



HAL
open science

Développement d'un plugin QGIS pour le suivi des systèmes agricoles et paysagers du Nord Bénin

Eliott Yvetot

► To cite this version:

Eliott Yvetot. Développement d'un plugin QGIS pour le suivi des systèmes agricoles et paysagers du Nord Bénin. Sciences de l'Homme et Société. 2025. <dumas-05390082>

HAL Id: dumas-05390082

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-05390082v1>

Submitted on 1 Dec 2025

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Master 2 Géomatique

Eliott YVETOT

Développement d'un plugin QGIS pour le suivi des systèmes agricoles et paysagers du Nord Bénin



Soutenu le 8 septembre 2025

Laurent GAZULL, CIRAD, tuteur en entreprise

Jean-Pierre CHÉRY, AgroParisTech, enseignant-référent

Lucile SAUTOT, AgroParisTech, évaluatrice

Photo première de couverture : © Cyril Cornu / CIRAD



L'établissement AgroParisTech diffuse ce mémoire et se dégage de toute responsabilité sur le contenu proposé.

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition.

L'obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document doit être respectée selon la licence Creative Commons apposée

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation "Paternité – Pas d'utilisation commerciale – Pas de modification 4.0 France disponible en ligne : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Laurent Gazull, mon tuteur de stage au sein du CIRAD, pour sa confiance, la liberté qu'il m'a accordée tout au long du stage et ses précieux conseils, notamment concernant mon déplacement au Bénin.

Ma gratitude va également à toute l'équipe OBSYDYA, avec qui j'ai eu le plaisir de travailler, et plus particulièrement à Xavier Mauclaire pour son aide et ses retours constructifs sur le plugin et la documentation.

Je remercie également l'ensemble des stagiaires de la MTD pour tous les moments conviviaux partagés, et plus particulièrement Marina, avec qui j'ai eu la chance de partager le bureau et qui a contribué à rendre chaque journée plus agréable.

Enfin, je souhaite remercier ma famille pour le soutien qu'elle m'a apporté tout au long du stage et plus largement durant mes études, ainsi que Maïna pour son soutien indéfectible et les séances de travail partagées, chacun sur son rapport de stage.

Table des matières

Définitions et acronymes :	6
Introduction :	7
Situation en Afrique de l'Ouest.....	7
L'intérêt du projet OBSYDYA.....	8
L'intérêt du stage.....	9
1. Contexte et fondements du projet OBSYDYA	10
1.1. Le territoire d'étude	10
1.2. L'occupation des sols : donnée au cœur du projet	12
1.3. Les indicateurs spatialisés : suivi des systèmes agricoles et environnementaux 15	
Définition.....	15
La conception des indicateurs	15
Les catégories d'indicateurs	16
2. Le plugin OBSYDYA : un outil d'automatisation	18
2.1. Architecture et environnement de développement	18
Environnement de travail	18
Architecture du plugin	19
2.2. Implémentation des indicateurs	20
Méthodologie de développement.....	20
Les choix techniques.....	22
2.3. Interface utilisateur : Conception, réalisation & utilisation	24
Conception de l'interface utilisateur	24
Création de l'interface utilisateur.....	24
Utilisation du plugin	25
3. Organisation et transfert de compétences	28
3.1. Gestion de projet et organisation du travail	28
3.2. La documentation	29
L'outil : Sphinx.....	29
Conception de la documentation.....	30
3.3. La formation	31
Préparation.....	31
Déroulement	31
Résultats et discussion	33
Visualisation des résultats.....	33
Les limites	36
Adaptabilité à d'autres territoires	39
Temps de traitements et performance du plugin :	39
Choix des outils :	40
Conclusion	41

Bibliographie	42
Annexes	44

Définitions et acronymes :

OBSYDYA : Observatoire Pilote des Paysages et Dynamiques Agricoles.

OCS : Occupation des sols.

Introduction :

Situation en Afrique de l'Ouest

L'agriculture en Afrique de l'Ouest connaît aujourd'hui une profonde transformation. Sous l'effet des mutations économiques, sociales et environnementales, les modes de production évoluent et les systèmes agricoles se réorganisent. Cette dynamique place l'agriculture ouest-africaine face à de nouveaux enjeux : adaptation au changement climatique, gestion des impacts environnementaux, sécurité alimentaire, mais aussi défis nutritionnels.

Par le passé les cas de malnutrition en Afrique étaient exclusivement causés par un apport insuffisant en énergie dû à la difficulté de se nourrir. Aujourd'hui, la montée rapide de l'obésité et les carences en minéraux et en vitamines font partie des nouveaux enjeux nutritionnels. Le manque de diversité dans l'alimentation témoigne des changements qui s'opèrent dans les modes de production agricole (Dury et al., 2017).

Les impacts environnementaux se font également ressentir dans l'évolution des systèmes de production agricole au Bénin. L'essor du coton et de la noix de cajou entraîne des transformations profondes des paysages ruraux et des écosystèmes. Ces changements se traduisent par une intensification des cultures, la réduction des jachères, la dégradation des sols et une pression accrue sur les ressources naturelles (Mama et al., 2013). L'extension des surfaces agricoles et l'évolution des pratiques pastorales modifient la structure spatiale des paysages, influençant la biodiversité et les dynamiques écologiques (Igué et al., 2008).

Par ailleurs, l'offre actuelle d'imagerie satellitaire à haute et très haute résolution spatiale se développe et devient de plus en plus accessible en Afrique de l'Ouest. Avec l'augmentation des résolutions spatiales, temporelles et spectrales, ces nouvelles données satellitaires offrent l'opportunité de développer de nouvelles applications en agriculture et en environnement pour caractériser et suivre l'évolution des paysages en relation avec les pratiques agricoles.

Pourtant, même si les données sont de plus en plus nombreuses, elles ne sont pas toujours mises à contribution du fait d'aléas sécuritaires, diplomatiques ou de la privatisation grandissante des données (Lavarenne & Mbengue, 2024). Or, ces images peuvent permettre de suivre des phénomènes complexes, tels que les conflits d'usage liés à l'occupation des sols (Konan & Amani, 2021).

C'est pourquoi il est important d'exploiter ces données. L'exploitation des images satellites peut se faire par la création d'indicateurs comme le Multiple Cropping Index (MCI), l'Area Diversity Index (ADI) ou le Cultivated Land Utilization Index (CLUI) permettant de suivre les performances des systèmes agricoles (Panigraphy et al., 2024).

L'intérêt du projet OBSYDYA

Le projet OBSYDYA vise donc à mettre à profit les données extraites des images satellites pour disposer de statistiques agricoles plus fiables et plus fréquentes, et ainsi guider les services de conseil agricole et la planification des infrastructures.

Le projet OBSYDYA (Observatoire Pilote des Paysages et des Dynamiques Agricoles) fait partie des projets DeSIRA lancés par l'Union Européenne. Ces projets ont pour objectif de contribuer à la transformation productive et durable des systèmes agricoles et alimentaires dans les pays à revenu faible et intermédiaire.

La mission du projet est de mettre en place une plateforme de services rassemblant les informations nécessaires à l'évaluation des systèmes agricoles, paysagers et des milieux naturels du Nord Bénin à destination des décideurs et acteurs du développement agricole et de la communauté scientifique.

Pour réaliser cela, différents acteurs apportent leur expertise au projet. Le CIRAD¹, à l'initiative de ce stage, coordonne le projet. Il est appuyé par deux autres structures européennes : l'IRD² et l'Université de Liège, ainsi que des acteurs locaux comme l'Université de Parakou, l'INRAB³ ou la direction des systèmes d'information du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche.

Concrètement, le projet vise à produire des cartes de l'occupation des sols servant de base au calcul d'indicateurs qui caractérisent les systèmes agricoles et paysagers ainsi que leurs dynamiques et leur durabilité environnementale. Les informations extraites seront ensuite ajoutées à une base de données, dans le but d'alimenter la plateforme de services.

¹ Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

² Institut de Recherche pour le Développement

³ Institut National des Recherches Agricoles du Bénin

L'intérêt du stage

Le stage se déroule de février à août 2025, il s'inscrit donc dans la phase finale du projet OBSYDYA (2022-2026). L'objectif principal est de développer un outil capable d'automatiser le calcul des indicateurs à partir des cartes d'occupation des sols.

Cet outil, qui prendra la forme d'un plugin QGIS, est destiné à être utilisé de façon régulière, notamment pour la production annuelle des statistiques agricoles. Les résultats produits par ce plugin seront ensuite ajoutés à la base de données. Celle-ci sera utilisée pour alimenter un tableau de bord permettant la visualisation des résultats (figure 1).

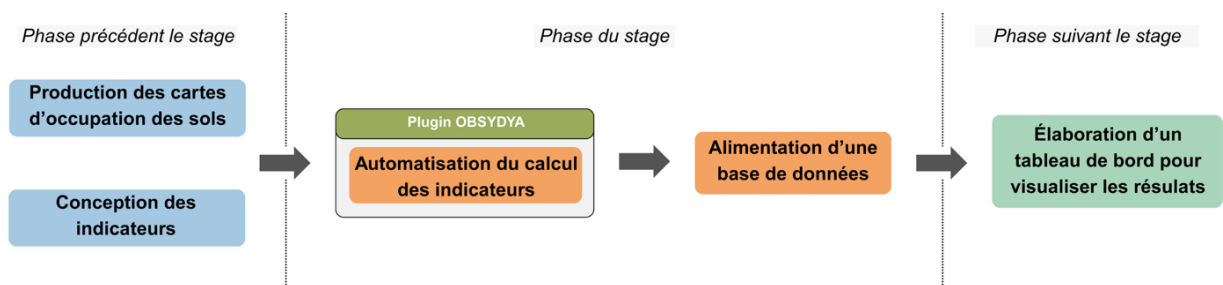


Figure 1: Schéma des grandes étapes du projet

Ce rapport présentera dans un premier temps le contexte et les fondements du projet OBSYDYA, en détaillant le territoire d'étude, la place centrale qu'occupe la donnée d'occupation des sols et la démarche de conception des indicateurs spatialisés. Ensuite, la deuxième partie sera consacrée au plugin OBSYDYA, l'outil d'automatisation développé durant ce stage, en abordant son architecture, l'implémentation des indicateurs et son interface utilisateur. Enfin, la troisième partie traitera de l'organisation du projet et du transfert de compétences, notamment à travers la documentation et la formation dispensée aux partenaires.

1. Contexte et fondements du projet OBSYDYA

1.1. Le territoire d'étude

Le Bénin est un pays côtier d'Afrique de l'Ouest comptant un peu plus de 13 millions d'habitants (*Bénin - Vue d'ensemble*, 2025). L'urbanisation se concentre principalement dans le sud, le long de la côte donnant sur le golfe de Guinée avec des villes comme Cotonou, Abomey-Calavi et Porto-Novo. Le nord du pays est majoritairement rural, ponctué par quelques centres urbains d'importance, tels que Parakou et Djougou.

L'agriculture occupe une place centrale dans l'économie béninoise : elle emploie près de 70% de la population, représente environ un tiers du PIB et génère plus de 75 % des recettes d'exportation (« Industrie agricole au Bénin », 2025). Elle se caractérise par de petites exploitations, souvent familiales, dont la taille moyenne est d'un à deux hectares (Husfarm, s. d.). Dans les années 2000, environ 90 % des exploitations étaient familiales, contre seulement 8 % constituées en coopératives (Mouinou Igué et al., 2005).

Le Bénin est divisé en huit zones agroécologiques, « classées sur des bases d'homogénéité relative avec la prise en compte des paramètres climatiques, agropédologiques, des systèmes de culture, de la densité démographique, du couvert végétal et de certaines contraintes » (République du Bénin, 2017). Les pratiques agricoles ne sont donc pas les mêmes en fonction de la localisation (*figure 2*).

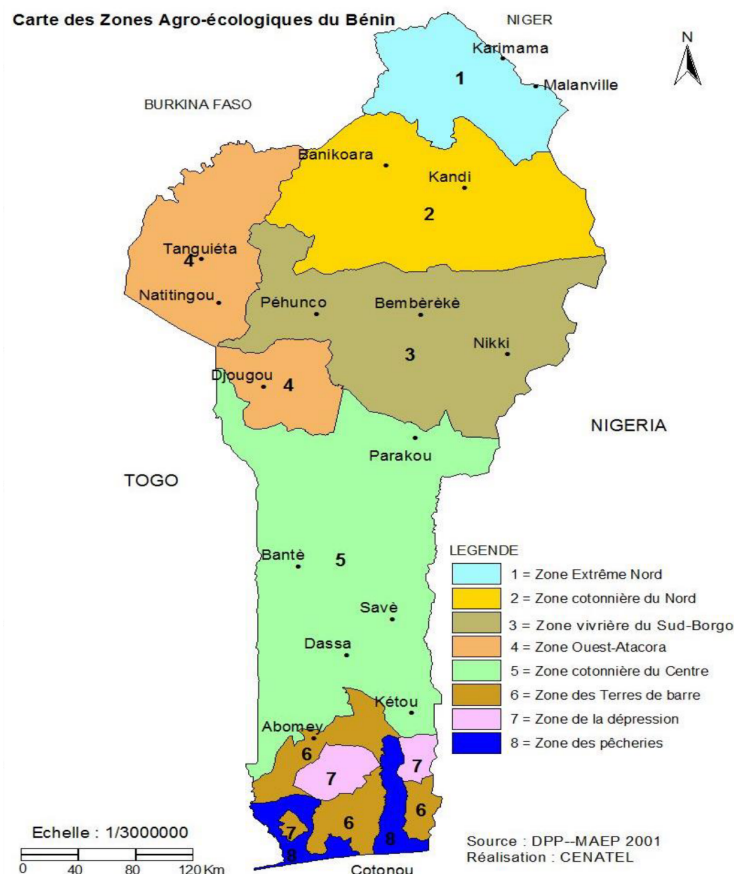


Figure 2 : Carte des zones Agro-écologique du Bénin

Les principales cultures vivrières au Bénin sont les céréales comme le riz et le maïs, les racines et tubercules tels que l'igname et le manioc, et les légumineuses comme le soja. Le coton, destiné à l'exportation commerciale, est le produit le plus exporté du pays.

Pour suivre précisément l'évolution des systèmes agricoles et paysagers, les indicateurs du projet sont calculés à différentes échelles territoriales. Cette approche multi-scalaire permet de répondre aux enjeux spécifiques présents à chaque niveau.

L'analyse s'appuie d'une part sur le découpage administratif du territoire :

- Les départements et les communes : le Bénin compte 12 départements et 77 communes. Cependant, l'étude se concentre sur les 4 départements les plus au nord (Alibori, Atakora, Borgou et Donga) et leurs communes respectives. La couche de données vectorielles utilisée provient de l'IGN du Bénin et date de 2017.

D'autre part, elle se base sur des limites définies dans le cadre du projet :

- Les sites pilotes (Awanla, Badou, Soaodou, Ouénou, Parakou, Gbanlin) : ils ont été choisis parmi les sites Recherche et Développement de l'INRAB et parmi les aires de conservation du Nord et Centre Bénin. Ils sont caractéristiques des dynamiques d'élevage, d'agriculture périurbaine, de développement des cultures céréalières, des vergers, de la culture du coton, des plantations forestières, etc., et forment donc de parfaites zone de « test » pouvant par la suite être étendues au reste du territoire.
- Les villages : la couche cartographique des villages a été construite au cours du projet à partir d'entretiens réalisés auprès d'acteurs locaux, comme les chefs de village et les personnes ressources ayant une parfaite connaissance du village (PAPA/INRAB & OBSYDYA, 2024).
- Cellule de 1 km² : il s'agit du niveau d'analyse le plus fin. Il consiste en une grille composée de cellule de 1 km² permettant une observation détaillée du territoire.

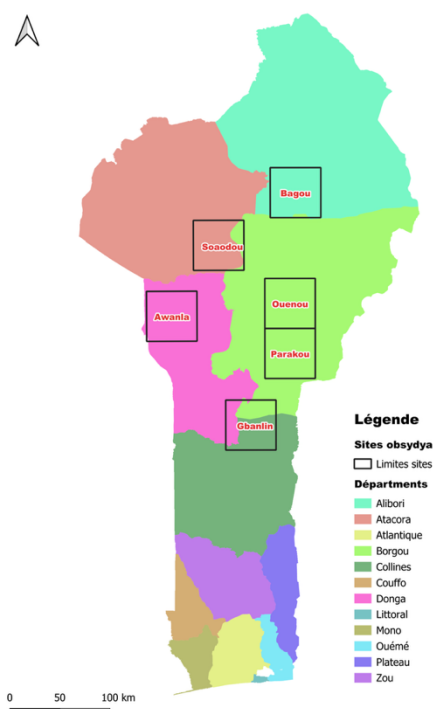


Figure 3 : Carte des départements et des sites pilotes (Projet OBSYDYA)

1.2. L'occupation des sols : donnée au cœur du projet

L'occupation des sols (OCS) est une description de l'occupation biophysique observée de la surface terrestre, c'est-à-dire de ce qui recouvre le sol (Di Gregorio & Jansen, 2000). Elle distingue plusieurs catégories biophysiques comme les zones de végétation, les sols nus, les surfaces humides et les plans d'eau (*Eurostat, 2025*).

Les cartes d'OCS permettent ainsi de représenter un territoire de manière simplifiée en associant chaque portion de celui-ci à une classe spécifique.

Dans le cadre du projet OBSYDYA, ces cartes sont produites à partir d'images provenant de deux satellites :

- Sentinel-2, avec une résolution spatiale de 10 m.
- SPOT6, avec une résolution spatiale de 1,5 m.

Ces images sont ensuite traitées par une chaîne de traitement (IOTA2 ou MORINGA) qui attribue chaque pixel une valeur correspondant à une classe d'OCS (cultures, bâti, eau ...).

Deux niveaux de nomenclature ont été définis, le niveau 0 correspond aux grandes catégories biophysiques et contient six classes (*figure 4*).

Nom de la classe:	Valeur dans le raster :	Symbologie :
Cultures	1	
Cultures arboricoles	2	
Végétation naturelle arborée	3	
Savanes herbeuses et arbustives	4	
Sol nu et bâti	5	
Eau	6	

Figure 4 : Nomenclature de l'occupation des sols au niveau 0

Le niveau 1 affine ces catégories en sous-classe pour une information plus détaillée. Par exemple, la classe « culture » du niveau 0 est divisée en cinq types de cultures au niveau 1 (soja, céréales, etc.) (figure 5).














Nom de la classe:	Valeur dans le raster :	Symbologie :
Soja	11	
Céréales	12	
Coton	13	
Racines et tubercules	14	
Autres cultures	15	
Verger fruitier (Anacarde, Mangue)	21	
Autre plantation arborée (Teck)	22	
Forêts et ripisylves	31	
Savane arborée	41	
Savane herbeuse et arbustive	42	
Bâti	51	
Sol nu	52	
Eau	61	

Figure 5 : Nomenclature de l'occupation des sols au niveau 1

Les données sont produites annuellement au format raster (image géoréférencée) et sont à l'heure actuelle disponibles pour 2022 et 2023. Le processus est illustré par la figure 6 ci-dessous :

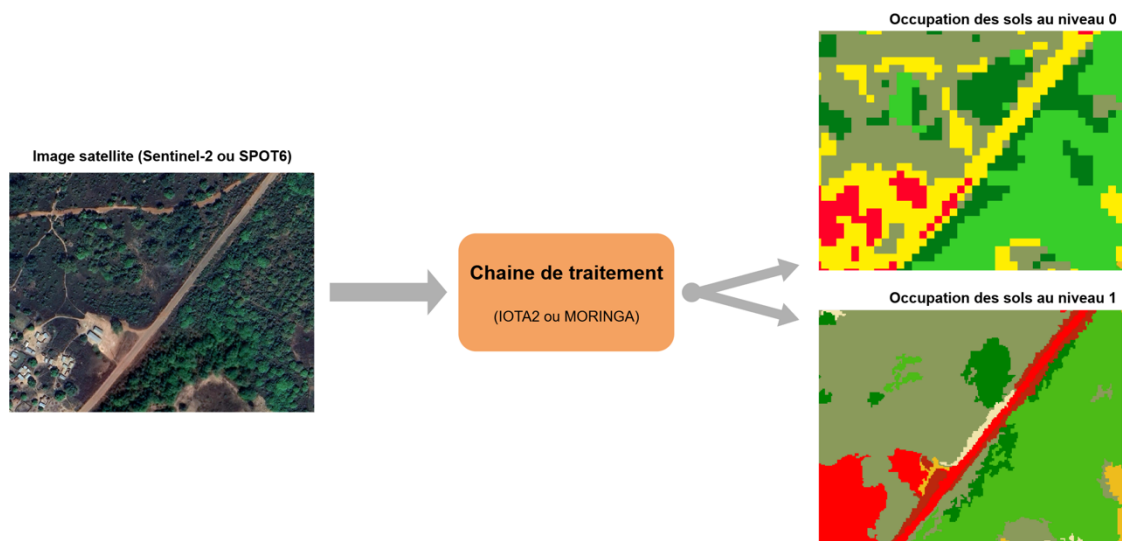


Figure 6 : Schématisation du processus de production des rasters d'occupation des sols

L'emprise spatiale des cartes évolue en fonction des avancées technologiques et des moyens disponibles.

En 2022, la couverture au niveau 0 concernait les départements du Borgou et de l'Alibori, et trois sites pilotes au niveau 1 (Bagou, Ouénou, Parakou).

En 2023, elle a été élargie à quatre départements au niveau 0 et à l'ensemble des six sites pilotes au niveau 1.

Les chaînes de traitement sont en constante amélioration pour affiner la qualité des cartes, notamment pour mieux distinguer les différentes savanes. Dans ce contexte, le travail réalisé au cours de ce stage doit rester adaptable afin de pouvoir intégrer ces futures évolutions.

À titre d'illustration, les figures 7 et 8 présentent respectivement l'occupation des sols au niveau 0 et au niveau 1.

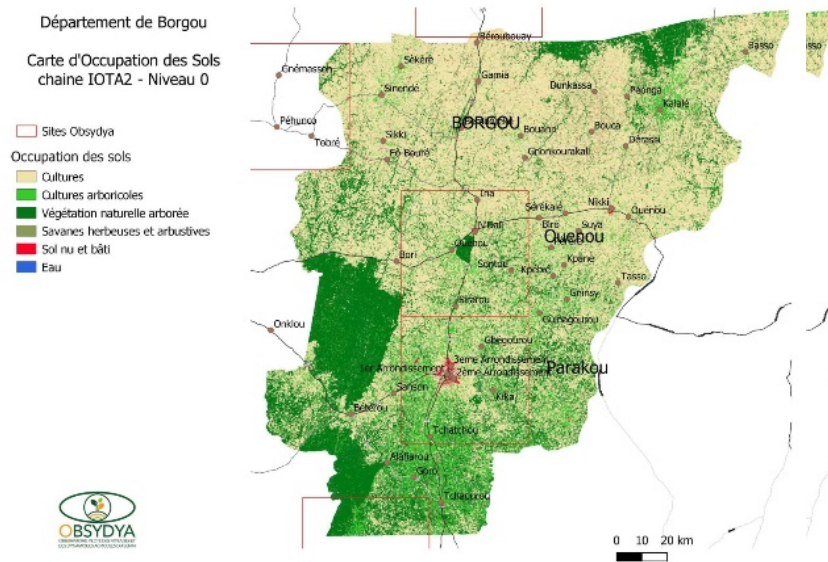


Figure 7 : Carte d'occupation des sols au niveau 0 (Projet OBSYDYA)

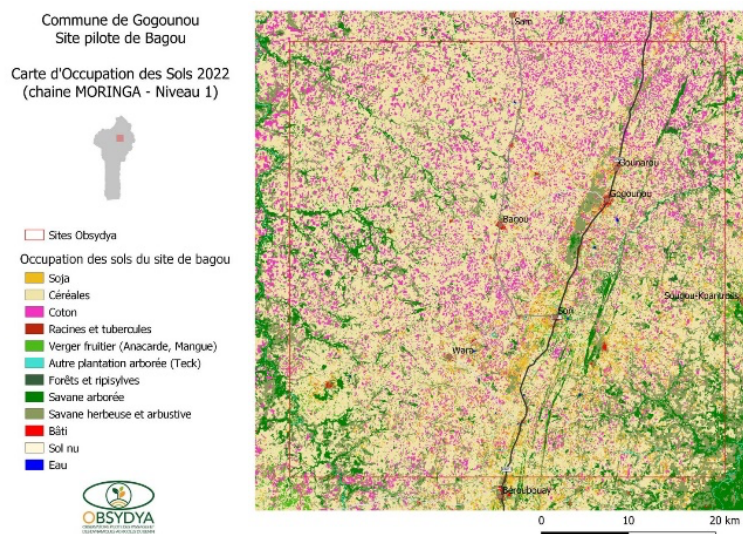


Figure 8 : Carte d'occupation des sols au niveau 1 (Projet OBSYDYA)

1.3. Les indicateurs spatialisés : suivi des systèmes agricoles et environnementaux

Définition

Selon le réseau européen d'évaluation du développement rural (*ENRD*), un indicateur est « un instrument de mesure : de la réalisation d'un objectif ; de la mobilisation d'une ressource ; de l'accomplissement d'une réalisation ; de l'obtention d'un effet ; d'une variable contextuelle (économique, sociale ou environnementale) ».

Plus largement, un indicateur se présente comme une information quantitative ou qualitative qui permet de mesurer, d'évaluer et de comparer, dans le temps et dans l'espace, la situation d'un phénomène, d'une activité ou d'un territoire par rapport à des objectifs et des engagements.

Dans le cadre du projet OBSYDYA, les indicateurs développés servent à suivre l'évolution des dynamiques agricoles, paysagères et des milieux naturels et à fournir une base objective pour orienter les décisions.

Ils apportent une information régulière, couvrant une grande partie du territoire national à un coût abordable, et constituent ainsi une alternative intéressante aux enquêtes de terrain, souvent fastidieuses, coûteuses et non exhaustives.

La conception des indicateurs

La conception des indicateurs s'est déroulée en plusieurs phases, combinant les besoins du terrain, l'expertise scientifique et le développement informatique.

La première étape a consisté en des ateliers de co-construction avec des acteurs locaux (élus, ATDA⁴, services déconcentrés de l'État, etc.). L'objectif était de recueillir leurs besoins en termes d'informations géographiques pour le suivi des dynamiques agricoles, paysagères et des milieux naturels. Sur cette base, les chercheurs du projet ont formalisé une trentaine d'indicateurs. Ils ont rédigé pour chacun une « fiche indicateur » détaillant son intérêt, son mode de calcul et ses ressources bibliographiques.

La seconde étape a consisté à extraire de ces fiches théoriques une méthode de calcul automatique et robuste. Ce travail a nécessité de la recherche et de l'expérimentation pour identifier les outils les plus performants. Différentes approches ont été testées, que ce soit via les fonctions natives de QGIS ou par la recherche de bibliothèques spécialisées pour combler certaines limites du logiciel. Des entretiens avec les chercheurs ont permis de s'assurer que les méthodes et techniques employées correspondaient à leur vision scientifique de l'indicateur.

⁴ Agence Territoriale de Développement Agricole

Enfin, il est important de noter que le calcul des indicateurs forme un processus continu. Certains ont été remaniés après que des tests à grande échelle ont révélé des limites techniques, tandis que d'autres ont été ajoutés en cours de projet pour répondre à de nouveaux besoins.

Les catégories d'indicateurs

Sur la trentaine d'indicateurs initialement proposés, quatre ont finalement été abandonnés, soit en raison de la difficulté à obtenir les données nécessaires, soit car leur pertinence était jugée insuffisante au regard de la complexité de leur calcul.

Un total de 28 indicateurs a donc été retenus pour le projet. Ils sont regroupés en quatre catégories thématiques pour en faciliter l'organisation : Pastoralisme (13), Agriculture (9), Milieux Naturels (5) et Occupation des sols (1).

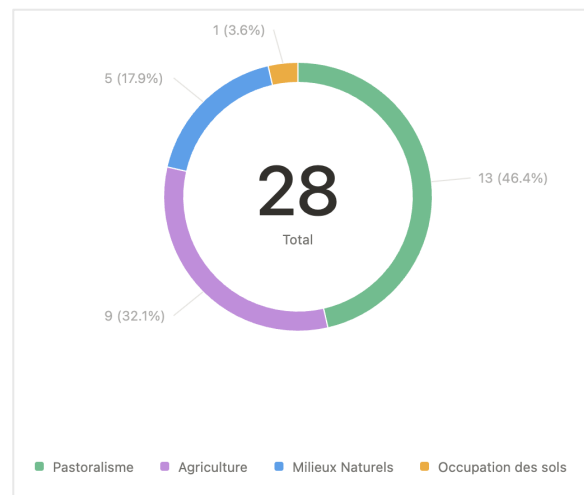


Figure 9 : Nombre d'indicateurs par catégorie

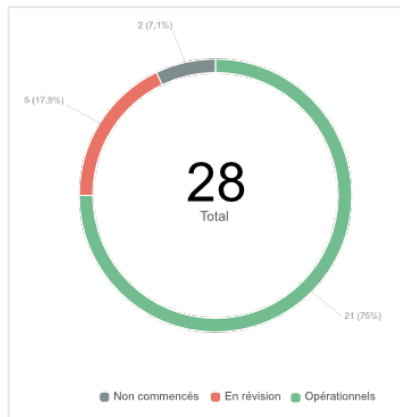
L'indicateur d'occupation des sols calcule la surface de chaque classe d'occupation des sols (en hectare) au sein d'une entité spatiale, afin de suivre l'évolution de leur répartition dans le temps.

Les neuf indicateurs relatifs à l'agriculture se concentrent sur deux enjeux majeurs : la sécurité alimentaire et l'intensification agricole. Ceux liés à la sécurité alimentaire évaluent la surface encore disponible pour l'agriculture, afin d'estimer la pression exercée sur les terres. Ils renseignent également sur la diversité des cultures, un facteur clé pour limiter les risques de malnutrition, de dégradation des sols et de perte de biodiversité. Les indicateurs relatifs à l'intensification agricole mesurent quant à eux l'efficacité d'utilisation des terres cultivables.

La catégorie pastoralisme aborde les contraintes spécifiques à l'élevage à travers quatre sous-thématiques : les conflits, le morcellement des terres, la pression sur les couloirs de passage et l'accès à l'eau. Les indicateurs sur le morcellement mesurent la fragmentation du territoire accessible au bétail, une fragmentation élevée augmentant les risques de tensions entre cultivateurs et éleveurs. Ceux sur les couloirs de passage visent à s'assurer que ces espaces, délimités pour permettre au bétail de circuler sans causer de dégâts, remplissent bien leur rôle et ne sont pas obstrués. Enfin, les indicateurs sur l'accès à l'eau estiment la contrainte que représente la distance à parcourir pour le bétail pour s'abreuver.

Enfin, les indicateurs relatifs aux milieux naturels évaluent leur état écologique selon deux axes. Le premier est la fragmentation et la connectivité des habitats, qui permet de caractériser l'état de la biodiversité ou l'isolement des populations. Le second est la durabilité de ces milieux, qui mesure leur niveau de dégradation pour orienter la gestion écologique.

Bien qu'ils soient regroupés dans des catégories distinctes, l'analyse conjointe de tous les types d'indicateurs reste essentielle. De plus, tous les indicateurs n'ont pas le même « poids » d'interprétation, un seul indicateur peut parfois fournir plus d'information que plusieurs autres combinés.



Comme mentionné précédemment, le développement des indicateurs est un processus continu et tous n'ont pas atteint le même stade d'avancement. La majorité des indicateurs est opérationnelle, mais certains nécessitent encore des ajustements. Enfin, une minorité n'a pas pu être développée à ce stade, faute de données disponibles ou par manque de temps (*figure 10*). Ces travaux seront finalisés ultérieurement.

Figure 10 : Nombre d'indicateurs par état d'avancement

2. Le plugin OBSYDYA : un outil d'automatisation

2.1. Architecture et environnement de développement

L'outil développé dans le cadre du stage pour automatiser le calcul des indicateurs prend la forme d'un plugin (extension) pour le logiciel QGIS. Le terme « plugin » désigne ici l'ensemble des composants nécessaires au fonctionnement de l'outil. Il regroupe à la fois l'interface utilisateur, le code qui gère les interactions avec celui-ci et le code du calcul des indicateurs.

Environnement de travail

Le plugin a été développé pour la version 3.40 LTR de QGIS. Il est codé en PyQGIS, une version de Python adaptée aux fonctionnalités du logiciel.

Le développement du code a représenté une part importante du stage. L'environnement de travail a donc été optimisé pour garantir une approche fluide et professionnelle. Pour ce faire, des extensions dédiées au développement ont été ajoutées à QGIS. Comme « PluginReloader » qui permet d'appliquer les modifications du code sans avoir à redémarrer le logiciel, ce qui constitue un gain de temps considérable. L'extension « First Aid » a également été utilisée comme outil de débogage pour une meilleure compréhension des erreurs.

L'outil de gestion de version Git, associé à la forge logicielle GitLab du CIRAD, a été utilisé pour conserver une trace des différentes versions du plugin et en suivre les modifications. C'est aussi par ce biais que le code a pu être sauvegardé et partagé efficacement.

Enfin, une machine distante a été mise à disposition. Celle-ci s'est avérée particulièrement pratique pour tester le plugin « à grande échelle ». En effet, les traitements les plus lourds pouvaient y être exécutés sans ralentir la machine de travail principale, permettant ainsi de lancer des calculs la nuit ou de travailler sur d'autres tâches en parallèle.

Architecture du plugin

L'architecture du plugin a été créée à l'aide de PluginBuilder, une extension de QGIS qui génère automatiquement l'arborescence et les fichiers principaux. Cet outil permet également de renseigner les métadonnées initiales (auteur, date, description, etc.). Cette architecture de base a ensuite évolué au fil du développement pour s'adapter aux besoins du projet. La figure 11 schématise l'architecture actuelle du plugin.

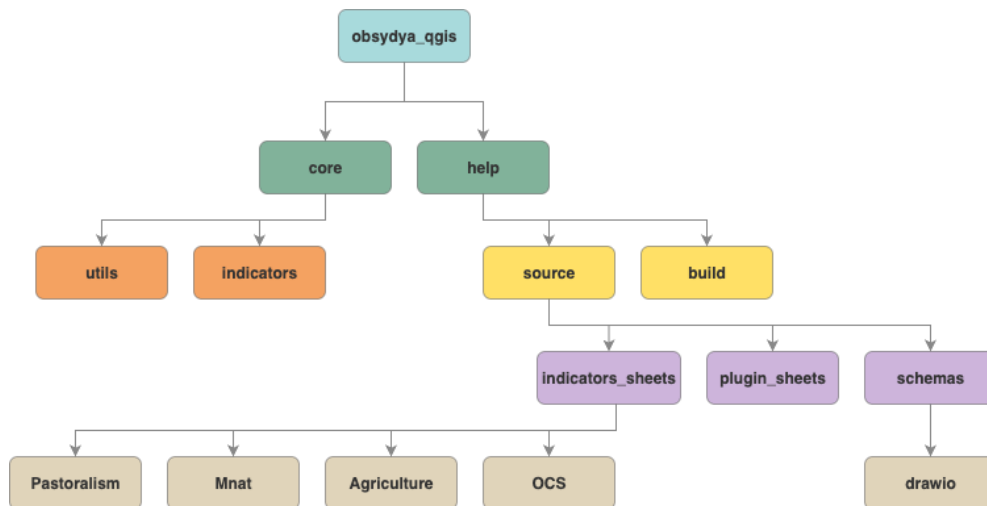


Figure 11: Arborescence des dossiers du plugin

Le dossier principal *obsydyda_qgis*, contient tous les éléments nécessaires au bon fonctionnement du plugin. C'est ce dossier qui doit être placé dans le répertoire des plugins de QGIS pour être intégré au SIG.

Il contient plusieurs fichiers clés :

- Le script *obsydyda_plugin.py* qui joue le rôle de « chef d'orchestre » en lançant les scripts de calcul des indicateurs en fonction des choix de l'utilisateur.
- Le script *obsydyda_plugin_dialog.py* contenant le code permettant de gérer les interactions entre l'utilisateur et le plugin.
- Le script *obsydyda_plugin_ui.py* qui contient l'interface utilisateur.

Ce dossier comprend également deux sous-dossiers : *core* et *help*.

Le dossier *core* comporte l'ensemble du code relatif aux indicateurs. Il contient un sous-dossier *indicators* pour les scripts de chaque indicateur et un sous-dossier *utils* pour les fonctions utilitaires partagées.

Le dossier *help* contient les fichiers de la documentation. Les fichiers sources (au format ReStructuredText) sont dans le dossier *source*, tandis que la documentation finale, générée avec Sphinx se trouve dans le dossier *build*.

Cette architecture modulaire assure une organisation claire du code et facilite sa maintenance et sa transmission.

2.2. Implémentation des indicateurs

Méthodologie de développement

Les scripts de calcul des indicateurs ont été codés en suivant une méthodologie précise, avant même la conceptualisation globale du plugin. Le développement s'est fait étape par étape : de la compréhension théorique de chaque indicateur à son intégration finale, en passant par une phase de prototypage en programmation séquentielle, puis une structuration en programmation orientée objet.

Le développement n'a pas commencé directement par l'écriture du code. Une première phase de recherche et d'expérimentation a été nécessaire pour s'appropriier chaque indicateur et identifier les outils et méthodes de calcul les plus adaptés. Cette étape a permis de définir une méthode concrète pour l'implémentation de chaque calcul.

Une fois cette méthode définie, la deuxième étape a consisté à coder les indicateurs sous forme de scripts procéduraux (enchaînement séquentiel d'instructions) afin de tester et de valider la logique de calcul et les résultats.

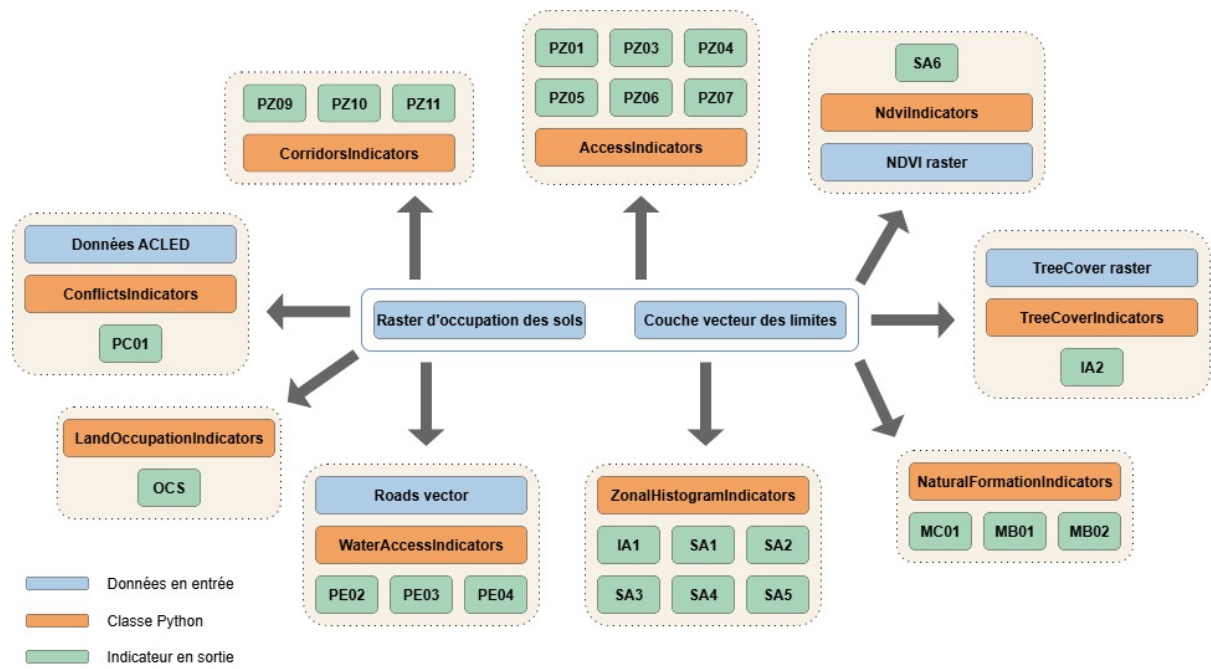
Cette approche présentait l'avantage de la simplicité, permettant par exemple de construire rapidement un script dont la logique est similaire aux étapes manuelles dans QGIS. Elle a cependant montré des limites importantes : les scripts étaient difficilement modulables, et plus complexes à organiser. En effet, les étapes de calcul communes à plusieurs indicateurs étaient répétées pour chaque script au lieu d'être mutualisées pour optimiser le processus.

Pour pallier ces inconvénients, la Programmation Orientée Objet (POO) a été adoptée. Cette approche permet d'encapsuler le calcul des indicateurs dans des « classes », regroupant ainsi ceux qui partagent des étapes de calcul communes (*figure 12*). Cela rend possible la mutualisation des étapes clés, optimisant ainsi les performances et l'organisation du code.

Par exemple, plusieurs indicateurs dépendent du résultat d'un histogramme zonal, une fonction qui comptabilise le nombre de pixels de chaque classe pour une entité donnée. Sur des rasters de grande taille, ce calcul peut être très long. L'approche POO permet d'organiser le code de manière à ce que cette étape chronophage ne soit exécutée qu'une seule fois. Le résultat est ensuite stocké et sert de base à tous les indicateurs qui l'utilisent, générant ainsi un gain de performance significatif.

Ce gain en performance est crucial pour permettre le traitement des données annuelles même sur des machines limitées en capacité.

Figure 12 : Schéma des classes Python pour le calcul des indicateurs



Les choix techniques

L'implémentation des indicateurs a soulevé plusieurs défis techniques qui ont guidé les choix de développement.

La majorité des indicateurs devant pouvoir se calculer à partir de rasters de différents niveaux (Niveau 0 ou 1), le code a été conçu pour être le plus adaptable possible. Plutôt que d'inscrire des valeurs en dur (par exemple, une résolution de 10 m), les calculs se basent sur les propriétés des données en entrée (comme `resolution_raster`) pour obtenir cette information. Lorsque ce n'était pas possible, des constantes ont été utilisées pour faciliter la maintenance du code.

Le plugin a été conçu pour accepter en entrée des couches vecteur et des rasters d'occupation des sols, ces derniers doivent partager le même système de projection pour éviter les erreurs.

En sortie, les résultats doivent pouvoir être intégrés à la base de données G-Obs du projet. Cette intégration repose sur un identifiant unique, qui doit donc être manipulé avec précaution.

Le format GeoPackage (.gpkg) a été retenu pour les fichiers de sortie. Contrairement au shapefile, il ne génère qu'un seul fichier, ce qui facilite sa manipulation, et il s'intègre de manière optimale à la base de données. De plus, il s'agit du format par défaut recommandé par QGIS.

Enfin, lors du développement des indicateurs, il est rapidement apparu que les fonctions natives de QGIS (et de ses extensions comme GRASS ou SAGA) n'étaient pas suffisantes pour calculer les indicateurs les plus complexes. C'est notamment le cas pour les indicateurs de pastoralisme et de milieux naturels, qui mobilisent des concepts d'écologie du paysage (« patch », « core area », etc.). Pour pallier ces limites, le plugin s'appuie sur des bibliothèques Python externes. La principale est PyLandStats, un outil open-source pour les calculs d'écologie du paysage, basé sur le logiciel de référence FragStats. De même, pour calculer une distance réelle en tenant compte des obstacles (PE03), le plugin utilise la bibliothèque numpy pour manipuler les rasters sous forme de matrices et appliquer l'algorithme de plus court chemin de Dijkstra.

Le développement de l'indicateur de rotation des cultures (RC01)

Le développement de l'indicateur de rotation des cultures (RC01) n'était pas prévu initialement. Il est né du besoin d'estimer la qualité des sols, celle-ci étant affectée par la monoculture.

La construction a suivi plusieurs étapes :

1. Recherche bibliographique pour identifier des indices similaires existants.
2. Adaptation de la méthode aux spécificités du territoire d'étude.
3. Codage et tests de la méthode

Actuellement, l'indicateur fonctionne en analysant les changements de culture au niveau de chaque pixel sur plusieurs années. Il produit deux types de résultats : le nombre moyen de rotations par pixel et le pourcentage du territoire agricole ayant subi une rotation (*annexe 1*).

Ce calcul présente toutefois des limites. Les images étant annuelles, il n'est pas possible de détecter les rotations de cultures à cycle court ayant lieu au sein d'une même année. De plus, l'analyse se faisant au pixel et non à la parcelle, elle estime une proportion du territoire en rotation plutôt que d'identifier les parcelles exactes.

L'indicateur suit de manière globale les tendances d'évolution des cultures. Contrairement à l'indicateur d'occupation des sols qui mesure l'évolution des surfaces de chaque classe, l'indicateur RC01 renseigne sur la transformation de cette surface en une autre. Cela permet la réalisation de diagrammes de Sankey pour visualiser les flux entre les différentes classes d'OCS (*figure 13*).

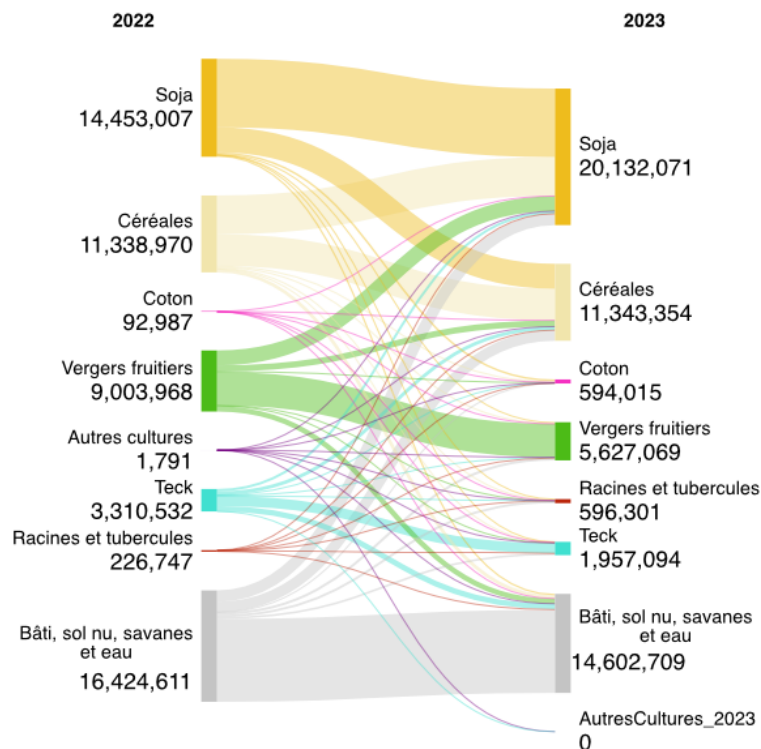


Figure 13 : Diagramme de Sankey des changements entre classes d'occupation des sols entre 2022 et 2023 pour une zone d'exemple

2.3. Interface utilisateur : Conception, réalisation & utilisation

Conception de l'interface utilisateur

Une composante essentielle dans le développement d'un plugin, sans doute en raison de sa visibilité, est la création de l'interface utilisateur.

La conception de l'interface débute par une analyse des besoins des utilisateurs. Dans le cadre du projet, ces derniers doivent pouvoir :

- Sélectionner les indicateurs à calculer
- Choisir le niveau auquel chaque indicateur doit être calculé
- Sélectionner les couches en entrée (couches des limites et rasters d'occupation des sols)
- Définir le dossier de destination pour l'enregistrement des couches résultats

Une contrainte supplémentaire concerne le nombre important d'indicateurs, qui risque de surcharger l'interface du plugin. Il est donc nécessaire de concevoir l'interface de manière à ce qu'elle reste lisible tout en offrant l'accès à l'ensemble des indicateurs.

Il convient également de mutualiser l'étape de sélection des couches. En effet, si l'utilisateur devait sélectionner, pour chaque indicateur, les couches limites et les rasters, le paramétrage complet pour deux années sur les quatre couches principales impliquerait un total de 228 clics, ce qui est difficilement envisageable.

Ainsi pour déterminer la meilleure approche à adopter, des maquettes ont été réalisées (*Annexe 2*).

Création de l'interface utilisateur

L'interface utilisateur est réalisée à l'aide de QT Designer, un logiciel de création d'interface graphique. Cet outil a été initialement choisi car il est livré avec QGIS et intègre des composants graphiques prêts à l'emploi (QgsWidgets), simplifiant par exemple la sélection de couches dans le plugin. Cela permet par exemple d'intégrer rapidement les éléments pour sélectionner une couche dans le projet.

Cependant, ces fonctionnalités se sont révélées limitées face aux spécificités du plugin, comme la gestion d'un nombre de couches important. Il a donc tout de même fallu développer des fonctionnalités sur mesure pour répondre à ces exigences.

Utilisation du plugin

Le plugin est accessible depuis le menu « Extensions » de QGIS ou via une icône dédiée dans la barre d'outils. Son interface a été conçue pour guider l'utilisateur à travers un processus en deux étapes principales : la sélection des indicateurs et la sélection des données en entrée.

La première page de l'interface est dédiée à la sélection des indicateurs à calculer. Ceux-ci sont organisés en onglets qui correspondent aux quatre grandes catégories thématiques : OCS, Agriculture, Milieux Naturels et Pastoralisme (*élément 1, figure 14*).

Chaque onglet liste les indicateurs de sa catégorie, identifiés par leur code et leur nom complet. L'utilisateur sélectionne les indicateurs souhaités via des cases à cocher (*élément 2, figure 14*).

Une fois un indicateur choisi, il peut préciser le niveau de calcul (Niveau 0, Niveau 1, ou les deux) (*élément 3, figure 14*). Les niveaux non applicables pour un indicateur donné sont grisés et non sélectionnables.

Une fois ses choix effectués, l'utilisateur accède à la page suivante en cliquant sur le bouton « Suivant » (*élément 4, figure 14*).

The screenshot shows the 'Indicateurs - OBSYDIA' window. At the top, there's a header with the logo and the text 'Plugin OBSYDIA'. Below that, a section titled 'Sélection des indicateurs à calculer :'. This section contains four tabs: 'Occupation des sols', 'Agriculture', 'Milieux Naturels', and 'Pastoralisme', with 'Agriculture' selected. Underneath the tabs is a list of indicators with checkboxes. Two indicators are checked: 'IA1 : Indice d'utilisation agricole du sol' and 'SA4 : Part des cultures alimentaires dans le domaine agricole'. Below this is a table titled 'Indicateurs à calculer et niveaux :'. The table has three columns: 'Indicateurs', 'L0', and 'L1'. The rows are numbered 1 to 6. Row 1 (IA1) has both L0 and L1 checked. Row 2 (SA4) has L0 greyed out and L1 checked. Row 3 (MC01) has both L0 and L1 checked. Row 4 (OCS) has both L0 and L1 checked. Row 5 (PC01) has both L0 and L1 checked. Row 6 (PZ01) has both L0 and L1 checked. At the bottom right, there are two buttons: 'Annuler' and 'Suivant'. The 'Suivant' button is highlighted.

	Indicateurs	L0	L1
1	IA1 : Indice d'utilisation agricole du sol	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	SA4 : Part des cultures alimentaires dans le domaine agricole	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	MC01 : Superficie des formations naturelles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	OCS : Calculer l'occupation des sols	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	PC01 : Nombre de conflits	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	PZ01 : Aire totale accessible au bétail	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure 14 : Interface du plugin OBSYDIA (page 1/2)

La seconde page de l'interface est consacrée à la sélection des données d'entrée. L'utilisateur y renseigne les couches de limites administratives (*éléments 1&2, figure 15*) et les rasters d'occupation des sols (Niveau 0 et 1) (*éléments 3&4, figure 15*) qui serviront de base au calcul.

L'interface est dynamique : des champs supplémentaires apparaissent si des données spécifiques sont requises pour les indicateurs choisis. Par exemple, le calcul de l'indicateur de conflits (PC01) fera apparaître un champ pour sélectionner un fichier CSV des conflits ACLED (*élément 5, figure 15*).

L'utilisateur est ensuite amené à choisir le dossier d'enregistrement des données en sortie (*élément 6, figure 15*).

Une fois les données sélectionnées, l'utilisateur peut lancer le traitement en cliquant sur « Valider » ou revenir à l'étape précédente avec le bouton « Précédent » (*élément 7, figure 15*).

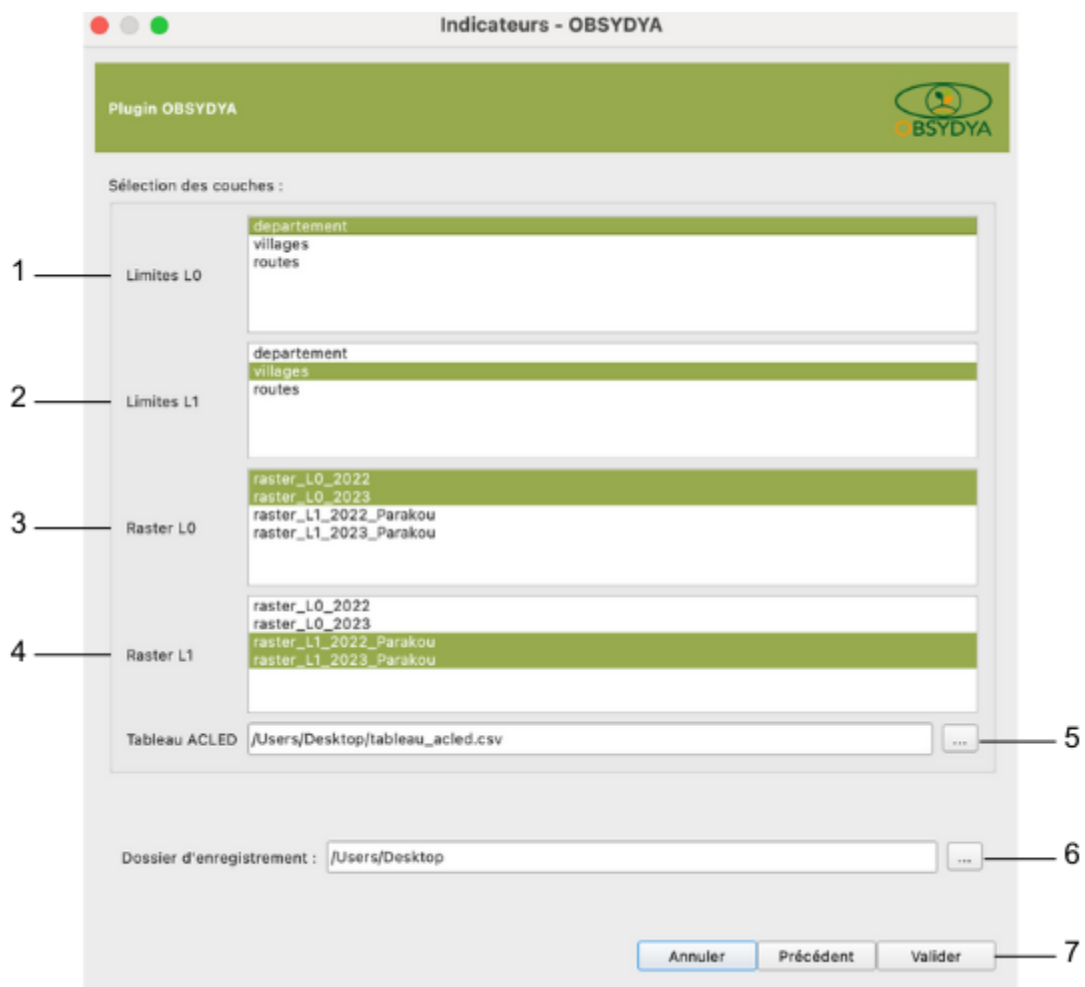


Figure 15 : Interface du plugin OBSYDIA (page 2/2)

Une fois le traitement lancé, le plugin génère en sortie de nouvelles couches vecteur. Le nombre de couches créées correspond au produit du nombre de couches de limites et du nombre de rasters fournis en entrée. Chaque couche de sortie est une copie de la couche de limites correspondante, enrichie des valeurs des indicateurs calculés pour chaque entité spatiale.

Les résultats du traitement sont automatiquement organisés dans un dossier nommé *result*. Il contient un ou deux sous-dossiers (L0 et L1) qui correspondent aux deux niveaux de nomenclature de l'occupation des sols. Les fichiers de sortie sont également nommés selon la convention suivante : `nom_limites_nomRaster.gpkg`. Cette organisation assure la traçabilité et la clarté des données générées.

3. Organisation et transfert de compétences

3.1. Gestion de projet et organisation du travail

Afin d'assurer le suivi du projet, un système de gestion de tâches et de planification a été mis en place via la plateforme Notion. Choisie pour sa flexibilité, elle a permis de regrouper l'ensemble des informations du projet dans un seul environnement interconnecté. Cet outil a servi à structurer l'ensemble du travail : suivi de l'avancement des indicateurs, gestion des bugs et évolution, organisation des réunions et du temps et prise de notes générales.

Le fonctionnement de l'outil repose sur un système de « pages » qui, dotées d'attributs, peuvent être organisées en base de données. Concrètement, cela a permis de créer une base de données pour le suivi des indicateurs. Chaque indicateur disposait de sa propre page, contenant des notes sur les tests effectués, les résultats provisoires ou encore les perspectives d'amélioration. À cela s'ajoute des attributs pour suivre son statut d'avancement, les données nécessaires à son calcul, l'unité du résultat, etc. Le tout peut être organisé selon des « vues » permettant de filtrer rapidement l'information et de visualiser l'état d'avancement global. Les informations peuvent ensuite être converties en graphique, utile notamment pour présenter le travail effectué dans les réunions d'avancement.

Un système similaire de suivi de bugs a été mis en place. Chaque problème est documenté avec une description, un niveau de priorité et un statut (« résolu » ou « non résolu »), assurant une traçabilité complète des corrections apportées.

Enfin, cet outil a centralisé la gestion du projet au quotidien : pour la prise de note lors des réunions et pour le maintien d'un journal de bord tout au long du stage. Cette organisation s'est avérée être une aide précieuse, notamment pour la rédaction de ce rapport.

L'ensemble de ces fonctionnalités montre en quoi cet outil est adapté à un projet comme celui-ci, permettant de couvrir l'ensemble des thématiques et de gérer un nombre important d'indicateurs tout en offrant une grande modularité.

En complément de Notion, la gestion du code a été assurée par Git et GitLab, comme décrit dans la partie précédente.

La méthodologie de travail globale a consisté en une planification à long terme axée sur les livrables principaux (plugin, documentation, formation), déclinés en sous-objectifs intermédiaires. Cette approche a permis de fixer des étapes claires et de mesurer la progression de manière régulière.

3.2. La documentation

Le plugin ayant vocation à être utilisé et maintenu par les partenaires béninois du projet, la mise en place d'une documentation complète est essentielle afin d'assurer un transfert de compétences efficace. L'objectif est de fournir toutes les ressources nécessaires pour comprendre le fonctionnement de l'outil, son architecture et sa logique de développement, afin de garantir sa pérennité et son évolution.

La documentation couvre à la fois l'aspect technique du projet (installation, utilisation, structure du code et processus de développement) que l'aspect théorique (intégration des fiches indicateurs, révisées et mises à jour).

L'outil : Sphinx

La documentation a été réalisée avec l'outil *Sphinx*, un générateur de documentation qui présente l'avantage de pouvoir produire automatiquement une documentation structurée à partir du code source Python. Sphinx analyse en effet l'organisation des fichiers et lit les docstrings⁵ intégrées au code pour générer le document final. L'utilisation de cet outil suppose d'écrire un code propre et bien documenté.

Sphinx permet de rédiger des documents en utilisant des langages de balisage léger comme Markdown ou ReStructuredText (RST), puis de les compiler dans divers formats de sortie (HTML, PDF, etc.). Pour ce projet, le langage ReStructuredText a été privilégié. Bien que sa prise en main soit plus complexe que celle de Markdown, il offre des possibilités de personnalisation plus importantes et une meilleure structuration de la documentation (notamment à travers un système de tables des matières interconnectées).

La documentation a été conçue principalement pour être générée et consultée au format HTML. Ce choix s'explique par la navigation fluide et dynamique qu'il offre, ainsi que par sa facilité de diffusion en ligne. Toutefois, la structure technique du HTML (composée de plusieurs dossiers et fichiers) peut parfois sembler complexe pour certains utilisateurs.

En complément, la documentation peut également être produite au format PDF. Plus familier pour le grand public, ce format présente l'avantage d'être un document unique, facilement partageable. Dans le cadre du projet, il est néanmoins considéré comme un format secondaire. Il est pleinement fonctionnel, mais la mise en page reste moins optimisée que la version HTML.

⁵ Une docstring est un texte explicatif directement intégré à une fonction ou une classe dans le code. Elle n'a pas d'impact sur l'exécution du programme, mais décrit le rôle, les arguments, les sorties et fournit des exemples d'utilisation pour les autres développeurs.

Conception de la documentation

La rédaction de la documentation s'est principalement effectuée dans l'éditeur Visual Studio Code, au format .rst (ReStructuredText). La configuration est centralisée dans le fichier Python conf.py, où sont définis le thème graphique (ici Furo) ainsi que les extensions additionnelles, comme sphinx-design, utilisée pour enrichir la mise en page et les éléments visuels.

La documentation se divise en deux grandes parties : le plugin et les indicateurs.

La section concernant le plugin regroupe toutes les informations relatives à son installation, son utilisation, son développement et la documentation de son code. La partie concernant le code du plugin a été en grande partie générée automatiquement à partir du code source. Les autres contenus, comme l'installation ou l'utilisation, ont été rédigés manuellement en langage .rst.

La partie concernant les indicateurs rassemble les fiches d'indicateurs. Chaque fiche suit une structure standardisée afin de faciliter la lecture et d'assurer l'homogénéité de l'ensemble.

En premier lieu, la fiche débute par un tableau récapitulatif qui permet, d'un simple coup d'œil, de retrouver les principales informations sur l'indicateur, telles que les échelles de calcul préconisées, son unité ou encore les enjeux auxquels il répond.

Ensuite, l'indicateur est défini afin d'assurer sa bonne compréhension par l'utilisateur. La définition est accompagnée d'un guide d'interprétation pour aider à son usage.

La partie centrale détaille pas à pas la méthodologie de calcul. Un schéma est systématiquement associé à cette section pour en faciliter la compréhension.

Enfin, une section « Précautions » met en évidence les limites que l'indicateur peut présenter et propose des recommandations pour en améliorer la qualité (*annexe 3*).

L'ensemble des éléments est assemblé pour constituer une documentation web (HTML) facile à consulter. La navigation est facilitée par des volets latéraux présentant le plan du document, tandis qu'une barre de recherche permet de retrouver rapidement une information spécifique (*annexe 4*).

3.3. La formation

Pour finaliser le transfert de compétences aux partenaires béninois, une formation de 5 jours a été organisée au sein de l'INRAB à Cotonou durant la dernière semaine du stage. L'objectif était de présenter les indicateurs, le plugin, et de recueillir leurs retours en vues d'améliorations futures.

Préparation

La formation se structure en deux parties distinctes :

- Une partie thématique (3 jours) consacrée à la présentation théorique de chaque indicateur et à l'utilisation du plugin pour les calculer, puis visualiser et interpréter les résultats à travers des exercices pratiques.
- Une partie technique (2 jours) ayant pour vocation de présenter le code derrière le plugin, dans le but de rendre les participants autonomes pour effectuer des modifications (tel que des corrections de bug).

La préparation de la formation a débuté par la définition de ses objectifs, en concertation avec mon tuteur de stage. Cette étape permet de cibler les notions à aborder et d'adapter la formation selon le public.

Le public était composé de thématiciens et d'informaticiens issus de différentes structures partenaires (INRAB et Université de Parakou). L'hétérogénéité du groupe en termes de compétences a apporté une complémentarité des points de vue ainsi que la connaissance du terrain.

Le travail de préparation a consisté à créer des supports de présentation (diapositives) et des exercices pratiques portant sur la compréhension des indicateurs et l'utilisation du plugin.

Déroulement

Lors de la première partie de la formation, douze participants étaient présents. Au cours des 3 jours, les apprenants ont alterné entre les présentations théoriques (sur les données, les indicateurs, etc.) et des exercices pratiques pour prendre en main les indicateurs et le plugin. Les participants ont par exemple pu calculer les indicateurs via le plugin puis présenter et interpréter les résultats avec le reste du groupe.

Huit personnes ont participé à la seconde partie de la formation. L'hétérogénéité des niveaux en programmation a nécessité d'adapter le contenu en reprenant les bases de PyQGIS afin de s'assurer que l'ensemble des participants étaient en mesure de comprendre la suite de la formation. Les deux journées ont consisté à reconstruire progressivement une version simplifiée du plugin OBSYDYA. Les participants ont d'abord recodé un indicateur simple en script séquentiel, puis ont créé l'interface graphique associée, avant d'ajouter un second indicateur, d'adapter le code pour gérer plusieurs choix, et enfin de l'optimiser en le structurant en

Programmation Orientée Objet (POO). Les bases de la génération de documentation avec Sphinx ont également été abordées.

Cette formation a également été l'occasion de recueillir les retours des participants, tant sur l'interface utilisateur (par exemple la nécessité d'ajouter des infobulles), que sur la documentation (points à clarifier), ou encore sur les indicateurs. Les retours ont permis de confirmer la pertinence des résultats produits et constituent une base pour les futures améliorations du plugin.

Résultats et discussion

Visualisation des résultats

Les couches produites en sortie du plugin constituent un résultat intermédiaire dans le projet. Mais leur analyse, permet d'ajuster les méthodes de calcul et de déterminer la pertinence des indicateurs. À terme, la visualisation des résultats sera intégrée dans la plateforme dédiée.

En sortie, le plugin génère une couche vectorielle au format Geopackage, dont la table attributaire est enrichie par la valeur des indicateurs calculés.

Pour illustrer cela, prenons le cas de l'indicateur d'occupation des sols à l'échelle des communes. L'extrait de la table attributaire permet, pour chaque commune, de connaître la superficie en hectare de chaque classe d'occupation des sols (*annexe 5*). Une symbologie peut ensuite être appliquée à la couche pour analyser spatialement l'indicateur. Par exemple, la figure 16 illustre la surface des cultures arborées par communes, tandis que la figure 17 montre la surface des cultures herbacées.

Les résultats mettent en évidence une répartition contrastée : les communes du nord du pays présentent moins de surfaces arborées que celles plus au sud. À contrario, elles présentent une occupation plus importante des cultures herbacées. Cette tendance peut s'expliquer par le gradient climatique qui différencie la saisonnalité entre le nord et le sud du Bénin.

Enfin, il serait pertinent de disposer d'une carte d'occupation du sol couvrant l'ensemble du territoire national. Cela permettrait de comparer directement les dynamiques observées dans le nord avec celles des régions les plus au sud.

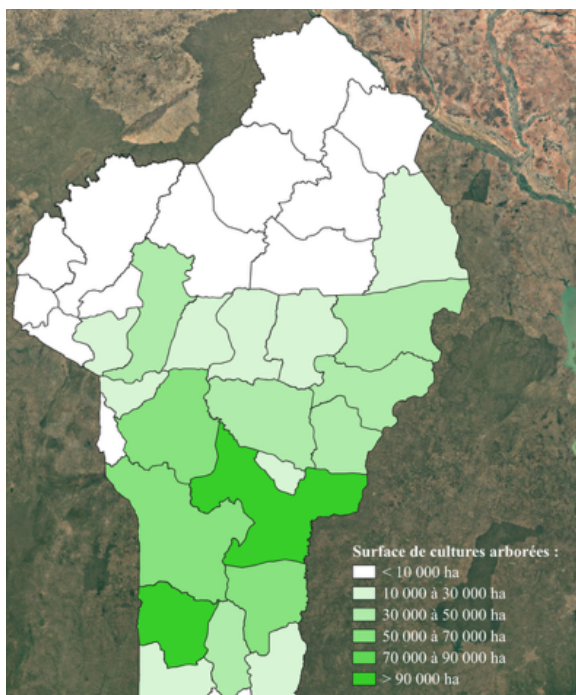


Figure 16 : Carte de la surface des cultures arborées par communes (2023)

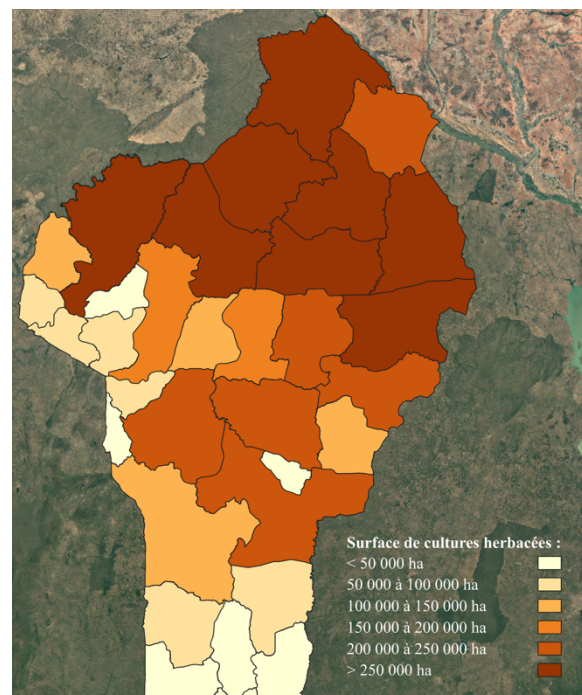


Figure 17 : Carte de la surface des cultures herbacées par communes (2023)

Il est également possible de suivre l'évolution temporelle des surfaces occupées par chaque classe d'occupation des sols, comme l'illustre le graphique ci-contre (figure 18). Entre 2022 et 2023, on observe une augmentation apparente des surfaces cultivées, au détriment de la savane. Ce résultat doit toutefois être nuancé : le graphique ne prend pas en compte les pixels non classés. L'augmentation constatée peut ainsi provenir en partie d'une meilleure classification des pixels en 2023, et non uniquement d'un changement réel de l'occupation du sol.

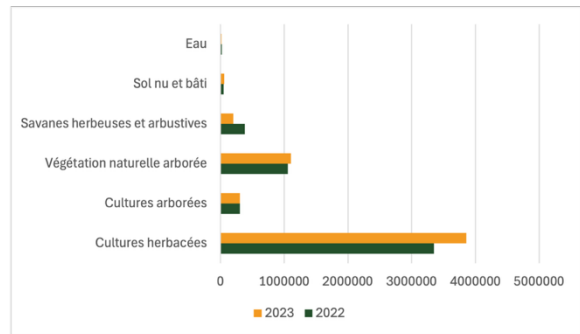


Figure 18 : Histogramme de la surface des classes d'occupation des sols par année (2022 - 2023)

Figure 19 : Carte du pourcentage du territoire consacré à l'agriculture par commune en 2023

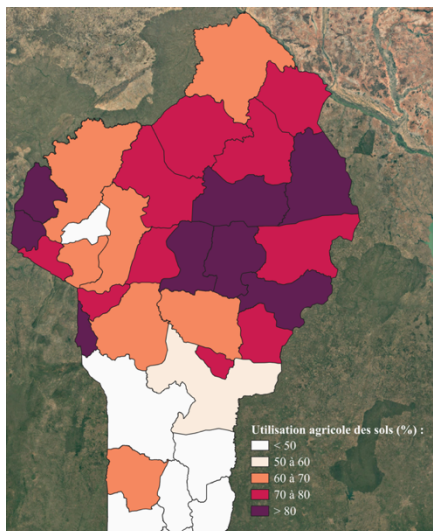
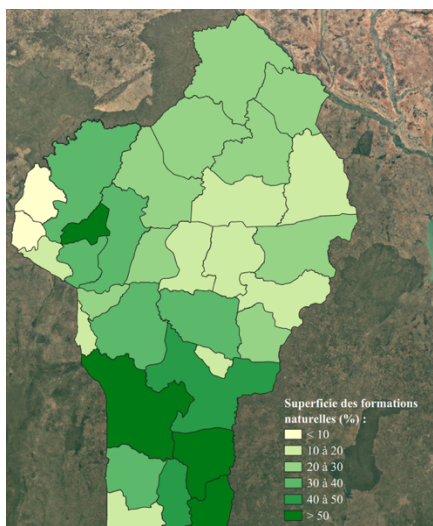


Figure 20: Carte du pourcentage de la superficie des formations naturelles par commune en 2023



Tout comme l'indicateur d'occupation des sols, l'ensemble des indicateurs peut être cartographié de cette façon. Par exemple, ci-contre, figurent la représentation de l'indicateur d'utilisation agricole des sols (SA1) et celle de la superficie des formations naturelles (MC01).

L'indicateur SA1 mesure le pourcentage du territoire consacré à l'agriculture. Les résultats montrent que les communes situées au nord du pays semblent consacrer une proportion plus importante de leur territoire à l'agriculture, avec plus de 60 % de surfaces agricoles. À l'inverse, la plupart des communes du sud de la zone d'étude présentent des valeurs inférieures à ce seuil (figure 19).

L'indicateur MC01 met en évidence le même schéma, les communes les plus agricoles sont aussi celles qui présentent les plus faibles pourcentages de formations naturelles. À l'inverse, les communes où l'agriculture occupe une moindre place sont celles où la part des formations naturelles est la plus élevée (figure 20).

L'automatisation du calcul des indicateurs facilite les analyses multi-échelles. Elle permet d'identifier les grandes tendances suivies par un phénomène, tout en offrant, lorsque nécessaire, la possibilité d'approfondir l'analyse à un niveau local.

Par exemple, la cartographie de l'indicateur de la distance moyenne à parcourir pour accéder au point d'eau le plus proche (PE03) peut être représentée à l'échelle des sites (*figure 21*), des villages (*figure 22*) ou des cellules de 1 km² (*figure 23*). Cette approche permet de comparer la situation d'un site à celle des autres, puis d'examiner plus finement la répartition spatiale de l'indicateur en son sein.

Figure 21 : Carte de la distance moyenne à parcourir pour accéder au point d'eau le plus proche à l'échelle des sites

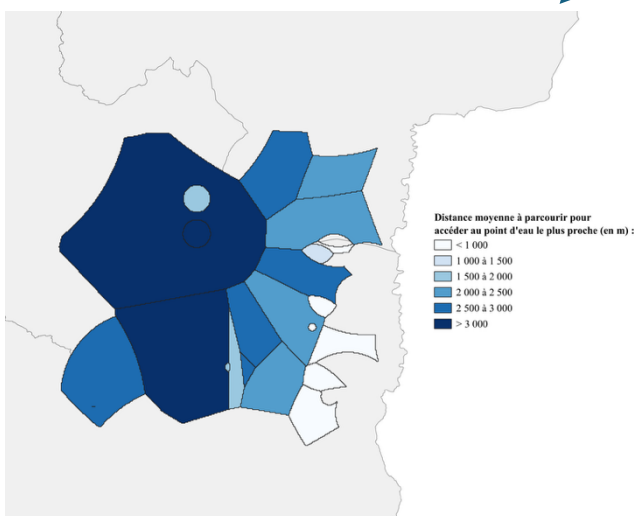
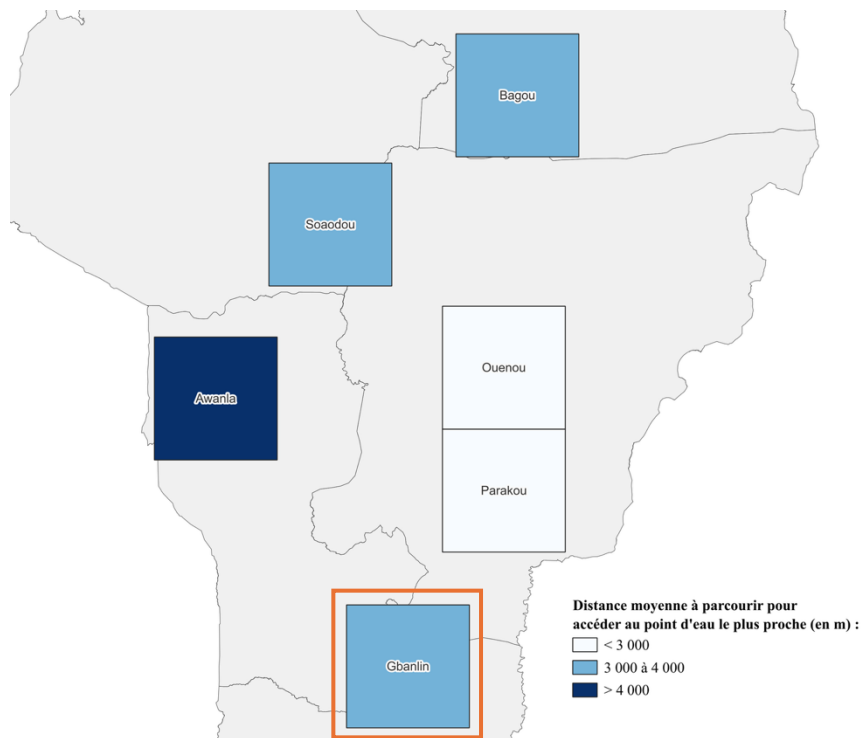


Figure 22 : Carte de la distance moyenne à parcourir pour accéder au point d'eau le plus proche à l'échelle villages au sein du site de Gbanlin

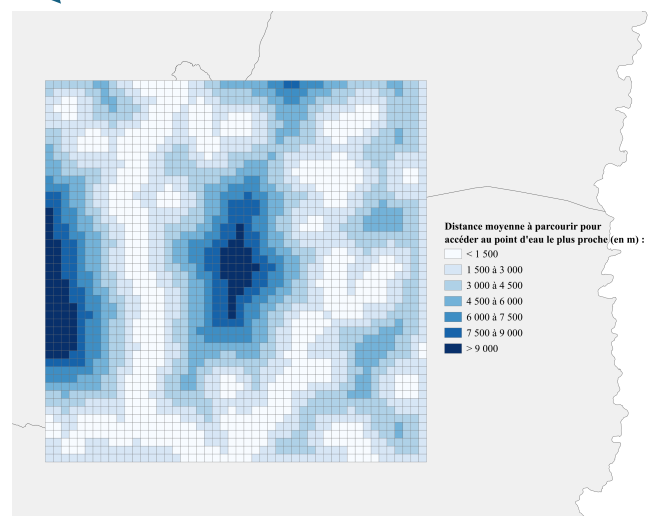


Figure 23 : Carte de la distance moyenne à parcourir pour accéder au point d'eau le plus proche à l'échelle des cellules de 1 km² au sein du site de Gbanlin

Les limites

Limite de l'analyse multi-scalaire

Comme évoqué précédemment, l'analyse multi-scalaire est un vrai atout, toutefois tous les indicateurs ne s'y prêtent pas.

L'exemple de l'indicateur PZ06, qui mesure la fragmentation de l'espace accessible au bétail, illustre bien cette limite. Cet indicateur évalue le degré de division de l'espace : une valeur proche de 0 indique une faible fragmentation, tandis qu'une valeur élevée traduit une fragmentation plus importante. À l'échelle des cellules de 1 km², l'indicateur est assez révélateur. Sans entrer dans une analyse approfondie, on constate que les plus fragmentées se situent dans les zones urbaines et le long des routes (figure 24).

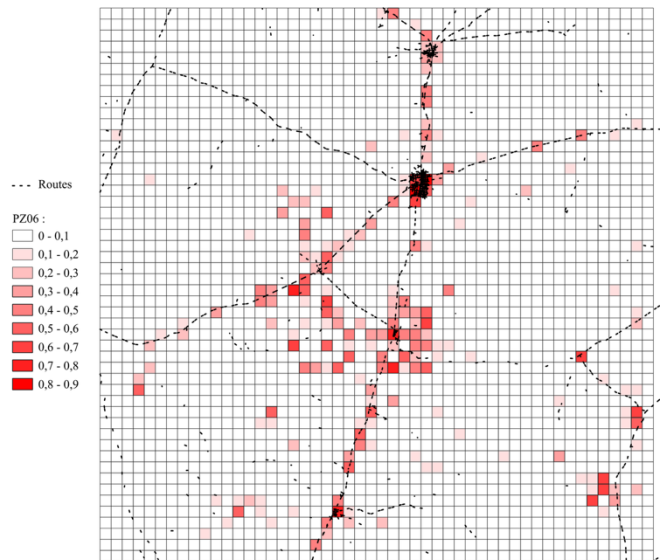


Figure 24 : Carte de la fragmentation de l'espace accessible au bétail à l'échelle des cellules de 1 km² pour le site de Ouénou

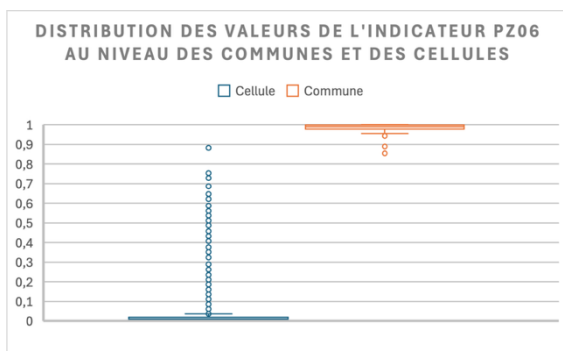


Figure 25 : Comparaison de la distribution des valeurs de l'indicateur PZ06 entre les communes et les cellules

Cependant, à l'échelle des communes, l'étendue des valeurs tombe à 0,15, ce qui réduit considérablement la capacité à discriminer les entités (figure 25). Dans ces conditions, la représentation cartographique de l'indicateur est moins pertinente (figure 26).

L'étendue des valeurs est de 0,9, ce qui signifie qu'on y trouve des cellules faiblement fragmentées jusqu'à des cellules extrêmement fragmentées (figure 25). De plus, les valeurs sont correctement réparties, ce qui permet une discrimination nette entre les cellules.

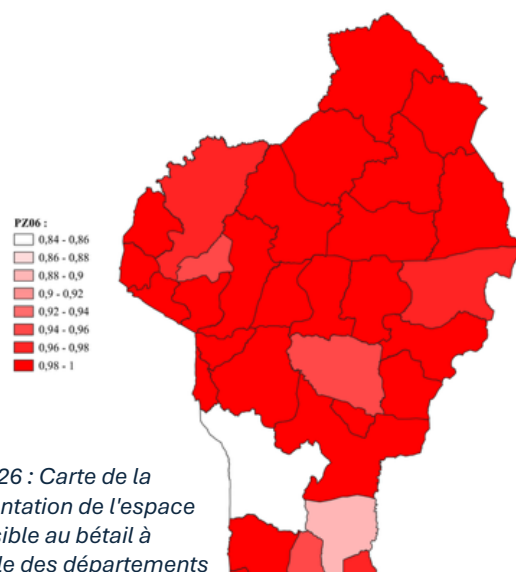


Figure 26 : Carte de la fragmentation de l'espace accessible au bétail à l'échelle des départements

Ces différences dans les résultats s'expliquent par la formule utilisée, basée sur le Landscape Division Index, qui évalue la probabilité que deux pixels choisis au hasard dans la classe accessible appartiennent à deux patches distincts. Pour ce faire, la division de la surface du patch par celle de l'entité est soustraite à 1.

$$PZ06 = 1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2$$

a_{ij} : Surface du patch j de la classe accessible (i)

A : Aire totale de l'entité étudiée

Ainsi, un patch de 100 m² dans une cellule de 1 km² « pèsera » plus que dans un département de 25 000 km² : la probabilité de tomber aléatoirement sur ce patch est donc beaucoup plus faible à cette échelle.

Si ce résultat, qui pouvait sembler surprenant de prime abord, s'explique en réalité par des considérations purement mathématiques, il n'en reste pas moins que dans le cadre du projet, les résultats doivent être explicites pour en faciliter l'interprétation.

Dans ce cas, il est possible de limiter son calcul à certains niveaux, et le considérer comme un « indicateur d'appoint », permettant de caractériser plus finement le territoire. Il est également envisageable d'adapter son calcul en fonction de l'échelle, par exemple en modifiant la résolution du raster pour créer artificiellement des patches plus grands et donc plus influents dans le calcul. Cette approche implique une perte d'information locale au profit d'un suivi des tendances à grande échelle.

Enfin, cet indicateur est représentatif des limites que rencontrent les indicateurs basés sur des notions d'écologie du paysage. Tous sont sensibles à l'échelle et au zonage utilisés pour leur calcul, ce qui renvoie à un problème vieux comme le monde des SIG, le « Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) » (Jelinski & Wu, 1996).

Limites liées aux données

La précision des indicateurs dépend principalement de la qualité des données utilisées. Les indicateurs reposent essentiellement sur les rasters d'occupation du sol (OCS), et leur degré de précision est donc directement lié à ces derniers.

Actuellement, l'overall map accuracy (indicateur global mesurant la précision de la classification de l'OCS) varie entre 0,6 et 0,8 pour les rasters de niveau 1, et entre 0,8 et 0,85 pour ceux de niveau 0. Autrement dit, au niveau 0, environ 80 % des pixels sont correctement classés. Les indicateurs sont donc dépendants de cette précision, et les erreurs de classification peuvent se répercuter sur les résultats, mais leur impact varie selon le type d'indicateur et l'échelle d'analyse. Cette incertitude reste tolérable pour évaluer et suivre les grandes tendances des systèmes agricoles et paysagers, mais elle peut limiter l'interprétation des indicateurs pour des analyses plus fines ou locales.

Par ailleurs, certains indicateurs dépendent de données externes au projet : SA6 utilise le raster du NDVI moyen annuel, IA2 le raster de la couverture arborée, et PC01 les données ACLED. La fréquence de mise à jour de ces données n'est donc pas garantie, ce qui peut affecter la régularité du calcul des indicateurs.

Effet de bord

Les indicateurs sont sensibles à l'effet de bord, car ils se calculent toujours sur une entité précisément délimitée, sans prendre en compte ce qui se trouve au-delà de ses limites. Cela peut influencer les résultats obtenus.

Par exemple, pour l'indicateur de distance moyenne au point d'eau le plus proche (PE03), un point d'eau situé juste en dehors des limites de l'entité ne sera pas pris en compte. La moyenne calculée pourra donc être élevée, alors qu'en réalité les éleveurs ont un point d'eau à proximité.

Par exemple, dans ce cas suivant, les pixels du village de Ouéré-Bani prendront en compte la distance au point d'eau au sein du village, alors que celui du village de Gounarou est plus proche.

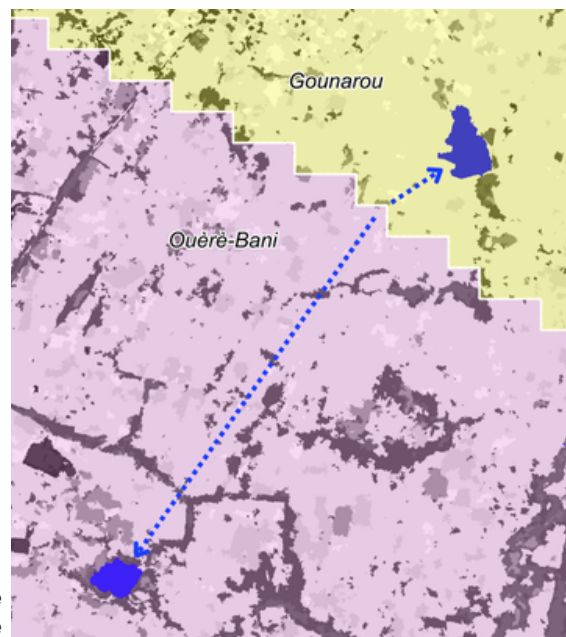


Figure 27 : Illustration de l'effet de bord pour la distance moyenne au point d'eau le plus proche

Par ailleurs, le calcul des indicateurs est réalisé dès lors qu'une couche raster et qu'une couche vectorielle se superposent. Les indicateurs peuvent donc être calculés pour des entités qui ne sont pas entièrement couvertes par le raster d'occupation des sols.

Pour pallier ce problème, plusieurs solutions sont envisageables. La première consiste à découper le raster selon les entités totalement couvertes, avant de le passer au plugin, afin que les calculs se fassent uniquement sur ces entités.

La seconde, interne au plugin, est de vérifier que la proportion de surface couverte est suffisante avant de procéder au calcul.

Adaptabilité à d'autres territoires

Comme exposé tout au long du rapport, le plugin et le calcul des indicateurs ont été conçus pour être les plus généralisables possible. Toute limite peut être utilisée en entrée, permettant ainsi de produire les indicateurs dans différents contextes, par exemple à l'échelle d'un parc national ou d'un zonage d'intérêt particulier. Le plugin n'est donc pas limité au Bénin : il peut être mobilisé dans d'autres territoires présentant des caractéristiques similaires en termes d'occupation du sol.

Plus largement, la démarche reste transposable à tout territoire couvert par un raster d'occupation des sols. Des ajustements de nomenclature, voire une adaptation de certains indicateurs aux enjeux locaux, peuvent néanmoins s'avérer nécessaires. À ce titre, la méthodologie pourrait, par exemple, être étendue à d'autres pays d'Afrique de l'Ouest.

Temps de traitements et performance du plugin :

Le principal risque concernant les performances du plugin résidait dans la multiplication des indicateurs, susceptible d'entraîner des temps de calcul très élevés. Ce point a été partiellement atténué grâce à une structure optimisée, regroupant les étapes les plus coûteuses en ressources afin d'accélérer les traitements.

Néanmoins, certains calculs demeurent longs, en particulier en raison de la taille importante des rasters. Une solution envisageable pour améliorer les performances consisterait à réduire leur résolution, ce qui n'affecterait pas significativement les résultats à grande échelle puisqu'il s'agit surtout de suivre des tendances globales.

Certains indicateurs sont particulièrement sensibles à cette contrainte. Par exemple, PZ07 (nombre de patches) peut engendrer des temps de calcul très importants et devenir instable à grande échelle. De même, IA2 peut nécessiter plus d'une heure de calcul pour un seul département et produire des erreurs sur des volumes plus importants.

Choix des outils :

Le choix de développer un plugin QGIS pour cet outil s'est avéré particulièrement pertinent. QGIS est un logiciel open-source, gratuit et largement utilisé par la communauté SIG. De nombreux utilisateurs potentiels sont donc déjà familiers avec son fonctionnement. L'ajout d'un plugin permet ainsi d'apporter une solution spécifique dans un environnement déjà connu.

Par ailleurs, QGIS offre la possibilité de visualiser rapidement les résultats produits par le plugin, ce qui constitue un atout important pour assurer un contrôle humain avant un éventuel transfert des données vers la base de données.

L'installation du plugin peut présenter quelques difficultés, car il est nécessaire d'installer les bibliothèques requises dans l'environnement Python de QGIS. Certaines bibliothèques, comme PyLandStats, sont indispensables pour le calcul des indicateurs et ne peuvent être supprimées.

Il serait possible de les intégrer directement dans le code du plugin, ce qui simplifierait l'installation pour l'utilisateur, mais rendrait le plugin plus lourd et moins transparent. Un compromis envisageable consiste à rédiger un script d'installation automatique des dépendances, permettant de gérer leur installation sans intervention manuelle. Cette solution pourrait être mise en œuvre dans le cadre des évolutions futures du plugin.

Conclusion

Le stage s'inscrit dans le projet OBSYDYA, dont l'objectif est de tirer parti de l'offre croissante en images satellites à haute et très haute résolution pour mettre en place un observatoire des systèmes agricoles et paysagers. Il avait pour vocation d'automatiser le calcul des indicateurs permettant de mesurer l'état de ces systèmes. À travers un plugin QGIS il est maintenant possible de calculer automatiquement ces indicateurs, conçus spécifiquement pour le territoire béninois, à partir principalement d'un raster d'occupation des sols.

À partir de l'OCS et des indicateurs théoriques, il a fallu trouver les moyens techniques adaptés afin de faire correspondre les indicateurs établis théoriquement et les indicateurs calculés techniquement par le plugin.

La mise en œuvre a nécessité de retranscrire le plus fidèlement possible les indicateurs définis théoriquement, en indicateurs calculables techniquement. Le développement du plugin s'est construit de manière progressive : des échanges avec les personnes en charge des indicateurs, aux premiers tests de calcul, jusqu'à une automatisation à grande échelle. Plusieurs défis ont été relevés, qu'il s'agisse d'optimiser les performances du plugin pour gérer un grand nombre d'indicateurs, ou de concevoir une interface ergonomique et adaptée aux besoins des utilisateurs. L'aspect collaboratif du projet a également été central : afin de faciliter la transmission et la réutilisation, une documentation complète a été rédigée, couvrant à la fois les enjeux théoriques (fiches indicateurs) et les aspects techniques (code et environnement de développement). Une formation des partenaires a permis de présenter l'outil, d'en recueillir des retours et de prendre du recul sur le travail réalisé.

Les résultats obtenus sont très encourageants, le plugin permet désormais l'automatisation d'indicateurs spatialisés évaluant les systèmes agricoles, paysagers et des milieux naturels du Nord Bénin. L'application à grande échelle a toutefois révélé certaines limites : biais liés à l'interprétation de certains indicateurs, contraintes techniques dues au volume de données, ou encore pertinence variable selon l'échelle d'analyse. Ces éléments constituent autant de pistes d'amélioration, qu'il s'agisse d'optimiser les calculs, de préciser l'échelle de pertinence de certains indicateurs ou d'envisager leur usage comme indicateurs d'appoint. La pérennité du plugin est par ailleurs assurée par une documentation évolutive, permettant aux utilisateurs de prendre en main et de faire évoluer l'outil.

Plusieurs perspectives se dessinent. Des ajustements restent à mettre en place afin d'améliorer la qualité des résultats et de renforcer l'expérience utilisateur (installation simplifiée, ajout d'infobulles, barre de progression). Ces évolutions pourront être intégrées dans la continuité du projet. À terme, la méthodologie développée dans le cadre d'OBSYDYA pourra être répliquée ou adaptée à d'autres territoires, en ajustant les rasters d'occupation du sol et en développant de nouveaux indicateurs spécifiques. Le plugin pourrait ainsi devenir un outil générique d'évaluation spatialisée, transposable à différents contextes agricoles et paysagers.

Bibliographie

Bénin—Vue d'ensemble. (2025, avril 7). [Text/HTML]. World Bank.

<https://www.banquemonddiale.org/fr/country/benin/overview>

Di Gregorio, A., & Jansen, L. (2000, janvier). (PDF) *Land Cover Classification System*

(LCCS) : *Classification Concepts and User Manual*. ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/229839605_Land_Cover_Classification_System_LCCS_Classification_Concepts_and_User_Manual

Dury, S., Vall, É., & Imbernon, J. (2017). Production agricole et sécurité alimentaire en

Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 26(6), 61001.

<https://doi.org/10.1051/cagri/2017047>

Eurostat. (2025). <https://ec.europa.eu/eurostat/>

Husfarm. (s. d.). *Benin agriculture, food and farming*. Husfarm Agriculture Platform.

Consulté 21 août 2025, à l'adresse <https://husfarm.com/country/benin>

Igué, A. M., Agossou, V., & Ogouvidé, F. T. (2008). *Influence des systèmes d'exploitation*

agricole sur l'intensité de la dégradation des terres dans le Département des Collines au Bénin.

Indicateurs—ENRD (European Network for Rural Development)—European Commission.

(2012, juin 29). [https://ec.europa.eu/enrd/enrd-](https://ec.europa.eu/enrd/enrd-static/evaluation/faq/fr/indicators_fr.html)

[static/evaluation/faq/fr/indicators_fr.html](https://ec.europa.eu/enrd/enrd-static/evaluation/faq/fr/indicators_fr.html)

Industrie agricole au Bénin. (2025). *Arise IIP*. [https://www.ariseiip.com/fr/accueil/principales-](https://www.ariseiip.com/fr/accueil/principales-industries-au-benin/benin-agriculture-industry/)

[industries-au-benin/benin-agriculture-industry/](https://www.ariseiip.com/fr/accueil/principales-industries-au-benin/benin-agriculture-industry/)

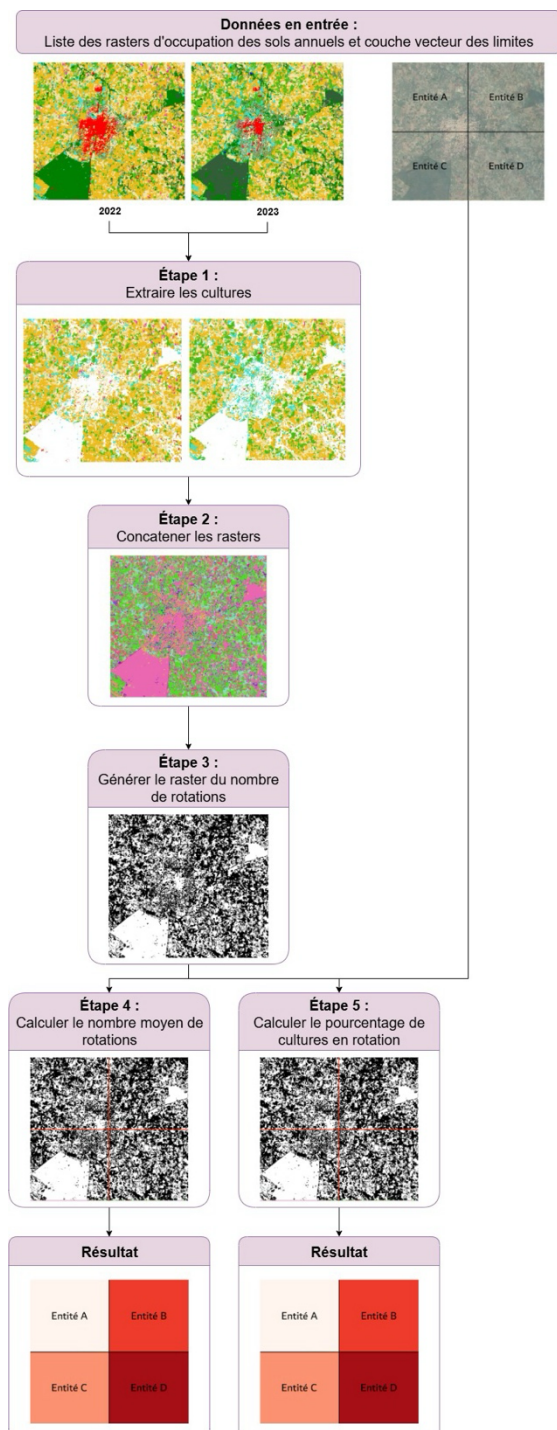
Jelinski, D., & Wu, J. (1996). The Modifiable Areal Unit Problem and Implications for

Landscape Ecology. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1007/BF02447512>

- Konan, K. E., & Amani, R. (2021). Apports des images LANDSAT à la dynamique de l'occupation du sol et à l'analyse des conflits d'usage dans le département de Dianra au nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 223(1), 232-249. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2021.518>
- Lavarenne, J., & Mbengue, A. (2024, août). *Le paradoxe des données climatiques en Afrique de l'Ouest : Plus que jamais urgentes mais de moins en moins accessibles*. <https://hal.science/hal-04714863>
- Mama, A., Sinsin, B., Cannière, C. D., & Bogaert, J. (2013). *Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin*.
- Mouinou Igué, A., Floquet, A., & Stahr, K. (2005, décembre). *Land use and farming systems in Benin*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/259999648_Land_use_and_farming_systems_in_Benin
- Panigraphy, Manjunath, & Shibendu. (2024). (PDF) Deriving cropping system performance indices using remote sensing data and GIS. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1080/01431160500114698>
- PAPA/INRAB, & OBSYDYA. (2024). *Rapport Enquêtes villages sur la délimitation des contours villageois et l'organisation spatiale des activités agricoles*. <https://www.obsydy.org/?wpdmpro=rapport-enquetes-villages-sur-la-delimitation-des-contours-villageois-et-lorganisation-spatiale-des-activites-agricoles-papa-inrab>
- République du Bénin. (2017, novembre). *Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA)*.

Annexes

Annexe 1 : Détails des étapes de calcul de l'indicateur RC01



Données en entrée :

- Liste des rasters d'occupation des sols
- Couche vecteurs des limites

Étape 1 : Extraire les cultures

Pour chaque raster, seules les classes correspondant à des cultures sont conservées.

Les autres classes sont regroupées sous une valeur unique (par exemple 99).

Étape 2 : Concaténer les rasters

Les rasters sont concaténés pixel par pixel, dans l'ordre chronologique.

Chaque pixel prend alors une valeur représentant la suite des cultures observées.

Par exemple, un pixel cultivé en céréales (12) en 2022 et en coton (13) en 2023 aura pour valeur : 1213.

Étape 3 : Générer le raster du nombre de rotations

Le nombre de rotations est obtenu en comptant les changements de culture dans la suite concaténée.

Exemples :

1213 → 1 rotation (céréales vers coton)

1212 → 0 rotation (pas de changement)

Étape 4 : Calculer le nombre moyen de rotations

Pour chaque entité, on calcule la moyenne du nombre de rotations sur l'ensemble des pixels cultivés.

Étape 5 : Calculer le pourcentage de cultures en rotation

On calcule le pourcentage de pixels ayant connu au moins une rotation parmi tous les pixels cultivés.

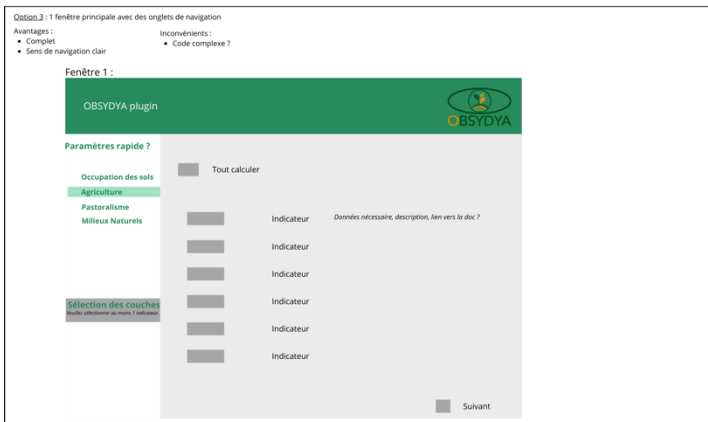
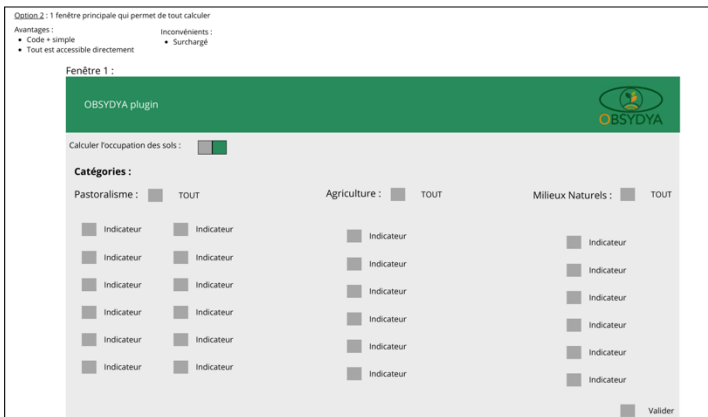
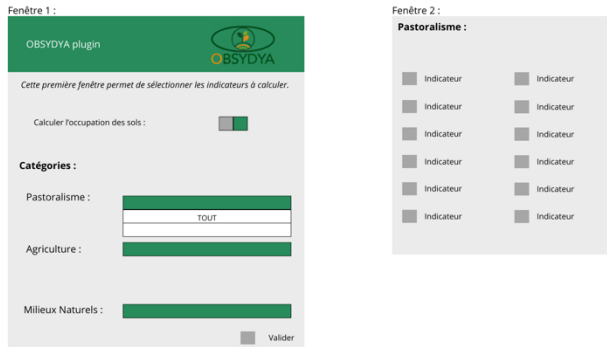
Résultat : L'indicateur fournit deux valeurs par entité :

- le nombre moyen de rotations.
- le pourcentage de cultures en rotation.

Annexe 2 : Maquettes du plugin OBSYDYA

Option 1 : 1 fenêtre principale qui permet de choisir entre "tout calculer" ou "à paramètres" ==> Ouvre une seconde fenêtre avec le choix des indicateurs

- Avantages :
 • Interface plus simple
 • Code plus complexe pour assurer la navigation
- Inconvénients :
 • Surcharge



PZ06 : Division de l'aire accessible au bétail

Nom court	<i>Division de l'aire accessible</i>
Enjeux identifiés :	<i>Morcellement des aires accessibles</i>
Type d'indicateurs	<i>Pastoralisme</i>
Code indicateur	<i>PZ06</i>
Échelles	<i>Départements, Communes, Sites, Villages</i>
Données	<i>Raster d'occupation des sols au niveau 0 et 1</i>
Unité	<i>Probabilité (entre 0 et 1)</i>
Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none"> • ANOPER, 2014. • Bello, 2013. • Diogo et al., 2021. • Konan & Amani, 2021. • Ouedraogo et al., 2015. • Tonah, 2002.
Classe python	<i>AccessIndicators</i>

Définition

L'indicateur PZ06 mesure la fragmentation de l'espace accessible au bétail en estimant son degré de division. Il repose sur la probabilité que deux pixels pris au hasard dans la classe accessible appartiennent à deux patches différents, ce qui reflète la discontinuité spatiale des zones disponibles pour les déplacements du bétail.

$$PZ06 = 1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2$$

Où :

- a_{ij} : Surface du patch j de la classe accessible (i).
- A : Aire totale de l'entité spatiale étudiée.

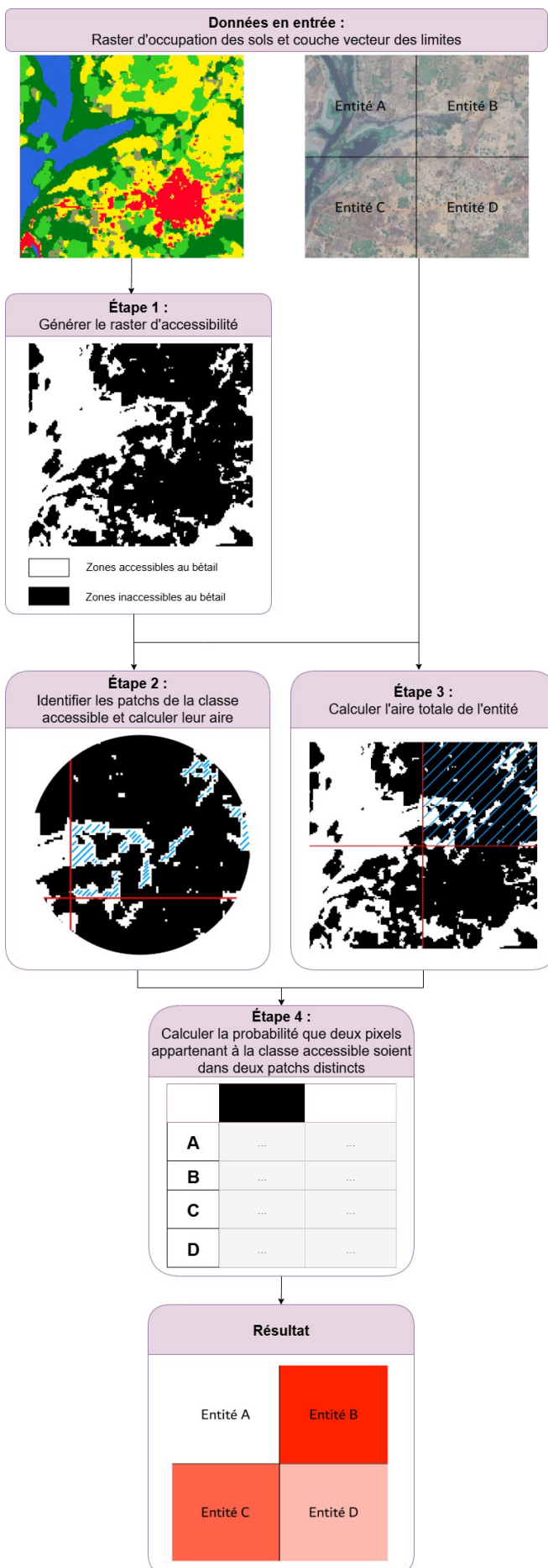
Voir la fiche de l'indicateur PZ03 pour plus de détails sur les *patches*.

L'indicateur PZ06 est basé sur le "[Landscape Division Index](#)" issu de FragStats.

Interprétation

Une probabilité élevée indique une forte division de l'aire accessible, suggérant une fragmentation importante du paysage.

À l'inverse, une probabilité faible témoigne d'une meilleure cohésion spatiale, avec des patches accessibles plus continus.



Données en entrée :

- Raster d'occupation des sols
- Couche vecteur des limites

Étape 1 : Générer le raster d'accessibilité

Les classes d'occupation des sols considérées comme accessibles au bétail sont regroupées en une seule catégorie. Les autres classes sont également agrégées dans une classe unique représentant les zones inaccessibles au bétail. Cette simplification aboutit à la création d'un raster binaire, dans lequel chaque pixel prend la valeur 1 s'il correspond à une zone accessible au bétail, et 0 dans le cas contraire.

Étape 2 : Identifier les patchs de la classe accessible et calculer leur aire

Étape 3 : Calculer l'aire totale de l'entité

Étape 4 : Calculer la probabilité que deux pixels appartenant à la classe accessible soient dans deux patchs distincts

À l'aide des valeurs obtenues à l'étape 2 (aire de chaque patch) et à l'étape 3 (aire totale de l'entité), on calcule l'indicateur PZ06 :

$$(1 - \text{sum}((\text{aire_patch} / \text{aire totale}) **2))$$

Résultat :

Pour chaque entité spatiale, l'indicateur PZ06 mesure la fragmentation de l'espace accessible en estimant la division de la classe accessible.



Documentation

Q Search

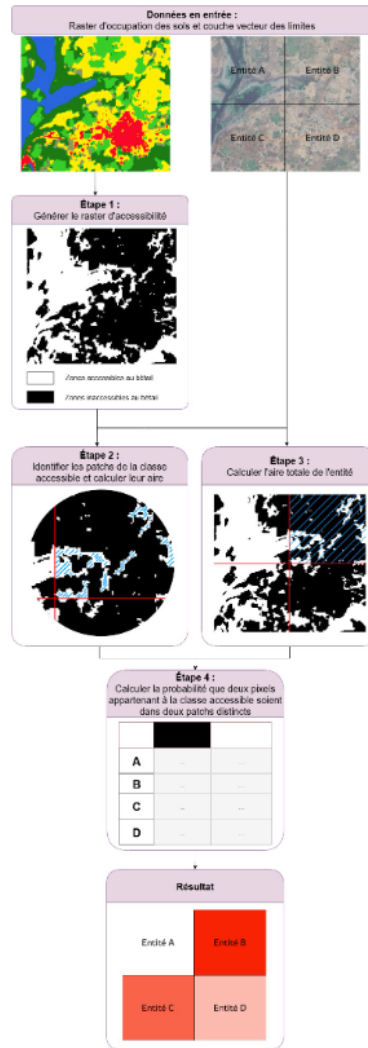
Le plugin

- Installation du plugin
- Utilisation du plugin
- Documentation du code
- Développement, outils et documentation

Les fiches indicateurs

- Occupation des sols
- Agriculture
- Pastoralisme
 - PC01 : Nombre de conflits
 - PZ01 : Aire totale accessible au bétail
 - PZ03 : Portion de l'aire totale accessible
 - PZ04 : Nombre de patches
 - PZ05 : Superficie sans bordure (core)
 - PZ06 : Division de l'aire accessible au bétail**
 - PZ07 : Distance moyenne au patch accessible le plus proche
 - PZ09 : Partie inaccessible dans les couloirs de passage
 - PZ10 : Obstruction du couloir de passage
 - PZ11 : Morcellement des couloirs de passage
- PE02 : Distance générale aux points d'eau
- PE03 : Distance aux points d'eau en contournant les obstacles
- PE04 : Effet des obstacles sur l'augmentation de la

Calcul de l'indicateur



ON THIS PAGE

Définition
[Calcul de l'indicateur](#)
 Précautions

Précautions

Limites d'utilisation identifiées :

- Temporalité de l'accessibilité à certains types de couverture du sol.

Annexe 5 : Extrait de la table attributive QGIS montrant les résultats du calcul de l'indicateur d'occupation des sols à l'échelle des communes en 2023

Q0_Benin_Nord_Centre_commune — Total des entités: 77, Filtrées: 77, Sélectionnées: 0

	fid	nom_com	Cropland	TreeCrops	NaturalWoodyVegetation	NaturalDeciduousVegetation	BareSoil_BuiltupSurfaces	Water
1	65	Karimama	403583,2	3678,92	159642,26	11526,44	12834,97	6951,02
2	70	Tanguiéta	353234,02	6701,13	133659,36	51016,69	1421,05	2868,85
3	64	Banikoara	352268,93	4085,69	78657,76	16875,43	4602,7	3597,01
4	67	Segbana	350745,79	12155,41	68550,02	4639,49	4072,42	264,53
5	69	Gogounou	308882	4766,29	56850,8	7390,48	1814,53	241,54
6	71	Kérou	303639,76	7581,96	97915,61	24930,87	2634,48	1229,93
7	68	Kandi	279625,34	4535,66	81665,89	6177,17	4387,54	1040,97
8	9	Kalalé	277937,21	31151,39	97876,36	21811,19	1985,25	39,32
9	10	Bembéréké	236029,93	15544,31	32391,38	9376,86	1886,92	40,52
10	66	Malanville	234716,31	4877,82	69774,89	2859,62	6697,99	3695,64
11	11	Nikki	216758,08	35691,35	24589,57	16620,44	1672,07	119,37
12	77	Djougou	215889,65	57987,61	107135,77	34327,3	4650,05	38,17
13	13	N'Dali	210067,46	39245,12	113501,9	13157,3	1855,02	129,34
14	15	Tchaourou	202374,13	120658,91	236528,43	32830,65	3800,51	707,04
15	7	Kouandé	184527,74	37069,27	80370,64	31447,57	2506,02	33,16
16	8	Sinendé	181382,47	18777,16	39498,18	7756,64	1478,16	42,33
17	2	Matéri	147504,16	734,81	8332,95	5617,46	887,05	803,62
18	4	Ouassa-Péhunco	130493,36	12140,68	36865,79	10710,95	1342,6	70,55
19	12	Pèrèrè	122432,34	38758,48	33648,26	8628,36	1184,56	17,78
20	18	Bassila	119950,73	58487,74	404398,67	22957,54	2379,84	739,9
21	3	Cobly	83276,43	937,43	2874,93	855,99	164,53	3,48
22	6	Natitingou	74912,12	13877,15	33330,05	22276,66	1796,05	27,21
23	5	Boukoumbé	71696,31	5870,91	10726,66	4813,48	322,53	75,66
24	21	Ouessè	68469,73	59807,52	126581,46	22379,35	2657,79	449,91
25	17	Copargo	62665,03	11060,83	11142,14	9239,76	731,64	6,33
26	19	Bantè	58530,06	107779,34	74642,89	9835,78	1853,07	38,96
27	73	Toukountouna	44757,27	6028,81	32849,29	20001,31	582,3	9,82
28	16	Ouaké	42512,36	9568,72	5522,95	4623,16	971,07	33,1
29	14	Parakou	32309,6	15422,08	5869,72	2034,23	5004,18	22,08
30	20	Glazoué	29788,38	36099,05	55098,2	6934,33	553,93	292,84
31	22	Savé	18038,75	19641,58	50968,05	4973,71	960,99	445,3

Montrer toutes les entités

Résumé :

Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet OBSYDYA, un observatoire visant à suivre les dynamiques des systèmes agricoles et paysagers au Nord-Bénin à partir de données d'occupation des sols issues de l'imagerie satellitaire. L'objectif principal de la mission était de développer un outil pour automatiser le calcul d'indicateurs spatialisés, destinés à informer les acteurs du développement agricole. L'outil produit prend la forme d'un plugin QGIS, permettant d'automatiser le calcul d'une trentaine d'indicateurs couvrant des thématiques variées telles que l'agriculture, le pastoralisme et les milieux naturels. Son développement a nécessité la transcription des définitions théoriques en méthodes de calcul opérationnelles, la conception d'une architecture logicielle optimisée et la mise en place d'une interface utilisateur ergonomique. Une documentation complète a été réalisée afin d'assurer la pérennité de l'outil et son transfert. Le stage s'est conclu par une formation au Bénin, destinée à garantir l'autonomie des partenaires dans l'utilisation et la maintenance du plugin.

Mots-clés : QGIS, Plugin, Indicateurs, Télédétection, Agriculture, Pastoralisme, Bénin

Abstract :

This internship took place within the OBSYDYA project, an observatory designed to monitor the dynamics of agricultural and landscape systems in Northern Benin using land cover data from satellite imagery. The main objective was to develop a tool to automate the calculation of spatial indicators, intended to support agricultural development stakeholders. The tool produced is a QGIS plugin that automates the calculation of about thirty indicators, covering themes such as agriculture, pastoralism, and natural environments. Its development required translating theoretical definitions into operational calculation methods, designing an optimized software architecture, and creating a user-friendly interface. A complete documentation was produced to ensure the sustainability and transfer of the tool. The internship concluded with a training session in Benin to ensure that local partners could use and maintain the plugin independently.

Keywords: QGIS, Plugin, Indicators, Remote Sensing, Agriculture, Pastoralism, Benin