

Analyse de l'occupation du Sol dans le bassin versant de la dépression de la cuesta de Thiès à travers les images Sentinel-2 de 2017 à 2021

Auteurs : Alsane SOW, Abel Vincent Manga, Pr. Amadou Abdoul SOW, Dr. Honoré.

Table des matières

RESUME	3
INTRODUCTION	4
I. ZONE D'ETUDE	4
OBJECTIF	7
II. DONNEES ET METHODES	7
1. Données utilisées	7
2. Description	8
III. RESULTAT:	10
CONCLUSION	15

Liste des figures :

Figure 1 : Situation des bassins versants de la dépression de la cuesta de Thiès	5
Figure 3 : Formation pédologique du bassin versant.....	6
Figure 2 : Formations géologique du bassin versant	7
Figure 4: Carte d'occupation du sol 2017.....	12
Figure 5 : Carte d'occupation du sol 2018.....	13
Figure 6 : Carte d'occupation du sol 2019.....	13
Figure 7 : Carte d'occupation du sol 2020.....	14
Figure 8 : Carte d'occupation du sol 2021	14

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Superficiés des classes d'occupation entre 2017 et 2021.....	11
---	----

RESUME

La tranche temporelle des images obtenues concerne les dates 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021. Les résultats des traitements des images Sentinel dans le bassin-versant ont permis d'obtenir sept principales classes d'occupation du sol notamment les arbres, les cultures, l'eau, le sol nu, les pâturages libres, la végétation inondée, les zones bâties.

L'analyse diachronique du paysage peut servir à montrer l'effet de l'homme et de ses activités ou tout simplement des changements climatiques sur les modifications de l'occupation du sol (Hobbs, 1990 ; Kpedenou et al., 2016). La présente étude a pour objectif de cartographier à travers les données sentinelles, l'occupation du sol et de quantifier son évolution de 2017 à 2021. Les résultats ont permis de constater que l'occupation du sol est en mutation. Les pâturages libres qui représentaient en 2017, 87.9 % de la superficie du bassin versant ont connu une régression de 6.4% sur la période de 5 ans. Par contre, il a été observé une progression respectivement des zones de cultures 4.4%, des zones bâties 2% et des arbres 0.8%. En somme, l'étude montre que le paysage naturel du bassin versant est marqué par une anthropisation.

Abstract

The time slice of the images obtained covers the dates 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021. The results of Sentinel image processing in the watershed yielded seven main land cover classes, including trees, crops, water, bare soil, open pasture, flooded vegetation and built-up areas.

Diachronic landscape analysis can be used to show the effect of man and his activities, or simply climate change, on changes in land cover (Hobbs, 1990 ; Kpedenou et al., 2016). The aim of the present study is to map land cover through sentinel data and quantify its evolution from 2017 to 2021. The results show that land use is changing. Open pasture, which in 2017 represented 87.9% of the watershed's surface area, declined by 6.4% over the 5-year period. On the other hand, cultivated areas increased by 4.4%, built-up areas by 2% and trees by 0.8%. In short, the study shows that the natural landscape of the watershed is marked by anthropization.

INTRODUCTION

L'étude diachronique des changements des états de surface (Casenave A. et Valentin Ch. 1989) constitue une démarche efficace permettant une évaluation rapide à travers une cartographie mettant en relief la dynamique de l'occupation des sols et ses répercussions sur le milieu naturel (Clauzel C. 2008, Kpedenou D. K. & al., 2016). En effet, les informations issues de l'analyse de l'occupation du sol sont toujours utiles dans l'identification des stratégies appropriées pour mieux gérer l'état de l'utilisation des terres. Plusieurs méthodes ont été inventées et appliquées à cet effet, avec des niveaux d'efficacité divers (Mas, 2000 ; Lu et al, 2004).

Parmi celles-ci, l'analyse diachronique et multi-date de l'occupation du sol est l'une des plus utilisées, parce que c'est une méthode qui prend également en considération la répartition spatiale des changements (Franklin et al, 2002 ; Griffith et al, 2003). C'est une approche couramment appliquée par plusieurs auteurs (Kpedenou D. K. & al., 2017, Ramankutty & Foley, 1999 ; Braimoh & Vlek 2005 ; Liu et al. 2005 ; N'Guessan et al, 2006 ; Tidjani et al, 2009 ; Kouassi, 2014 ; Soro et al, 2014). Nous l'avons appliqué dans la zone du bassin versant de la dépression de la cuesta de Thiès.

I. ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de la dépression de la cuesta de Thiès (figure 1), objet de cette étude, est composé de deux sous-bassins versants contigus : le sous bassin versant de Diender avec le lac Tamna et le sous bassin versant de Darou Khoudoss, avec le lac Wangal. Il couvre une superficie totale de 636 km² (Sow et al. 2022). Le bassin versant se situe entre la latitude 14°45'et 15°5'Nord et la longitude 16°35'et 17' Ouest et s'insinue entre le cordon de dune littorale nord du Sénégal et le front de la cuesta de Thiès, le long des axes du réseau hydrographique des petits bassins versants côtiers (Michel P., 1972). Le bassin subit des pressions humaines liées aux activités socioéconomiques entraînant la modification du paysage naturel.

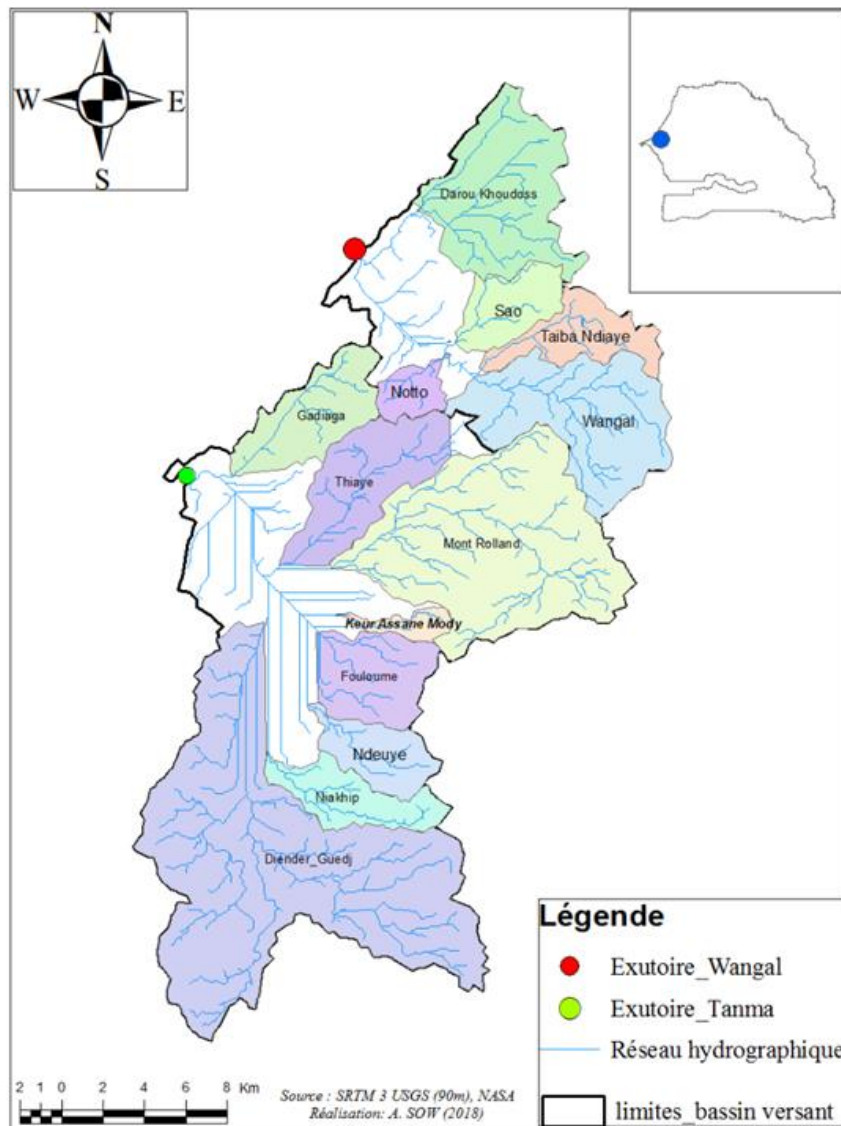


Figure 1 : Situation des bassins versants de la dépression de la cuesta de Thiès

Plusieurs éléments expliquent l'intérêt porté sur ce bassin versant dans le cadre de l'analyse de l'occupation du sol. Dans la zone sahélienne, les changements climatiques sont surtout marqués par une baisse drastique des précipitations (Decroix L. et al. 2015, Benjamin S. et al 2015). Le Sahel a connu une grande sécheresse dans les années 1970 (Cissé S., 2016). Cette sécheresse a fragilisé les systèmes de production basés sur les cultures sous pluie et pose aujourd'hui le problème de la satisfaction des besoins alimentaires.

La zone était réservée à l'agriculture pluviale. Avec la grande sécheresse du Sahel, cette activité s'est plus concentrée au niveau des bas-fonds. En effet, l'essentiel des mares temporaires et des bas-fonds de la zone du bassin de la cuesta de Thiès, lieux de convergence des eaux de ruissellement, ont vu leur période de concentration des eaux diminué, passant de 6

mois à moins de 3 mois. Dans le sous-bassin versant de Diender, le lac Tamna qui est l'exutoire naturel de plusieurs bas-fonds s'est asséché. Dans le sous-bassin versant de Darou Khoudoss, le lac Wangal, qui participe à la recharge des nappes des Niayes, ne reçoit plus suffisamment d'eau pour la recharge de la nappe phréatique (Ndour, T., 2000).

Du point de vue édaphique, nous avons 06 types de sols dans le bassin versant dont les sols ferrugineux tropicaux, hydromorphes, halomorphes, les sols minéraux bruts d'apport des dunes littorales, les lithosols et les régosols. Ces ressources édaphiques sont soumises aux effets de l'érosion hydrique et éolienne issue des dunes côtières mais aussi à la salinisation et au comblement de l'essentiel des bas-fonds qui jouent le rôle de véritable support de l'activité agricole. Cela traduit une perte significative de terres arables, perturbant le développement agricole. Pour faire face à ces difficultés accentuées par la pression sur les terres agricoles et assurer la sécurité et l'accroissement de la production agricole, certains paysans se tournent vers les bas-fonds qui apparaissent comme des zones où la pratique de l'agriculture est possible grâce à leur régime hydrodynamique particulier¹ (Worou S., 2007), d'autres sous la supervision des autorités locales cèdent leurs terres à des entreprises agrobusiness qui les exploitent et en retour les recrutent comme travailleurs (A. Sow, 2015).

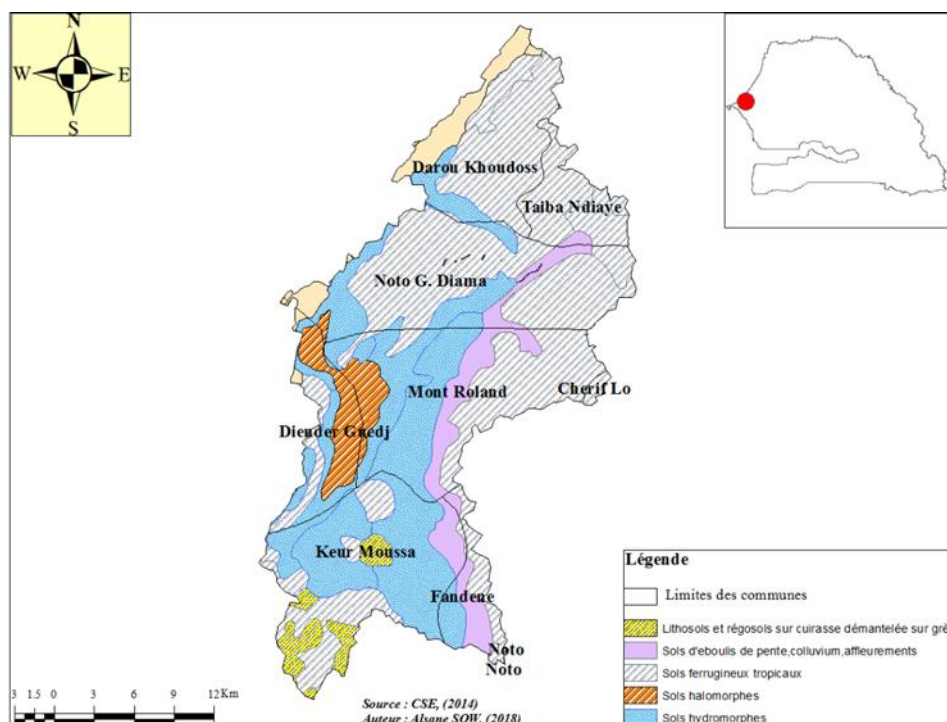


Figure 2 : Formation pédologique du bassin versant

6 : Disponibilité prolongée de l'eau à la surface ou dans le sol.

Le bassin versant de la dépression de la cuesta de Thiès est recouvert par des formations secondaire-tertiaires du Continental Terminal et du Quaternaire. Les formations tertiaires sont plus étendues sur les bassins versants comme sur tout le Sénégal d'ailleurs. On retrouve dans le bassin le Maestrichtien, le Paléocène, l'Eocène inférieur, moyen et le Quaternaire.

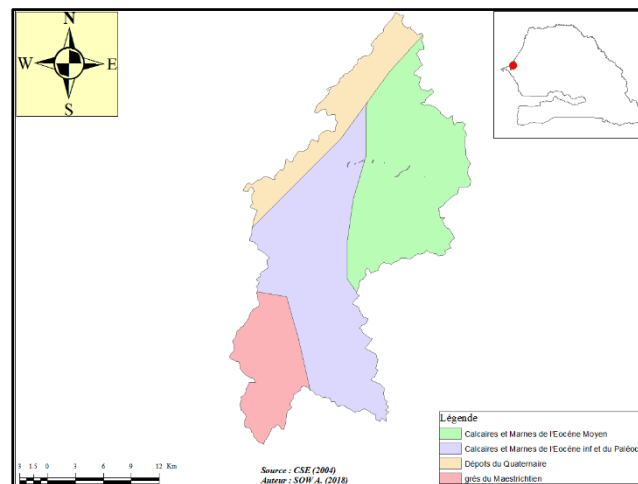


Figure 3 : *Formations géologique du bassin versant*

OBJECTIF

L'objectif de la présente étude, est d'analyser l'occupation du sol du bassin versant de la dépression de la cuesta de Thiès entre 2017 et 2021, afin d'évaluer les différentes tendances de l'évolution subie par le paysage naturel durant ces périodes.

II. DONNEES ET METHODES

1. Données utilisées

Les données des images Sentinel-2² ont été utilisées dans le cadre de cette étude. En effet, tous les 5 jours, la mission Sentinel-2 fournit des clichés dans 13 bandes spectrales de notre planète avec comme objectif de suivre à haute résolution l'évolution de la végétation, de l'occupation des sols et l'impact du réchauffement climatique avec une haute fréquence d'observations.

D'une masse de 1140 kg, le satellite d'observation européen Sentinel-2A a décollé le 23 juin 2015 de Kourou à bord d'une fusée Vega. Son jumeau, Sentinel-2B, l'a rejoint le 6 mars 2017 sur la même orbite à 786 km d'altitude. A eux deux, ils fournissent tous les 5 jours des images d'une largeur au sol de 290 km et d'une résolution de 10 à 60 m selon les bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge.

² <https://sentinel2.cnes.fr/fr>

Ces images servent un large éventail d'applications : suivi du développement des cultures et forêts, de l'occupation des sols, des pratiques et productions agricoles, des littoraux. Elles aident les scientifiques à mieux comprendre le fonctionnement et l'impact de la machine climatique. Elles viennent en appui des humanitaires et gouvernements dans le cadre de situations d'urgence : glissements de terrain, éruptions volcaniques, inondations...

Héritière des programmes Landsat de la Nasa et Spot du CNES, la mission Sentinel-2 fait partie du programme d'observation et de surveillance de la Terre, Copernicus, conduit par l'Union Européenne. L'Agence spatiale européenne (ESA) est responsable du développement des 2 satellites, de leurs instruments et du segment sol. Les engins spatiaux ont été conçus et fabriqués par un consortium de 60 entreprises, sous la direction d'Airbus Defence and Space. Suite à un accord de coopération, le CNES a développé le prototype du segment sol de traitement des données, défini et prototypé les traitements de niveau 1, développé un système de qualité d'image et un démonstrateur pour les traitements de niveau 2 (détection des nuages et corrections atmosphériques). Le CNES met à disposition de manière libre et gratuite les données des Sentinel-2 sur sa plateforme Internet PEPS, et fournit des produits corrigés des effets atmosphériques par l'intermédiaire du pôle thématique THEIA.

2. Description

La méthode qui a permis d'obtenir les résultats du traitement des images Sentinel-2 a été décrite en détails par Kontgis K. et al., (2021). Il s'agit d'une carte mondiale de l'utilisation des terres/couverture des terres (LULC) dérivée de l'imagerie Sentinel-2 de l'ESA à une résolution de 10m.

Un modèle de classification des terres par apprentissage profond de l'Impact Observatory est généré chaque année. Ce modèle utilise un ensemble de données d'entraînement massif composé de milliards de pixels d'images étiquetées par l'homme, développé par la National Geographic Society. Et les cartes mondiales ont été produites en appliquant ce modèle à la collection de scènes Sentinel-2 sur l'ordinateur planétaire de Microsoft, qui traite plus de 400 000 observations de la Terre par an.

L'algorithme génère des prédictions d'occupation du sol pour 10 classes, décrites en détail ci-dessous.

Une classe d'occupation du sol est attribuée à chaque pixel de l'année 2017, mais cette classe est basée sur moins d'images que les autres années. Les années 2018-2021 sont basées sur un ensemble plus complet d'images. Pour cette raison, l'année 2017 peut avoir des attributions de classes de couverture du sol moins précises que les années 2018-2021.

Traitement de la couverture terrestre

Cette carte a été produite par un modèle d'apprentissage profond entraîné à l'aide de plus de 5 milliards de pixels Sentinel-2 étiquetés manuellement, échantillonnés à partir de plus de 20 000 sites répartis dans tous les principaux biomes du monde.

Le modèle d'apprentissage profond sous-jacent utilise 6 bandes de données de réflectance de surface Sentinel-2 : bleu visible, vert, rouge, proche infrarouge et deux bandes infrarouges à ondes courtes. Pour créer la carte finale, le modèle est exécuté sur plusieurs dates d'imagerie tout au long de l'année, et les sorties sont composées en une carte finale représentative pour chaque année.

Plate-forme de traitement

L'accès aux données Sentinel-2 L2A/B s'est fait via l'ordinateur planétaire de Microsoft et la mise à l'échelle a été réalisée à l'aide de Microsoft Azure Batch.

Types des classes d'occupation dans le bassin versant

1. La classe « Eau »

C'est la zone où l'eau était principalement présente tout au long de l'année ; ne peut pas couvrir les zones où l'eau est sporadique ou éphémère ; contient peu ou pas de végétation éparses, pas d'affleurement rocheux ni d'éléments construits comme des quais ; exemples : rivières, étangs, lacs, océans, plaines salées inondées.

2. La classe « Arbres »

Tout regroupement significatif de végétation haute (~15 pieds ou plus) et dense, généralement avec un couvert fermé ou dense ; exemples : végétation boisée, regroupements de végétation haute et dense dans les savanes, plantations, marécages ou mangroves (végétation dense et haute avec eau éphémère ou couvert trop épais pour détecter l'eau en dessous).

4. La classe « Végétation inondée »

Zones de tout type de végétation avec un mélange évident d'eau pendant la majeure partie de l'année ; zone inondée de façon saisonnière qui est un mélange d'herbe/arbustes/arbres/sol nu ; exemples : mangroves inondées, végétation émergente, rizières et autres cultures fortement irriguées et inondées.

5. La classe « Cultures »

Céréales, herbes et cultures non arborées plantées par l'homme ; exemples : maïs, blé, soja, parcelles en jachère de terres structurées.

7. La classe « Zone bâtie »

Structures créées par l'homme ; grands réseaux routiers et ferroviaires ; grandes surfaces imperméables homogènes, y compris les structures de stationnement, les immeubles de bureaux et les logements résidentiels ; exemples : maisons, villages/villes denses, routes pavées, asphalte.

8. La classe « Sol nu »

Zones de roche ou de sol où la végétation est très clairsemée, voire inexistante, tout au long de l'année ; vastes zones de sable et déserts où la végétation est inexistante. Exemples : roches ou sols exposés, dunes de sable et de désert, salines sèches, lits de lacs asséchés, mines.

9. La classe « Neige/glace »

Grandes zones homogènes de neige ou de glace permanente, généralement situées dans les zones montagneuses ou aux latitudes les plus élevées ; exemples : glaciers, manteau neigeux permanent, champs de neige.

10. La classe « Nuages »

Aucune information sur la couverture terrestre en raison d'une couverture nuageuse persistante.

11. La classe « Pâturages libres »

Zones ouvertes couvertes d'herbes homogènes avec peu ou pas de végétation plus haute ; céréales et herbes sauvages sans tracé humain évident (c.-à-d. pas un champ tracé) ; exemples : prairies naturelles et champs avec une couverture d'arbres éparse ou nulle, savane ouverte avec peu ou pas d'arbres, parcs/terrains de golf/terrains de golf, pâturages. Mélange de petites grappes de plantes ou de plantes isolées dispersées dans un paysage présentant un sol ou une roche exposée ; clairières remplies de broussailles au sein de forêts denses qui ne sont manifestement pas plus hautes que des arbres ; exemples : couverture modérée à clairsemée de buissons, d'arbustes et de touffes d'herbe, savanes avec des herbes, des arbres ou d'autres plantes très rares.

III. RESULTAT:

Le traitement des images sentinelles a permis d'aboutir aux cartes d'occupation du sol des années 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021.

Il existe 11 types de classes d'occupation du sol définies par le système. Il s'agit des éléments Eau, arbres, végétation inondée, cultures, zone bâtie, sol nu, neige/glace, nuages, pâturages

libres. De ces 9 classes, seules 6 classes existent dans la zone d'étude. Les classes contenant des éléments végétation inondée, neige/glace et nuages n'existent pas.

Les résultats des traitements statistiques des classes d'éléments sont consignés dans le tableau ci-dessous, qui résume les différentes unités d'occupation du sol, leur superficie, leur taux moyen annuel d'expansion spatiale durant la période de 2017 à 2021.

Tableau 1 : Superficies des classes d'occupation entre 2017 et 2021

Année	Eau		Arbre		Cultures		Zone bâtie		Sol nu		Pâturages libres	
	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²
2017	0,2	1	0,8	4,9	6,8	39,9	3,8	22,3	0,5	3,0	87,9	517,7
2018	0,1	1	0,6	3,8	6,9	40,6	4,3	25,4	0,6	3,6	87,5	515,2
2019	0,0	0	0,8	4,7	7,0	41,1	5,0	29,7	0,7	4,4	86,4	508,8
2020	0,1	0	1,0	5,9	9,0	52,9	4,7	27,5	0,5	3,0	84,8	499,4
2021	0,4	3	1,6	9,4	11,2	65,9	4,8	28,4	0,6	3,4	81,4	479,3

Variation de la classe eau 2017-2021

L'analyse des résultats montrent une diminution annuelle de la superficie de l'eau en 2018, 2019 et 2020. Cette surface d'eau dans le bassin est représentée dans les différentes cartes par le lac Tanma. L'année 2019 est marquée par une absence totale d'eau 0% de la superficie du bassin. La classe d'eau a connu une augmentation de 0.2% en 2021 comparé à l'année 2017. Durant cette année l'eau a occupé 0.4% de la superficie soit 3km² du bassin.

Variation de la classe arbre 2017-2021

Les arbres ont connu une augmentation sur la période 2017-2021, leur surface a doublé en 5 ans passant de 0.8% soit 4.9 km² à 1.6% soit 9.4 km² de la superficie du bassin. Sur les différentes cartes les arbres apparaissent au nord-ouest du bassin le long des filaos qui fixent les dunes du littoral et un peu à l'ouest cependant en 2020 et 2021 apparaissent à l'ouest du bassin une expansion de la classe d'arbres ramenant les valeurs respectivement à 1% et 1.6%.

Variation de la classe pâturages libres 2017-2021

Pour la période 2017-2021, le tableau indique une diminution des pâturages libres de 0.4%, 1.1%, 1.6% et 3.4% respectivement entre 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 et 2020-2021. En effet la zone de pâturage occupait en 2017, 87.9% de la superficie du bassin soit 517.7 km² ainsi en 2021 cette surface est de 479.3 km² soit une diminution de 38.4 km².

Variation de la classe culture 2017-2021

D'après les résultats, la classe des cultures a connu une croissance linéaire sur les cinq années successives. Après les zones de pâturages libres les cultures viennent en deuxième position en termes d'occupation d'espace dans le bassin versant. Leur superficie est passée de 39.9 km² en 2017 à 65.9 km² en 2021 soit une augmentation de 26 km². Cette expansion de la surface des cultures est très marquée au centre du bassin sur les cartes d'occupation du sol de 2020 et 2021. C'est cette partie du bassin où sont installées de nouvelles compagnies agrobusiness.

Variation de la classe Zone bâtie 2017-2021

La superficie de la zone bâtie a connu une légère variation durant la période (2007-2021). On note une augmentation de 1.2% de la superficie de 2017 à 2019 passant respectivement de 3.8 à 5% avant de faire une régression de 0.2% entre 2019 à 2021. L'expansion de la surface bâtie est plus accentuée au sud du bassin.

Variation de la classe des sols nus 2017-2021

A l'image de la classe d'eau les sols nus sont moins présents dans le bassin. Leur superficie varie entre 0.5 et 0.7%. Ils sont localisés dans la partie sud-est du bassin versant. Entre 2017 et 2021

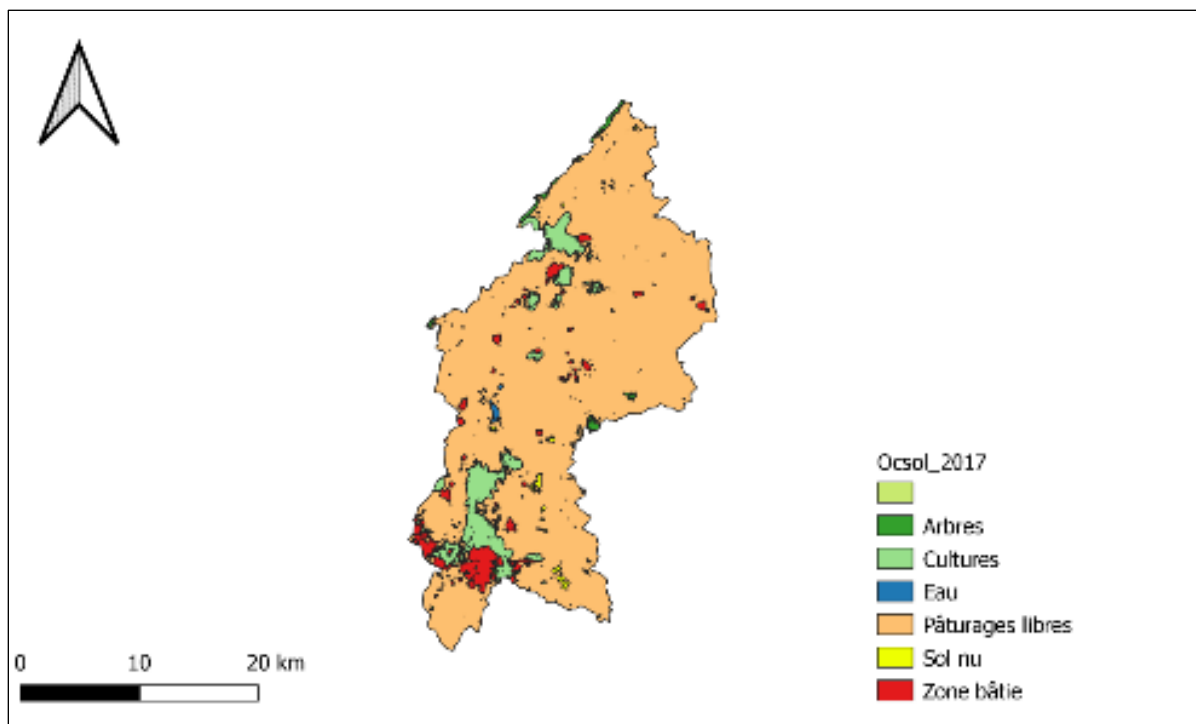


Figure 4: Carte d'occupation du sol 2017

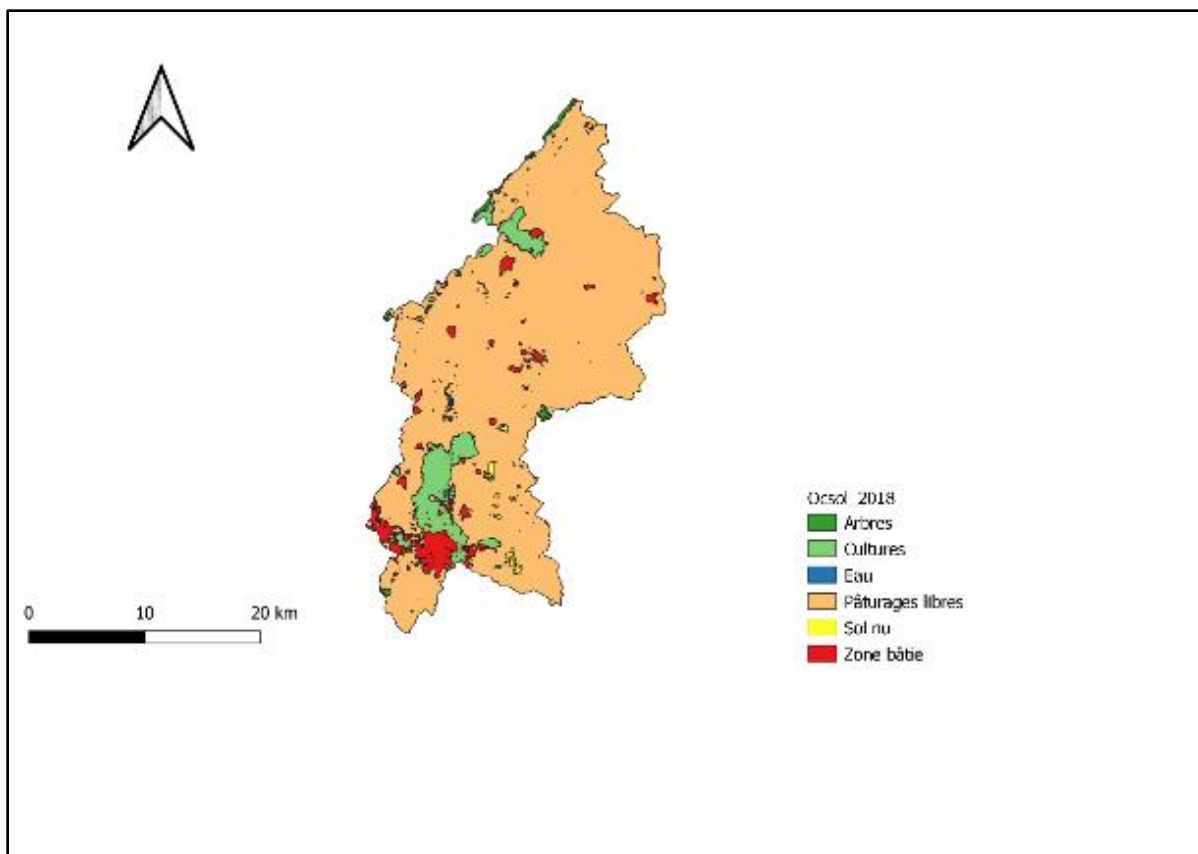


Figure 5: Carte d'occupation du sol 2018

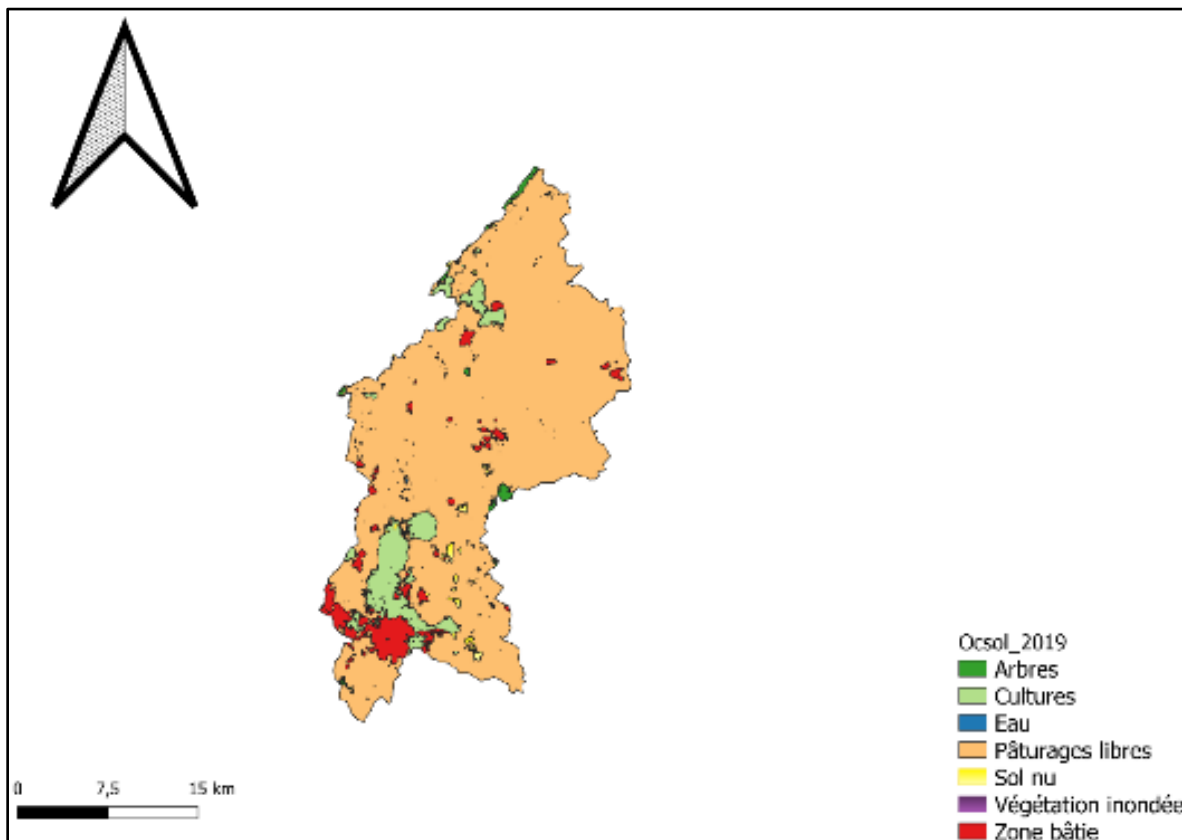


Figure 6 : Carte d'occupation du sol 2019

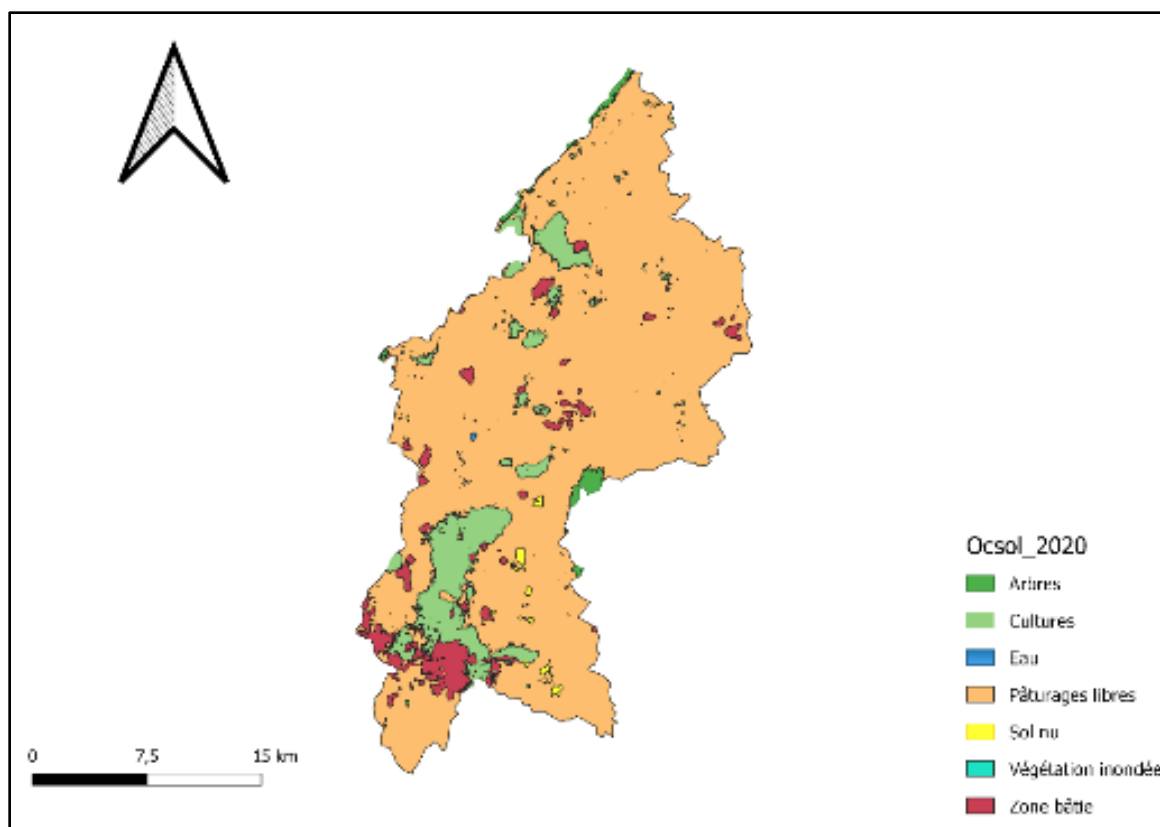


Figure 7 : Carte d'occupation du sol 2020

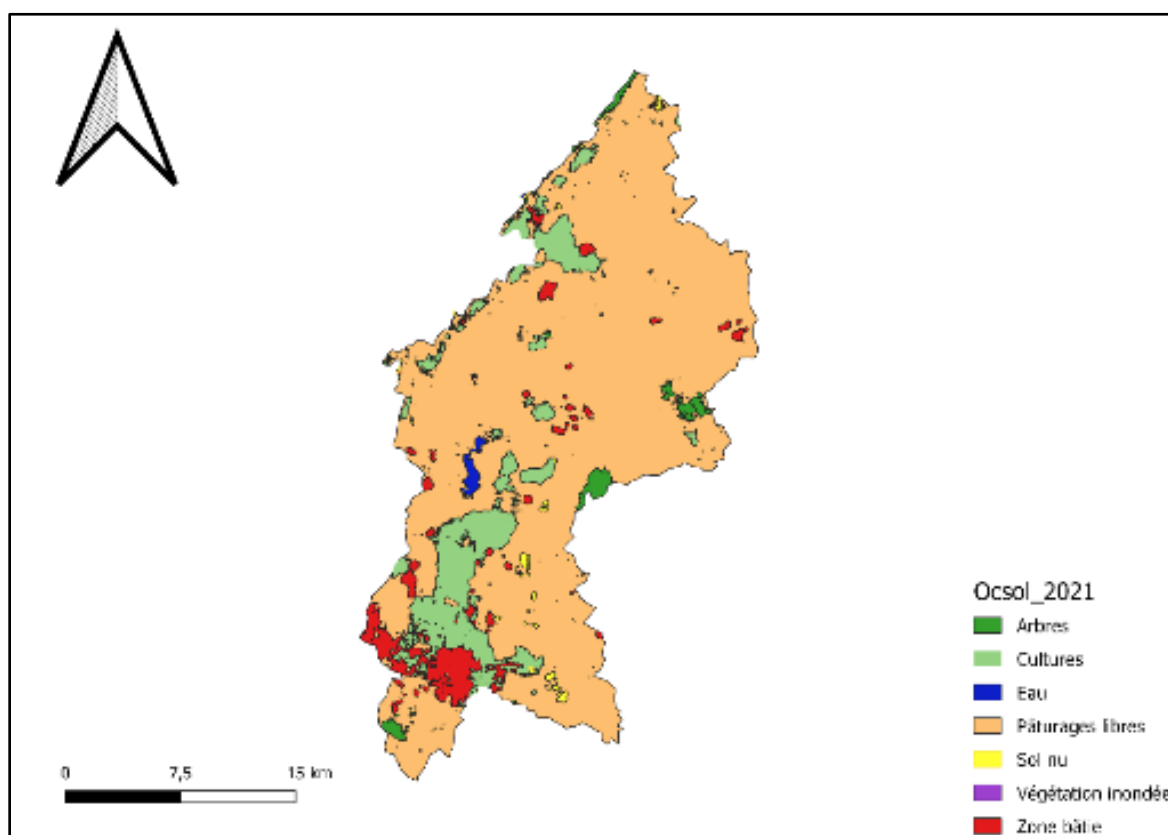


Figure 8 : Carte d'occupation du sol 2021

Discussion :

La méthode élaborée a permis de mettre en exergue les différents états de surface de la zone d'étude sur la période 2017-2021. Les résultats révèlent une influence anthropique liée à l'extension des zones de cultures au détriment des zones de pâturages libres.

Le bassin versant de la cuesta de Thiès se trouve dans la zone sahélienne où le rayonnement solaire est très important ne favorise pas la formation de neige/glace. Les couvertures nuageuses ne se manifestent pour la plupart du temps qu'en saison des pluies. La zone est quasi dépourvue de formations végétales inondées. Dans les années 1953, Adam, expliquait les causes de la dégradation des formations végétales de la zone des Niayes liées l'action humaine, au colmatage naturel et au changement de niveau de la nappe d'eau (Adam J., 1953). Les arbres qui existent dans la zone se retrouvent dans la forêt classée de Pout et le long le long du littoral avec la bande de filaos.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, il est à noter que l'exploitation des cartes topographiques et le traitement des images ont permis, dans un premier temps d'obtenir les cartes d'occupation et d'utilisation du sol des années 2017,2018, 2019, 2020 et 2021 et ensuite d'analyser l'évolution du paysage entre ces années. L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a montré que le paysage est en mutation dans le bassin versant. L'augmentation des zones de culture liée à l'apparition de l'agrobusiness réduit peu à peu les zones de pâturage libre. Toutefois, les pâturages occupent une part importante des paysages suivi des zones de cultures.

Bibliographie

Adam J., (1953), Note sur la végétation des Niayes de la presqu'île du Cap Vert (Dakar-A.O.F.), Bulletin de la Société Botanique de France, 100:4-6, 153-158, DOI: 10.1080/00378941.1953.10833178.

Benjamin S. et al (2015), Changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest DOI : 10.4000/books.irdeditions.8914

Braimoh, A. K. & Vlek P. L. G., (2005), Land-cover change trajectories in northern Ghana», Environmental Management, 36, 2005, pp. 356-73.

Casenave A. et Valentin Ch. (1989), Les états de surface de la zone sahélienne : Influence sur l'infiltration Editions de l'ORSTOM Institut français de recherche scientifique pour le développement en Coopération ; 229 pages.

Cissé S., (2016), Etude de la variabilité intra saisonnière des précipitations au sahel : impacts sur la végétation (cas du Ferlo au Sénégal), 160 pages.

Decroix L. et al. (2015), Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'ouest à travers deux régions : la Sénégambie et le bassin du Niger moyen.9

Dome T. et al., (2002), Analyse par imagerie satellitaire de la dynamique de l'occupation du sol dans les rivières du sud : de la basse Casamance (Sénégal) au rio Gêba (Guinée Bissau)

Jean D. (2019), Cartographies des caractéristiques de surfaces du sol par traitement d'images satellites optiques multi-sources et multi-temporelles : cas de la végétation verte, du faciès, du travail du sol, et des états de surface. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. ffdumas-02443674.

Karra K., et al. (2021), "Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning." IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2021.

Kpedenou K. D. et al., (2016), quantification des changements de l'occupation du sol dans la prefecture de Yoto (Sud-est Togo) a l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. Sciences de l'Environnement, 2016, 13, pp.137-156.

Kpedenou D. K. et al, (2017), Analyse de l'occupation du sol pour le suivi de l'évolution du paysage du territoire Ouatchi au sud-est Togo entre 1958 et 2015. Cahiers du cerleshs, Presses de l'Université de Ouagadougou, 2017, XXXI (55), pp.203-228.

Kouassi, K. J-L., 2014, Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques : cas de la Direction régionale des eaux et forêts de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie, Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny. 52 pages.

Lazar A. et al., (2010), Évolution de la nappe des sables quaternaires dans la région des Niayes du Sénégal (1958-1994): relation avec le climat et les impacts anthropiques. Science et changements planétaires / Sécheresse, 2010, 21 (2), pp.97- 104. ff10.1684/sec.2010.0237ff. ffhal-03199870

Liu, J. et al, 2005, Spatial and temporal patterns of China's crop land during 1990-2000: an analysis based on Landsat TM data, Remote Sensing of Environment, 98, 2005, pp. 442-56.

Mamadou A. (2009), «Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat», *Cybergeog: European*

Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, document 472, mis en ligne le 07 octobre 2009, consulté le 29 mai 2023. URL: <http://journals.openedition.org/cybergegeo/22707>; DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergegeo.22707>

N'Guessan, K. E. et al, (2006) Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : Apport de la télédétection, *Revue Télédétection*, 5, 4, 2006, pp. 307-323.

Ramankutty, N. & Foley, J. A., (1999). Estimating Historical Changes in Global Land Cover: Croplands from 1700 to 1992», *Global Biogeochem. Cycles*, 13, 4, 1999, pp. 997-1027.

Soro, G. et al, (2014) Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire), *Afrique SCIENCE*, 10, 3, 2014, pp. 146-160.

Tidjani, A. et al, (2009), Apports de la télédétection dans l'étude de la dynamique environnementale de la région de Tchago (nord-ouest de Gouré, Niger), *Geo-Eco-Trop.*, 33, 2009, pp. 69-80.

Worou S., (2007), La diversification de la mise en valeur traditionnelle des bas-fonds en zone de savane humide du Togo et les conséquences sur l'environnement, 5 pages.