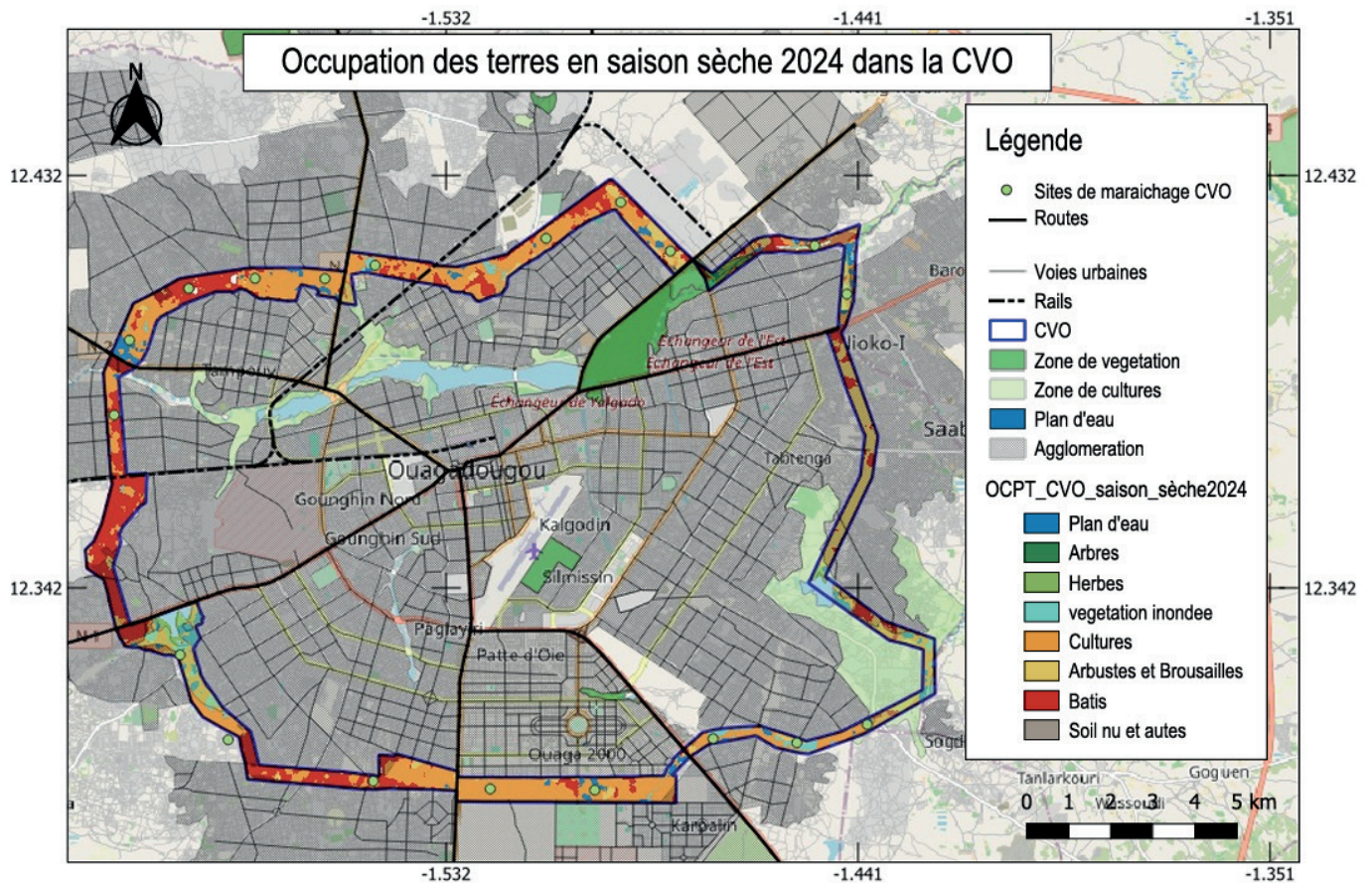


ETUDE DE CARTOGRAPHIE DE LA CEINTURE VERTE DE OUAGADOUGOU



Cette publication a été réalisée sous la coordination de:



Realisé par :

Missa HIE, *Ingénieur du Génie Rural, Expert en Hydraulique, Irrigation, Gestion des Ressources Naturelles, Télédétection et Cartographie*

Supervisé par :

Elsa ROSA, *Cheffe de Projet ACRA*

Flavio BOFFI, *Cordonateur Pays ACRA Burkina Faso*

Valeria De Paoli, *Expert en changement climatique et écologie ACRA*

Table des matières

Liste des tableaux.....	ii
Liste des cartes et figures.....	iii
1 GENERALITES	1
1.1 Contexte	1
1.2 Rappel des objectifs et résultats de la mission.....	1
2 APPROCHE METHODOLOGIQUE	2
2.1 Données à collecter	2
2.2 Matériels, outils et logiciels	2
2.3 Méthodes de collecte	3
2.3.1 Recherche documentaire.....	3
2.3.2 Travaux de terrain.....	3
2.4 Traitement des données.....	4
2.4.1 Détermination du taux d'évolution de l'occupation du sol	4
2.4.2 Traitement des données	4
2.4.3 La production des cartes thématiques	6
3 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	8
3.1 Localisation de la ceinture verte de Ouagadougou	8
3.2 Brève historique sur la ceinture verte	8
4 SYNTHÈSE, ANALYSE et Exploitation DES INFORMATIONS DE COLLECTÉES	9
4.1 La consistance des données collectées	9
4.2 Analyse des informations collectées	10
5 Détermination de la configuration de la ceinture verte.....	10
6 La base de données spatiales	13
7 LES CARTES THEMATIQUES.....	13
7.1 Cartographie de l'occupation du sol	13
7.2 Détection des changements	17
7.2.1 En saison humide 2023	17
7.2.2 En saison sèche 2023-2024 (au 25 Mars 2024).....	18
8 BREF APERÇU SUR L'ÉVOLUTION de l'OCCUPATION DES TERRES DANS LA CVO DE 2016 A 2024.....	19
CONCLUSION.....	20
References	21



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats de l'analyse statistique	17
Tableau 2 : Evolution du taux d'occupation des sols	19

LISTE DES CARTES ET FIGURES

Carte 1 : Localisation de la ceinture verte de Ouagadougou	8
Carte 2 : Processus de géoréférencement	11
Carte 3 : Résultat du géoréférencement et de la numérisation(digitalisation)	12
Carte 4 : Cartes d'occupation des terres de la zone d'étude.....	14
Carte 5 : Cartes thématiques d'occupation des terres de la Ceinture verte de Ouagadougou.....	16
Figure 1 : Occupation des terres en saison humide 2023 (histogramme)	17
Figure 2 : Occupation des terres en saison humide 2023 (diagramme circulaire).....	18
Figure 3 : Occupation des terres en saison sèche 2023-2024 (histogramme).....	18
Figure 4 : Occupation des terres en saison sèche 2023-2024 (diagramme circulaire)	19

1 GENERALITES

1.1 CONTEXTE

ACRA est une ONG internationale (fondée à Milan, Italie en 1968) avec plus de 5 décennies d'expérience dans la mise en œuvre de projets de développement durable. Elle travaille dans 13 Pays pour garantir l'accès à la souveraineté alimentaire, à l'eau, à l'éducation, à l'énergie. Elle travaille également pour la protection de l'environnement et pour soutenir la croissance inclusive et durable, en valorisant les talents locaux.

Le projet dans le cadre duquel l'étude de cartographie sera réalisée, est dénommé « Élaboration de politiques fondées sur des données probantes pour la promotion d'une approche EbA (Ecosystem-based Adaptation) dans le développement de la ceinture verte à Ouagadougou, Burkina Faso ».

Le projet, en partenariat avec la Mairie de Ouagadougou et l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), vise à augmenter la résilience de la municipalité de Ouagadougou aux effets du changement climatique par la promotion de l'approche d'adaptation basée sur les écosystèmes (EBA) dans la réhabilitation de la ceinture verte et contribuer à générer et diffuser une compréhension commune des risques et effets au changement climatique.

La stratégie du projet fondée sur trois axes, recherche, sensibilisation et formation et législation, entend intégrer l'approche EbA dans le programme de réhabilitation de la Ceinture verte en cours, conduisant à une adaptation cohérente et efficace aux risques élevés du changement climatique dans le contexte urbain de Ouagadougou d'ici 2023, à travers ses trois résultats : (i) **R1**. Élargissement des données probantes soutenant l'importance de l'approche d'adaptation basée.

sur les écosystèmes (EbA) pour améliorer la résilience au changement climatique à Ouagadougou ; (ii) **R2**. Sensibilisation et compréhension accrues du rôle essentiel de la ceinture verte pour protéger la vie, préserver le bien-être social et les atouts économiques de la population urbaine de Ouagadougou et réduire les risques liés aux événements climatiques extrêmes ; (iii) **R3**. Renforcement des capacités municipales pour l'intégration de l'approche EbA dans la planification et les politiques dans un contexte urbain.

La présente étude d'élaboration d'une cartographie de la ceinture verte de Ouagadougou, s'insère dans le premier résultat 1 (**R1**) et vise à identifier l'état actuel de la ceinture verte par rapport à son objectif de réduction de la vulnérabilité climatique de la ville et les origines et les impacts du changement climatique au niveau environnemental, social et économique.

C'est ainsi que dans le cadre de l'étude de cartographie de la ceinture verte de Ouagadougou, nous, HIE Missa, Consultant individuel avons été recruté pour la conduite de l'étude.

1.2 RAPPEL DES OBJECTIFS ET RESULTATS DE LA MISSION

L'objectif global de la mission du consultant est de **réaliser une étude de cartographie de la ceinture verte de Ouagadougou (CVO)** à travers **l'identification de l'état actuel de la ceinture verte par rapport à son objectif de réduction de la vulnérabilité climatique de la ville et les origines et les impacts du changement climatique a niveau environnemental, social et économique.**

De façon spécifique, il s'agira de :

- Collecter et analyser d'études sur la vulnérabilité au changement climatique et cartes existantes de la Ceinture verte ;

- Créer un dossier shapefile avec cartes thématiques en lien avec la vulnérabilité aux changements climatiques de la Ceinture Verte de Ouagadougou (points d'eau, infrastructures, routes, terres forestières, sites maraichères, habitat spontané etc.)
- Collecter de données terrain ;
- Vérifier et valider la base de données (Analyse, synthèse, validation des données)
- Concevoir les cartes thématiques.

Il est attendu au terme cette études les résultats ci-après :

- Un rapport de synthèse faisant ressortir : (i) la Méthodologie pour la réalisation de l'étude ; (ii) l'analyse des données collectées ; (iii) la cartographie de la ceinture verte de Ouagadougou avec cartes thématiques et leur analyse.
- Une base de données géographiques regroupant tous les fichiers (shapefile, tif, etc...)

2 APPROCHE METHODOLOGIQUE

La collecte des données quantitatives et qualitatives, le traitement et l'analyse des données collectées grâce aux méthodes, outils appropriés et l'analyse des résultats constituent les grandes lignes de la démarche méthodologique utilisée.

2.1 DONNEES A COLLECTER

Les types de données à collecter sont entre autres :

- des rapports d'étude et quelques cartes thématiques (raster) existants sur la CVO fournies mais non exclusivement, par le projet ;
- des données vectorielles (occupation des terres, géomorphologique, limite administrative et localités, infrastructures, etc...) constituant la BNDT (2018) de Institut Géographique du Burkina (IGB), et également « [OpenStreetMap](#) » ;
- les images satellites et Radar (ASTER) ainsi que les données de classification globales de l'occupation des terres ont été obtenues via le téléchargement sur internet : « [Google Earth Engine](#) » (GEE), « [Dynamic World](#) », et « [WaPOR](#) »(FAO) au format GEOTIFF avec des résolution variant de 10 à 100m voire 250 m.

2.2 MATERIELS, OUTILS ET LOGICIELS

Les matériels pour la collecte des données sont :

- un bloc note pour la prise de note
- un ordinateur pour le traitement des données et la rédaction du mémoire ;
- appareil photo pour la prise des vues, au besoin ;
- d'un GPS (Global Positioning System) Garmin 64S à 3 mètres de précision pour la prise des coordonnées géographiques ;

Les logiciels suivants ont été utilisés :

- [QGIS 3.34 LTR](#), [ArcGIS 10.8](#) ainsi qu'un programme informatique en langage « [python](#) » pour le traitement des images satellitaires, l'analyse des données et la réalisation des cartes ;
- Pack office principalement Word pour la saisie et Excel pour les tableaux et graphes ainsi que le traitements et analyses des résultats.

2.3 METHODES DE COLLECTE

Les méthodes de collecte des données utilisées se résument en la recherche documentaire et les travaux de terrain.

2.3.1 Recherche documentaire

La recherche documentaire est la première étape de la collecte des données. Elle consistera en la collecte et en l'exploitation des ouvrages ayant trait au sujet et au milieu d'étude. Cette recherche documentaire permettra de recenser, d'étudier et d'analyser la plupart des ouvrages scientifiques à savoir les rapports, les mémoires, les articles et les publications portant sur la ceinture verte (CVO) et en rapport avec la thématique traitée. Elle permettra également d'avoir des informations sur les approches de gestion de la CVO. Cette phase portera beaucoup sur les documents écrits ou graphiques liés au sujet, disponibles au niveau du projet et dans les différents services techniques notamment les mairies, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Économie Verte et du Changement Climatique du Centre, la Direction Générale de l'Urbanisme et des Travaux Fonciers, le Service Technique Municipale.

La recherche documentaire via internet permettra aussi d'avoir accès à une grande partie de la documentation.

Cette étape permettra de mieux situer le travail par rapport aux études et travaux qui ont porté sur la CVO et servira également de base pour l'obtention des données sur les facteurs physiques et démographiques du secteur d'étude. Cette documentation aidera à la compréhension de certains concepts, théories et approches d'étude développés par d'autres auteurs sur les questions abordées dans cette étude. Les informations collectées par la documentation seront complétées par des investigations en milieu réel.

2.3.2 Travaux de terrain

Les enquêtes de terrain constituent la seconde phase de la collecte des données. Elles permettront de collecter des informations en milieu réel et de faire des illustrations des faits liés principalement à la configuration et à l'occupation de la CVO.

Les méthodes de collecte des données sont diverses et cela en fonction des parties de la zone d'étude, des acteurs et du type d'information recherché. Ainsi nous aurons à effectuer :

- **Des observations directes** : Identification et constats faits sur le terrain entrant dans le cadre de la problématique traitée notamment les zones ciblées résultantes de la revue documentaire. Les observations directes à travers la visite des lieux, seront orientées vers la configuration et l'occupation du sol de la CVO. Elle permettra de collecter des informations notamment avec l'appareil photo et le GPS (images et coordonnées souhaitées).

Ces observations et visites de terrain permettront de voir la réalité sur le terrain, de confronter les pratiques et les données recueillies lors des phases précédentes pour procéder quelques fois à des corrections nécessaires.

- **Des entretiens** (dans la mesure du possible) : Ils s'adressent spécifiquement aux personnes ressources ayant une compétence sur la thématique traitée. Ainsi, les services comme la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Économie Verte et du Changement Climatique, le Service Technique Municipal ainsi que les riverains des zones visitées pourraient être approchés pour plus d'informations sur certaines questions.

Au total, les travaux en milieu réel permettront de mieux appréhender la configuration actuelle de la ceinture verte.

2.4 TRAITEMENT DES DONNEES

La méthode d'analyse qui sera utilisée varie d'un facteur à un autre en fonction de l'objectif visé.

2.4.1 Détermination du taux d'évolution de l'occupation du sol

Les données obtenues de l'interprétation de chaque image (Landsat 8 ou Sentinel 2) sur plusieurs années ou périodes seront analysées et comparées. Ainsi, pour chaque unité d'occupation du sol, le taux d'évolution annuel est calculé selon la formule de l'équation (Gbombélé S. et al, 2014)

$$T_{\text{annuel}} = \frac{(V_{\text{periode2}} - V_{\text{periode1}})}{100 * P}$$

Où V_{periode1} représente la valeur de la statistique de la strate i en période 1, V_{periode2} la valeur des statistiques de la strate i en période 2 et P est la durée de la période d'observation entre période 2 et période 1 (période 2 > période 1) qui est de X ans. Cette formule permet de faire une analyse diachronique de la dynamique d'occupation des sols sur la zone étudiée.

2.4.2 Traitement des données

2.4.2.1 Numérisation et constitution de la base de données SIG

À défaut de fichiers shapefiles complets de la CVO et afin de déterminer la configuration de la CVO, un travail de géoréférencement dans le même système de référence que les données vectrices existantes et de digitalisation (Numérisation) sera réalisé sur la base des cartes existantes collectées.

Des outils avancés de géoréférencement et de digitalisation à l'aide de l'intelligence artificielle inclus dans les logiciels ArcGIS et QGIS seront exploités pour plus de précision afin d'obtenir une configuration optimale de la CVO se rapprochant au mieux de celle d'origine en termes de superficie notamment de **2100 ha**. Les données satellitaires, associées aux plans de lotissement de Ouagadougou et la BNDT seront exploités à cet effet afin de définir avec plus d'exactitude, les limites de la ceinture verte. Une attention particulière sera portée sur les zones suivantes : (i) les limite Est de la CVO, (ii) au niveau des croisements entre la CVO et les Routes Nationales, (iii) l'intersection entre la CVO et le parc Bangr-wéogo.

Une transformation des données des cartes (raster) dans un format accepté par l'ordinateur sera faite à l'aide du processus de numérisation des divers éléments : CVO, plan d'eau, zones de culture, zones dénudées etc.

Notons que toutes ces classes d'entités seront créées et affichées dans l'environnement QGIS et ArcGIS à l'aide des outils : **Georeferencer**, **Bunting Labs AI Vectorizer** (*Intelligent autocomplete for vectorizing raster maps*) et **Advanced Digitizer** pour permettre leur édition.

2.4.2.2 Les images Satellites

2.4.2.2.1 Composition colorée et choix des bandes

La réalisation d'une composition colorée consiste à affecter à chacune des trois couleurs primaires (le rouge, le vert et le bleu) trois bandes spectrales d'un capteur satellite. Par synthèse additive, toutes les couleurs peuvent être reconstituées. Selon les besoins, il existe des compositions vraies couleurs (représentant les couleurs réelles sur le terrain) et fausses couleurs. Dans notre cas c'est la composition fausse couleur qui sera réalisée sur la base des bandes 5-3-2. pour les images Landsat et 8-3-2 pour les images Sentinel 2. Le

Choix de ces bandes réside en leur forte réflectance dans le **proche infra-rouge (PIR)**, le **rouge et le vert** permettant de mieux discriminer la végétation et les champs de cultures. L'image résultante correspond donc exactement à ce qu'un observateur pourrait observer s'il se trouvait à bord du satellite.

2.4.2.2 Amélioration de contraste de l'image

Le rehaussement d'image est un terme global utilisé pour décrire le processus appliqué aux données images en vue d'améliorer la qualité graphique et par conséquent permettre une bonne interprétation de l'image. Il implique des techniques pour augmenter la discrimination visuelle des objets ou éléments de paysage dans une scène. On distingue deux grands groupes de rehaussement : global ou spatial (linéaire et égalisation de l'histogramme) qui est utilisé dans notre étude, et locale (filtrage).

Une observation de l'histogramme brut sera faite, ce qui aura pour bénéfice de repérer les valeurs minimales et maximales présentées par cette image. La méthode « égalisation de l'histogramme » consistera donc à ramener automatiquement la valeur minimale à 0 et porter la valeur maximale à 255, ce qui offrira une image nette facile à interpréter.

2.4.2.3 Échantillonnage

Le but de cette opération est d'obtenir un échantillon de données spectrales pour Chaque classe.

Les parcelles ou point d'entraînement consistent en de petites portions de l'image délimitées par l'utilisateur. En outre on peut choisir plusieurs parcelles pour chaque classe. L'ordinateur calcul diverses statistiques sur la base des pixels présents dans la ou les parcelles d'entraînements caractéristiques de chaque classe. Ces caractéristiques sont calculées simultanément sur tous les canaux souhaités par l'utilisateur. Sur la base de la segmentation et du résultat de l'interprétation de l'image qui font ressortir la végétation, les plans d'eau, les zones bâties, les champs et jachères comme classes visibles sur l'image, l'échantillonnage est fait sur toute l'ensemble de l'image. Elle servira d'entrée pour interpoler sur toute la zone d'étude.

2.4.2.4 Classification supervisée

Une fois que la sélection des parcelles d'entraînement est terminée, il est important d'avoir une répartition des classes sur l'ensemble de l'image. Cette procédure se base sur une méthode de classification généralement algorithmique : (le Maximum de vraisemblance). Cette image résultante sera ensuite vectorisée et exporter en vecteur pour les analyses diachroniques et spatiales dans un SIG ou programme.

La classification consiste à extraire de l'image des classes thématiques : sols nus, végétation, bâti, plans d'eau, etc. La classification supervisée est une méthode subjective basée sur l'assignation des pixels à des classes thématiques définies et reconnues par l'analyste à partir de la connaissance de terrain. Cette méthode de classification sera utilisée dans la présente étude pour analyser les changements de l'occupation du sol dans la CVO.

Avec la boîte à outil (Pugin) « **Semi-Automatic Classification Pluggin** » (SCP) du logiciel QGIS ainsi que le package python « [geemap](#) » la classification supervisée se déroule en quatre phases principales notamment :

- La définition de la légende des Regions Of Interest (ROI) ; les ROI permettent de séparer et de décrire les différentes unités d'occupation du sol.
- La sélection des échantillons de parcelles ou points d'entraînement (ou régions) ;
- La description et renseignement des différentes classes ;
- Le choix et l'application de l'algorithme de classification supervisée.

L'algorithme de classification est choisi pour assigner chaque pixel à une classe en comparant ses valeurs spectrales avec les statistiques des signatures développées pour toutes les classes. Nous utiliserons l'algorithme « Maximum likelihood » ou maximum de vraisemblance qui a l'avantage d'être une méthode probabiliste. Il permet de classer les pixels inconnus en calculant pour chaque classe la probabilité pour que le pixel tombe dans la classe ayant la plus forte probabilité.

2.4.2.2.5 Opérations de post classification

Pour valider les résultats obtenus de la classification, la matrice d'erreurs ou matrice de confusion sera générée afin de dégager la proportion des thèmes bien classés. Ainsi les erreurs d'omission et les erreurs de commission seront calculées. Afin de bien mener l'analyse dans un environnement SIG ou programme, nous convertirons les résultats de la classification en des entités vecteurs (points, lignes et polygones). Les résultats obtenus, sous forme de Shapefile, pourront donc être exportés. À ce niveau, les superficies des différentes unités seront calculées et les cartes d'occupation du sol ainsi que les diagrammes seront réalisées. La matrice de confusion est un tableau à double entrées appelé couramment matrice de contingence (**Toko, 2014**). C'est un outil statistique permettant de détecter les confusions entre les classes à partir d'une vérité terrain.

2.4.2.2.6 Vectorisation

La vectorisation consiste à partir du format raster des images traitées convertis en un format vecteur afin de faciliter l'édition cartographique des différentes images classifiées. Ainsi toutes les images classifiées seront exportées en format Shp (Shape file) afin de faciliter l'habillage des cartes d'occupation des sols sous le logiciel QGIS.

2.4.3 La production des cartes thématiques

Pour élaborer les cartes thématiques de la CVO, divers types de traitement seront nécessaires avec plusieurs logiciels et programme informatique. QGIS 3.34 LTR, ArcGIS 10.8 et le programme conçu en langage « [python](#) » sur la base du package « [geemap](#) » serviront au prétraitement et au traitement des images satellitaires et autres analyses.

La configuration optimale de la CVO obtenue sera ainsi utilisée pour la production des cartes thématiques qui feront ressortir sur deux périodes (saison sèche et humide), les différents types d'occupation des terres notamment : points/étendues d'eau, infrastructures, routes, terres forestières, sites maraichères, habitats spontanés, bâti, etc.

Des approches comme notamment la classification supervisée d'images satellitaires (Sentinel 2 ou Landsat) et l'utilisation des données WaPOR de la FAO seront également utilisées pour produire les cartes d'occupation des terres afin d'avoir un éventail de choix en termes de précision. Cependant, bien que relativement précises (WaPOR, résolution 30-250m, et Sentinel 2 ou Landsat, résolution 10-90m), certaines de ces données (WaPOR) n'ont pas une couverture globale. Aussi, la classification supervisée d'images satellitaires (Sentinel 2 ou Landsat 8) se montre fastidieuse et prendra plus de temps avec les logiciels classiques (QGIS 3.34 LTR, ArcGIS 10.8) au regard du processus itératif qu'elle induit pour l'affinement des résultats qui restent relativement faibles comparativement aux données de la plateforme « [Dynamic World](#) ». Cette dernière (Dynamic World) constitue un ensemble de données mondial sur la couverture terrestre d'une résolution de 10 m en temps quasi réel, produisant des probabilités par pixel pour 9 types d'occupation de terres, très utile pour les produits de détection de changements et les cartes dérivées.

Ainsi, pour plus de précision d'optimisation et de réduction du temps de travail, le langage « Python » et les données de la plateforme « Dynamic World » sont les mieux.

Les couches rasters téléchargés sur la plateforme « Dynamic World » ainsi que les données de la BNDT et de « **OpenStreetMap** » seront ainsi découpés conformément au shapefile de la CVO obtenue précédemment pour produire les cartes thématiques.

L'approche méthodologique adoptée permettra d'une part, de constituer la base de données SIG de la CVO et d'autre part de produire les cartes thématiques y afférent.

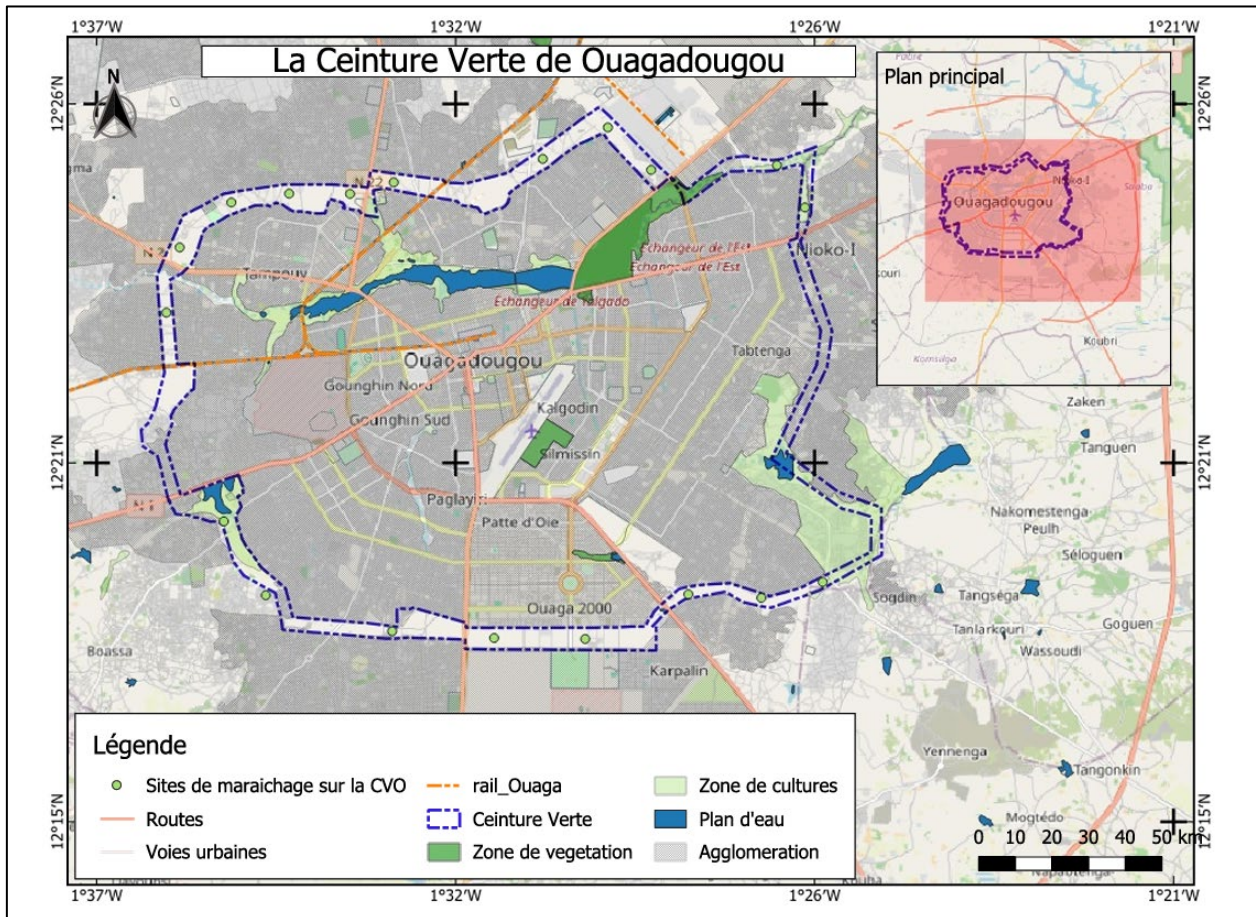
La présente méthodologie met l'accent sur la description des données à collecter, sur les méthodes de collecte, d'analyse statistique et de traitement des données. Les données collectées permettent de concevoir la configuration de la ceinture verte et de produire de cartes thématiques.

La démarche méthodologique utilisée a permis d'obtenir des résultats qui sont présentés dans les chapitres suivants.

3 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

3.1 LOCALISATION DE LA CEINTURE VERTE DE OUAGADOUGOU

Une Ceinture Verte est un espace, soumis au régime juridique des forêts, occupé par des formations végétales naturelles ou artificielles, situées à la périphérie des villes et poursuivant des objectifs de préservation de l'environnement, La Ceinture Verte de Ouagadougou dont la mise en œuvre a été initiée en 1974, se présente ainsi qu'il suit (**carte 1**).



Carte 1 : Localisation de la ceinture verte de Ouagadougou

3.2 BREVE HISTORIQUE SUR LA CEINTURE VERTE

Après la sécheresse des années 70 qui a frappé le Burkina Faso, des actions urgentes devaient être posées dans le but de réduire ses effets. L'un des conséquences majeures de ces grandes sécheresses est la désertification. Face à cette problématique le gouvernement burkinabé a mis en place un Programme National de Lutte Contre la Désertification (PNLD). Dans la mise en œuvre de ce programme il était prévu une plantation d'arbre autour de la ville de Ouagadougou, d'où l'appellation "ceinture verte". Ce projet, initié en 1974, verra sa mise en œuvre débutée en 1976 grâce à l'appui de la coopération Allemande. Les travaux ont été conduits par la direction de l'aménagement forestier et du reboisement (DAFR) du ministère des transports, de l'environnement et du tourisme (MTET). La mise en œuvre de la ceinture verte devait se faire sur une superficie d'environ 2 100 ha avec un rythme de plantation annuel de 100 ha. En 1986 la superficie reboisée était estimée à 1 032 ha environ 21km de long sur une bande de 500m.

Le projet sera interrompu en 1990 avec la fin du financement. La ceinture verte devrait remplir de multiples fonctions :

- Protéger la ville en diminuant l'influence des vents de poussière (Harmattan) ;
- Servir d'espaces de repos et de loisir qui limitent une croissance désordonnée de la ville ;
- Produire du bois tout en garantissant un peuplement permanent ;
- Atténuer l'érosion éolienne et hydraulique surtout vers les barrages, principaux impacts du changement climatique à Ouagadougou.

Pour des besoins d'aménagement, la ceinture verte a été divisée en neuf (9) districts dont les limites sont constituées par des routes nationales partant de Ouagadougou :

District I : partant de la route de Kaya (RN n°3) jusqu'à la route reliant la digue du barrage N°2 de Kamboinsé ;

District II : de la route reliant la digue du barrage N°2 de Kamboinsé jusqu'à la route de Kongoussi ;

District III : de la route de Kongoussi (RN n°22) jusqu'à la route de Ouahigouya ;

District IV : de la route de Ouahigouya (RN n°2) jusqu'au chemin de fer Ouaga-Bobo ;

District V : du chemin de fer Ouaga-Bobo (RN n°1) jusqu'à la route de Bobo ;

Pour végétaliser l'ensemble de la CVO, il était prévu de poursuivre le reboisement sur les quatre districts suivants :

District VI : de la route de Bobo jusqu'à la route de Léo ;

District VII : de la route de Léo (RN n°6) jusqu'à la route de Pô ;

District VIII : de la route de Pô (RN n°5) jusqu'à la route de Fada ;

District IX : de la route de Fada (RN n°4) jusqu'à la route de Kaya.

Cette partie de la ceinture verte n'a pas connu de finalisation.

Après la fin du programme en 1990, la Ceinture verte va commencer à se dégrader progressivement. Au début, on assistait à des coupes frauduleuses de bois de chauffe. Mais en 1998, prétextant que la ceinture verte était une source d'insécurité pour elle, la population riveraine a procédé à une coupe généralisée des arbres. Ce qui a constitué un facteur historique de dégradation de la CVO.

4 SYNTHÈSE, ANALYSE ET EXPLOITATION DES INFORMATIONS DE COLLECTÉES

4.1 LA CONSISTANCE DES DONNÉES COLLECTÉES

Comme indiqué dans la méthodologie notamment au niveau des données à collecter, les informations obtenues concernent essentiellement :

- les rapports d'étude et quelques cartes thématiques (raster) existants sur la CVO ;
- les données vectorielles (occupation des terres, Réseau hydrographique, Réseaux routiers , géomorphologique, limite administrative et localités, infrastructures, etc...) constituant la base nationale de données topographiques (BNDT de 2018) de l'Institut Géographique du Burkina (IGB) ;
- les images satellites et Radar (ASTER) ainsi que les données de classification globales de l'occupation des terres obtenues via téléchargement sur les sites de fourniture de données spatiales tels que : « [Google Earth Engine](#) » (GEE), et « [Dynamic World](#) », au format GEOTIFF avec des résolutions variant de 10 m à 30 m.

4.2 ANALYSE DES INFORMATIONS COLLECTEES

Conformément aux TDR et à la démarche méthodologique, l'analyse des données collectées a permis de dégager quelques approches notamment sur la détermination de la configuration de la CVO et la production des cartes thématiques.

Sur la configuration de la CVO, l'analyse et exploitation des rapports d'étude, cartes thématiques (raster) existants et les données vectorielles de la BNDT ont montré des insuffisances quant à la forme réelle de la CVO. Les données de la BNDT présentent la CVO, sans être exhaustives par endroits, sur ses limites Nord, Ouest et Sud mais pas sur ses limites Est. Certaines parties notamment : Est et Ouest sont totalement occupées par des habitats spontanés rendant difficile la détermination des limites à ces endroits. Aussi, les cartes thématiques existantes présentent quasiment toutes, à l'exception de quelques-unes, des configurations qui : (i) suivent les affluents du Massili et le long des 03 barrages de Ouagadougou, (ii) englobent le parc de Bangr-wéogo augmentant ainsi la superficie de la CVO à plus de 3000 ha comparativement à la superficie de 2100 ha sur laquelle devait se faire la mise en œuvre de la ceinture verte selon la note technique sur la situation de la ceinture verte de Ouagadougou de Février 2023.

Pour la production des cartes thématiques, les données issues des plateformes en ligne offrent différentes caractéristiques notamment sur la résolution, leur couverture, leur fréquence de production ainsi que leurs classes. La plupart sont produites à des fréquences annuelles ou pluriannuelles avec des résolutions de 10 à 30 m notamment : « ESA landCover » de l'Agence Spatiale Européenne et « ESRI landCover » résultant de la classification supervisée globale des images Sentinel 2. Les données de la plateforme « Dynamic World » sont meilleures en termes de fréquence de production (quasi-réelle) permettant ainsi d'acquérir des informations à date sur la couverture terrestre.

Au regard de ce qui précède, et avec l'optique de se rapprocher au mieux de la superficie d'origine avec une configuration et occupation raisonnable de la CVO, nous avons dégagé comme approche ce qui suit :

- Ne pas prendre en compte les prolongements des affluents ainsi que le parc de Bangr-wéogo ;
- Suivre au mieux les limites observables de la bande non occupée par superposition des couches exploitables (carte géoréférencée, carte de base et BNDT) ;
- Utiliser les données de la BNDT et de la plateforme « Dynamic World » pour produire les cartes thématiques.

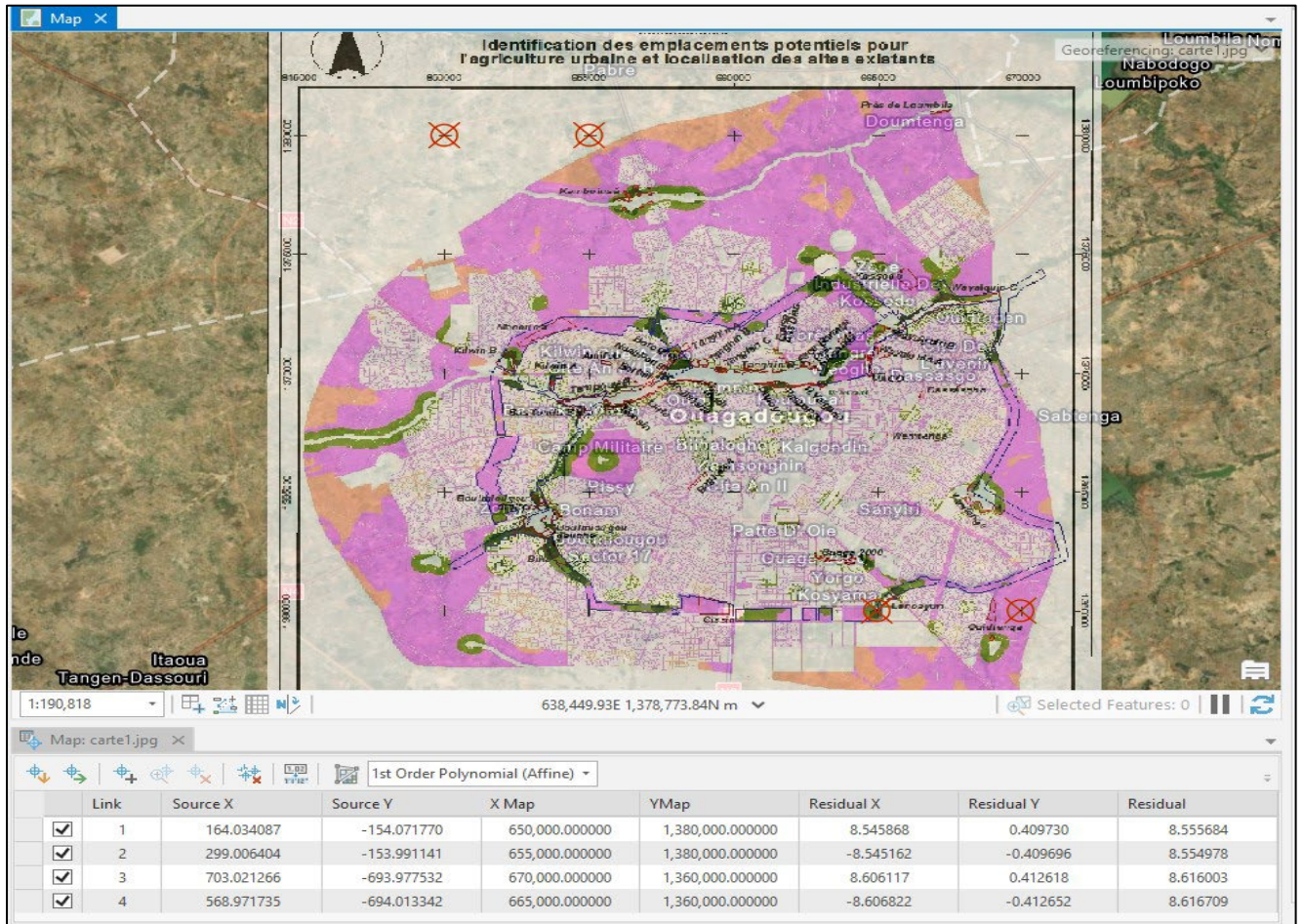
Ces approches nous ont permis d'une part de digitaliser la CVO et de produire d'autre part les cartes thématiques

5 DETERMINATION DE LA CONFIGURATION DE LA CEINTURE VERTE

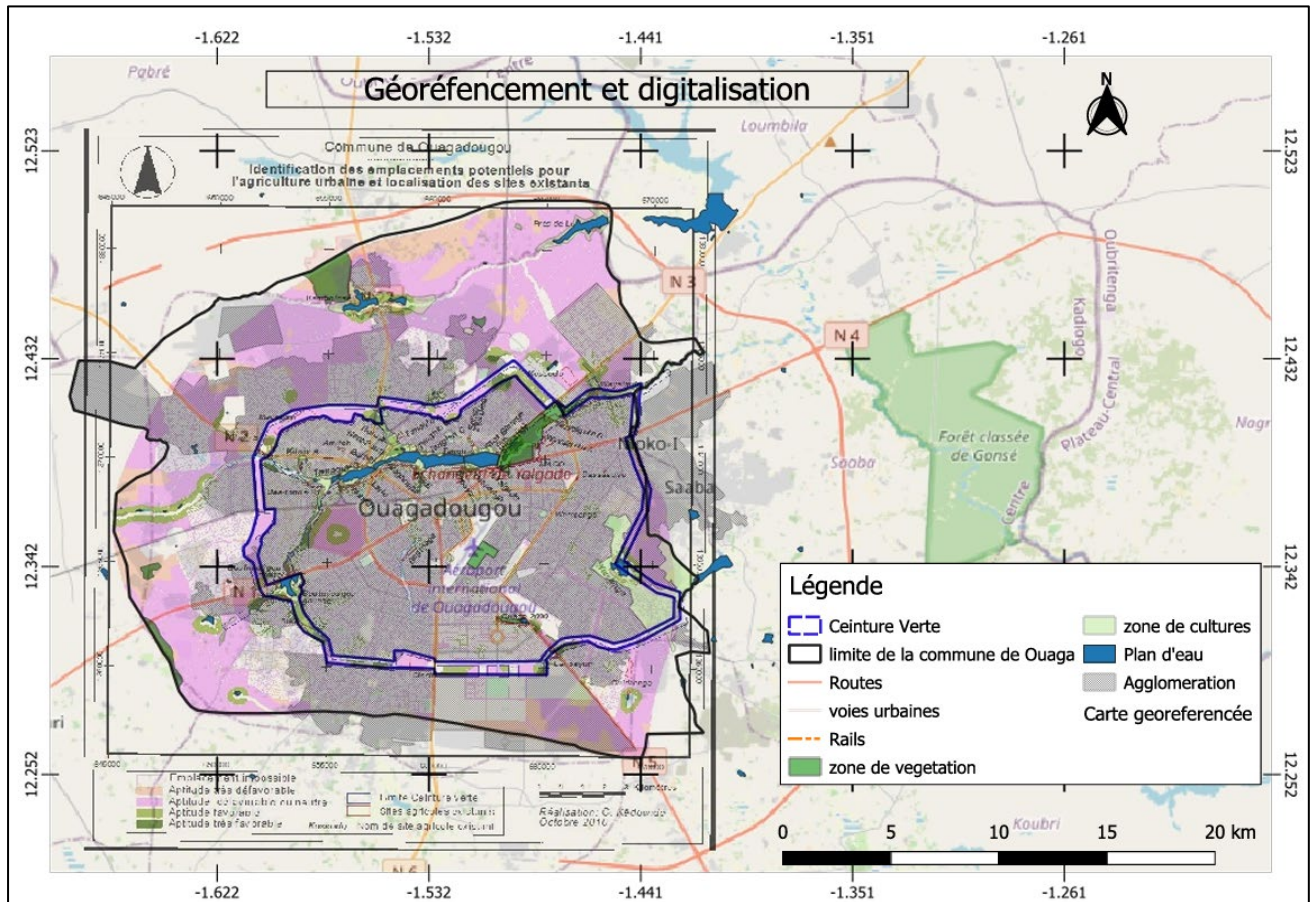
À la suite de l'analyse des informations et conformément à notre approche méthodologique, nous avons procédé au géoréférencement (**Carte 2**) de l'image offrant plus d'information notamment une grille de coordonnées facile à exploiter suivi de la numérisation (digitalisation) de la CVO en combinant et superposant les données rasters et vectorielles.

Le processus de géoréférencement à consister au calage ou à l'alignement de la carte aux coordonnées UTM coordonnées sur la carte) pour obtenir une superposition de points (4 croix rouges avec un cercles) avec une précision (résiduel) de l'ordre de 9 m environ. La carte fut ensuite projetée dans le système de coordonnées

WGS 1984 EPSG : 4326 pour la conformer au système de la BNDT puis à digitaliser la CVO visible sur la carte. Les résultats sont présentés ci-dessous :



Carte 2 : Processus de géoréférencement



Carte 3 : Résultat du géoréférencement et de la numérisation(digitalisation)

Il est à noter que la forme(limites) de la ceinture verte obtenue, suit plus ou moins les différentes configurations issues de l'analyse des données collectées. On obtient donc une superficie d'environ 2852 hectares bien supérieure à la superficie initiale de 2100 hectares visée. Cette superficie de 2852 hectares ne pouvant être affinée au-delà de cette valeur, reste cependant raisonnable car nous avons, lors de la numérisation, suivi au plus large, la limite des espaces non occupés que nous avons observée entre les différentes parties constituées des zones d'habitation de la ville excluant les prolongements des affluents ainsi que le parc de Bangr-wéogo et suivant au mieux les limites observables. L'on en déduit la bande initiale (500 m en moyenne) n'était que probablement pas aussi large que celle que nous avons considérée pendant la numérisation.

6 LA BASE DE DONNEES SPATIALES

Par définition, une base de données spatiales est une base de données optimisée pour stocker et interroger des données reliées à des objets référencés géographiquement, y compris des points, des lignes et des polygones. Dans notre cas, elle regroupera l'ensemble des données résultant du géoréférencement, de la numérisation et de la production des cartes thématiques. Notre base de données comprendra donc les éléments suivants :

- la forme (limites) actuelle de la ceinture verte
- les différentes classes d'occupation des sols
- les cartes d'occupation des sols téléchargées
- les limites de la commune de Ouagadougou
- le réseau hydrographique de la commune
- le réseau routier et ferroviaire
- etc...

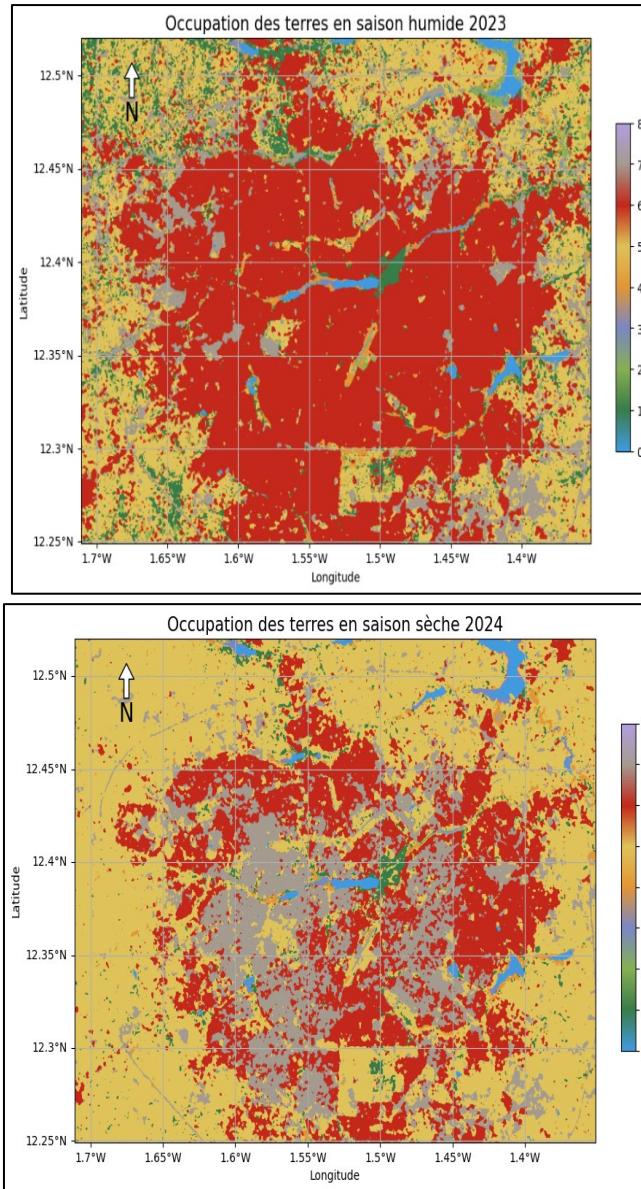
La base de données sera fournie sous forme d'un dossier contenant les différents éléments suscités.

7 LES CARTES THEMATIQUES

7.1 CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

La production des cartes thématiques s'est essentiellement focalisée sur la mise en exergue des différents types d'occupation des terres dans la CVO entre 2023 (saison humide de 01/05/2023 au 31/10/2023) et 2024 (saison sèche de 01/11/2023 au 25/03/2024). que nous considérons la saison la plus représentative de la situation actuelle de la CVO. Les cartes obtenues sur ces plages de dates (périodes) constituent des composites globaux d'images sur la période (**Brown, 2022**) et décrivent au mieux la situation générale contrairement aux images à des dates spécifiques qui présentent plutôt une situation ponctuelle qui pourraient être, dans notre cas, non représentative de la zone par rapport aux phénomènes qui pourraient s'y dérouler.

À la suite de la détermination de la forme optimale de la CVO, les données BNDT, les images classifiées au format GEOTIFF ont été téléchargées, traitées et découpées suivant la forme de la CVO à l'aide de notre programme conçu en langage python et les logiciels QGIS et ArcGIS. Cela a permis la réalisation des cartes d'occupation des sols mettant en relief, la végétation, les sols nus, les eaux et les lieux habités sur la base des réalités observées sur le terrain et sur les images satellites par rapport à la localisation de certaines unités paysagères.

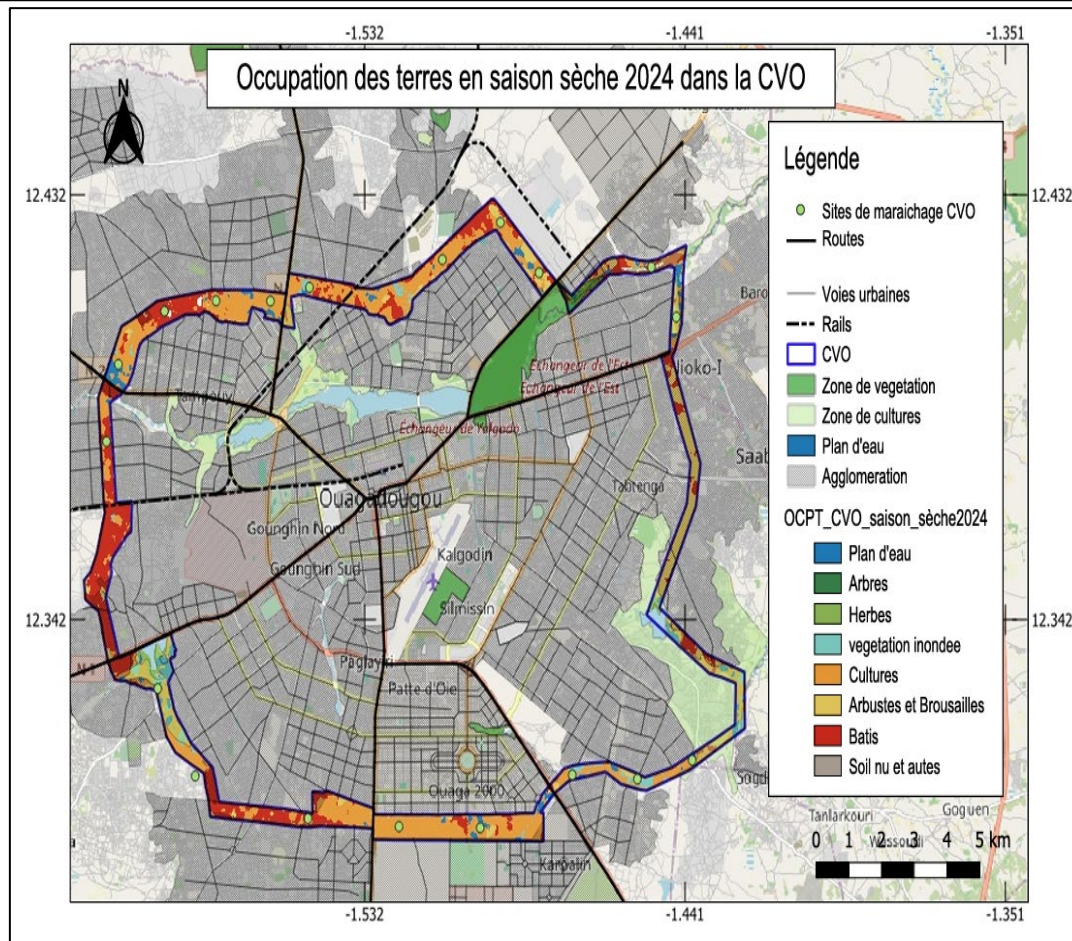
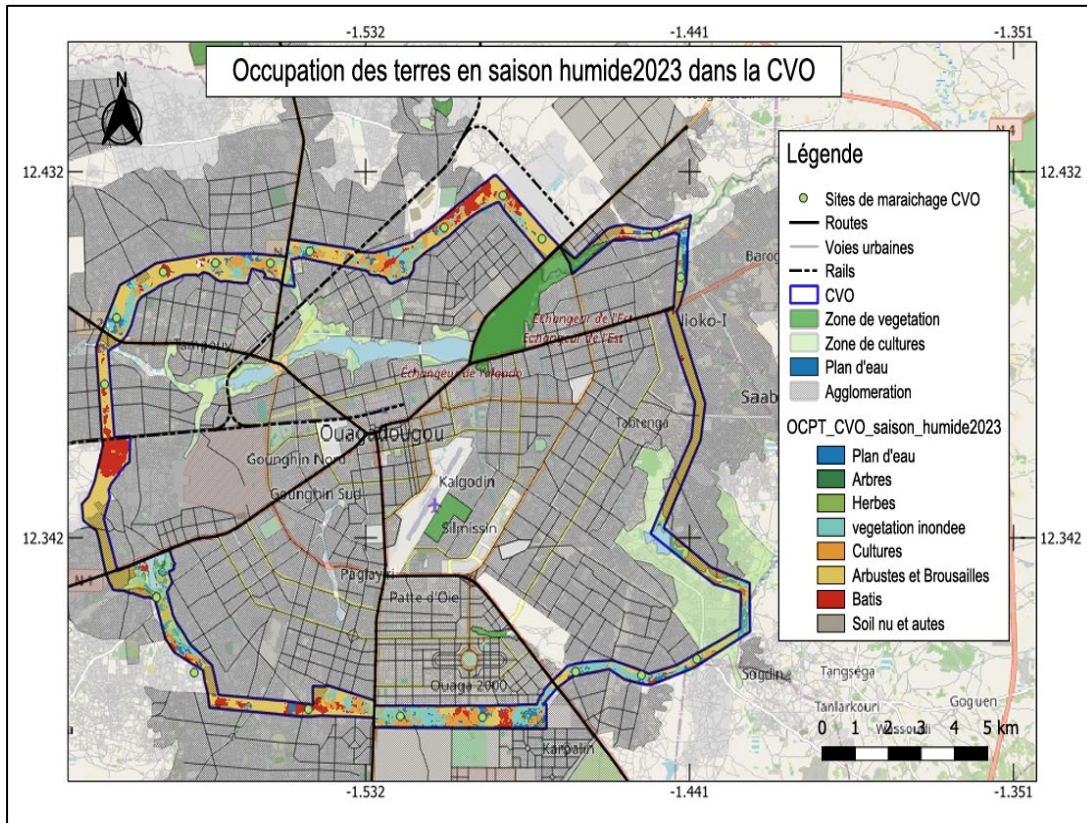


Légende : 0 : Eau, 1 : Arbres, 2 : Herbes, 3 : Végétation inondée, 4 : Cultures, 5 : Arbuste et Broussailles, 6 : Zone Bâtie, 7 : Sol nu

Carte 4 : Cartes d'occupation des terres de la zone d'étude

Descriptif de la légende

Étiquette	Type d'occupation du sol	Couleur	Description
0	Eau	#419bdf	Plans et cours d'eau permanents et saisonniers, lacs
1	Arbres	#397d49	Forêts primaires et secondaires, ainsi que les plantations à grande échelle
2	Herbes	#88b053	Prairies naturelles, pâturages pour le bétail et parcs
3	Végétation inondée	#7a87c6	Mangroves et autres écosystèmes inondés
4	Cultures	#e49635	Inclut les cultures en rangs et les cultures de riz
5	Arbustes et Broussailles	#dfc35a	Végétation ouverte clairsemée à dense composée d'arbustes
6	Zone bâtie	#c4281b	Bâtiments, routes et espaces urbains ouverts à faible et haute densité
7	Sol nu	#a59b8f	Déserts et roches exposés



Carte 5 : Cartes thématiques d'occupation des terres de la Ceinture verte de Ouagadougou

7.2 DETECTION DES

CHANGEMENTS

Les différentes images classifiées présentent l'occupation du sol à différentes périodes. L'analyse des statistiques de chaque image permet ainsi de détecter les changements au cours de la saison humide de l'année 2023 et la saison sèche 2023-2024. L'analyse statistique de ces cartes fournissent les résultats ci-après pour chaque thème constituant l'occupation de terres dans la CVO.

Tableau 1 : Résultats de l'analyse statistique

Types d'occupation	Saison humide 2023		Saison sèche 2023-2024	
	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
Plan d'eau	93.65	3.28	55.79	1.96
Arbres	191.60	6.72	157.81	5.53
Herbes	23.54	0.83	0.04	0
Végétation inondée	3.93	0.14	29.25	1.03
Cultures	458.83	16.09	96.25	3.38
Arbustes et Broussailles	340.21	11.93	1292.27	45.32
Bâtis	1430.92	50.18	390.16	13.68
Sol nu	309.05	10.84	830.16	29.11
Total	2851.73		2851.73	

D'une manière générale, le tableau présente une régression de l'occupation des terres hormis les sols nus, les arbustes et broussailles qui s'accroissent en termes de superficie pour remplacer une partie des zones de cultures en saison sèche. Cette évolution pourrait être due au retrait des abris temporaires mis en place par des populations pour passer la saison hivernale et dont la plupart disparaît en saison sèche.

Les graphiques ci-après présentent les proportions des différentes occupations du sol de la CVO en termes de superficies.

7.2.1 En saison humide 2023



Figure 1 : Occupation des terres en saison humide 2023 (histogramme)



Figure 2 : Occupation des terres en saison humide 2023 (diagramme circulaire)

7.2.2 En saison sèche 2023-2024 (au 25 Mars 2024)

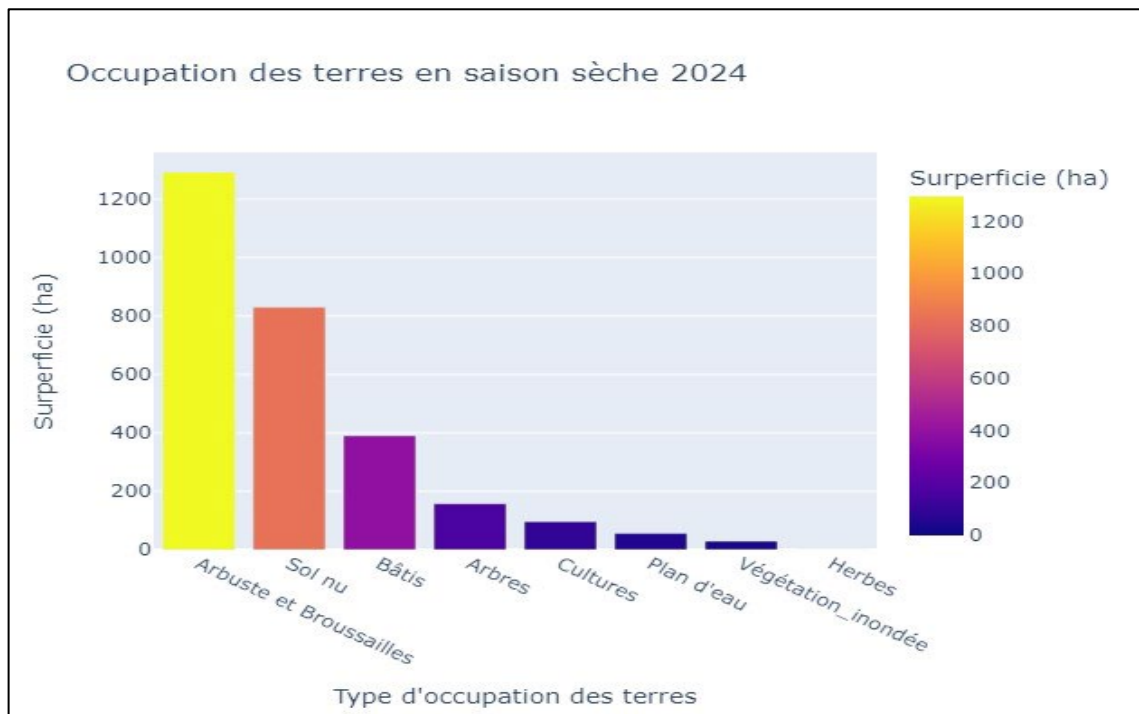


Figure 3 : Occupation des terres en saison sèche 2023-2024 (histogramme)

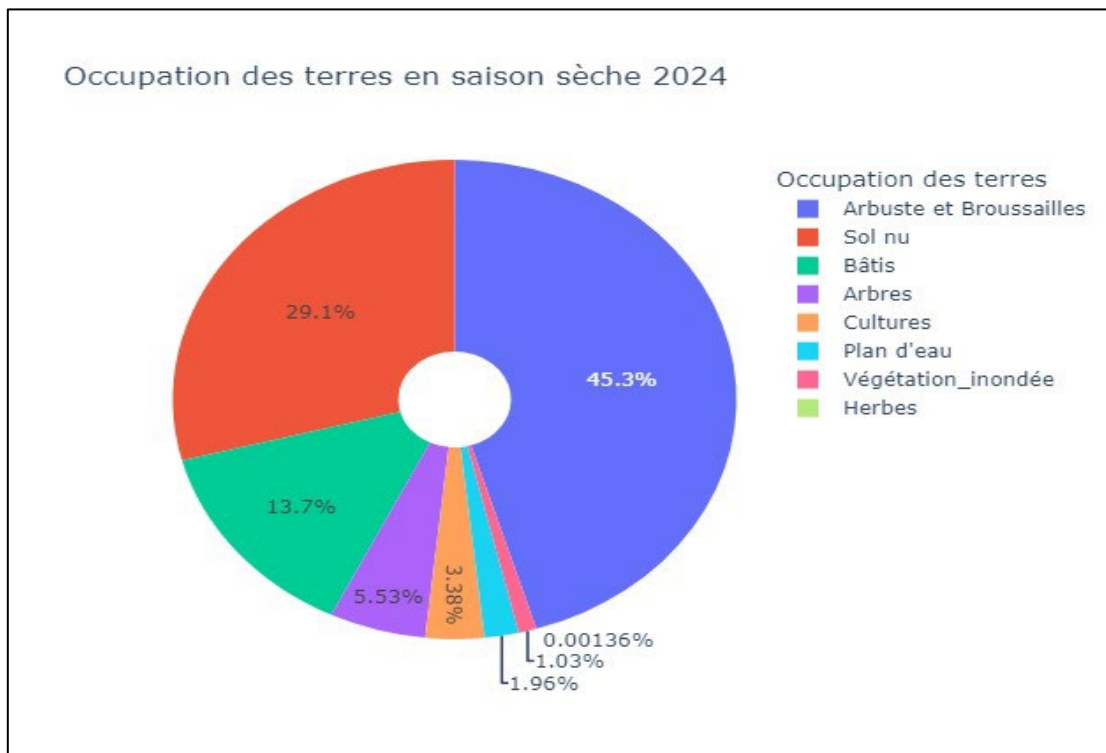


Figure 4 : Occupation des terres en saison sèche 2023-2024 (diagramme circulaire)

8 BREF APERCU SUR L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES TERRES DANS LA CVO DE 2016 A 2024

L'analyse de la dynamique qui est définie comme l'évolution d'un phénomène entre une date de départ bien précise et une date d'arrivée bien déterminée de la ceinture verte va consister à déterminer l'évolution de cette portion spatiale de la ville de Ouagadougou. entre 2016 et 2024 en saison sèche 2024(01/11/2023 au 25/03/2024) et 2016(01/11/2015 au 31/04/2016) soit 8 ans, afin d'observer tous les différents thèmes.

Tableau 2 : Evolution du taux d'occupation des sols

Type d'occupation	Saison sèche 2016		Saison sèche 2024		Evolution (%)
	Superficie (ha)	Percentage (%)	Superficie (ha)	Percentage (%)	
Plan d'eau	42.02	1.47	55.79	1.96	1.72
Arbres	60.60	2.12	157.81	5.53	12.15
Herbes	16.20	0.57	0.04	0	-2.02
Végétation inondée	16.82	0.59	29.25	1.03	1.55
Cultures	42.84	1.5	96.25	3.38	6.68
Arbustes et Broussailles	1137.79	39.9	1292.27	45.32	19.31
Bâti	584.94	20.51	390.16	13.68	-24.35
Sols nus	950.51	33.33	830.16	29.11	-15.04
Total	2851.73		2851.73		

L'analyse de l'évolution du couvert végétal nous montre que la ceinture verte de Ouagadougou a connu une légère amélioration des taux de couverture végétale passant de 44.11% (Arbres, Végétation inondée, Cultures, Arbustes et Broussailles) en 2016 à 55,26% en 2024. Le couvert végétal qui en 2017 constituait plus de 42,84% de la superficie de la ceinture verte (Somé, 2019) a subi une hausse passant à 55,26% en 2024.

Les sols nus ont subi une légère baisse en superficie (de 33,33 à 29.11%). Cette diminution de la superficie des sols nus pourrait avoir en majorité profité à l'augmentation de celle des zones de cultures de contre-saison qui passe de 1.51 à 3.38%. Les zones d'arbustes et de Broussailles (de 39.9 à 45.32%) ainsi que les zones boisées (arbres) (de 2.12 à 5.53% soit 12.15% d'évolution) ont considérablement évolué en 8 ans contrairement aux zones bâties qui sont passées de 20.51 à 13.68% soit une régression de 24,35%. Ces différentes variations seraient probablement liées aux efforts de sensibilisation des différentes structures en charge de la CVO.

CONCLUSION

La présente étude de cartographie de la ceinture verte de Ouagadougou nous a permis d'obtenir une forme convenable de celle-ci sur la base d'approches de géoréférencement et de numérisation de cartes existantes combinées à la programmation informatique et l'utilisation de logiciels SIG, avec une superficie d'environ 2852 ha. Cette superficie obtenue est différente des 2100 ha initiaux de ceinture verte, due à certaines limites constatées lors de l'étude parmi lesquelles les principales sont notamment :(i) l'inexistence de données confirmant la superficie initiale et (ii) la difficulté pour déterminer les limites actuelles de la CVO dans certaines zones. Malgré ces difficultés rencontrées au cours des investigations, il en est résulté une base de données spatiales ainsi que la conception et une analyse spatio-temporelle de cartes thématiques qui reflète la situation actuelle de la ceinture verte de la ville de Ouagadougou. De la brève analyse de ces cartes existantes, il ressort que l'occupation actuelle des sols n'est pas à la hauteur de la vocation initiale de la CVO. Le couvert végétal a connu une légère amélioration pas trop significative au regard des attentes due notamment aux activités humaines qui ont fortement contribué à la non-atteinte des objectifs fixés par le projet ceinture verte de Ouagadougou ; ce qui explique son évolution en deçà de ses objectifs initiaux.

REFERENCES

- Brown, C. F. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9(1), 251. doi:10.1038/s41597-022-01307-4
- Kêdowidé, C. M. (2010, septembre 30). Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [Online]*, 10(2). doi:https://doi.org/10.4000/vertigo.10368
- Somé, A. (2019). Dynamique d'occupation des sols et du couvert végétal de la ceinture verte de Ouagadougou entre 1986 et 2017. *ENVIRONNEMENT*.
- Tamdjim, R. (2018). Diagnostic et alternatives pour une gestion optimale des inondations dans la ville de Ouagadougou. Consulté le mars 28, 2024, sur SlideShare: <https://fr.slideshare.net/RaiknanTamdjim/diagnostic-et-alternatives-pour-une-gestion-optimale-des-inondations-dans-la-ville-de-ouagadougou>