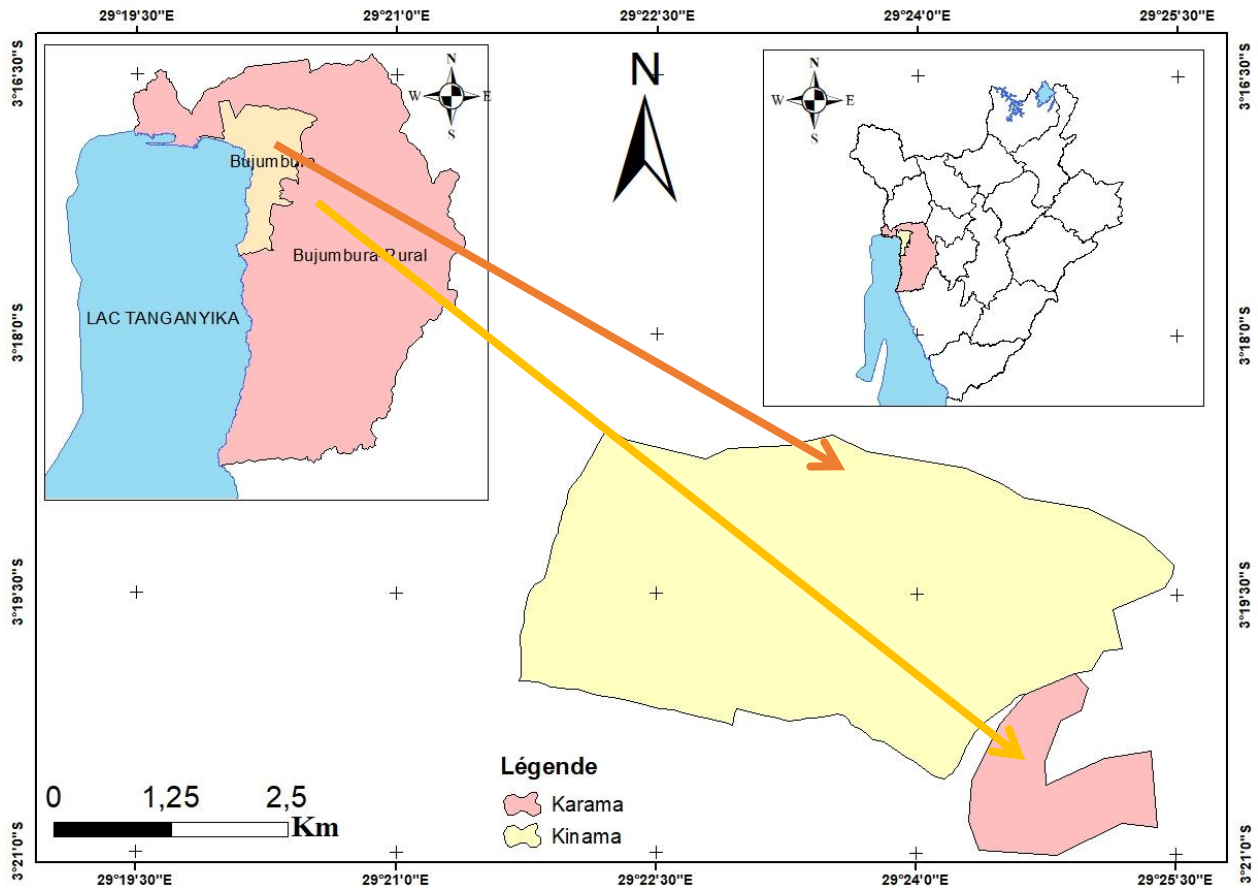


Figure 1. Zone d'étude

II.2. Description de la zone d'étude

Le site Kinama est situé en mairie Bujumbura, la capitale économique du Burundi, dans la zone Kinama de la commune Ntahangwa. Cette partie nord de la ville est traversée par la Mutimbuzi et la rivière Gasenyi.

La commune de Kinama abritant cette zone est touchée par des inondations qui sont liées à la configuration naturelle de la zone, mais aussi aux activités anthropique. Cette zone comprend également un retournement des sols, avec pour corollaire la fragilisation des sols et la destruction progressive des terres arables et par conséquent la réduction des terres cultivables.

La réduction des terres arables contribue à son tour à la destruction du couvert végétal et prédispose le sol à des processus d'érosion souvent intenses avec pour conséquences des risques de sédimentation des cours d'eau (Maradan et al., 2011).

Le site de Karama est à son tour une zone de carrières d'extraction des matériaux rocheux de construction. Cette partie située sur les contreforts des collines Mumirwa, correspond à des formations du pléistocène moyen et supérieur composés de dépôts lacustres et fluvio-lacustres. La carte géologique indique des sables rouge d'épandage au niveau dans ces zones escarpées (CTB/SETEMU, 2013).

II.3. Topographie

La mairie de Bujumbura est située à l'ouest du pays au bord du Lac Tanganyika. Ce sont les colons allemands qui, au début du 20ème siècle, ont créé cette ville. La ville est « coincée » entre le lac à l'ouest et les collines Mumirwa à l'Est (ISTEEBU, 2008a).

Son altitude est comprise entre environ 800 et 1.000 mètres, soit bien en-deçà du reste du pays, dont l'altitude moyenne est supérieure à 1.500 mètres.

Sa topographie est relativement complexe, car elle est traversée par une série de rivières parallèles, relativement régulièrement espacées et s'écoulant d'est en ouest. La partie nord de la ville s'ouvre sur la plaine de l'Imbo (CTB/SETEMU, 2013).

La ville est donc partiellement située à cheval entre la plaine de l'Imbo (ouest et nord) et les contreforts des collines de la région naturelle de Mumirwa (Est) (Figure 2).



Figure 2. Topographie de la ville de Bujumbura
(<https://www.google.com/search?q=topographie+de+la+ville+de+Bujumbura,google;visitée> le 20/11/2021).

II.4. Géologie

La partie est de la ville, sur la zone de piémont correspond à des formations du pléistocène moyen et supérieur composés de dépôts lacustres et fluvio-lacustres. La carte géologique indique des sables rouge d'épandage au niveau dans ces zones escarpées. La partie nord de la ville, ainsi que les rivages du lac, correspondent à des dépôts alluvionnaires plus récents, caractéristiques de la plaine de l'Imbo (CTB/SETEMU, 2013).

II.5. Climat, Pluviométrie et température

Le Burundi connaît un climat tropical humide influencé par l'altitude qui varie entre 773m et 2.670m. Il est caractérisé par une alternance de la saison pluvieuse qui s'étend généralement du mois d'octobre à mai et de la saison sèche qui va de juin à septembre.

D'une manière générale, les précipitations augmentent avec l'altitude. Les minimas sont de l'ordre de 500 mm/an et s'observent dans la plaine de la Rusizi, alors que les maximas atteignent 2.200 mm/an dans les régions de hautes altitudes (MEEATU, 2014).

La pluviométrie moyenne pour le Burundi est de 1.274 mm/an de pluie. C'est au cours du mois d'avril qu'on observe le plus grand nombre de jours de pluie (16 à 26) (Centre d'Echange d'Informations du Burundi, 2012).

La température moyenne annuelle de l'air diminue au fur et à mesure que l'altitude augmente. La moyenne annuelle la plus élevée est de 24,1°C (plaine de l'Imbo) tandis que la plus faible est de 15,6°C (Rwegura). Les moyennes mensuelles des températures maximales sont les plus élevées en fin de saison sèche (septembre-octobre). C'est aussi pendant la saison sèche qu'on observe les moyennes mensuelles des températures minimales les plus faibles.

Les températures sont quasiment constantes et ne chutent que d'environ 1°C autour du mois de juillet (CTB/SETEMU, 2013). L'évaporation est relativement forte et connaît les mêmes cycles que la pluviométrie. Elle augmente naturellement lors de la saison sèche jusqu'à atteindre un maximum aux mois d'août et de septembre (environ 8 mm/j). Avec le démarrage de la saison des pluies en octobre, l'évaporation retrouve rapidement des valeurs plus basses (environ 4 mm/j) (Banque Mondiale, 2020).

Notre étude couvre deux sites dont Kinama et Karama, appartenant respectivement dans deux régions naturelles aux caractéristiques climatiques, pédologiques et hydrographiques différentes. Il s'agit de la zone de l'ouest du pays au nord du lac Tanganyika et des escarpements occidentaux.

- La zone de l'ouest du pays au nord du lac Tanganyika : elle est formée de plaines de basse altitude (774-1.000 m) avec un climat tropical chaud (23°C de température moyenne), une faible pluviosité (800-1.000 mm/an) et une saison sèche de cinq à six mois. Elle occupe 7 % du territoire.

- Les escarpements occidentaux : ils sont constitués par le versant occidental de la zone la plus montagneuse, avec des altitudes allant de 1.000 à 2.000 m. Les précipitations annuelles sont comprises entre 1.100 et 1.800 mm et les températures varient entre 23°C et 17°C en fonction de l'altitude. Cette zone occupe 10 % du territoire.

La ville de Bujumbura a un climat de steppe. A n'importe quelle période de l'année, les précipitations sont faibles à Bujumbura. Elle affiche entre 20 et 21.0 °C de température en moyenne sur toute l'année (Tableau 1). Les précipitations annuelles moyennes sont de 438mm (<https://fr.climate-data.org/afrique/burundi/bujumbura-mairie/bujumbura-1073/#climate-graph>).

Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 2 mm seulement. En Décembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 94mm.

Une température moyenne de 21.7 °C fait du mois de Septembre le plus chaud de l'année. Juillet est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 20.4 °C à cette période (Tableau 1).

Tableau1 : Tableau climatique de Bujumbura (climate-data.org)

	Jan vier	Févr ier	Mars	Avri l	Mai	Juin	Juill et	Aoû t	Sept emb re	Oct obre	Nov emb re	Déc emb re
Températur e Moyenne (°C)	20.9	21.4	21.2	20.8	20.9	20.5	20.4	21.1	21.7	21.5	20.8	20.6
Températur e minimale Moyenne (°C)	17.5	18.1	18	17.9	18.2	17.6	17.3	17.9	18.4	18.3	17.6	17.3
Températur e maximale Moyenne (°C)	24.7	25.2	24.8	24	24.3	24	24	24.6	25.4	25.1	24.2	24.1
Précipitation s (mm)	56	38	47	81	45	11	2	3	7	18	36	94
Humidité (%)	73%	69%	72%	73%	68%	64%	61%	59%	60%	64%	71%	74%
Jours de pluie (Journée)	6	4	4	4	3	1	0	1	1	2	4	5
Heures de soleil (h)	10.6	10.6	10.2	9.0	9.1	10.3	10.6	10.6	10.6	10.1	10.0	10.3

Entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 92mm en moyenne. Une différence de 1.3 °C existe entre la température la plus basse et la plus élevée sur toute l'année.

L'humidité relative la plus élevée est mesurée en Décembre (73.62 %) et la plus basse en Août (59.26 %). Janvier a en moyenne les jours les plus pluvieux par mois (7.43 jours). Le moins de jours de pluie est mesuré en Juillet (0.63 jours).

II.6. Hydrographie

La ville de Bujumbura est traversée par de nombreuses rivières, venant toutes des collines situées à l'est et au nord-est, et se jetant dans le lac Tanganyika. Le nord de la ville comprend la Mutimbuzi, Gasenyi, Kinyankonge et son affluent, la Nyabagere.

Dans leur section montagneuse à l'est, ces rivières urbaines ont de fortes pentes (10 à 30%) tandis qu'à l'entrée de la ville, les pentes diminuent pour devenir très faible à proximité du lac.

CHAPITRE III. MATERIELS ET METHODES

III.1. Choix des données

Des images landsat des deux sites ont été téléchargées sur USGS Earth explorer, une composition colorée a été par la suite entreprise avant de passer à une classification dans ARCGIS 10.4.1

L'étude étant basée sur l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol, les images Landsat ETM 2005, 2010, et OLI-TIRS 2015,2020 ont été utilisées parce qu'elles sont disponibles, gratuites et de grandes résolutions spatiales et spectrales. Les logiciels utilisés sont QGIS 3.2 et ARCGIS 10.4.1.

Pour télécharger les images landsat, un enregistrement sur le site a été réalisé en cliquant « Register » et en suivant les instructions proposées.

Voulant télécharger des images, une connexion sur USGS Earth explorer (Login) a été par la suite entreprise et la page souhaitée s'est affichée. C'est après la disposition de cette page affichant la carte du monde que les étapes suivantes ont été entreprises.

En première étape, la zone d'étude qui nous intéresse a été zoomée dans la fenêtre cartographique ; en deuxième étape la période recherchée a été définie : dans le bloc « Data Range », une date de début et une date de fin pour la recherche ont été définies. Une couverture nuageuse a été configurée.

La fenêtre de gauche déroule toutes les sources de données satellitaires disponibles sur Earth Explorer. Dans notre cas, nous avons cliqué sur **Landsat -> Landsat collection 1 level-1 -> L8 OLI/TIRS et L7 ETM** et les images ont été obtenus en cliquant sur « Results ».

Pour télécharger une image, le bouton « Download options » de la barre des tâches de l'image souhaitée a été cliqué. « Level-1 GeoTIFF Data Product » a été sélectionné pour télécharger toutes les bandes de l'image et enregistrer cette dernière dans le répertoire voulu pour l'exploiter.

Après la correction géométrique, L'Analyse en Composante Principale (ACP) a été mise en œuvre et ensuite la composition colorée a permis de retenir trois classes dont la classe sols nus, habitats et végétation.

La résolution spatiale de ces images est de 30 m, avec ellipsoïde de référence WGS 84. Les scènes ont été choisies en période post saison pluvieuse (du 20 juillet au 20Août) qui est favorable à une bonne discrimination des unités d'occupation des terres dans la zone d'étude (Zoungrana et al., 2018).

III.2. Prétraitement des images

Les données satellitaires sont fournies sous forme d'images individuelles contenant chacune les valeurs correspondantes à une bande. Les images landsat téléchargées sous forme de fichier zippé sont dézippées et différentes images répondant aux différentes bandes spectrales apparaissent.

Pour que la classification d'image prenne en compte les valeurs de plusieurs bandes, un nouveau raster contenant les bandes souhaitées pour la classification a été créé, un nombre trois bandes a été sélectionné. Ces dernières se sont par après affichées en tant que bande rouge, verte et bleue, même si les bandes présentes ne correspondent pas à ces trois bandes.

III.2.1. Composition colorée

La composition colorée permet de produire des images en couleurs en combinant trois bandes spectrales quelconques. Elle sert aussi à distinguer les différents objets présents sur les images afin de faciliter leur interprétation. Ici les bandes spectrales à même de fournir des informations sur le couvert végétal ont été superposées par synthèse additive des couleurs primaires.

Ainsi, les compositions colorées, en fausses couleurs avec la combinaison des bandes 5-4-3 pour les images TM/ETM+ et 6-5-3 pour l'image OLI-TIRS ont été utilisées.

Il s'agit de compositions colorées qui ont été directement réalisées après la transformation des images. C'est une étape qui vise à combiner les bandes spectrales des images sélectionnées par l'étude aux canaux des couleurs (RGB), en vue de disposer d'une composition colorée fausse couleurs naturelle nécessaire pour identifier des phénomènes environnementaux étudiés. Il s'agit d'une composition colorée tout à fait adaptée à l'étude de la végétation.

Elle s'appuie sur les propriétés de la végétation qui réfléchit très fortement le rayonnement proche infrarouge. Plusieurs compositions colorées existent (James, 2001) et leurs utilisations dépendent des domaines d'applications.

Une composition colorée en fausses couleurs naturelles a été réalisée, pour l'ensemble des scènes du projet. Ainsi, les bandes Rouge (Bande N°4), Verte (Bande N°3) et Bleue (Bande N°2) ont été choisies.

Il s'en est suivi une extraction de la zone d'étude qui a été par la suite classée par le maximum de vraisemblance. L'icône geoprocessing a été exploitée, puis arctoolbox, cela pour exploiter les outils d'analyse spatiale (spatial analyst Tools) et enfin l'extraction a été réalisée par l'icône extract by mask.

Après la composition colorée des images landsat, leur classification a été entreprise. La méthode de classification supervisée a été choisie pour notre travail. La sélection de cette méthode a été basée sur nos connaissances, notre familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans nos images.

Ainsi, pour faire la composition colorée, l'onglet "**Windows**" a été exploité, suivi de "**Image analysis**". Dans cette fonction, trois bandes spectrales ont été choisies avant d'exploiter la fonction "**Composite bands**" pour former une couche multibande (Figure 3).

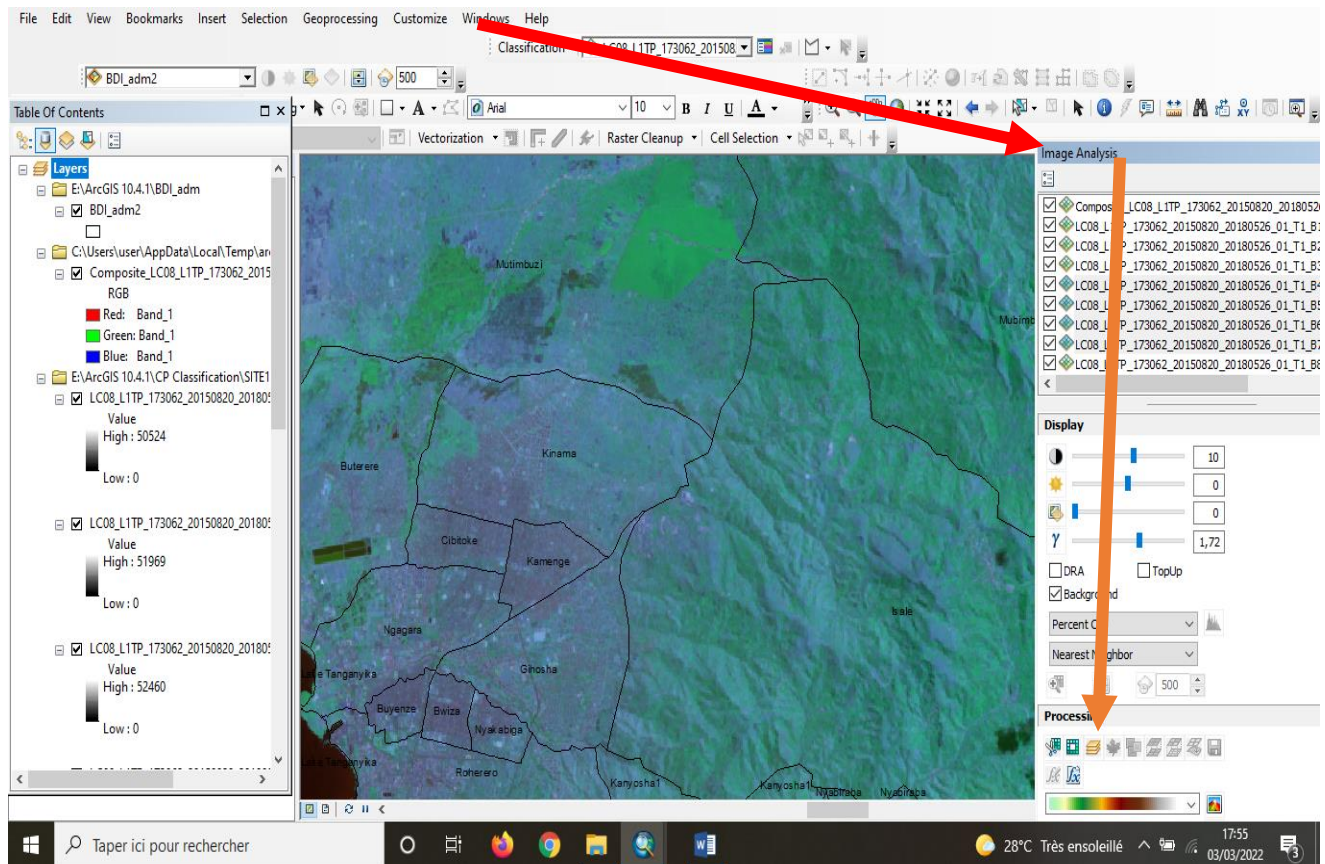


Figure 3 : Illustration des étapes de la composition colorée

III.2.2. Extraction de la zone d'étude

L'extraction de la zone d'étude nous a permis de traiter la zone d'étude à part lors de la classification supervisée. Ainsi, l'onglet "**Select Features**" a été exploité, ce qui nous a permis de choisir la zone à extraire. La fenêtre "**Geoprocessing**" a été visitée pour choisir "**Arctoolbox**" qui contient les outils d'analyse spatiale "**Spatial Analyst Tools**". Il s'en suit alors le choix de la fonction voulue qui était l'extraction. Pour notre étude, la fonction "**Extract by mask**" a été exploitée. Cette fonctionnalité permet d'extraire la zone sélectionnée bande par bande pour finalement l'avoir avec les colorations permettant l'identification des classes d'occupation du sol (Figure 4).

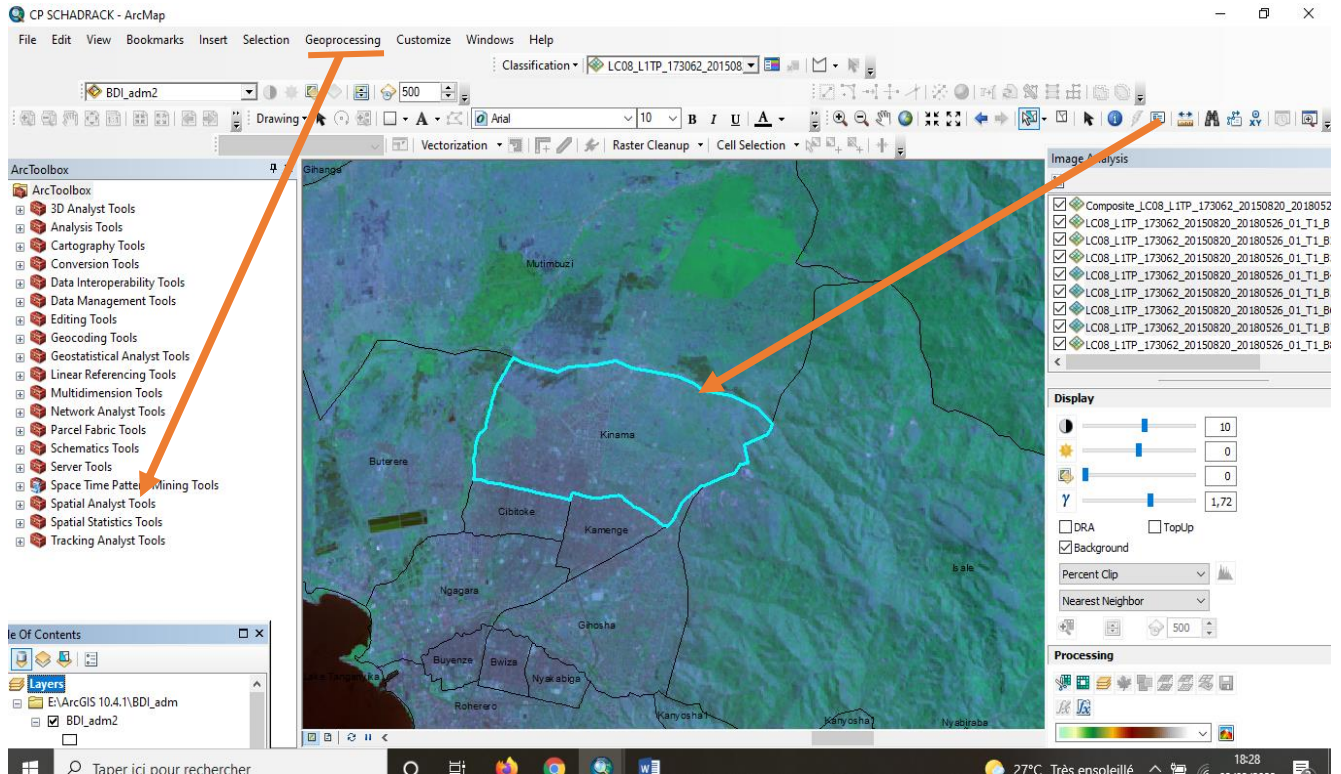


Figure 4. Illustration de l'extraction de la zone d'étude

III.3. Classification des images

Les images satellitaires ont été classées sur base des propriétés spectrales pour rassembler les différents objets de l'image en classes thématiques. Pour ce faire, la classification supervisée a été adoptée avec l'algorithme maximum de vraisemblance qui a été utilisé pour les images de 2005, 2010, 2015 et 2020 à partir de la composition colorée choisie à cet effet.

Lors de l'utilisation, des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information) ont été identifiés. Ces échantillons forment un ensemble de données-tests.

Ainsi donc, une classification d'un ensemble spécifique de classes a été supervisée. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles ont été utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la « signature » numérique de chacune des classes.

Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe, il affecte chaque pixel de l'image à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités.

Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.

La classification supervisée a été utilisée par plusieurs auteurs comme pour déterminer les changements d'occupation du sol. Par exemple en 2016, A. Traoré a exploité la même méthode pour étudier les impacts des changements climatiques et du changement de l'occupation et de l'utilisation du sol sur les ressources en eau de l'environnement lagunaire d'Aghien et de Potou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) tandis qu'en 2020, cette méthode a été sollicitée par J. Bwazani Balandi dans l'étude de l'anthropisation et dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la région de Lisala entre 1987 et 2015.

La classification consiste à appliquer le même traitement à chaque pixel, indépendamment des pixels voisins. On retrouve au sein de la classification supervisée plusieurs types de classifications (classification hypercube, classification par la Distance minimum, classification par la Distance de Mahalanobis, classification par le Maximum de vraisemblance, etc.).

Cette méthode permet de fournir l'information détaillée du changement et préparer des cartes de changement (Diallo et al., 2011).

La classification supervisée utilisée dans notre étude repose sur la règle de Bayes; elle a donné de bons résultats au cours des travaux de plusieurs auteurs parmi lesquels Kabanyegeye et co-auteurs (2021) dans une étude sur Trente-trois ans de dynamique spatiale de l'occupation du sol de la ville de Bujumbura, République du Burundi, Mahougnon (2020) sur la Dynamique Spatio-Temporelle de l'Occupation des Berges de la Lagune Gbaga (Afrique de l'Ouest) au Cameroun, etc.

La vectorisation constitue la dernière étape du traitement des images. Elle a consisté à convertir les images classifiées du mode raster en mode vecteur (polygones) dans le but de faciliter leur gestion dans le logiciel d'analyses SIG, ArcGIS 10.4.1.

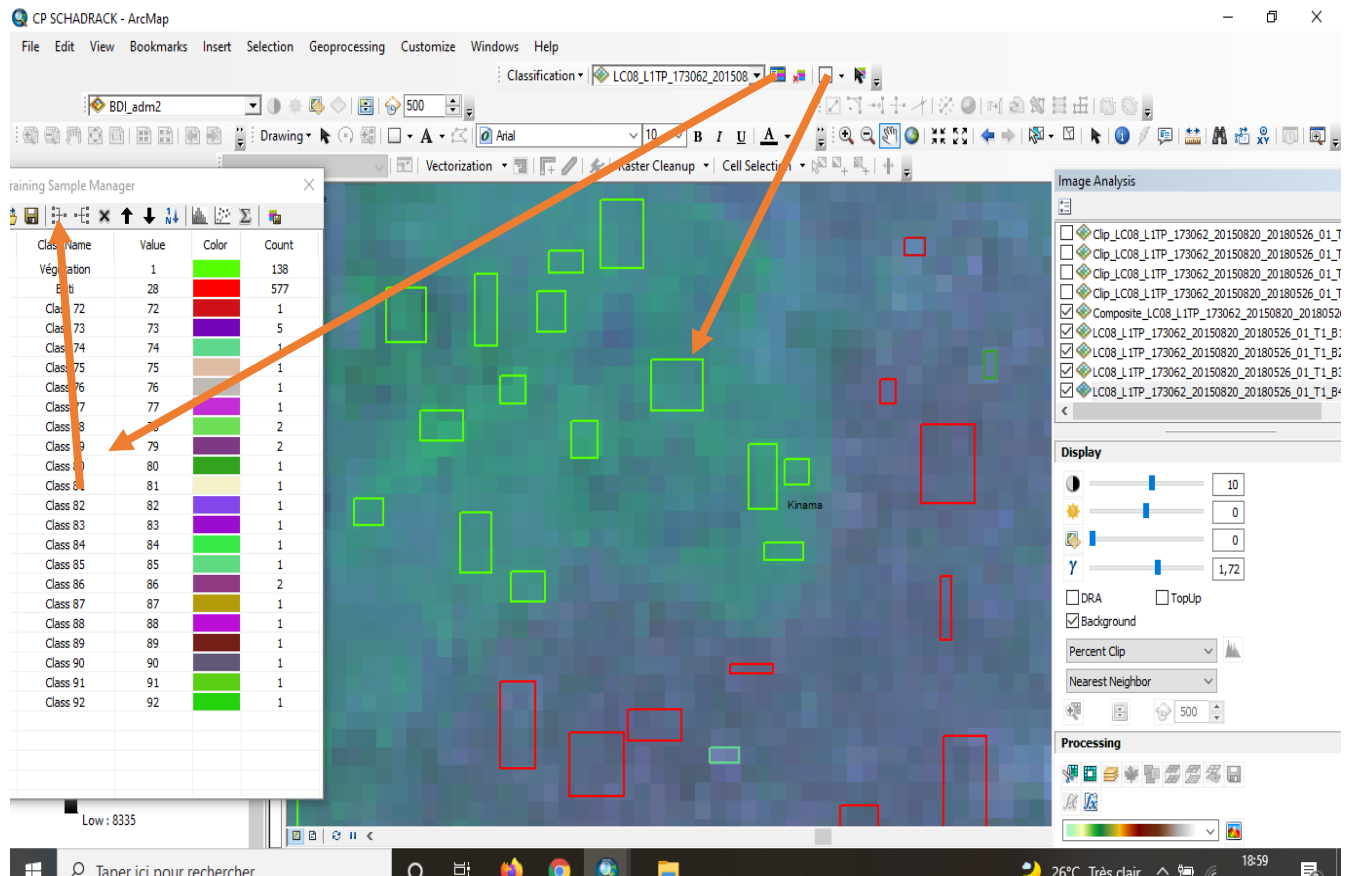


Figure 5. Illustration de la classification supervisée

III.4. Analyse de la dynamique de l'occupation du sol

Les changements survenus sur toute la période d'étude ont été analysés. Afin de veiller à l'efficacité des résultats de classification, le taux de changement d'expansion spatiale a été calculé entre 2005 et 2020.

Les changements sur toute la zone d'étude ont été déterminés en ressortant les superficies des différentes unités d'occupation du sol sur la période 2005 - 2000.

Cette étape consistait à effectuer le rapport entre la différence des superficies et les superficies initiales pour chaque période. Dans un second temps, nous sommes passés à une analyse approfondie, en évaluant les changements intervenus au sein de chaque unité d'occupation du sol prise isolément.

Cette analyse se fait par le calcul du taux de changement (Tc) qui consiste à calculer le taux de changement de chaque classe d'occupation du sol sur la période d'étude afin de vérifier la régression ou la progression pour chaque classe.

CHAPITRE IV: PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

IV.1. PRESENTATION DES RESULTATS

Pour chacun des deux sites, les résultats ont été en terme de superficie de chaque classe d'occupation du sol, décrivant ainsi l'évolution de la dynamique d'occupation de la terre des deux sites en 2005, 2010, 2015 et 2020.

IV.1.1. SITE DE KINAMA

IV.1.1.1 Dynamique des changements spatio-temporels de l'occupation des terres

Les résultats incluant la superficie des classes d'occupation du sol de Kinama en 2005 et le pourcentage que couvre chaque classe sont représentés dans le tableau 2.

Les superficies de différents types d'occupation des terres obtenus à partir du traitement de l'image Landsat de 2005 présentent la répartition des unités d'occupation sur l'étendue de la zone d'étude comme suit (Tableau 2).

Tableau 2: Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2005

Couverture du sol	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	720,39	68%
Bâti	205,17	19%
Sol nu	138,21	13%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau sont représentées sur la figure 6.

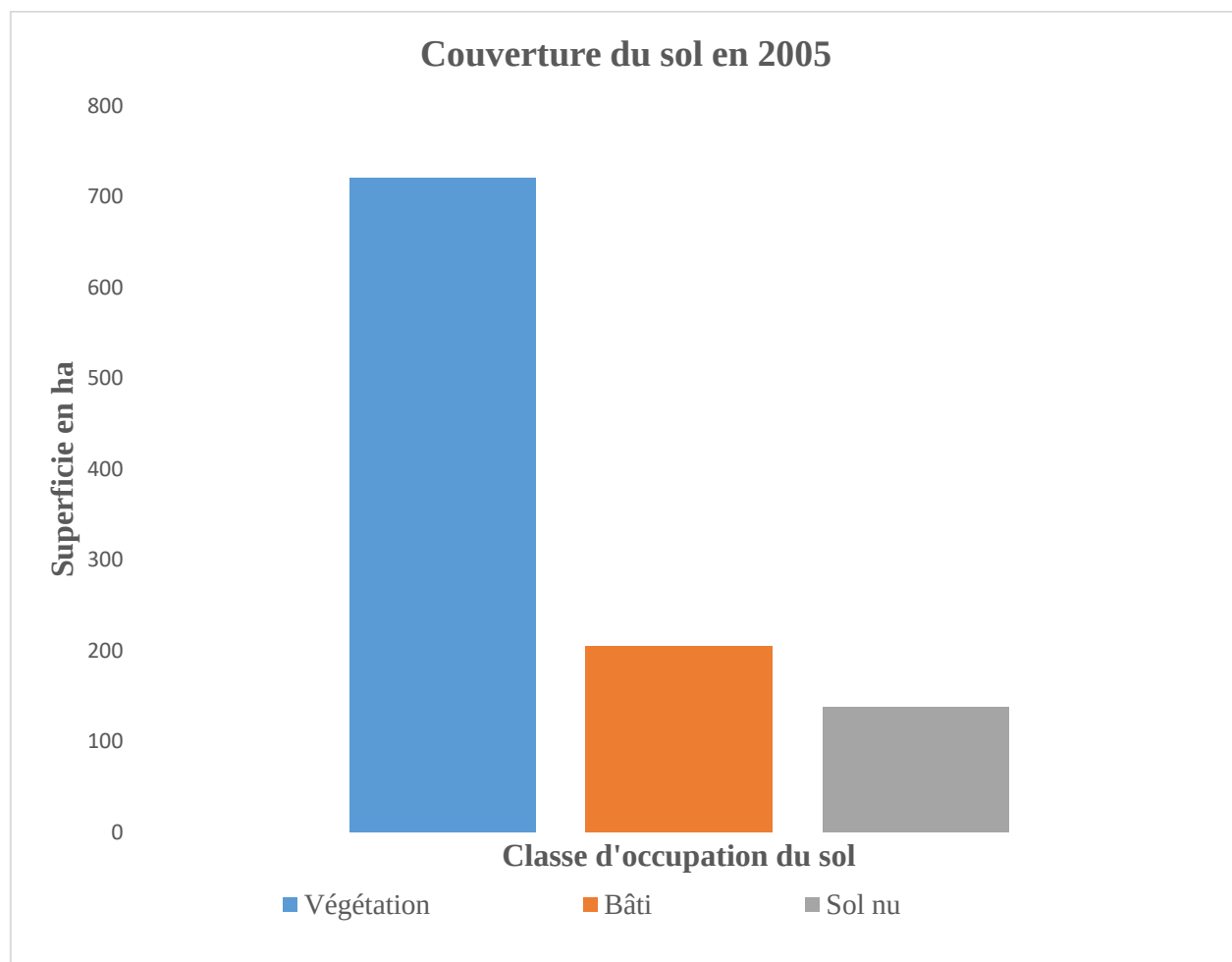


Figure 6. Couverture du sol du site Kinama en 2005

Occupation des terres en 2005 : En 2005, le paysage écologique de Kinama était dominé par les formations végétales avec un aspect plus ou moins continu sur l'ensemble du paysage écologique. Toutefois, le bâti et le sol nu occupaient également des proportions non négligeables (Figure 6).

Les superficies de différents types d'occupation des terres obtenus à partir du traitement de l'image Landsat de 2010 présente la répartition des unités d'occupation sur l'étendue de la zone d'étude comme suit (Tableau 3) :

Tableau 3.Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2010

Couverture du sol	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	601,21	56%
Bâti	321,51	31%
Sol nu	141,37	13%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau sont représentées sur la figure 7.

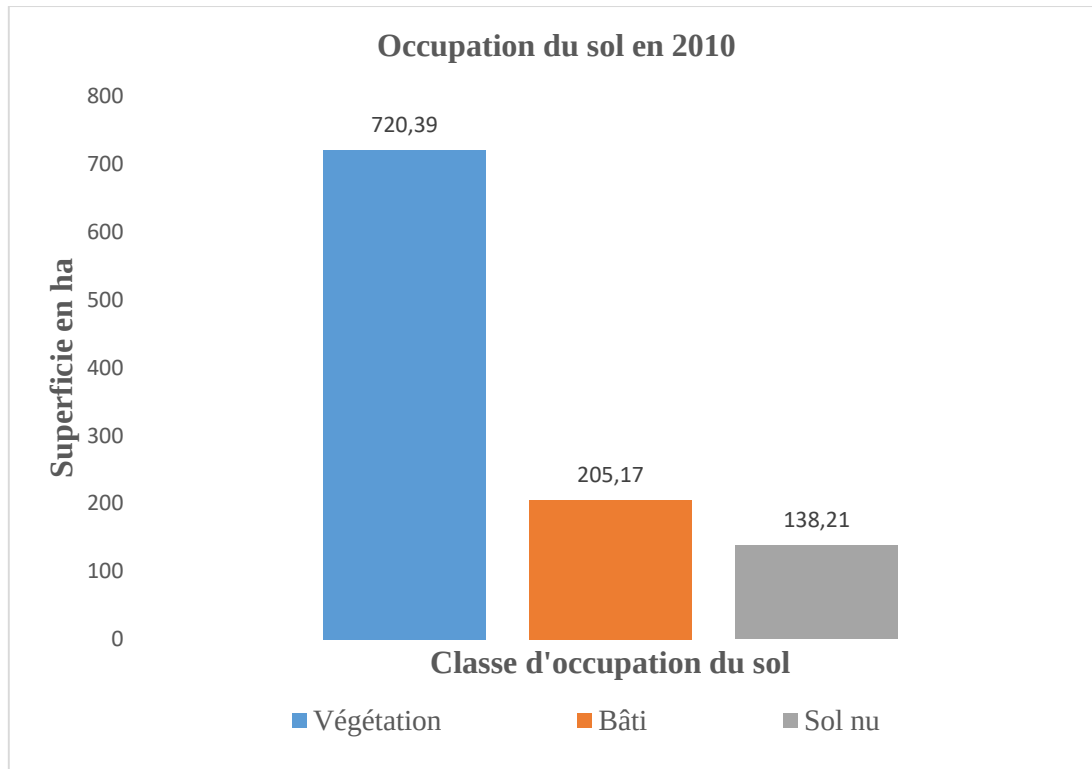


Figure 7: Couverture du sol du site Kinama en 2010

Occupation des terres en 2010

En 2010, le paysage écologique de Kinama était encore dominé par les formations végétales (Figure 7).

L'examen de la figure 7 et du tableau 3 permet de comprendre que la physionomie de ce milieu en 2010 est largement dominée par la couverture végétale avec 601,21 ha (56 %), suivi des bâtiments qui couvraient 321,51ha (31%) et enfin le sol nu qui occupaient 141,37ha soit 13% de la superficie totale de la zone d'étude.

Pour 2015, les superficies de différents types d'occupation des terres obtenus à partir du traitement de l'image Landsat de 2015 sur l'étendue de la zone d'étude sont indiquées au Tableau 4.

Tableau 4. Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2015

Type de Couverture	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	345,08	31%
Bâti	596,55	53 %
Sol nu	182,47	16%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau sont représentées sur la figure 8.

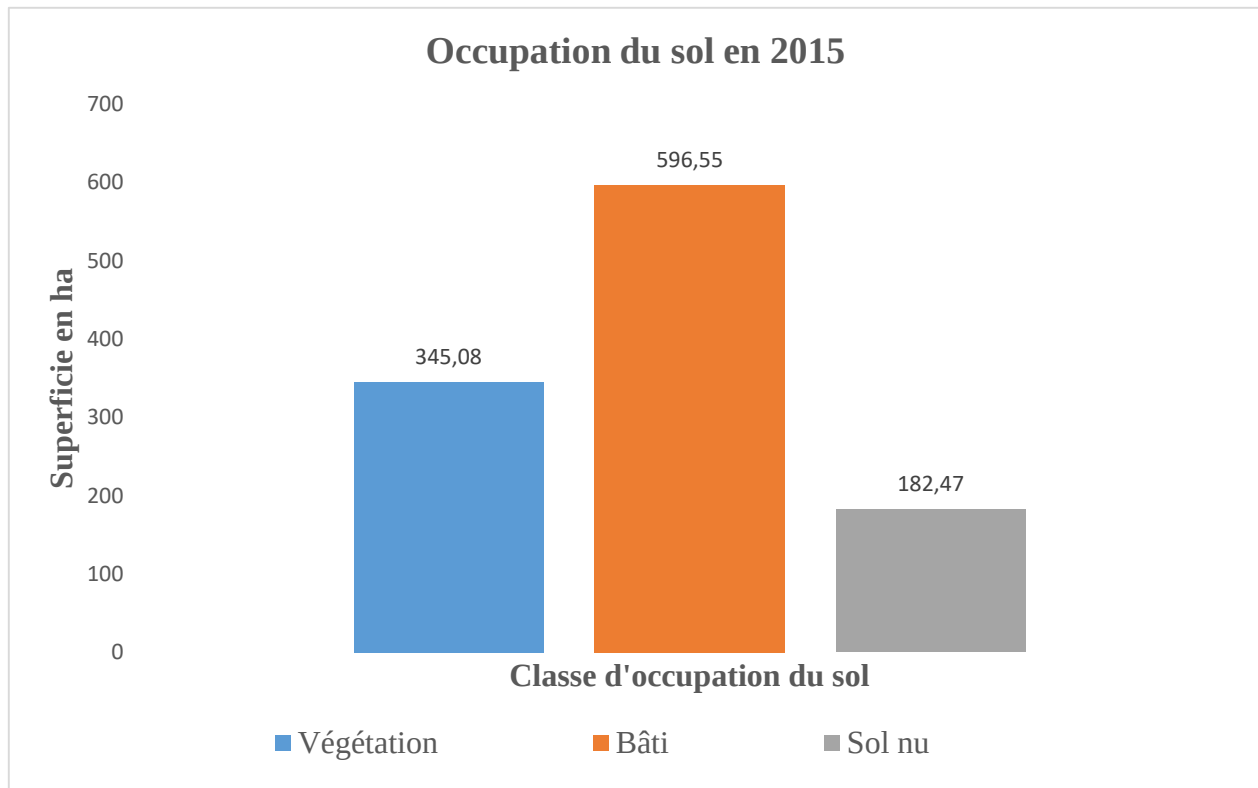


Figure 8. Couverture du sol du site Kinama en 2015

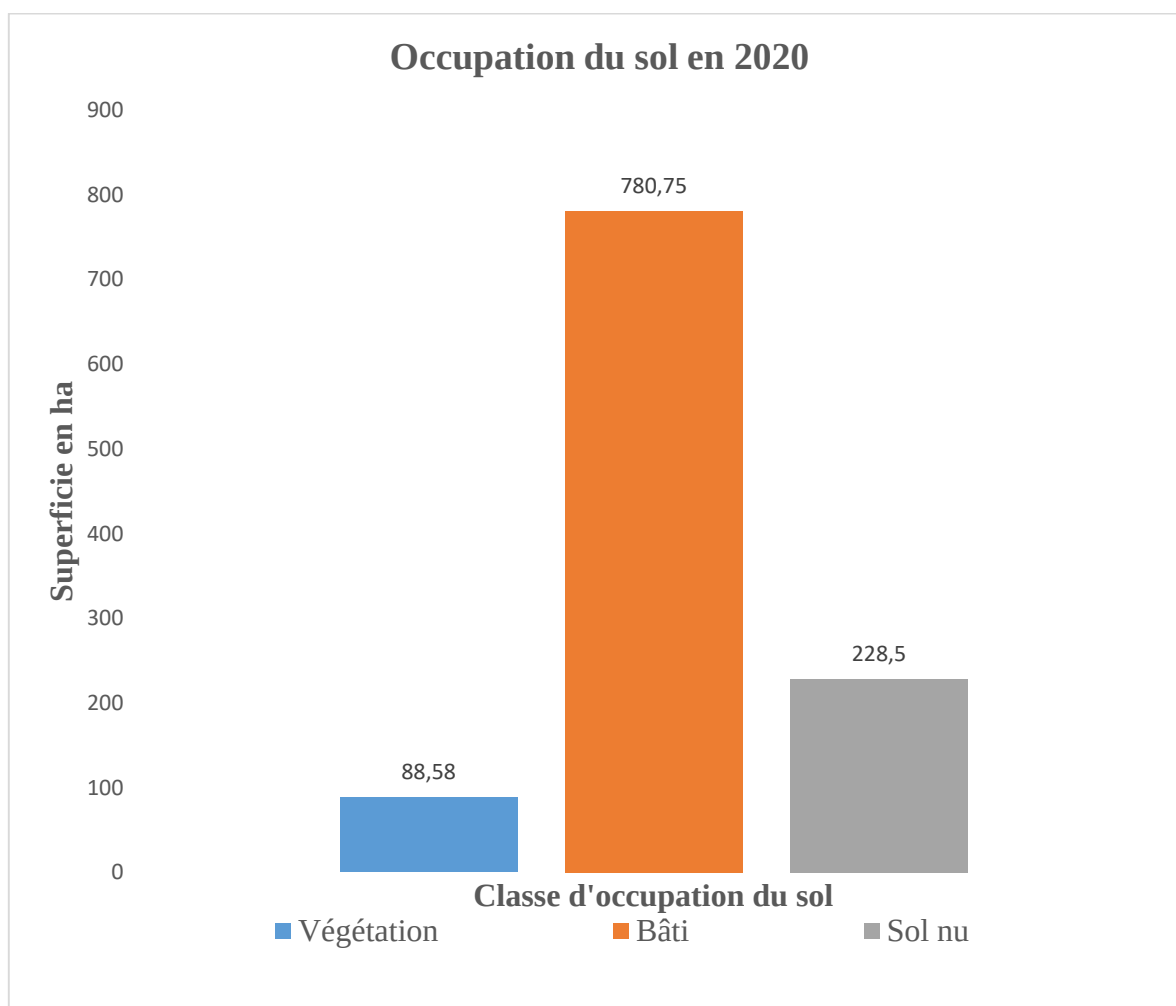
L'examen de la figure 8 et du tableau 4 permet de comprendre que la physionomie de cette zone en 2015 se caractérise par la régression de la couverture végétale qui passe de 601,21 ha en 2010 vers 345,08ha en 2015 en faveur du bâti qui élargit sa superficie. Le défrichement de la végétation s'accroît aussi car la surface occupée par le sol nu augmente continuellement (Figure 8).

En 2020, les superficies de différents types d'occupation des terres ont été obtenues à partir du traitement de l'image Landsat de 2020. Elles sont réparties comme suit (Tableau 5) :

Tableau 5 : Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2020

Couverture du sol	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	88,58	8%
Bâti	780,75	71%
Sol nu	228,5	21%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau 5 sont représentées sur la figure 9.

**Figure 9. Couverture du sol du site Kinama en 2020**

En 2020, l'occupation des terres révèle des zones bâties, relativement plus importantes, disséminées sur l'ensemble de la zone d'étude, excepté les parties Nord-Est et une très petite partie du Nord-Ouest de la zone d'étude où les formations végétales semblent exister encore.

IV.1.1.2. Synthèse des types d'occupation des terres de 2005, 2010, 2015 et 2020

La comparaison de la figure 5 (couverture du sol du site en 2005) et la figure 9 (couverture du sol du site en 2020) montre l'évolution des classes d'occupation du sol. Il ressort de cette comparaison que les formations naturelles (végétation) ont fortement régressé sur l'ensemble de la zone d'étude. Par contre les bâtiments ont évolué exponentiellement.

Une érosion de la végétation est à signaler car la superficie du sol nu a également augmenté au cours de cette période.

IV.1.1.3. Calcul des statistiques des classes d'occupation de sol entre 2005 et 2020

L'analyse des résultats de la période de 2005 à 2020 a prouvé une variation de la couverture du sol durant les quinze ans. Il est de grande importance de déterminer les valeurs chiffrées de la tendance des classes d'occupation du sol.

Tableau 6 : Evaluation de la tendance des classes d'occupation du sol entre 2005 et 2020

classes	Superficie en ha		Evolution		
	2005	2020	Superficie en ha	Taux	Tendance
Végétation	720,39	88,58	-631,81	-87,8%	Régression
Bâti	205,17	780,75	575,58	+280,5%	Progression
Sol nu	138,21	228,5	90,29	+65,4%	Progression

En analysant le tableau 6, il est à remarquer que, la superficie bâtie a plus que triplé (+280,5%). Une régression considérable s'observe pour de la couverture végétale (-87,8%) ce qui traduit le mauvais état de la biodiversité dans les régions périphériques de la ville de Bujumbura. La

superficie non couverte a aussi fortement augmenté (+65,4%) ce qui traduit une vulnérabilité de la zone à l'érosion.

IV.1.2. SITE DE KARAMA

IV.1.2.1. Dynamique des changements spatio-temporels de l'occupation des terres

Les résultats issus de la classification supervisée des images satellitaires du site de Karama nous ont permis d'obtenir des superficies de chaque classe, décrivant ainsi l'occupation de la terre du site en 2005, 2010, 2015 et 2020.

Les superficies de différents types d'occupation du sol obtenues à partir du traitement de l'image Landsat de 2005 nous révèlent la grande de la superficie de chaque classe en 2005. Elles sont reprises dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Etat de la couverture du sol de Karama en 2005

Couverture du sol	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	324,61	60%
Bâti	84,432	16%
Sol nu	127,92	24%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau 7 sont représentées sur la figure 10.

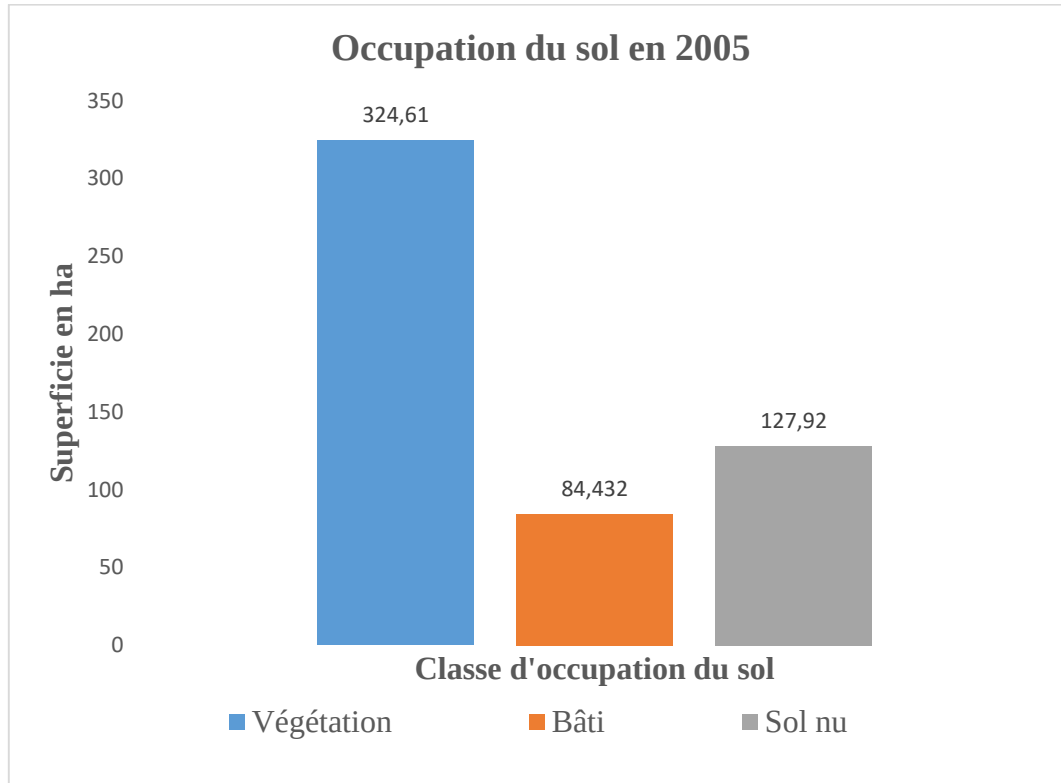


Figure 10. Couverture du sol du site Karama en 2005

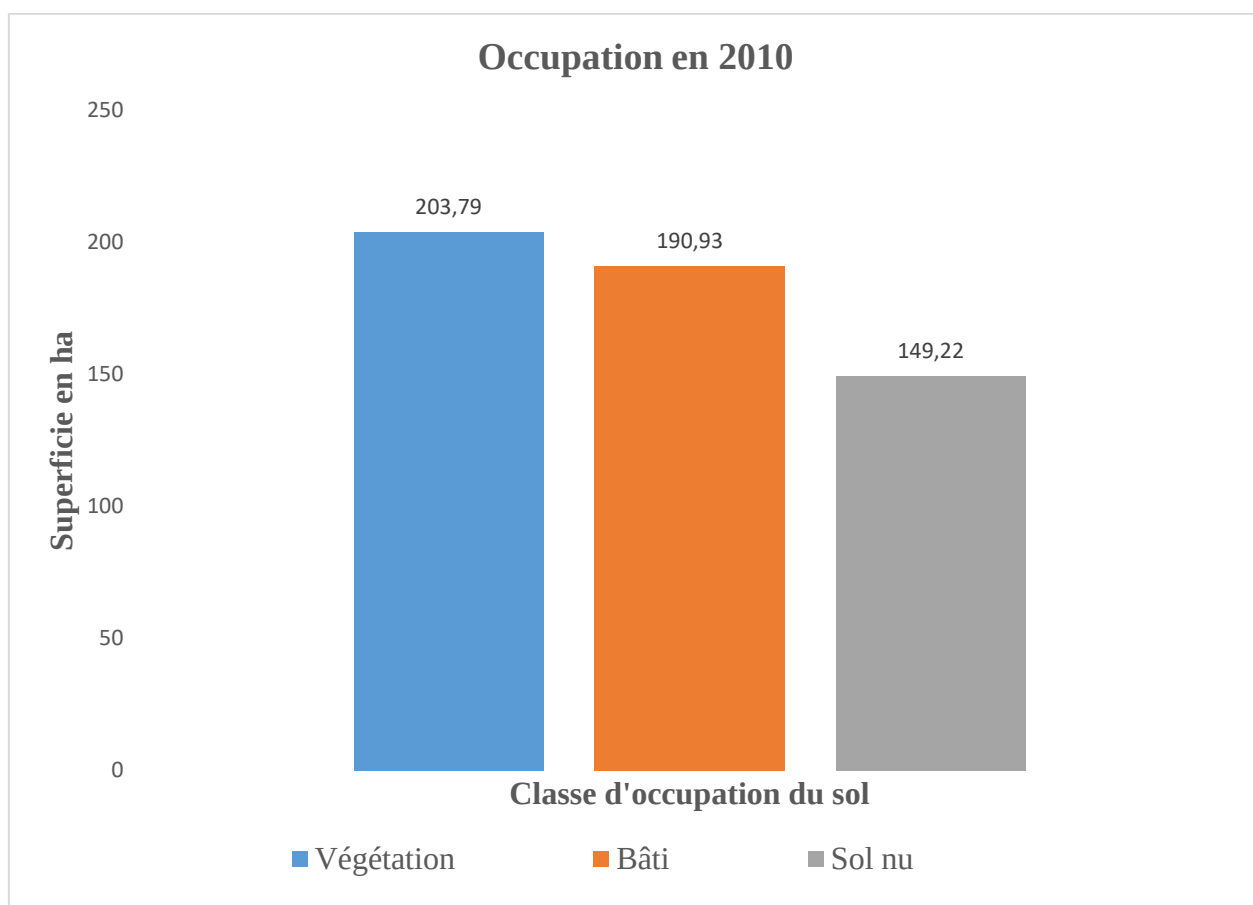
En 2005, l'occupation des terres révèle que la physionomie de ce milieu en est largement dominée par la couverture végétale avec 324,61ha (60 %), des sols érodés qui couvraient 127,92ha (24%) et enfin les bâtiments qui occupaient 84,432ha soit 16% de la superficie totale de la zone d'étude.

Les superficies de différents types d'occupation du sol ont été obtenues à partir du traitement de l'image Landsat de 2010 à Karama. Elles sont reprises dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Etat de la couverture du sol de Karama en 2010

Couverture du sol	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	203,79	37%
Bâti	190,93	28%
Sol nu	149,22	35%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau 8 sont représentées sur la figure 11.

**Figure 11. Couverture du sol du site Karama en 2010**

L'examen de la figure 11 et du tableau 7 permet de souligner que la physionomie de cette zone en 2010 décrit la régression de la couverture végétale au détriment du bâti qui élargit sa superficie.

Le défrichement de la végétation s'accroît aussi car la surface occupée par le sol nu augmente continuellement (Figure 11). Cette période a été caractérisée par l'extension du sol nu, relatif à une exploitation accrue des carrières.

Pour 2015, les superficies de différents types d'occupation du sol ont été obtenues à partir du traitement de l'image Landsat de 2015 à Karama. Ces dernières sont reprises comme indiqué dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Etat de la couverture du sol de Karama en 2015

Couverture du sol	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	135,57	25%
Bâti	204,02	38%
Sol nu	194,35	37%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau 9 sont représentées sur la figure 12.

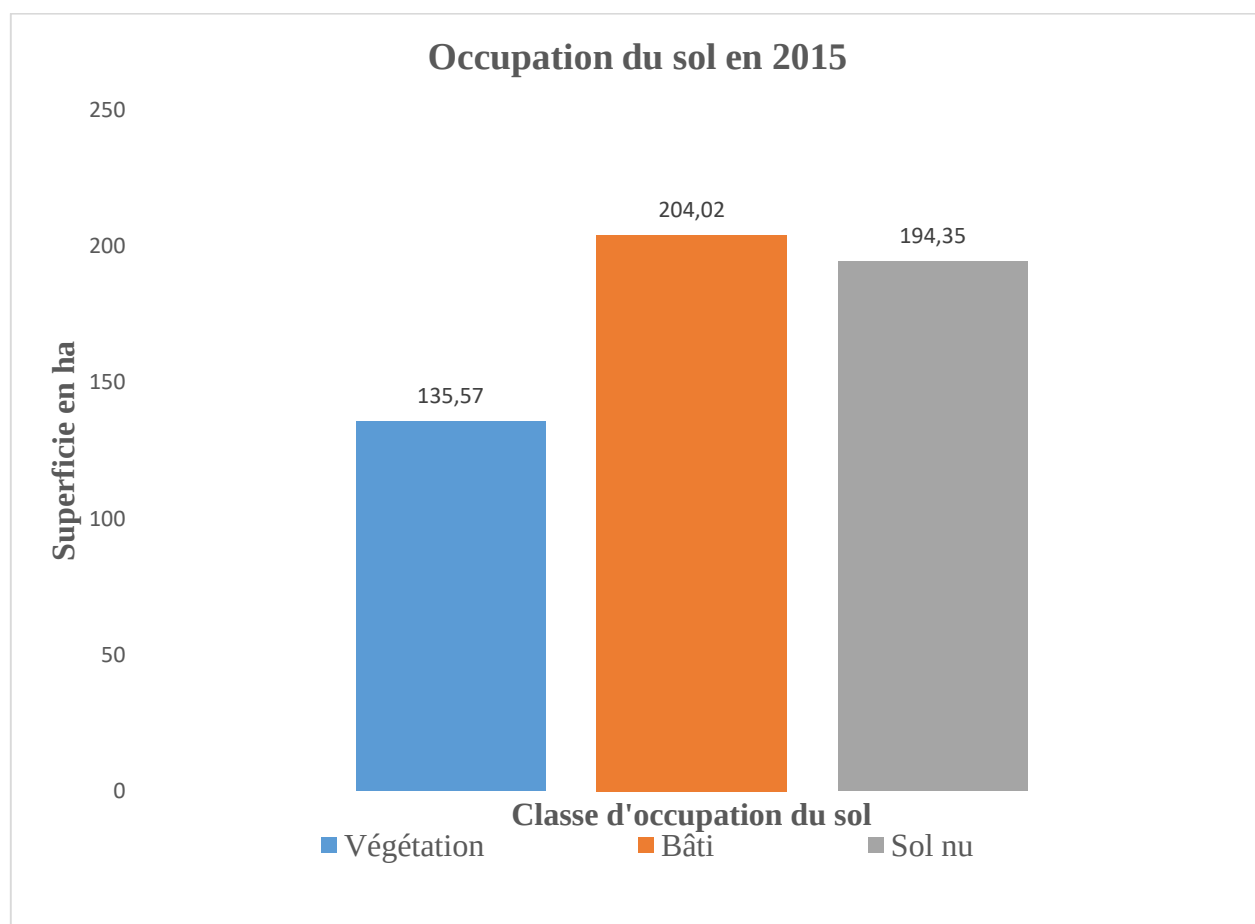


Figure 12. Occupation du sol du site de Karama en 2015

L'analyse de la figure 12 et du tableau 9 montre un accroissement accru de la zone bâtie, suivi des sol érodés par l'exploitation des carrières. La végétation regresse progressivement en passant de 37% de la surface totale de la zone d'étude en 2010 vers 25% de la surface en 2015, soit de 203,79ha à 135,57ha en 2015.

Le tableau 10 présente les superficies de différents types d'occupation du sol obtenus à partir du traitement de l'image Landsat de Karama en 2020 .

Tableau 10: Etat de la couverture du sol de Karama en 2020

Couverture du sol	Superficie en ha	Pourcentage
Végétation	114,3	23%
Bâti	288,27	58%
Sol nu	98,2	20%

Les superficies de classes d'occupation du sol décrites dans le tableau 10 sont représentées sur la figure 21.

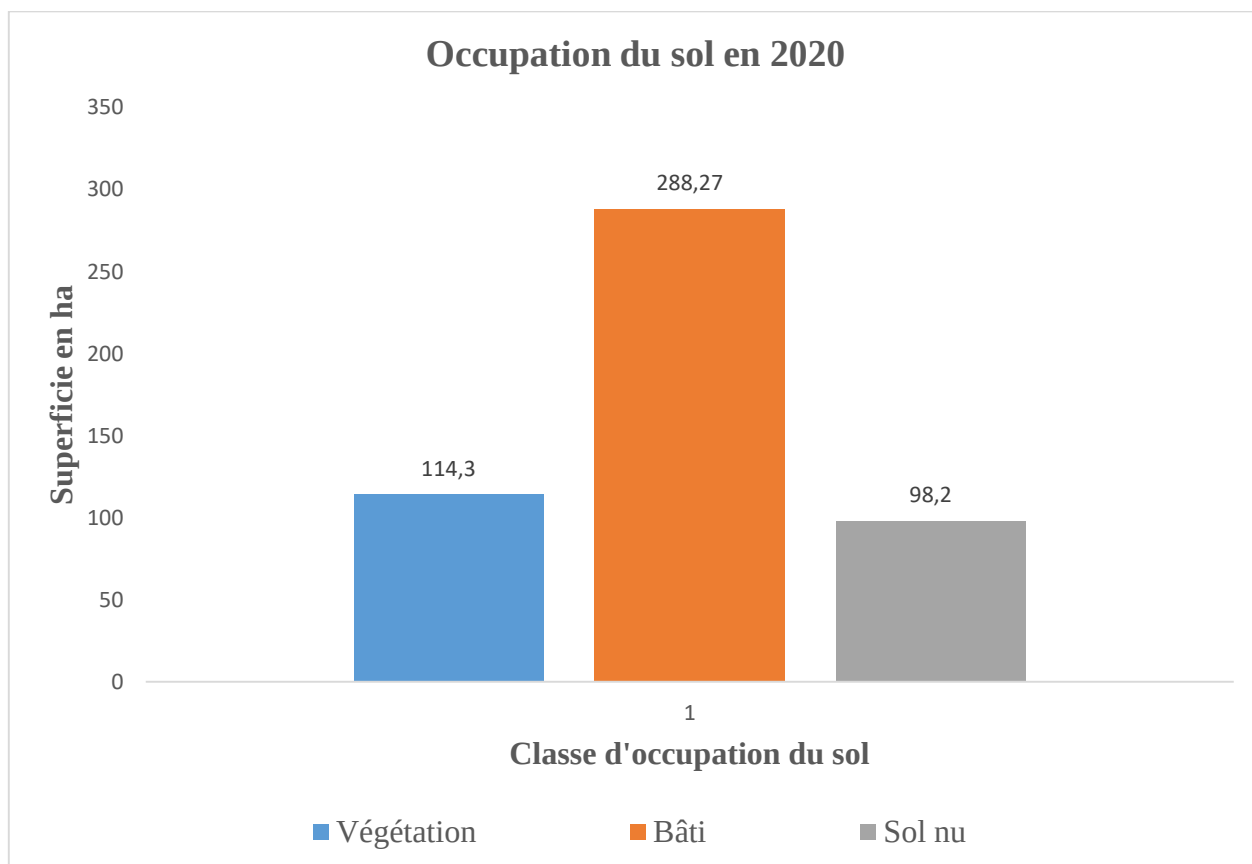


Figure 13. Occupation du sol du site de Karama en 2020

L'examen de la figure 13 et du tableau 10 souligne un accroissement exponentiel de la superficie couverte par les bâtiments qui va jusqu'à 288,27ha, soit 58% de la superficie totale de la zone d'étude. On observe aussi une réduction de la couverture végétale et de la surface nue dont la superficie a chuté jusqu'à 98,2ha, soit 20% de la surface totale de la zone d'étude.

IV.1.2.2. Synthèse des types d'occupation des terres de 2005, 2010, 2015 et 2020

La comparaison de la figure 10 (couverture du sol du site en 2005) et la figure 13 (couverture du sol du site en 2020) donne la synthèse d'évolution des classes d'occupation du sol. Il ressort de cette comparaison que les formations naturelles (végétation) ont fortement régressé sur l'ensemble de la zone d'étude. Par contre les bâtiments ont évolué exponentiellement.

Une érosion de la végétation est à signaler car la superficie du sol nu a également augmentée jusqu'en 2015, il y a conversion du sol nu vers le bâti dans la période de 2015 à 2020. Une petite surface érodée a observé une régénération naturelle, ce qui n'a pas amélioré la surface couverte par la végétation car en analysant la figure 12 on constate des unités de sol nu converties en zone bâtie d'autre part (figure 13).

IV.1.2.3. Expression de la tendance des superficies des classes d'occupation de sol entre 2005 et 2020

L'analyse des résultats de la période de 2005 à 2020 a prouvé pour Karama une variation de la couverture du sol durant les quinze ans. Il est très important donc de déterminer les valeurs chiffrées de la tendance des classes d'occupation du sol.

Tableau 11 : Evaluation de la tendance des classes d'occupation du sol entre 2005 et 2020

classes	Superficie en ha		Evolution		
	2005	2020	Superficie en ha	Taux	Tendance
Végétation	324,61	114,3	-210,31	-64,8%	Régression
Bâti	84,43	288,27	203,84	+ 241,4%	Progression
Sol nu	127,92	98,2	-29,72	-23,3 %	Régression

En examinant le tableau 11, nous remarquons que la superficie bâtie a plus que triplé (+ 241,4%). Une régression considérable s'observe pour la couverture végétale (-64,8%) ce qui traduit également une extension de la ville de Bujumbura vers les contreforts de Mumirwa.

La superficie non couverte a aussi chuté (-23,3 %) mais cela n'est lié à des efforts de restauration de la zone d'extraction des carrières, mais c'est plutôt à cause des bâtiments qui y ont été implantés.

IV.2. DISCUSSION DES RESULTATS

L'utilisation des outils des SIG et de la télédétection dans la réalisation de notre étude nous a permis d'identifier la dynamique spatio-temporelle et la dégradation de l'environnement de la zone d'étude pour la période de 2005 à 2020. Les analyses prouvent un état de dégradation environnementale globale sur les deux sites étudiés.

IV.2.1. Evolution de l'occupation du sol dans le site de Kinama entre 2005 et 2020

Les résultats issus de la classification supervisée des images landsat de 2005, 2010, 2015 et 2020 prouvent une extension des bâtiments, donc de la ville dans les zones périphériques. L'extension de la ville a été caractérisée par l'accroissement de la zone bâtie dont la superficie est passée de 205,17 à 780,75ha pendant quinze ans, soit une urbanisation de 575,58ha.

Il est évident que la pression démographique est très forte sur l'occupation du sol, compte tenu aussi qu'on est en présence d'un relief souvent accidenté. La principale conséquence de cette densité extrêmement élevée est un exode rural intense, qui se manifeste à travers des taux de croissance urbaine oscillant entre 6 et 7 % par an dans les quatre principales villes dont Bujumbura est la principale (MEEATU, 2015). Notre étude prouve la même affirmation que ce rapport du MEEATU sachant que la principale caractéristique de l'extension urbaine est la conversion de la couverture végétale en bâtiments pour habitation.

Il est juste de signaler que les inondations que notre zone d'étude subit chaque année sont liées essentiellement au caractère exceptionnel des épisodes pluviométriques. Il est cependant évident aussi que si les volumes d'eau écoulés à cette occasion soient aussi abondants et les dégâts aussi graves, c'est parce que les coefficients de ruissellement ont été remarquablement augmentés suite à l'imperméabilisation des sols inhérente à l'étalement et la densification du tissu urbain. Cela est l'impact direct du défrichement du milieu en faveur du bâtiment et les sols nus dont la superficie a augmenté durant la période étudiée (Tableau 6).

Notre affirmation coïncide avec celle de Fehri et Zahar (2016) qui, en étudiant l'impact de l'extension et de la densification du tissu urbain sur les coefficients de ruissellement dans le bassin versant des oueds El-Ghrich et El-Greb (Tunis), ont finalement trouvé comme cause des inondations l'augmentation du coefficient de ruissellement suite à l'imperméabilisation du sol et la densification urbaine.

Les résultats de la classification par maximum de vraisemblance des images satellitaires de Kinama placent le site en conditions de vulnérabilité à l'érosion hydrique.

En effet, la suppression de la couverture végétale alors que cette dernière joue un rôle protecteur dans les manifestations de l'érosion hydrique et dans les instabilités des versants et qu'elle protège le sol contre la battance des pluies faisant obstacle au ruissellement expose le sol à la vulnérabilité à l'érosion hydrique (Cerda, 1999).

L'augmentation de la superficie nue (de 138,21 à 228,5ha durant la période étudiée) est un autre facteur favorisant l'érosion hydrique et les inondations. Cet avis coïncide avec Mostafia Boughalem et co-auteurs (2020) qui, en étudiant le risque d'érosion hydrique des sols dans la région de Tlemcen en Algérie, ont conclu qu'une forte vulnérabilité correspond à un espace nu (ou faiblement couvert), de pente et d'érosive fortes et de sol peu ou pas résistant.

IV.2.2. Evolution de l'occupation du sol dans le site de Karama entre 2005 et 2020

Le site de Karama est situé au Nord-Est de la ville de Bujumbura, sur les contreforts de Mumirwa à 1200m d'altitude. La colline Karama constitue la frontière entre la commune Isale et le quartier de Gihosha de la commune urbaine de Ntahangwa. Elle est aussi à la lisière des communes Isare et Mutimbuzi, frontalière avec la colline Gasenyi de la commune Mutimbuzi.

Les images satellitaires ont été utilisées pour étudier la dynamique spatiotemporelle de cette zone entre les années 2005, 2010, 2015 et 2020. Les résultats obtenus ont prouvé les effets de l'activité de l'homme et l'extension urbaine sur la biodiversité.

Le processus d'exploitation des matériaux rocheux de construction, la dénudation des sols par l'abattage de la végétation ont occasionné l'augmentation de la superficie des sols nus (Tableau 7,8 et 9).

Plusieurs auteurs ont mis en cause la croissance démographique et certains modes d'exploitation comme étant responsables de dégradation des écosystèmes et des terres ayant pour conséquence la perturbation des équilibres écologiques (Hountondji 2008, Temgoua et al., 2018).

A côté des activités anthropiques et l'exploitation abusives des ressources naturelles, on ne peut pas oublier aussi les effets des aléas climatiques sur la dégradation environnementale. C'est le cas

des excès pluviométriques pouvant accentuer l'érosion et/ou les inondations en aval. D'autres auteurs ont également associé les activités anthropiques avec les aléas climatiques. C'est le cas de Wezel (2004) et Brun et al. (2018) dans leurs études menées sur les zones soudano-sahéliennes.

À partir de l'analyse des cartes, il apparaît que la classe de la couverture végétale a progressivement régressé en faveur du bâti et du défrichement qui a occasionné l'extension des sols nus entre les années 2005 et 2020.

Ceci est le résultat l'intensification de l'exploitation des matériaux rocheux de construction, de l'extension urbaine.

IV.2.3. Comparaison de la dynamique spatiotemporelle des deux sites entre 2005 et 2020

L'examen des tableaux 6 à 11 contenant les informations chiffrées issues des résultats de nos traitements permettent de mettre en évidence l'ampleur des actions anthropiques et l'exploitation abusive des ressources naturelles. Il s'observe une régression redoutable de la couverture végétale et une augmentation de la surface bâtie, ce qui traduit une extension continue de la ville de Bujumbura.

Les deux sites partagent comme cause l'action anthropique tandis qu'ils diffèrent par le type d'action anthropique.

D'autres auteurs ont également mené des travaux pareils avec des résultats coïncidant à ceux de notre travail. Par exemple, Kabanyegeye et co-auteurs (2020) ont associé l'extension urbaine à la conversion des terres agricoles au profit des constructions des nouveaux quartiers.

Ce chercheur de l'Université du Burundi précise que cela est une conséquence directe des migrations et de la guerre civile qu'a connue le pays depuis 1993 sans ignorer l'accroissement naturel de la population.

Ndayikengurukiye (2017) a démontré une régression du Parc National de la Kibira qui manifeste toujours une perte de la biodiversité végétale, constant de notre travail sur notre zone d'étude.

Des résultats similaires ont été trouvés par Mballo et Oumar (2020) en étudiant l'extension de la ville de Diaobé au Sénégal. Ces auteurs ont prouvé une progression importante du bâti au détriment des zones de culture.

Enfin, nos résultats associés à ceux des autres auteurs soulignent les effets de la main de l'homme sur l'environnement. Les actions anthropiques dégradent nos écosystèmes à une échelle strictement supérieure aux dégâts causés par les changements climatiques et les intempéries naturelles qui se produisent rarement (Zoungrana et al., 2018).

En tout état de cause, et ce d'une manière générale, l'effet de la croissance démographique et l'exploitation accrue des ressources naturelles, quelques que soient les méthodes utilisées dans les études spatio-temporelles, figurent parmi les facteurs importantes de la dégradation environnementale, ce qui dénote la véracité de la plupart des études réalisées dans ce cadre comme celle ayant fait l'objet de notre expérimentation dans les zones urbaines et périurbaines de Bujumbura.

CHAP V. CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS

V.1. CONCLUSION GENERALE

Le présent travail avait comme objectif d'analyser les impacts environnementaux occasionnés par les modifications spatiotemporelles du site de Kinama et de Karama situé sur mont Gasenyi afin de contribuer à la protection de notre environnement.

Des images satellitaires des deux sites des années 2005, 2010, 2015 et 2020 ont été exploitées et traitées à l'aide du logiciel ArcGIS10.4.1 pour pouvoir analyser l'évolution de l'occupation du sol à l'aide de la classification par le maximum de vraisemblance (classification supervisée).

Les résultats des différents traitements montrent pour Kinama un recul de la superficie couverte par la végétation de 631,81ha surface couverte de 575,58ha au cours de cette même période. La surface non couverte a également augmenté au cours de cette période, ce qui augmente le risque d'érosion hydrique et d'accentuation des inondations en augmentant l'imperméabilité du sol.

Les résultats sont similaires sur le site de Karama où on observe également une extension du bâti de 203,84ha tandis que la surface couverte par la végétation a régressé de 210,31ha entre 2005 et 2020. La surface non couverture a été réduite de 29,72ha suite à l'implantation des bâtiments dans les carrières au lieu d'une option de restauration.

Ces résultats témoignent une extension urbaine de Bujumbura, insouciante de la dégradation environnementale et une demande accrue des ressources naturelles, caractéristiques d'une explosion démographiques dans la ville de Bujumbura.

Finalement, notre étude indique une progression importante du bâti au détriment des zones de couverture végétale. L'étalement urbain est à la fois une réponse aux aspirations des populations pour des logements individuels en villas ce qui constitue une pratique défavorable pour l'environnement qu'il convient donc de bannir par des politiques d'occupation spatiale adaptées.

V.2. SUGGESTIONS

Au vu de l'évolution non soucieuse de l'environnement, quelques perspectives d'avenir sont à mettre en œuvre pour garantir une vie saine dans un environnement sain :

- Afin de régler les défauts qui s'observent dans l'installation de la population dans les périphéries de la ville de Bujumbura, le gouvernement du Burundi est prié de mettre en œuvre la politique des logements sociaux pour faire face à l'extension urbaine
- Les institutions ayant l'urbanisme dans leurs attributions sont priées de suspendre la viabilisation des nouvelles zones périphériques
- L'office Burundais des mines et carrières est prié de coordonner et contrôler l'exploitation des matériaux de construction et faire respecter les textes en vigueur
- Nous suggérons également au gouvernement du Burundi de disponibiliser une politique efficace de contrôle des naissances
- Le gouvernement du Burundi est prié de sensibiliser la population sur la protection de l'environnement et la gestion rationnelle des ressources naturelles
- Nous proposons aussi aux décideurs politiques de valoriser les résultats de la recherche dans le secteur environnemental et mettre en œuvre les recommandations des chercheurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdourhamane H, Morou B, Mahamane A, Saadou M, Issaka A. 2012 Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le complexe des forêts de classées de Dankada Dodo-Dan Gado (région de Maradi,Niger). Journal des Sciences de l'Environnement., 1(1): 16-26.
2. Aboudala Sidi Issah, Minkilabe Djangbedja, Gbénonchi Mawussi, Kissao Gnandi, Thiou Tanzidani K. Tchamie. Evaluation de la pollution des sols de la carrière de calcaire de tabligbo (sud-est togo) par les métaux lourds toxiques. Cahiers du CBRST, Centre Béninois de la Recherche Scientifique et Technique 2016, pp.1-18. ffhal-01832657
3. AKOGNONGBE A., ABDOULAYE D., VISSIN E.W. et BOKO M., « Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou, au Bénin ». Afrique Science, Vol. 10, N°2 (2014), 1 mai 2014,<http://www.afriquescience.info/document.php?id=3450>. ISSN 1813-548X
4. ANDRIAMASINORO F., ANGEL J.M, Artisanal and small-scale gold mining in Burkina Faso: suggestion of multi-agent methodology as a complementary support in elaborating a policy, (2012) <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.04.004>
5. Anonyme (2007), GEO-4 l'environnement pour le développement, Randers, ONU, Pp. 574
6. Banque Mondiale.2020, Etat des lieux des services hydrologiques et météorologiques du Burundi.
7. BOGAERT J., BAMBA I., KOFFI K. J., DE CANNIÈRE C.,VISSER M. and SIBOMANA S., Fragmentation of forest landscapes in Central Africa: causes, consequences and management, in "Patterns and processes in forest landscapes", Springer, Dordrecht, (2008) 67 - 87
8. Brun, E.L., Djego, J. G., Gibigaye, M. & Tenté B., 2018 - Dynamique de l'occupation du sol dans les zones humides de la commune d'Allada, au Sud-Benin (Sites Ramsar 1017 et 1018), European Scientific Journal Edition, 14 (12) : 59 - 77.
9. BWAZANI BALANDI J., J-F. MIKWA NGAMBA , S. KUMBA LUBEMBA, J-P. MENIKO TOHULU , A. MAINDO MONGA NGONGA J-P., MUKANDAMA NDOLA .2020. Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la région de Lisala entre 1987 et 2015
10. CASPAR A. H. 2020.Solutions for humanity on how to conserve insects.

11. CEA., développer l'agriculture en Afrique par des chaînes de valeur régionales. Rapport économique sur l'Afrique. Commission Economique des Nations Unies pour l'Afrique, (2009) 179 p.
12. Centre d'Echange d'Informations du Burundi. (2012, 05 3). *Climat et hydrologie du Burundi*. Retrieved 03 26, 2020, from <http://bi.chm-cbd.net/>: <http://bi.chm-cbd.net/biodiversity/presentation-du-burundi/aspects-physiques-du-burundi/climat-et-hydrologie-du-Burundi>
13. CERDA, A., 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 362-368.
14. Chalas, Y, Dubois-Taine, G. (1997) «La ville émergente» .Paris: édition l'aube. p252.
15. CTB/SETEMU.2013 plan directeur d'assainissement des eaux usées et des excréta de Bujumbura
16. DIALLO H., I. BAMBA, Y. S. S. BARIMA, M. VISSER, A. BALLO, A. MAMA et J. BOGAERT, effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22 (2) (2011) 97 - 107
17. Djimadoun A.C., Exploitation pétrolière et Dynamique agro-pastorale du département de la Nya dans la région savannicole du Logone oriental au Tchad. Thèse de Doctorat, Géographie humaine, 313 p, 2015.
18. FAO & PNUE. 2020 - La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8642fr>.
19. FAO. 2014. Méthodologie proposée pour l'analyse des agents et causes de la déforestation dans les sites pilotes composante 4 du Projet FFEM. Working paper, Rome, P. 365.
20. FOODY G. M., Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80, (2002) 185 – 201
21. Godard, F(2001). « La ville en mouvement », Paris : Découvertes Gallimard, 127p.
22. Hountondji H.Y.C., 2008 - Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, 153 p. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*

ISSN: 2509-0119.

23. ISTEEBU. (2008b). Recensement général de la population et de l'habitat du Burundi 2008 - Synthèse des résultats définitifs. Bujumbura, 24p.
24. ISTEEBU. (2013). Rapport des projections démographiques du Burundi 2008-2030. Bujumbura, 91p.
25. James, W. Q. (2001). Band Combinations
26. Janbon F., LETOURNEUX F., TUTENUIT C., SILVAIN J.F., Bruno D., CHEPTOU P., PRÉVOT A.C., MAUGUIN P., CAQUE T., L. ABBADIE, A. BOUGRAIN-DUBOURG, WEHRLING Y., PAVEL I., VANSTON S., P.DUBREUIL(2020). La biodiversité, entre urgences et complexité. Responsabilité & environnement n°100. annales des mines
27. KABANYEGEYE H. , Y. USENI SIKUZANI, K.R. SAMBIENI , T. MASHARABU, F.HAVYARIMANA et J.BOGAERT.2021. Trente-trois ans de dynamique spatiale de l'occupation du sol de la ville de Bujumbura, République du Burundi. Afrique SCIENCE 18(1) (2021) 203 - 215 203. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
28. Kawtar F. B., Mohammed I., Sanae F. B., Abdellatif T. (2004). Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc
Lagune Gbaga (Afrique de l'Ouest)
29. Laugier Robert, « L'étalement urbain en France. Synthèse documentaire », Centre de Ressources Documentaires Aménagement
30. MEARNS et LEACH, the lie of land international African Institute J. currey in Echos du costa, (1995)
Logement Nature, 2012, 21p.
31. MACABA A.B.2015.l'apport des outils géomatiques dans l'analyse de l'extension des aires urbaines de Maputo et de ses problèmes environnementaux. UNIVERSITE DE PARIS VIII SAINT-DENIS LADYSS UMR 7533
32. Madjiadingar, Evaluation de l'impact de la culture du coton sur la végétation au sud du Tchad: cas du canton de Béti. Mémoire de DEA, Université de N'Gaoundéré, Cameroun, 75 p, 2005.
33. Madjiadingar. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol et du couvert végétal des parcs arborés du Département de la Nya, Sud du Tchad. 2015

34. Madjigoto R., B. Ouya, J. Libar, D. Djim-Assal, A. Kemsol, A. Denenodji, Dégénération des massifs forestiers du Logone oriental: enjeux et perspectives: Quelles stratégies pour une conservation durable, Territoires, Sociétés et Environnement des Presses Universitaires de Zinder, vol 5, pp. 1859-5103, 2015.
35. Mahougnon Fidèle A., AMOUSSOU E., ALLAGBE Bienvenu B.S., Yémalin VISSIN. 2020. Dynamique Spatio-Temporelle de l'Occupation des Berges de la
36. MARADAN D., B. OUEDRAOGO, N. THIOMBIANO, T. THIOMBIANO, K. ZEIN Analyse économique du secteur des mines liens pauvreté et environnement. sba-Ecosys-CEDRES. Rapport MECV Burkina Faso, (2011) 69 p.
37. MASSIAH, G., (2000), " Le débat international sur la ville et le logement après Habitat II ", La ville et l'urbain, l'état des savoirs (dir. Paquot, Th., Lussault M., Body-Gendrot S.), La Découverte, Paris, p. 349-358.
38. MBALLO I. et Oumar S. 2020. Spatio-temporal dynamics of secondary cities in Senegal, Cases of Medina Gounass and Diaobe in Upper Casamance from 1965 to 2018. African Journal of Land Policy and Geospatial Sciences.
39. Mesle, F. ; Toulemon, L. et J. Veron (2011) Dictionnaire de démographie et des sciences de la population, Armand Colin, Paris.
40. MEA (Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement) Place de la gestion durable des terres au Mali, (2007)
41. MEEATU, 2014. analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. p.106
42. Mostafia B., Anisoara A.I., Abdoukadi O.T., Maamar M., Mohamed R., Zahra S., et Abderrahmane H. Study of Soil water erosion risk in the region of Tlemcen, Algeria. Geo-Eco-Trop., 44, 4: 595-607
43. Muller S. , Rhazi L., Saber E., Rifai N., Daoud-Bouattour A., Bottollier Curtet, M., ... Ghrabi-Gammar Z., 2011 - Peat mosses (Sphagnum) and related plant communities of North Africa: II The Tingitanean Rifan range (northern Morocco). Nova Hedwigia, 93: 335 - 352.
44. Ndayikengurukiye M. et Tychon B., 2017. Apport De La Télédétection Dans Le Suivi De La Dynamique Des Aires Protégées : Cas du parc national de la Kibira". Université de Liège, Faculté des Sciences (<https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/3337>).

45. NDIAYE A. et NDIAYE P. (2013). Changement climatique, dégradation environnementale et quête d'utilisation des ressources naturelles. Occasional Paper No. 21, 2013
46. Nguimalet C. 2007. « Population et croissance spatiale : diagnostic et implications pour une gestion urbaine de Bangui (République centrafricaine) », 18p.
47. Nicolas Maestriperier. Dynamiques spatio-temporelles des plantations forestières industrielles dans le sud chilien : de l'analyse diachronique à la modélisation prospective. Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2012. Français. ffNNT : 2012TOU20137ff. fftel-00794688v2
48. Noômène FEHRI et Yadh ZAHAR.2016, « Étude de l'impact de l'extension et de la densification du tissu urbain sur les coefficients de ruissellement dans le bassin versant des oueds El-Ghrich et El-Greb (Tunis) par l'application de la méthode SCS aux évènements de septembre 2003 », *Physio-Géo*, Volume 10 | -1, 61-79.
49. Pinson D. Dégradation environnementale mondiale et insalubrité localisée : quel rapport et quel mode de résolution ?. 100 ans d'Urbanisme et d'Urbanité au Maroc. Bilan et Perspectives, Université Hassan II, Mohamedia, Apr 2001, Casablanca, Maroc. halshs-01567289
50. PFNPRGC/Burundi. (2014). Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura. Bujumbura, 94p.
51. Pourtier R., 2005, L'environnement en Afrique : nature, sociétés et développement. Colloques et activités de formation. Cours de Cassation, Paris. http://www.courdecassation.fr/colloques_activites_formation_4/2005_2033/intervention_m._pourtier_8128.html [Visité le 1er septembre 2021].
52. République du Burundi & PNUD. (2014). Bujumbura 2045 - Plan directeur novateur pour guider le développement futur de la capitale du Burundi. Bujumbura, 91p.
53. République du Burundi. (2012). Code de l'eau du Burundi. Burundi, 54p.
54. République du Burundi. (2013). Code minier du Burundi. Burundi, 44p
55. Sala O. E., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L. F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N. L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. & Wall D.H., 2000 – Biodiversity Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Sciences*, 287 : 1770-1774.

56. Tabutin, D. et E. Thiltgès (1992), «Relations entre croissance démographique et environnement», Tiers Monde, vol. 33 (130), 273-294.
57. Temgoua, L. F., Allaissem, B., Tchamba M., Saradoum, G., Osée, M.M., Caroline, M. & Solefack, M., 2018 - Spatio-Temporal Dynamic of Land Use and Land Cover in the Classified Forest of DjoliKera, South-Eastern, Chad. Journal of Forestry, 14(4):181-191.
58. TOYI O., Crises de la démocratisation et politiques publiques urbaines de l'habitat dans la ville de Bujumbura de 1962 à 2009, Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour (France), (2012) 430 p.
59. Wezel A., and Lykke A.M.. Woody vegetation change in Sahelian West Africa :Evidence from local knowledge. Environment, Development and sustainability 8,553-567 (2004)
60. Zoungrana B. J-B., Conrad C., Thiel M., Amekudzi L.K. & Dapola Da E., 2018 - MODIS NDVI trends and fractional land cover change for improved assessments of vegetation degradation in Burkina Faso, West Africa. Journal of Arid Environments, 153: 66 - 75.

Sites Web

1. Le priurbain en France, [en ligne],
<http://www2.urbanisme.equipement.gouv.fr/cdu/accueil/bibliographies/periurb/periurb1.htm> (Consulté le 21/ 2021).
2. <https://fr.climate-data.org/afrique/burundi/bujumbura-mairie/bujumbura-1073/#climate-graph>(Consulté le 10/10/2021).
3. <https://www.climatewatchdata.org/> (Consulté le 15/10/2021)