







*Information spatiale et approches territoriales du développement, du diagnostic à la médiation /
Spatial information and territorial approaches to development, from diagnosis to mediation.*

Coordonnateurs : Jérémy Bourgoïn, Flavie Cernesson, Elodie Valette

ARTICLE DE RECHERCHE / RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

Co-construction d'indicateurs spatialisés de suivi des dynamiques agropastorales au Bénin basés sur des données satellitaires

Agnès Bégué^{1,2,*} , Jonathan Peereman³, Comlan Hervé Sossou⁴ , Omoto Aurelle Sedegnan^{1,2,4} , Elliott Yvetot^{1,2}, Raffaele Gaetano^{1,2} , Sabi Bruno Bio Nikki Saré^{1,2,5} , Nestor René Ahoyo Adjovi⁴, Naboua Abdelkader Kouhounji^{6,7} , Denis Olou⁴ et Laurent Gazull^{1,2}

¹ CIRAD, UMR TETIS, F-34398 Montpellier, France

² TETIS, Univ. Montpellier, AgroParisTech, CIRAD, INRAE, Montpellier, France

³ Université de Liège, Faculté des Sciences, UR SPHERES, Arlon, Belgique

⁴ INRAB, Programme Analyse de la Politique Agricole, Cotonou, Bénin

⁵ Université de Parakou, Faculté d'agronomie, LERF, Parakou, Bénin

⁶ Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau, Cotonou, Bénin

⁷ Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP), Cotonou, Bénin

Résumé – Les paysages agricoles du Nord et Centre Bénin connaissent une forte mutation. L'essor du coton, du soja et de l'anacarde, associé à la croissance démographique et à la mécanisation, provoquent l'abandon des jachères, la dégradation des sols, la réduction du couvert arboré et la fragmentation des espaces pastoraux, générant des conflits fonciers et des tensions entre agriculteurs et éleveurs. Face à ces enjeux, les nouvelles données satellitaires offrent des perspectives prometteuses pour le suivi des dynamiques territoriales, mais cet usage reste limité en Afrique de l'Ouest. Dans ce contexte, le projet OBSYDYA vise à mettre en place un observatoire pilote produisant un service informationnel géospatial basé sur des indicateurs spatialisés issus de cartes d'occupation des sols produites annuellement à partir d'imagerie satellitaire et de données de terrain. Cet article présente et illustre l'étape de co-construction des indicateurs réalisée à travers des ateliers participatifs avec des acteurs locaux et l'analyse de la littérature scientifique. Au total, 21 indicateurs ont été identifiés dans deux domaines : 8 concernent l'agriculture (productions agricoles et intensification) et 13 concernent le pastoralisme (superficie et fragmentation des aires de parcours, accessibilité des couloirs de passage, distance aux points d'eau, sécurité des éleveurs). Pour illustrer la pertinence de ces indicateurs, un exemple est présenté pour chaque domaine sur six sites d'étude. Les résultats mettent en évidence une typologie marquée des villages en termes de productions et de pratiques d'intensification agricole, et la forte variation des conditions pastorales locales et saisonnières de ces mêmes territoires sous divers degrés d'intensification agricole. Ce travail démontre qu'en s'appuyant sur des cartes d'occupation des sols adaptées (nomenclature, précision, actualisation annuelle), les indicateurs agricoles et pastoraux constituent un outil robuste pour analyser les structures et dynamiques paysagères et ainsi appuyer les politiques agricoles et territoriales en Afrique de l'Ouest.

Mots clés : télédétection / occupation/utilisation des sols / paysage / analyse spatiale / territoire

Abstract – **Co-construction of spatialized indicators for monitoring agropastoral dynamics in Benin based on satellite data.** The agricultural landscapes of North and Centre Benin are undergoing rapid transformation. The expansion of cotton, soy, and cashew production – coupled with population growth and mechanization – has led to the abandonment of fallow periods, soil degradation, reduced tree cover, and fragmented pastoral areas. These changes have intensified land-use conflicts and tensions between farmers and herders. In response, satellite data offer promising opportunities for monitoring territorial dynamics, but

*Auteur correspondant : agnes.begue@cirad.fr

their use remains limited in West Africa. In this context, the OBSYDYA project aims to establish a pilot observatory that provides a geospatial information service based on spatially explicit indicators derived from annual land cover maps produced using satellite imagery and field data. This paper presents and illustrates the co-construction of these indicators through participatory workshops with local stakeholders and a review of the scientific literature. A total of 21 indicators were identified across two domains: 8 related to agriculture (agricultural productions and intensification) and 13 related to pastoralism (grazing area size and fragmentation, accessibility of migration corridors, distance to water points, herder safety). To illustrate the relevance of these indicators, an example is provided for each domain across six study sites. The results reveal a distinct typology of sites in terms of agricultural productions and intensification, as well as significant local and seasonal variation in pastoral conditions under different levels of agricultural intensification. This work demonstrates that, by relying on tailored land cover maps with appropriate nomenclature, precision, and annual updates, agricultural and pastoral indicators can serve as robust tools for analyzing landscape structures and dynamics, thereby supporting agricultural and territorial policies in West Africa.

Keywords: remote sensing / land use/land cover / landscape / spatial analysis / territory

1 Introduction

La région du Nord et Centre Bénin est caractérisée par des paysages dominés par l'agriculture et les savanes, et utilisés par l'élevage traditionnel. Sous l'effet conjugué de la pression démographique, de la demande croissante en produits alimentaires et du développement de la culture pérenne de l'anacardier, les exploitations agricoles du Nord Bénin s'étendent de plus en plus sur les espaces naturels (Bidou *et al.*, 2018) tout en optant pour une intensification des systèmes de production. Cette intensification se traduit par l'abandon progressif de la jachère, le recours accru à la mécanisation et à l'usage d'herbicides, entraînant dans certains cas une dégradation des sols et une réduction du couvert arboré (Diogo *et al.*, 2021). Parallèlement, les conditions et potentialités pastorales se détériorent : disparition des pâturages, baisse de la biomasse herbacée disponible, augmentation de la taille des troupeaux et fragmentation des espaces accessibles au bétail (Sounon *et al.*, 2019). Ces transformations des systèmes de production et des filières associées provoquent des bouleversements critiques dans les écosystèmes et la structure spatiale des paysages ruraux (ANOPER, 2014 ; Padonou *et al.*, 2025), générant des conflits fonciers et des tensions entre agriculteurs et éleveurs (Krätli et Toulmin, 2020).

Malgré la reconnaissance de ces enjeux dans les régions Nord et Centre Bénin, les informations fiables et actualisées sur l'état des paysages ruraux restent insuffisantes. L'augmentation de la résolution spatiotemporelle et de la richesse spectrale des données satellitaires offre pourtant une opportunité majeure pour développer des applications innovantes en agriculture et en environnement, permettant de caractériser et de suivre les dynamiques paysagères en lien avec les pratiques agropastorales (Bégué *et al.*, 2018 ; Heiss *et al.*, 2025). Cependant, les services informationnels basés sur la télédétection restent peu développés en Afrique sub-saharienne, malgré les nombreux projets de recherche et développement lancés depuis les années 2000 (Tonneau *et al.*, 2019). Ce faible déploiement s'explique par une stratégie d'offre technologique largement impulsée par les institutions du Nord avec le transfert de produits ne répondant que partiellement à la demande, par des méthodes peu adaptées à la diversité et à la complexité des systèmes agropastoraux et au manque de

données de terrain (Bégué *et al.*, 2020), par des difficultés de partenariat et de financement sur le long terme, et par des asymétries relationnelles de pouvoir avec l'exclusion d'importantes formes de savoir (Pritchard *et al.*, 2022). Les cartes d'occupation des sols disponibles (ex. ESA WorldCover, GLAD GLC) distinguent peu de types de cultures ou de végétation naturelle, présentent une précision limitée dans plusieurs régions africaines (Kerner *et al.*, 2024) et sont rarement mises à jour annuellement.

Face à ces limites, trois recommandations fortes émergent dans la littérature scientifique pour renforcer l'usage de l'observation de la Terre : la production de cartes annuelles d'utilisation des sols à une échelle adaptée (1:50 000 à 1:100 000) intégrant données satellitaires, expertise locale et relevés de terrain (Bégué *et al.*, 2020) ; le renforcement des capacités de tous les acteurs, y compris ceux du Nord, en valorisant les savoirs locaux et en adoptant des démarches de co-conception (Pritchard *et al.*, 2022) ; et l'adoption d'une approche transdisciplinaire (Ifejika Speranza *et al.*, 2023).

C'est dans cette optique que s'inscrit le projet européen OBSYDYA (Observatoire des dynamiques agricoles et des paysages ruraux du Bénin ; 2022–2026) porté par un consortium pluridisciplinaire béninois, français et belge. Le projet repose sur trois axes : la création d'une base de données cartographiques des paysages et usages des sols au Nord et Centre Bénin, la co-construction d'indicateurs spatialisés avec les acteurs locaux pour caractériser les systèmes agraires, leurs dynamiques et leur durabilité environnementale, et la mise en place d'un observatoire pilote pour le traitement, le partage et la diffusion d'informations spatialisées. Chaque axe intègre un volet de renforcement des capacités des acteurs en charge de la production et de la diffusion de services d'information géographique et statistique à destination des filières agricoles et pastorales.

L'objectif de cet article est de présenter la démarche d'analyse de besoins informationnels et de production d'indicateurs spatialisés dans les domaines de l'agriculture et de l'élevage—la pression anthropique sur les milieux naturels étant abordée dans Padonou *et al.* (2025)— et son application à la région Nord et Centre Bénin pour l'année 2023. L'originalité de cette approche repose sur l'utilisation de cartes d'occupation des sols produites localement et annuellement, à partir de données de télédétection, permettant un suivi

opérationnel des dynamiques territoriales à différentes échelles, avec un coût accessible pour la collectivité.

2 Démarche générale

La production de services informationnels territoriaux, telle que visée par le projet d'observatoire pilote OBSYDYA, est bâtie sur les postulats que l'occupation des sols est un marqueur des dynamiques agro-sylvo-pastorales, et que la co-construction d'un service informationnel géospatial passe par une production régulière et normalisée d'informations facilement accessibles et utilisables (Tonneau *et al.*, 2019). L'approche présentée dans ce papier se concentre sur l'étape de production de ces informations, à savoir (1) la co-construction d'une liste d'indicateurs spatialisés, et (2) leur calcul à partir des données de cartes d'occupation et d'utilisation des sols (OS) produites par traitement de séries temporelles d'images d'observation de la Terre (OT) et mises à jour annuellement. La co-construction repose sur une démarche originale pilotée par les besoins des utilisateurs, en fonction des dynamiques et des pratiques agropastorales en jeu aux échelles locales et nationales, et complétée par l'expertise des chercheurs en télédétection, garantissant l'utilité et la faisabilité des informations produites.

2.1 Zone d'étude et sites représentatifs des dynamiques territoriales

La zone d'étude couvre environ 98 000 km² et cinq départements du Nord et Centre Bénin (Alibori, Borgou, Atacora, Donga et Collines ; Figure 1). Dans cette zone, six sites de 50 × 50 km² ont été choisis pour proposer des produits de démonstration adaptés aux systèmes agricoles locaux rencontrés dans les quatre principales zones agroécologiques du Nord Bénin (Adegbola *et al.*, 2017). Au nord, le site de Gogounou est une zone de forte intensification agricole, caractéristique de la production cotonnière et de l'élevage (bovins, petits ruminants). À l'Ouest, se situent le site de Pehunco, une zone de diversification du coton avec des systèmes agro-sylvo-pastoraux, et le site de Djougou caractérisé par des systèmes de production à base de céréales et de tubercules (l'igname notamment). Au sud de Gogounou, se trouvent les sites de N'Dali et de Parakou caractérisés par une production vivrière. Au sud de la zone d'étude, le site de Ouesse est une zone de diversification coton-cultures alimentaires-anacarde avec un front agricole.

2.2 Cartographie de l'évolution de l'occupation des sols

Deux types de cartes d'occupation des sols sont produites chaque année par des chaînes de traitement d'images déployées sur des serveurs mis en place au Bénin par le projet OBSYDYA. À l'échelle de toute la zone, les cartes sont produites à un niveau dit L0, à 10 m de résolution et une nomenclature en six classes – avec la chaîne de traitement IOTA² (Inglada *et al.*, 2017 ; <https://docs.iota2.net/>) à partir de séries temporelles d'images Sentinel-2 (Fig. 1a). À l'échelle des sites, les cartes sont produites à un niveau dit L1, à 1,6 m de résolution et une nomenclature en douze classes – avec la

chaîne de traitement MORINGA (Gaetano *et al.*, 2019 ; <https://forge.inrae.fr/raffaele.gaetano/>) à partir de séries temporelles d'images Sentinel-2 et d'images SPOT6/7 (Fig. 1b). Les chaînes de traitements sont entraînées et évaluées à partir de données de terrain, collectées chaque année sur les sites d'étude par les équipes béninoises du projet OBSYDYA (INRAB et Université de Parakou), selon un protocole standardisé (Jolivot *et al.*, 2021). La précision des cartes a été évaluée par validation croisée en 5 partitions, à partir d'un échantillon de polygones de référence. Elle est de l'ordre de 80 % pour le niveau L0 (Annexe 1, en matériel supplémentaire) et comprise entre 60 % et 80 % pour le niveau L1.

2.3 Co-construction d'indicateurs spatialisés

La sélection des indicateurs repose sur l'analyse des besoins identifiés lors d'un atelier participatif et de consultations, sur une revue de la littérature et sur des critères d'opérationnalité. Trois principes directeurs ont été retenus : (1) les indicateurs doivent être spatialisés, afin de permettre leur utilisation dans des processus de planification territoriale ; (2) ils doivent pouvoir être actualisés annuellement, pour répondre aux exigences du suivi des dynamiques territoriales ; (3) ils doivent pouvoir être construits à partir de l'imagerie satellitaire et des dispositifs de collecte de données de terrain existants, de manière à garantir, à terme, une production d'information à moindre coût à l'échelle nationale.

2.3.1 Atelier participatif et consultations d'acteurs

Le projet OBSYDYA a organisé les 10 et 11 mai 2023 un atelier visant à co-construire les principaux indicateurs spatialisés de l'observatoire OBSYDYA. Cette étape de co-construction a été menée avec 25 participants d'horizons variés (acteurs locaux du monde agricole, élus, services de l'état, ONG et acteurs académiques) qui ont interagi autour de *World Cafés* et de présentations plénières (Gazull *et al.*, 2023). Elle a permis une représentation partagée de l'état des systèmes agro-sylvo-pastoraux (développement du coton, développement des plantations d'arbres, évolution du couvert forestier, fronts pionniers, etc.), une priorisation des enjeux et une liste d'indicateurs permettant de répondre à ces enjeux. La faisabilité de la production de ces indicateurs aux échelles nationale et locale a été confrontée aux possibilités offertes par la télédétection. Cette analyse a permis d'établir une liste d'indicateurs spatialisés, détaillés en Annexes 2 et 3, en matériel supplémentaire :

- pour les cultures, six enjeux majeurs ont été identifiés (voir Annexe 2, en matériel supplémentaire). Quatre d'entre eux disposent d'indicateurs spatialisés opérationnels : améliorer la productivité et l'intensification agricole, réduire les risques climatiques et biologiques, accéder au foncier, accéder aux marchés. Seul le premier enjeu a été retenu car il repose essentiellement sur les cartes d'occupation des sols produites par le projet ;
- pour l'élevage, huit enjeux principaux ont été définis (voir Annexe 3, en matériel supplémentaire), dont quatre disposent d'indicateurs spatialisés opérationnels : le suivi des zones de parcours, l'accès aux points d'eau, les feux de végétation et l'accès aux marchés.

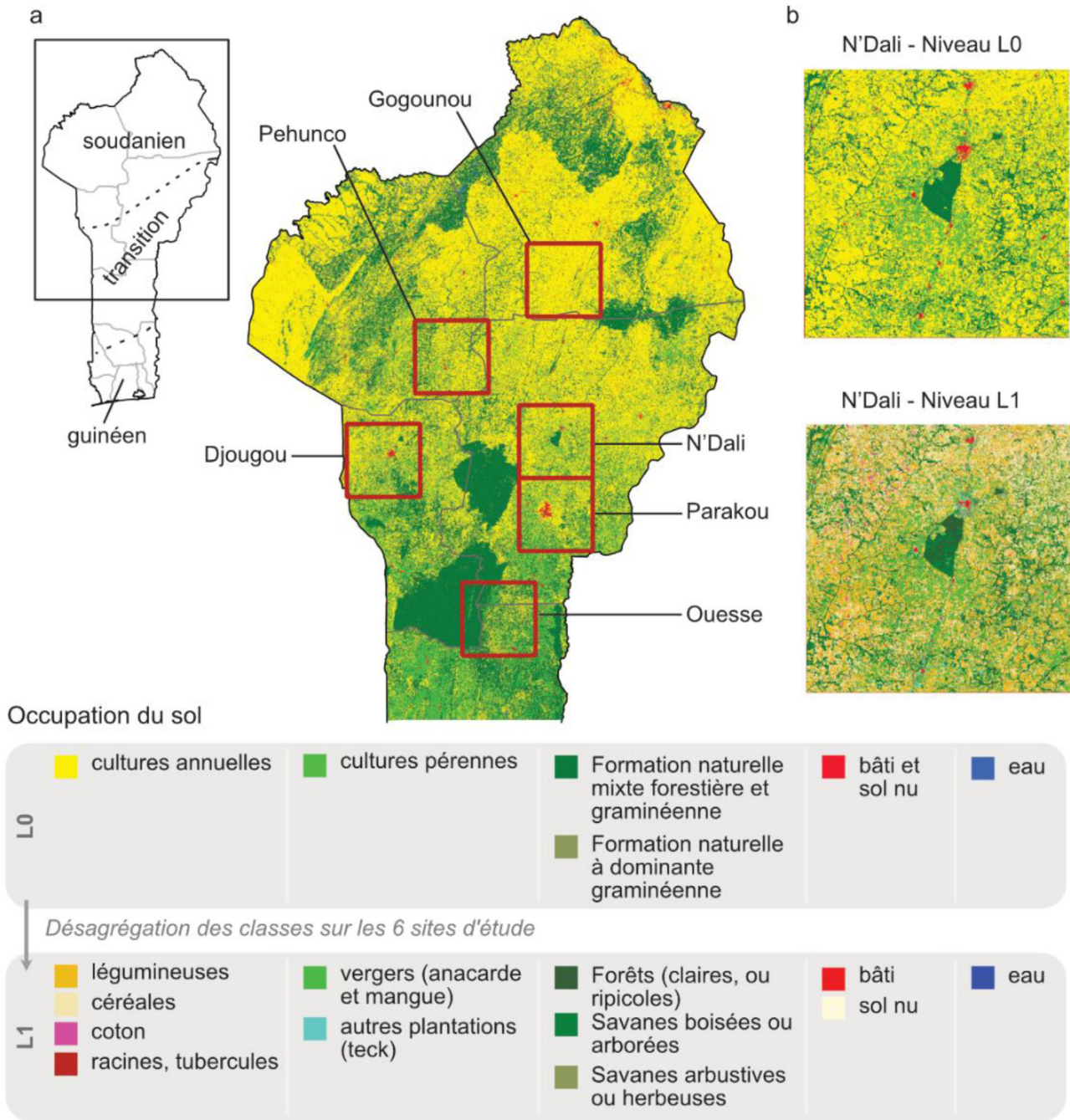


Fig. 1. (a) Carte d'occupation des sols de la zone d'étude au niveau L0 en 2023, et localisation des six sites d'étude. (b) Détail du site de N'Dali aux niveaux L0 (S2; 10 m de résolution) et L1 (S2 et SPOT6/7; 1,6 m de résolution).

Fig. 1. (a) Level L0 land cover map of the study area in 2023, and location of the six study sites. (b) Detailed view of the N'Dali site at levels L0 (S2; 10 m resolution) and L1 (S2 and SPOT6/7; 1.6 m resolution).

En complément de cet atelier, une trentaine de consultations d'acteurs agricoles et d'éleveurs ont été menées dans les régions de Ouesse, Parakou, N'Dali et Gogounou. Ces consultations, d'une durée de 20 à 30 minutes, se sont déroulées sur site (villages, pâturages, en transport, parcelles agricoles) avec une partie informelle et une partie dirigée sur l'utilisation des terres et les pratiques associées, la dynamique

des ressources (terres agricoles, fourrages, espaces pastoraux, etc.) et sur les relations entre agriculture et élevage. Les éléments recueillis ont permis de confirmer la pertinence des indicateurs proposés lors de l'atelier ([Annexe 3](#), en [matériel supplémentaire](#)) et de les affiner; elles ont notamment permis d'identifier le besoin de prendre en compte la variation intra-annuelle des conditions pastorales liée à l'occupation des sols.

2.3.2 État de l'art

La littérature propose plusieurs indicateurs spatialisés pour analyser les systèmes agricoles sur de vastes étendues (Padonou *et al.*, 2024). Ces indicateurs s'appuient principalement sur l'observation de la Terre, seule source permettant une cartographie exhaustive et un suivi temporel systématique. Les indicateurs sont soit extraits directement des séries temporelles d'images satellite, soit calculés à partir des cartes d'occupation des sols produites elles-mêmes à partir des images satellite (Hunt *et al.*, 2019). Dans le premier cas, on trouve essentiellement des indicateurs d'intensification agricole, tel que le nombre de cultures par an (Löw *et al.*, 2018), la durée de mise en culture au cours d'une année (Estel *et al.*, 2016), le nombre d'années cultivées sur une période donnée (De Beurs et Ioffe, 2014) ou les surfaces irriguées (Siebert *et al.*, 2010); ces indicateurs sont essentiellement extraits de séries temporelles d'images satellite par analyse du signal intra-annuel. Dans le deuxième cas, on trouve des indicateurs sur l'utilisation agricole des sols (Guiomar *et al.*, 2018), l'intensification agricole (Arvor *et al.*, 2012), la diversité des cultures (Choudhury *et al.*, 2006) et la capacité de charge des terres (Wang *et al.*, 2023). La plupart des études se concentrent sur la cartographie d'un indicateur isolé. Certaines vont plus loin en proposant une typologie des systèmes agricoles, basées sur la classification statistique (Estel *et al.*, 2016; Löw *et al.*, 2018; Nelson et Burchfield, 2023; Rabelo *et al.*, 2023) ou l'analyse experte d'un ensemble d'indicateurs (Arvor *et al.*, 2013; Panigrahy *et al.*, 2005; Tong *et al.*, 2024), pour éclairer les dynamiques en cours. Cependant, aucun cadre d'analyse consensuel n'émerge, les besoins en indicateurs variant selon les systèmes étudiés, les dynamiques et enjeux locaux et nationaux et la précision des données disponibles.

Pour les systèmes pastoraux, plusieurs études ont développé des indicateurs spatialisés, tels que la présence d'eau de surface pour l'abreuvement (Slinski *et al.*, 2025), la qualité des pâturages (Jamsranjav *et al.*, 2019) ou le potentiel de production de lait selon les conditions locales (Rahimi *et al.*, 2022). D'autres travaux se sont focalisés sur la structure du paysage et le morcellement des espaces accessibles comme la taille, la forme, et la connectivité de ces espaces (Usman et Nichol, 2022), dans certains cas en combinaison avec un indice de végétation (Brottem *et al.*, 2014). Par ailleurs, des initiatives ont produit des cartes dédiées à la caractérisation des conditions pastorales locales, intégrant par exemple la disponibilité en eau pour l'abreuvement et le bilan fourrager (projet MODHEM au Burkina Faso; www.modhem.org). La plupart des indicateurs se basent sur des données de terrain collectées par des réseaux d'éleveurs et sur des produits OT existants (cartes OS Copernicus, indices de végétation...), tels que ceux produits par Action contre la faim à travers une plateforme en ligne (Fillol *et al.*, 2020).

Parmi les indicateurs proposés dans la littérature, certains présentent des contraintes d'usage pour les acteurs locaux : une résolution spatiale souvent insuffisante (100 m à 500 m) pour décrire et analyser des paysages de plus en plus fragmentés, et une nomenclature des cartes OS inadaptée (Touré *et al.*, 2004), sans distinction des types de culture ou des pâturages, limitant ainsi le nombre d'indicateurs calculables et leur analyse saisonnière.

2.3.3 Indicateurs retenus

Le croisement des besoins exprimés lors de l'atelier et des consultations, de la revue bibliographique, et des critères de faisabilité opérationnelle, a abouti à un groupe de 21 indicateurs spatialisés (Tab. 1) pour les domaines de l'agriculture (8) et de l'élevage (13).

3 Calcul des indicateurs

Sont présentées dans cette section les méthodes de calcul des indicateurs listés dans le Tableau 1. Ces indicateurs peuvent être calculés à l'échelle d'unités administratives, de zones de compétence d'acteurs locaux (couloirs de passage) ou de limites naturelles (bassin versant, zone agroécologique) à partir des cartes OS au niveau L0. Les indicateurs qui nécessitent des classes détaillées de type de culture (cartes OS au niveau L1) sont quant à eux uniquement calculés à l'échelle des sites.

3.1 Agriculture

Les indicateurs sont calculés à partir des surfaces cultivées et non cultivées (L0 et L1), des cultures annuelles et pérennes (L0 et L1) et des types de culture (L1). Les types de cultures annuelles et leur durée de mise en culture respective (mois/an) sont les légumineuses (5), céréales (5), coton (6) et les racines/tubercules (12). Les types de cultures pérennes sont les vergers et autres plantations. Les cultures alimentaires regroupent les céréales et les racines/tubercules; les légumineuses en ont été exclues car elles correspondent essentiellement au soja, culture d'exportation qui actuellement n'entre que de manière très marginale dans le régime alimentaire des béninois.

- L'indice d'utilisation agricole des sols SA1 (%) mesure la part des surfaces agricoles (cultures annuelles ca et pérennes cp) dans l'entité de surface A :

$$SA1 = \frac{\sum_{i \in A} ca_i + \sum_{i \in A} cp_i}{A} \quad (1)$$

- L'indice de diversité des cultures SA2 mesure l'abondance relative des cultures c dans l'entité de surface A :

$$SA2 = \frac{1}{\sum_{i \in A} p_i^2}, \text{ avec } p_i = \frac{c_i}{A} \quad (2)$$

- SA3 (%) mesure la part des cultures alimentaires $calim$ dans le domaine cultivé D_c :

$$SA3 = \frac{\sum_{i \in D_c} calim_i}{D_c} \quad (3)$$

- La productivité des cultures annuelles SA4 est approchée par la valeur moyenne sur l'année du NDVI MODIS

Tableau 1. Liste des indicateurs agricoles et pastoraux retenus pour le suivi des conditions agropastorales au Nord et Centre Bénin (Annexe 4, en matériel supplémentaire).

Table 1. List of selected indicators selected for monitoring agropastoral conditions in North and Centre Benin (Appendix 4, in the Supplementary material).

Domaines	Indicateurs (code)	Enjeux
Agriculture	Utilisation agricole des sols (SA1), %	Stock de terre encore disponible pour les activités agricoles
	Diversité des cultures (SA2), n/a	Exposition aux risques (malnutrition, changement climatique, ravageurs et maladies...), appui à la stratégie pour des systèmes alimentaires durables
Production	Part des cultures alimentaires dans le domaine cultivé (SA3), %	Risques économiques, climatiques, accès aux terres
	Productivité des cultures annuelles (SA4), unité NDVI	Détection des anomalies de croissance, potentiel de productivité
	Pression humaine sur les terres agricoles (SA5), ha/personne	Risques économiques, environnementaux (perte de biodiversité, dégradation des sols) et sociaux (inégalités d'accès à la terre, migration)
	Ratio des cultures annuelles et pérennes (I1)	Potentiel d'intensification (systèmes intégrés, surfaces gelées)
Intensification	Intensification de l'utilisation agricole des sols (I2)	Stock de terre agricole disponible au cours de l'année
	Pourcentage de couverture arborée des terres arables (I3), %	Adoption de pratiques agroécologiques, sécurité alimentaire
Pastoralisme		
Morcellement des aires accessibles	Aire totale accessible au bétail (PZ1), ha	Superficie qui peut supporter l'élevage
	Portion de l'aire totale accessible (PZ2), %	Perte d'espace disponible pour les éleveurs due à l'extension des cultures
	Nombre de patch accessibles (PZ3)	Impact sur les pratiques des éleveurs
	Proportion de zones centrales (PZ4), %	Risques de conflit entre agriculteurs et éleveurs
	Fragmentation de l'aire accessible (PZ5)	Impact sur les pratiques des éleveurs
	Distance moyenne au morceau accessible le plus proche (PZ6), m	Impact sur les pratiques des éleveurs
Pression sur les couloirs de passage	Partie inaccessible dans les couloirs de passage (PZ7), %	Inaccessibilité des couloirs de passage due à l'extension des surfaces cultivées
	Obstruction du couloir de passage (PZ8), booléen	Couloir de passage qui ne peut plus être franchi par le bétail
	Morcellement des couloirs de passage (PZ9), nombre de patches	Impact sur les pratiques des éleveurs
Accès aux points d'eau	Distance générale aux points d'eau (PE1), m	Distance moyenne à vol d'oiseau pour atteindre le point d'eau le plus proche
	Distance aux points d'eau en contournant les obstacles (PE2), m	Distance moyenne au point d'eau le plus proche en considérant les espaces inaccessibles
	Effet des obstacles sur l'augmentation de la distance aux points d'eau (PE3), %	Impact sur les pratiques des éleveurs
Sécurité	Nombre de conflits comprenant des éleveurs (PC1)	Dégradation de la sécurité des éleveurs et de leur bétail

(produit MOD13Q1) calculé sur les terres arables (> 95 % de cultures annuelles dans le pixel MODIS).

- L'indicateur de la pression humaine sur les terres agricoles SA5 (ha/pers) est le rapport entre la surface des cultures alimentaires *calim* et la population totale *P* de l'entité spatiale considérée :

$$SA5 = \frac{\sum_{i \in A} calim_i}{P} \quad (4)$$

- Le ratio des cultures annuelles et pérennes I1 est le rapport de la surface occupée par des cultures annuelles *ca* à celle occupée par les cultures pérennes *cp*, dans l'entité spatiale considérée :

$$I1 = \frac{\sum_{i \in A} ca_i}{\sum_{i \in A} cp_i} \quad (5)$$

- L'indice d'intensification de l'utilisation agricole des sols I2 évalue le niveau d'utilisation agricole d'une entité de surface A au cours d'une année, avec m_i le nombre de mois de culture par an :

$$I2 = \frac{\sum_{i \in A} ca_i * \frac{m_i}{12} + \sum_{i \in A} cp_i}{A} \quad (6)$$

- Le pourcentage de couverture arborée des terres arables I3 (%) correspond à la moyenne des pourcentages de couverture arborée T calculée sur l'ensemble des pixels classés en terres arables de l'entité spatiale de surface A . T est extrait du produit Tropical Tree Cover de 2020 (10 m de résolution), recommandé pour le suivi de la couverture arborée en milieu agricole (Brandt *et al.*, 2023) :

$$I3 = \frac{T}{\sum_{i \in A} ca_i} \quad (7)$$

3.2 Pastoralisme

À l'exception de PC1, l'ensemble des indicateurs repose sur les cartes OS au niveau L1. Ils sont calculés séparément pour la saison des pluies et la saison sèche afin de tenir compte du caractère saisonnier de l'accessibilité du paysage des différentes OS qui avait été souligné lors des consultations menées auprès des éleveurs et agriculteurs. Ainsi, la classe Cultures annuelles est inaccessible en saison des pluies, alors que la classe Vergers (essentiellement des anacardes) est inaccessible en saison sèche (période de récolte). Les classes de végétation naturelle sont accessibles toute l'année, alors que les classes Racines et tubercules, Sol nu et Eau sont toujours inaccessibles.

- Le nombre de conflits PC1 impactant des éleveurs sur l'année écoulée est calculé à partir des données de Armed Conflict Location and Event Data (ACLED : Raleigh *et al.*, 2023) extraites à partir d'une liste de mots-clés (*pastoral, herd, cow, ox, goat, sheep, livestock, pasture, transhumance, cattle, shepherd* et *flock*).
- L'aire totale accessible au bétail PZ1 (ha) est calculée comme la somme des surfaces S_i des classes OS i considérées comme accessibles dans l'entité spatiale A :

$$PZ1 = \sum_{i \in A} S_i \quad (8)$$

- La portion de l'aire totale accessible PZ2 (%) dans l'entité spatiale A :

$$PZ2 = \frac{PZ1}{A} \times 100 \quad (9)$$

- Le nombre de patchs (ensemble de pixels contigus de même classe) accessibles au bétail PZ3, dans l'entité spatiale.
- La proportion des zones centrales PZ4 (%), soit la part des patchs accessibles qui ne sont pas en contact avec un patch inaccessible :

$$PZ4 = \frac{\text{Aire noyaux}}{PZ1} \times 100 \quad (10)$$

- La fragmentation de l'aire accessible au bétail PZ5 est estimée *via* la probabilité que deux points pris dans l'espace accessible soient séparés par une barrière (deux patchs différents). a_{ij} est la surface du patch j appartenant à la classe i :

$$PZ5 = 1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \quad (11)$$

- La distance moyenne au patch accessible le plus proche PZ6 mesure la dispersion spatiale (ou isolement) des patchs accessibles dans une entité spatiale par le calcul de la distance euclidienne moyenne (ENN, m) entre chaque patch accessible et le patch accessible le plus proche :

$$PZ6 = \text{moyenne}(ENN(\text{patch}_{ij}))$$

- La partie inaccessible dans les couloirs de passage PZ7 (%), quantifie l'extension des cultures dans les couloirs de passage, réduisant ainsi leur accessibilité :

$$PZ7 = \frac{\text{Aire inaccessible}}{\text{Aire totale du couloir}} \times 100 \quad (12)$$

- L'obstruction du couloir de passage PZ8 (booléen) indique le statut d'un couloir de passage en déterminant s'il peut être entièrement franchi grâce à l'identification de ses extrémités et en utilisant l'algorithme de Dijkstra (1959).
- Le morcellement des couloirs de passage PZ9 est le nombre de patchs accessibles dans un couloir de passage.
- La distance générale aux points d'eau PE1 (m) est la distance moyenne au point d'eau le plus proche. d_i est la distance du pixel i au pixel eau le plus proche et n est le nombre total de pixels considérés :

$$PE1 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (13)$$

- La distance aux points d'eau en contournant les obstacles PE2 (m) est la distance moyenne au point d'eau le plus

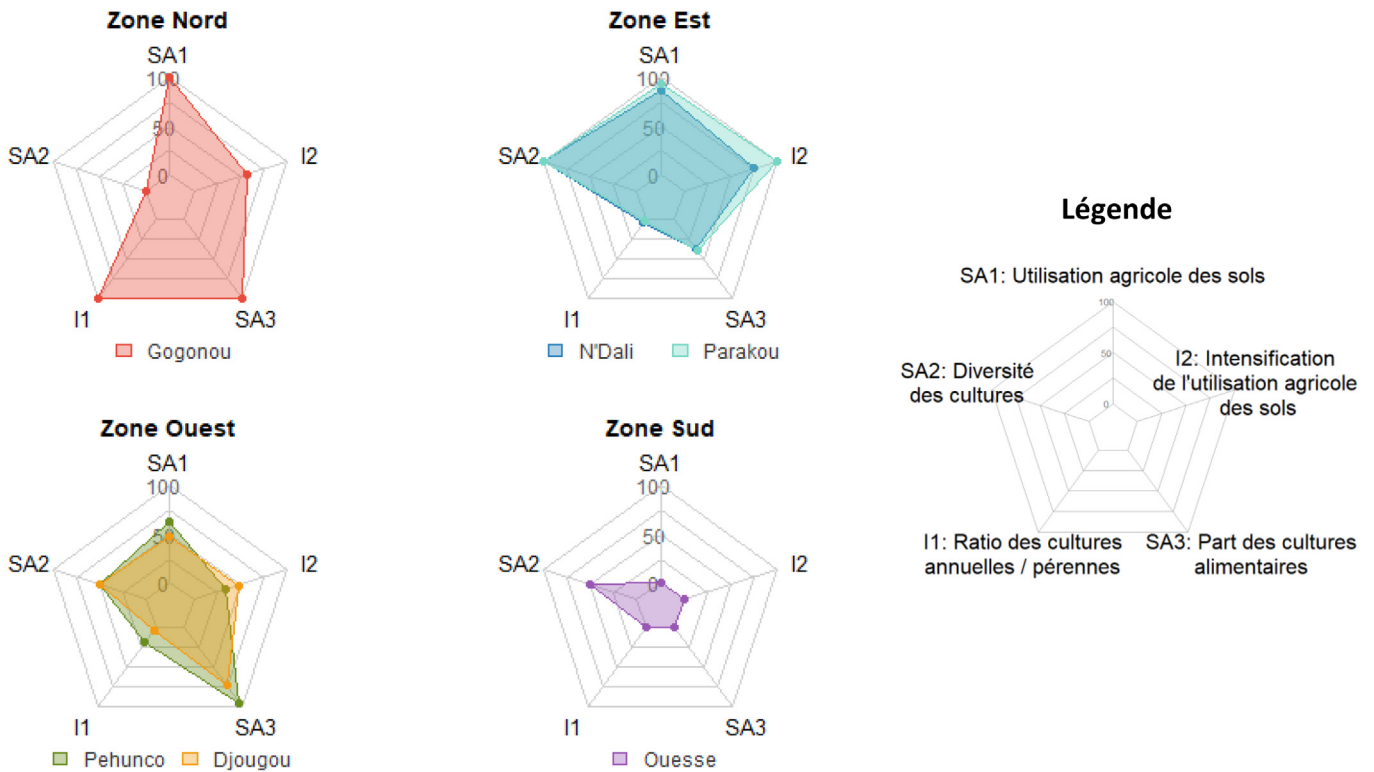


Fig. 2. Exemple de typologie des villages basée sur un groupe d'indicateurs agricoles normalisés calculés à partir des cartes d'occupation des sols de 2023 au niveau L1 (S2 et SPOT6/7; 1,6 m de résolution).

Fig. 2. Example of a typology of villages based on a set of standardized agricultural indicators calculated from the 2023 land cover maps at level L1 (S2 and SPOT6/7; 1.6m resolution).

proche en contournant les espaces inaccessibles. d_{obs} est la distance du pixel i au pixel eau le plus proche en tenant compte des obstacles et n est le nombre total de pixels considérés :

$$PE2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_{obs}}{n} \quad (14)$$

- L'effet des obstacles sur l'augmentation de la distance aux points d'eau PE3 (%) est la fraction d'augmentation de la distance au point d'eau le plus proche due aux espaces inaccessibles :

$$PE3 = 100 - \left(\frac{PE2}{PE1} \times 100 \right) \quad (15)$$

4 Résultats et discussion

Deux exemples de résultats et d'analyses sont présentés à titre illustratif dans les domaines agricole et pastoral. Des analyses thématiques approfondies, sur une base élargie d'indicateurs et un suivi sur trois ans, sont en cours et feront l'objet de publications spécifiques dans les prochains mois.

4.1 Typologie des systèmes agricoles

L'analyse d'un groupe d'indicateurs liés à la production et à l'intensification agricoles a permis de classer les sites d'étude en quatre types (Fig. 2). Les sites de N'Dali et Parakou, à l'est de la zone d'étude et géographiquement contigus, présentent des profils similaires : un faible stock de terres disponibles (fortes valeurs de SA1 et I2), des cultures pour moitié alimentaires (SA3) et diversifiées (SA2), avec une forte représentation des cultures pérennes (faible valeur de I1). Le site de Gogounou, également marqué par un stock limité de terres disponibles, se distingue par une faible diversité de productions essentiellement céréalières. À l'inverse, à l'Ouest, les sites de Pehunco et de Djougou disposent encore de réserves de terres agricoles, avec une diversification moins marquée que dans la zone Est et très orientée vers les cultures alimentaires. Enfin, au sud de la zone, le site de Ouesse se caractérise par une faible extension (contrainte par des espaces naturels protégés) et intensification des surfaces agricoles, mais des productions variées.

4.2 Dynamique saisonnière des paysages pastoraux

Une forte variation des conditions pastorales se dégage de la comparaison des six sites sous divers degrés d'intensification agricole (Fig. 3). La variabilité saisonnière de l'accessibilité et de la fragmentation est marquée dans les sites avec une

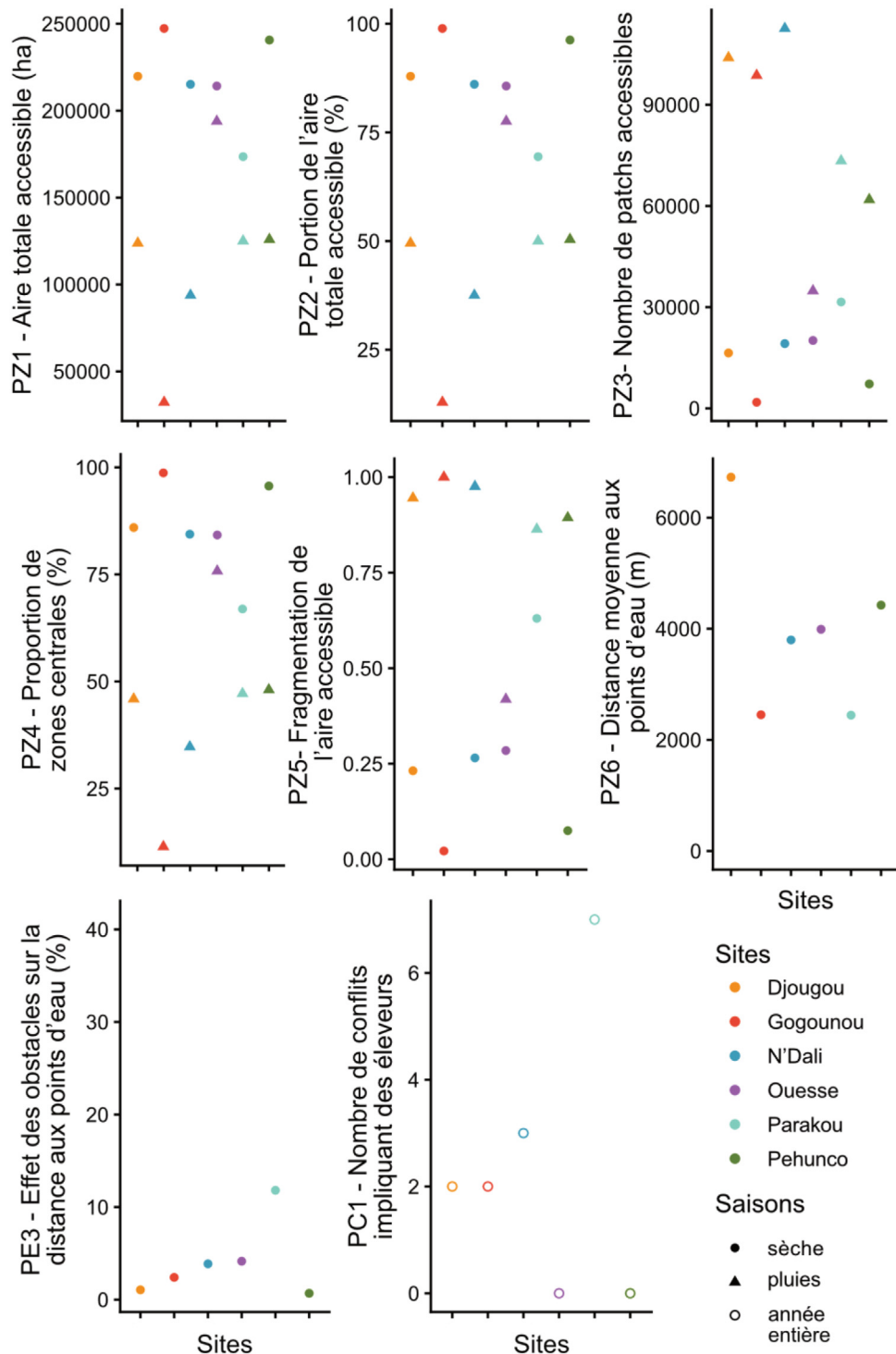


Fig. 3. Exemples d'indicateurs du contexte pastoral et de ses variations saisonnières pour les six sites d'étude. Les indicateurs sont calculés à partir des cartes d'occupation des sols de 2023 au niveau L1 (S2 and SPOT6/7; 1,6 m de résolution) et des données ACLED.

Fig. 3. Examples of indicators of the pastoral context and its seasonal variation for the six study sites. The indicators are derived from the 2023 land cover maps at level L1 (S2 and SPOT6/7; 1.6, m resolution) and ACLED data.

forte part agricole (Gogounou et N'Dali), quand la faible amplitude qui caractérise Ouesse est expliquée par les grandes savanes qui s'y trouvent. Les tendances révélées par ces indicateurs montrent une forte corrélation suggérant qu'accessibilité et fragmentation évoluent

similairement à l'échelle des sites. Cependant, les indicateurs liés à l'accès à l'eau pour Djougou et Parakou démontrent que la distance à l'eau n'est pas toujours liée aux obstacles (Parakou) mais aussi à la dispersion des eaux de surface (Djougou).

4.3 Originalités et limites de l'exercice

Les indicateurs définis sur la base des activités de co-construction et des cartes OS du projet OBSYDYA permettent un suivi annuel opérationnel des dynamiques agropastorales à très fine échelle alors que l'analyse de ces dynamiques est en général limitée par la disponibilité d'information sur les changements d'OS pour de grandes régions. La nomenclature utilisée est spécifique aux dynamiques agricoles de la région. Ainsi, ce travail démontre que des données d'OS à très haute résolution spatiale peuvent répondre à une variété de besoins de multiples acteurs de ces territoires ([Annexes 2 et 3](#), en [matériel supplémentaire](#)). Ces indicateurs sont produits automatiquement à l'aide d'un plugin QGIS. Leur mise à jour repose principalement sur les cartes d'occupation des sols produites localement par les institutions béninoises du consortium OBSYDYA (INRAB et Université de Parakou) grâce à un transfert de compétences engagé sur le long terme (implication étroite des partenaires à l'ensemble des étapes de la chaîne de production, de la collecte des données de terrain à la conception et diffusion des services informationnels).

Les indicateurs issus des données OT présentent néanmoins certaines limites liées notamment aux erreurs de classification de la carte OS ([Annexe 1](#), en [matériel supplémentaire](#)) et à une nomenclature restreinte concernant les types de cultures et les types de parcours pour le bétail. Par ailleurs, les indicateurs élaborés à partir des cartes au niveau L1 nécessitent des images satellite payantes. Enfin, la production de certains indicateurs dépend de la disponibilité d'informations complémentaires, telles que les limites des couloirs de passage ou les données de population locale. Ainsi, la production d'indicateurs pour le suivi des dynamiques interannuelles reste tributaire d'une actualisation régulière des cartes et données annexes, ce qui nécessite la durabilité du savoir-faire, un budget annuel, et une adaptation du processus en cas de changement de source de données (capteur, produit).

5 Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons présenté le processus de co-construction de 21 indicateurs spécialisés de suivi des dynamiques agropastorales au Bénin à partir de données satellitaires. Ces indicateurs permettront le déploiement d'un service informationnel géospatial issu de données d'observation de la Terre, pour un soutien durable des institutions béninoises en charge de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques agricoles, et des structures d'appui au secteur agricole.

Plusieurs perspectives concernant la production d'indicateurs pour le suivi et la gestion des systèmes agropastoraux se dégagent de cette étude. En premier lieu, il demeure essentiel de renforcer la précision des cartes d'occupation des sols et d'affiner la nomenclature (jachères, cultures associées, cultures irriguées, plans d'eau temporaires ou de faible superficie, etc.), en mobilisant à la fois des algorithmes de traitement d'images plus performants et des données satellitaires complémentaires (PlanetScope par exemple). Par ailleurs, la base de données existante pourrait être enrichie par de nouveaux indicateurs – notamment ceux identifiés lors de l'étape de co-construction – basés à la fois sur les récents produits OT et sur les résultats scientifiques issus de ce projet ; les recherches en cours portent

sur la cartographie des types de systèmes agraires, la mécanisation du travail du sol, la rotation des cultures, l'accessibilité aux marchés, les types d'agroforesterie, la biomasse herbacée disponible pour le bétail et les services écosystémiques. La cartographie détaillée des couloirs de passage existants offrirait l'opportunité d'affiner les indicateurs pastoraux, et le développement de nouveaux indicateurs pourrait soutenir la création de couloirs adaptés aux dynamiques actuelles de ces paysages. Enfin, les indicateurs agricoles et pastoraux produits sur un même territoire pourraient être combinés à ceux des milieux naturels pour identifier des archétypes et des trajectoires territoriales, favorisant ainsi un suivi intégré de l'état des paysages et de leur conservation.

Ce processus reproductible de cartographie et d'analyse des dynamiques agropastorales peut être déployé dans d'autres régions d'Afrique de l'Ouest, afin de soutenir la mise en œuvre de mesures concrètes, adaptées à leurs contextes et contraintes spécifiques.

Remerciements

Cette étude a été menée dans le cadre du projet OBSYDYA financé par l'Union européenne (DESIRA, #FOOD/2020/417-846). Les auteurs remercient les participants et organisateurs du World Café de Parakou, les consultants de la campagne 2024, Laurent Houéssou de l'Université de Parakou, ainsi que les autorités communales pour avoir partagé les coordonnées des couloirs de passage du site de Gogounou.

Matériel supplémentaire

Annexe 1. Matrice de confusion et précisions des classes d'occupation des sols de la carte 2023 au niveau L0.

Annexe 2. Synthèse de l'atelier participatif « Agriculture » du 10–11 mai 2023 sur les besoins en information et les indicateurs de suivi. Pour chaque indicateur, la faisabilité de production cartographique à partir de données de télédétection est précisée (OUI : indicateur opérationnel ; RECHERCHE : indicateur nécessitant des travaux de recherche sur des proxys, car lien indirect avec les données spatiales ; NON : indicateur non obtainable).

Annexe 3. Synthèse de l'atelier participatif « Élevage » du 10–11 mai 2023 sur les besoins en information et les indicateurs de suivi. Pour chaque indicateur, la faisabilité de production cartographique à partir de données de télédétection est précisée (OUI : indicateur opérationnel ; RECHERCHE : indicateur nécessitant des travaux de recherche sur des proxys, car lien indirect avec les données spatiales ; NON : indicateur non obtainable).

Annexe 4. Traduction en anglais des indicateurs agropastoraux.

Le matériel supplémentaire est disponible sur <https://www.cahiersagricultures.fr/10.1051/cagri/2026008/olm>.

Références

Adegbola YP, Sossou CH, Olou BD, Maboudou AG, Hinnou CL, Arodokoun U, *et al.* 2017. Caractérisation et évaluation des milieux homogènes des zones agroécologiques du Bénin [Rapport final].

- Cotonou (Bénin): Programme Analyse de la Politique Agricole (PARA/INRAB).
- ANOPER. 2014. Pour l'essor d'un élevage familial des ruminants qui nourrit le Bénin et sécurise l'avenir des éleveurs – 30 points de repère [Document d'Orientation Stratégique de l'Association Nationale des Organisations Professionnelles d'Éleveurs de Ruminants du Bénin]. ANOPER. https://www.inter-reseaux.org/wp-content/uploads/DOS_ANOPER-1.pdf.
- Arvor D, Dubreuil V, Simões M, Bégué A. 2013. Mapping and spatial analysis of the soybean agricultural frontier in Mato Grosso, Brazil, using remote sensing data. *GeoJournal* 78(5): 833–850. <https://doi.org/10.1007/s10708-012-9469-3>.
- Arvor D, Meirelles M, Dubreuil V, Bégué A, Shimabukuro YE. 2012. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. *Applied Geography* 32(2): 702–713. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.007>.
- Bégué A, Arvor D, Bellon B, Betbeder J, De Abelleira D, Ferraz R, *et al.* 2018. Remote sensing and cropping practices: A review. *Remote Sensing* 10(1): 99. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>.
- Bégué A, Leroux L, Soumaré M, Faure J-F., Diouf AA, Augusseau X, *et al.* 2020. Remote sensing products and services in support of agricultural public policies in africa: Overview and challenges. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4: 58. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00058>.
- Bidou JE, Droy I, Houesse R, Mering C. 2018. Dynamiques démographiques, vulnérabilité et évolution du couvert végétal au nord Bénin: des interactions complexes. *Espace populations sociétés* (2018/3). <https://doi.org/10.4000/eps.8083>.
- Brandt J, Ertel J, Spore J, Stolle F. 2023. Wall-to-wall mapping of tree extent in the tropics with Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing of Environment* 292: 113574. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113574>.
- Brottem L, Turner MD, Butt B, Singh A. 2014. Biophysical variability and pastoral rights to resources: West African transhumance revisited. *Human Ecology* 42(3): 351–365. <https://doi.org/10.1007/s10745-014-9640-1>.
- Choudhury I, Chakraborty M, Santra SC, Parihar JS. 2006. Characterization of agroecosystem based on land utilization indices using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 34(1): 23–37. <https://doi.org/10.1007/BF02990744>.
- De Beurs KM, Ioffe G. 2014. Use of Landsat and MODIS data to remotely estimate Russia's sown area. *Journal of Land Use Science* 9(4): 377–401. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2013.798038>.
- Dijkstra EW. 1959. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1(1): 269–271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>.
- Diogo RVC, Dossa LH, Vanvanhossou SFU, Abdoulaye BD, Dosseh KH, Houinato M, *et al.* 2021. Farmers' and herders' perceptions on rangeland management in two agroecological zones of Benin. *Land* 10(4): 425. <https://doi.org/10.3390/land10040425>.
- Estel S, Kuemmerle T, Levers C, Baumann M, Hostert P. 2016. Mapping cropland-use intensity across Europe using MODIS NDVI time series. *Environmental Research Letters* 11(2): 024015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024015>.
- Fillol E, Ham F, Orenstein A. 2020. Système d'information et de modélisation de la vulnérabilité pastorale pour la gestion et la prévention des crises au sahel. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 73(3): 169–177. <https://doi.org/10.19182/remvt.31903>.
- Gaetano R, Dupuy S, Lebourgeois V, Le Maire G, Tran A, Jolivot A, *et al.* 2019. The MORINGA processing chain: Automatic object-based land cover classification of tropical agrosystems using multi-sensor satellite imagery. Milan (Italy): LPS proceedings. <https://hal.science/hal-05174612>.
- Gazull L, Bégué A, Padonou M, Fagandini F. 2023. Atelier de co-construction d'indicateurs spatialisés [Rapport de synthèse]. Parakou (Bénin): CIRAD, Univ Parakou, INRAB, Univ Liège, IRD. <http://agritrop.cirad.fr/616186/>.
- Guiomar N, Godinho S, Pinto-Correia T, Almeida M, Bartolini F, Bezák P, *et al.* 2018. Typology and distribution of small farms in Europe: Towards a better picture. *Land Use Policy* 75: 784–798. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.012>.
- Heiss N, Meier J, Gessner U, Kuenzer C. 2025. A review: Potential of Earth Observation (EO) for mapping small-scale agriculture and cropping systems in West Africa. *Land* 14(1): 171. <https://doi.org/10.3390/land14010171>.
- Hunt ML, Blackburn GA, Rowland CS. 2019. Monitoring the sustainable intensification of arable agriculture: The potential role of Earth Observation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 81: 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.013>.
- Ifejika Speranza C, Akinyemi FO, Baratoux D, Benveniste J, Ceperley N, Driouech F, *et al.* 2023. Enhancing the uptake of Earth Observation products and services in Africa through a multi-level transdisciplinary approach. *Surveys in Geophysics* 44(1): 7–41. <https://doi.org/10.1007/s10712-022-09724-1>.
- Inglada J, Vincent A, Arias M, Tardy B, Morin D, Rodes I. 2017. Operational high resolution land cover map production at the country scale using satellite image time series. *Remote Sensing* 9 (1): 95. <https://doi.org/10.3390/rs9010095>.
- Jamsranjav C, Fernández-Giménez ME, Reid RS, Adya B. 2019. Opportunities to integrate herders' indicators into formal rangeland monitoring: An example from Mongolia. *Ecological Applications* 29(5): e01899. <https://doi.org/10.1002/eap.1899>.
- Jolivot A, Lebourgeois V, Leroux L, Ameline M, Andriamanga V, Bellón B, *et al.* 2021. Harmonized in situ datasets for agricultural land use mapping and monitoring in tropical countries. *Earth System Science Data* 13(12): 5951–5967. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5951-2021>.
- Kerner H, Nakalembe C, Yang A, Zvonkov I, McWeeny R, Tseng G, *et al.* 2024. How accurate are existing land cover maps for agriculture in Sub-Saharan Africa? *Scientific Data* 11(1): 486. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03306-z>.
- Kräfli S, Toulmin C. 2020. Conflit entre agriculteurs et éleveurs en Afrique subsaharienne ? [Research report]. IIED. <https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/2021-01/10208FIIED.pdf>.
- Löw F, Biradar C, Dubovyk O, Fliemann E, Akramkhanov A, Narvaez Vallejo A, *et al.* 2018. Regional-scale monitoring of cropland intensity and productivity with multi-source satellite image time series. *GIScience & Remote Sensing* 55(4): 539–567. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1414010>.
- Nelson KS, Burchfield EK. 2023. Defining features of diverse and productive agricultural systems: An archetype analysis of U.S. agricultural counties. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7: 1081079. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1081079>.
- Padonou M, Denis A, Hountondji Y-C., Tychon B, Gouwakinnou G. 2025. Multi-criteria assessment of the environmental sustainability of agroecosystems in the North Benin agricultural basin using satellite data. *Environments* 12(8): 271. <https://doi.org/10.3390/environments12080271>.

- Padonou M, Denis A, Hountondji Y-CH, Tychon B, Gouwakinnou GN. 2024. Indicateurs de durabilité écologique des agroécosystèmes dérivés de la télédétection satellitaire : revue systématique. *Cahiers Agricultures* 33: 27. <https://doi.org/10.1051/cagri/2024022>.
- Panigrahy S, Manjunath KR, Ray SS. 2005. Deriving cropping system performance indices using remote sensing data and GIS. *International Journal of Remote Sensing* 26(12): 2595–2606. <https://doi.org/10.1080/01431160500114698>.
- Pritchard R, Alexandridis T, Amponsah M, Ben Khadra N, Brockington D, Chiconela T, *et al.* 2022. Developing capacity for impactful use of Earth Observation data: Lessons from the AfriCultuReS project. *Environmental Development* 42: 100695. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100695>.
- Rabelo MC, Tonini M, Silvestri N. 2023. Dynamics of agricultural land systems in western Mediterranean areas: A clustering approach based on the self-organizing map. *Italian Journal of Agronomy* 18(3): 2199. <https://doi.org/10.4081/ija.2023.2199>.
- Rahimi J, Fillol E, Mutua JY, Cinardi G, Robinson TP, Notenbaert AMO, *et al.* 2022. A shift from cattle to camel and goat farming can sustain milk production with lower inputs and emissions in north sub-Saharan Africa's drylands. *Nature Food* 3(7): 523–531. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00543-6>.
- Raleigh C, Kishi R, Linke A. 2023. Political instability patterns are obscured by conflict dataset scope conditions, sources, and coding choices. *Humanities and Social Sciences Communications* 10(1): 74. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01559-4>.
- Siebert S, Portmann FT, Döll P. 2010. Global patterns of cropland use intensity. *Remote Sensing* 2(7): 1625–1643. <https://doi.org/10.3390/rs2071625>.
- Slinski K, Senay GB, Adoum A, Shukla S, McNally A, Rowland J, *et al.* 2025. In situ, modeled, and earth observation monitoring of surface water availability in West African rangelands. *Frontiers in Water* 7: 1320010. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1320010>.
- Sounon AKLS, Ickowicz A, Lesnoff M, Messad S, Valls-Fox H, Houinato MRB. 2019. Impact de la sédentarisation des éleveurs sur la production bovine au nord du Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 72(3): 93–99. <https://doi.org/10.19182/remvt.31778>.
- Tong X, Brandt M, Rasmussen L, Hiernaux P, Herrmann S, Bruun T, *et al.* 2024. Satellite mapping reveals complex patterns of agricultural intensification in the Sahel. Preprint. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4135738/v1>.
- Tonneau JP, Bégué A, Leroux L, Augusseau X, Faure JF, Mertens B, *et al.* 2019. L'information géospatiale au service de l'agriculture africaine, un investissement essentiel pour les politiques agricoles. *Perspective* (51): 1–4. <https://doi.org/10.19182/agri trop/00067>.
- Touré I, Bah A, D'Aquino P, Dia I. 2004. Savoirs experts et savoirs locaux pour la coélaboration d'outils cartographiques d'aide à la décision. *Cahiers Agricultures* 13(6): 546–553.
- Usman M, Nichol JE. 2022. Changes in agricultural and grazing land, and insights for mitigating farmer-herder conflict in West Africa. *Landscape and Urban Planning* 222: 104383. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104383>.
- Wang S, Zhang Y, Fan J, Zhang H, Fang H. 2023. Comprehensive sustainability indicator for land resource-carrying capacity in a farming-pastoral region. *Remote Sensing* 15(15): 3726. <https://doi.org/10.3390/rs15153726>.

Citation de l'article : Bégué A, Peereman J, Sossou CH, Sedegnan OA, Yvetot E, Gaetano R, Bio Nikki Saré SB, Ahoyo Adjovi NR, Kouhounji NA, Olou D, Gazull L. 2026. Co-construction d'indicateurs spatialisés de suivi des dynamiques agropastorales au Bénin basés sur des données satellitaires. *Cah. Agric.* 35: 12. <https://doi.org/10.1051/cagri/2026008>