

Research Application Summary

Analyse des changements spatio-temporels des occupations des sols dans les territoires de Kabare et Walungu au Sud-Kivu entre 2000 et 2018 : Utilisation des outils de la télédétection et du modèle Random Forest

Mugumaarhahama, Y.^{1*}, Cirezi, N.C.,¹ Chuma, G. B.,¹ Bagula, E. M.,¹ Safina, F. B.,¹
Basubi, M.M.¹ & Karume, K.¹

Observatoire des forêts et paysages montagneux du Sud-Kivu, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université Evangélique en Afrique. B.P. : 3323 Bukavu, République Démocratique du Congo

*Auteur correspondant: lesmas2020@gmail.com

Résumé

L'évolution des occupations des sols est l'une des transformations les plus immenses et les plus perceptibles de la surface de la terre. L'évaluation de ces changements des occupations des sols est impérative dans un large éventail de perspectives telles que la conservation de l'environnement et la gestion des ressources naturelles dans une perspective de durabilité. Ce travail examine les changements des occupations des sols dans les territoires de Kabare et Walungu entre 2000 et 2018 en utilisant des images satellite Landsat et le modèle Random Forest qui s'est montré performant en donnant une bonne précision. Il s'observe qu'il y a eu des changements substantiels dans les occupations des sols durant la période considérée. Les changements les plus remarquables s'observent au sein des mosaïques champs-jachères, les savanes herbeuses, les plantations sylvicoles les forêts denses et les forêts secondaires. Les changements qu'il y a eu sont essentiellement des dégradations. Des fortes augmentations des superficies des mosaïques champs-jachères (320 km²) et savanes herbeuses (202 km²) se sont observées. Par contre, il y a eu des fortes diminutions des superficies des forêts denses (178 km²), les forêts secondaires (141 km²) et les plantations sylvicoles (195 km²). Les forêts denses ont été dégradées en forêts secondaires ; Les forêts secondaires telles qu'elles étaient en 2000, bien qu'une partie ait évolué en forêts denses, la majeure partie a essentiellement été dégradée en mosaïques champs-jachères ou plantations sylvicoles. Les mosaïques champs-jachères qu'on retrouve en 2018 sont issues de celles des années 2000, des anciennes plantations sylvicoles, savanes herbeuses ou de la dégradation des forêts secondaires.

Mots clés : RD Congo, Paysages montagneux, Détection des changements, Landsat, Random Forest

Abstract

L'évolution des occupations des sols est l'une des transformations les plus immenses et les plus perceptibles de la surface de la terre. L'évaluation de ces changements des occupations des sols est impérative dans un large éventail de perspectives telles que la conservation de l'environnement et la gestion des ressources naturelles dans une perspective de durabilité. Ce travail examine les changements des occupations des sols dans les territoires de Kabare et Walungu entre 2000 et 2018 en utilisant des images satellite Landsat et le modèle Random Forest qui s'est

montré performant en donnant une bonne précision. Il s'observe qu'il y a eu des changements substantiels dans les occupations des sols durant la période considérée. Les changements les plus remarquables s'observent au sein des mosaïques champs-jachères, les savanes herbeuses, les plantations sylvicoles les forêts denses et les forêts secondaires. Les changements qu'il y a eu sont essentiellement des dégradations. Des fortes augmentations des superficies des mosaïques champs-jachères (320 km²) et savanes herbeuses (202 km²) se sont observées. Par contre, il y a eu des fortes diminutions des superficies des forêts denses (178 km²), les forêts secondaires (141 km²) et les plantations sylvicoles (195 km²). Les forêts denses ont été dégradées en forêts secondaires ; Les forêts secondaires telles qu'elles étaient en 2000, bien qu'une partie ait évolué en forêts denses, la majeure partie a essentiellement été dégradée en mosaïques champs-jachères ou plantations sylvicoles. Les mosaïques champs-jachères qu'on retrouve en 2018 sont issues de celles des années 2000, des anciennes plantations sylvicoles, savanes herbeuses ou de la dégradation des forêts secondaires.

Mots clés : RD Congo, Paysages montagneux, Détection des changements, Landsat, Random Forest

Introduction

Des informations de grande précision sur les occupations des sols (LULC) à l'échelle mondiale et régionale sont essentielles notamment pour la gestion conservation des ressources naturelles, le développement durable et le changement climatique. Pour obtenir ces informations, les scientifiques font notamment appel à la télédétection et à différents modèles mathématiques. La cartographie des LULC et la surveillance des changements en leur sein sont essentielles pour une gestion durable des ressources naturelles (Adam *et al.*, 2014) et la détermination les zones prioritaires pour la conservation de la biodiversité (Turner *et al.*, 2007). L'identification les moteurs de changement des LULC et la compréhension de leur dynamique sont essentielles pour assurer durablement une bonne gestion des ressources naturelles et de la biodiversité (Mucova *et al.*, 2018).

La surveillance des LULC à l'aide des outils de télédétection nécessite des méthodes de classification robustes (Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012). Pour cela, la sélection de données de télédétection appropriées et le choix de l'algorithme de classification adéquat sont les deux facteurs les plus importants. Les images sont couramment utilisées dans la cartographie des LULC (par exemple, Alam *et al.*, 2019). Le modèle Random Forest (RF) est aussi un modèle mathématique robuste pour faire la classifications des LULC (Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012). Un certain nombre d'articles scientifiques ont obtenu des classifications de grande précision en utilisant les images Landsat et le modèle RF (par exemple, Alam *et al.*, 2019). RF affiche des propriétés intéressantes telles que sa grande précision et sa robustesse pour cartographier les LULC. Il a récemment été proposée et utilisée pour améliorer la cartographie des LULC à partir d'images de télédétection (par exemple, Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012). Dans cet article, nous considérons l'application de l'algorithme RF pour la classification en raison de ses propriétés intéressantes et les images Landsat à raison de la facilité d'y accéder.

Dans les territoires de Kabare et Walungu au Sud-Kivu, très peu de travaux ont été effectués pour évaluer la dynamique des LULC. De ce fait, il est difficile d'établir, par exemple, ce que serait la portée des actions anthropiques sur les LULC. Pour orienter les politiques nationales et/ou provinciales de gestion des ressources naturelles, il est important de cartographier les LULC et leur dynamique spatio-temporelle. Pour cela, cette étude a pour objectif d'évaluer la dynamique des LULC dans les territoires de Kabare et Walungu de 2000 à 2018 en utilisant le modèle RF et les images Landsat.

Méthodes

Milieu d'étude. Cette étude s'intéresse aux territoires de Kabare et Walungu situés dans la province du Sud-Kivu. Ils se situent entre 2,13° et 3,00° de latitude Sud et 28,21° et 29,03° de longitude Est et s'étendent sur 3760,8 km² (Walungu = 1869,9 km² ; Kabare = 1890,9 km²).

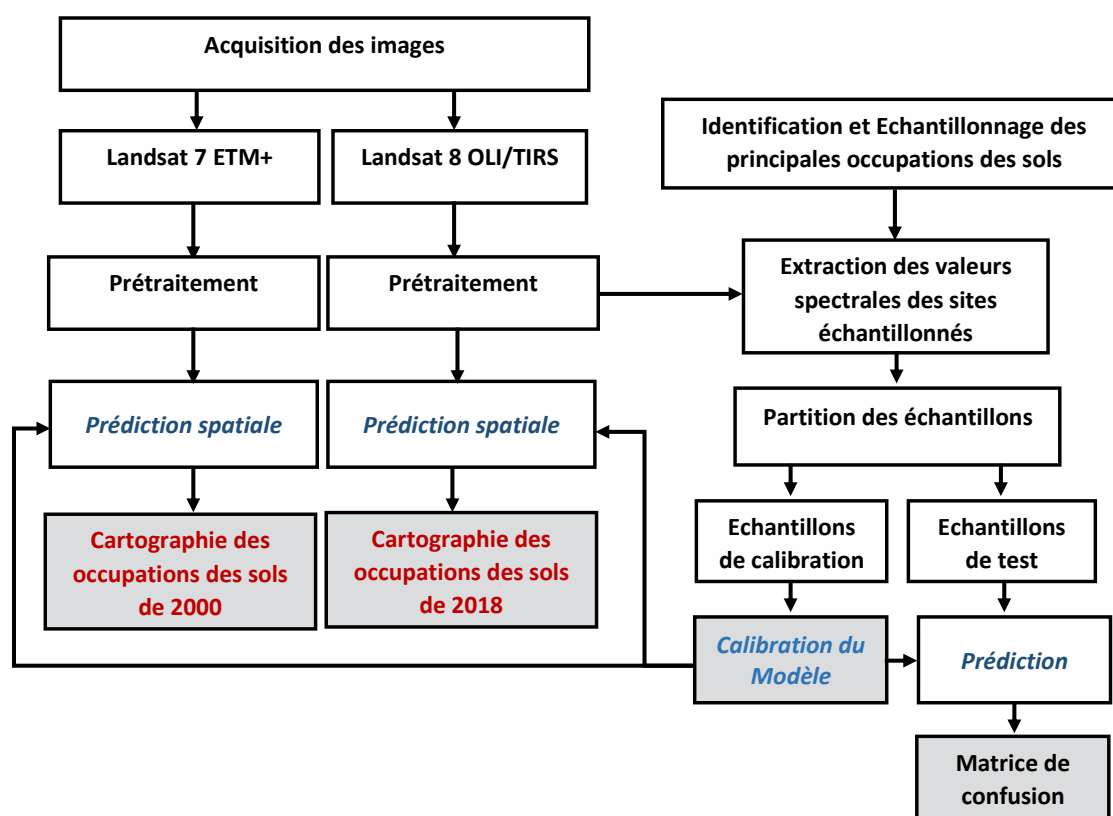


Figure 1. Schéma de la démarche méthodologique

Acquisition et prétraitement des images. Les images Landsat Landsat 7 ETM+ (2000) et Landsat 8 OLI/TIRS (2018) sans couvertures nuageuses ont été utilisées. Elles ont été téléchargées à partir de la base de données Global Forest Change 2000–2019 Data Download disponible sur le site <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change> (Hansen *et al.*, 2013).

Ces images sont constituées d'observations médianes provenant d'un ensemble de quatre bandes spectrales : les bandes 2, 3, 4 et 7 de Landsat 7 ETM+ et les bandes 3, 4, 5 et 7 de Landsat 8 OLI/TIRS. Le prétraitement de ces images a consisté en une mise en échelle des valeurs de réflectance (ρ) normalisées au sommet de l'atmosphère (TOA) sur une plage de données de 8 bits à l'aide d'un facteur d'échelle (g) : $DN = \rho - g + 1$. Le facteur g a été choisi indépendamment pour chaque bande afin de préserver la gamme dynamique spécifique à la bande (Hansen *et al.*, 2013).

Identification et Echantillonnage des principales occupations des sols. Les missions d'observation sur terrain ont précédé les analyses. Elles ont été organisées du 10 Mars 2019 au 31 Avril 2019 dans les deux territoires, afin de collecter les points de contrôle dans les différents écotypes de forêts et d'autres LULC. En utilisant le logiciel ArcGis 10.7, un fishnet constitué des mailles de 300m x 300m couvrant l'ensemble du milieu d'étude a été généré pour servir à l'échantillonnage. Cela a été fait de telle façon que chaque maille couvre 100 pixels de l'image Landsat. 500 mailles ont été choisies aléatoirement et dans chacune des mailles sélectionnées, 5 points correspondant à des centroïdes des pixels ont été sélectionnés pour observation, faisant un total de 2500 points. Un quadrat de référence de 30m x 30m a été placé autour de chaque point pour identifier l'occupation du sol la plus dominante.

Calibration du modèle Random forest. Ayant les coordonnées des quadrats (points) et les LULC qui les caractérisent, l'étape suivante a consisté à mettre en relation des données de bandes spectrales avec les LULC observées sur terrain. Cette étape a permis de constituer la base de données qui a servi à la calibration et à tester la performance du modèle. Pour évaluer la performance du modèle RF dans la classification, la base de données a été subdivisée en deux parties : 80% des observations (2000 points) ont été utilisés pour la calibration du modèle et les 20% restants (500 points) ont été utilisées pour tester la performance prédictive du modèle. Cela s'est fait dans le logiciel R dans un algorithme tournant en boucle 50 fois en faisant varier chaque fois les jeux de données de calibration et de test du modèle.

Validation et test du pouvoir prédictif du modèle. Le modèle a été évalué en utilisant la matrice de confusion réalisée sur les prédictions des LULC du modèle en utilisant les données de réflectance/radiance et les vraies LULC sur terrain aussi contenues dans les données de test.

Analyse des changements d'occupation du sol. En utilisant ArcGIS 10.7 et le logiciel R, les changements ont été mis en évidence par une matrice de transition qui a été créée pour identifier les fréquences de transition entre les classes au cours de la période d'étude.

Résultats

Le modèle Random Forest a permis d'obtenir une précision acceptable dans la classification des occupations des sols. La précision obtenue a été de 0.861 (intervalle de confiance :]0.705, 0.953]) et un indice kappa de 0.826. Les résultats présentés sur la figure 2 montrent que dans l'ensemble il y a eu de changements substantiels des LULC dans les territoires de Kabare et Walungu entre 2000 et 2018. Les forêts sont l'une des occupations de sol à avoir subi des perturbations importantes au profit de la classe des mosaïques champs-jachères qui a subi une augmentation importante en termes d'étendue occupée. On note une forte concentration des plantations sylvicoles autour du Parc National de Kahuzi Biega en 2018 par rapport à ce qu'il en était en 2000. En 2018, il

se remarque aussi une forte extension des zones bâties par rapport à ce qu'elles étaient en 2000. La figure 3 montre les variations en termes de superficie totale et des proportions occupées par chaque classe de LULC.

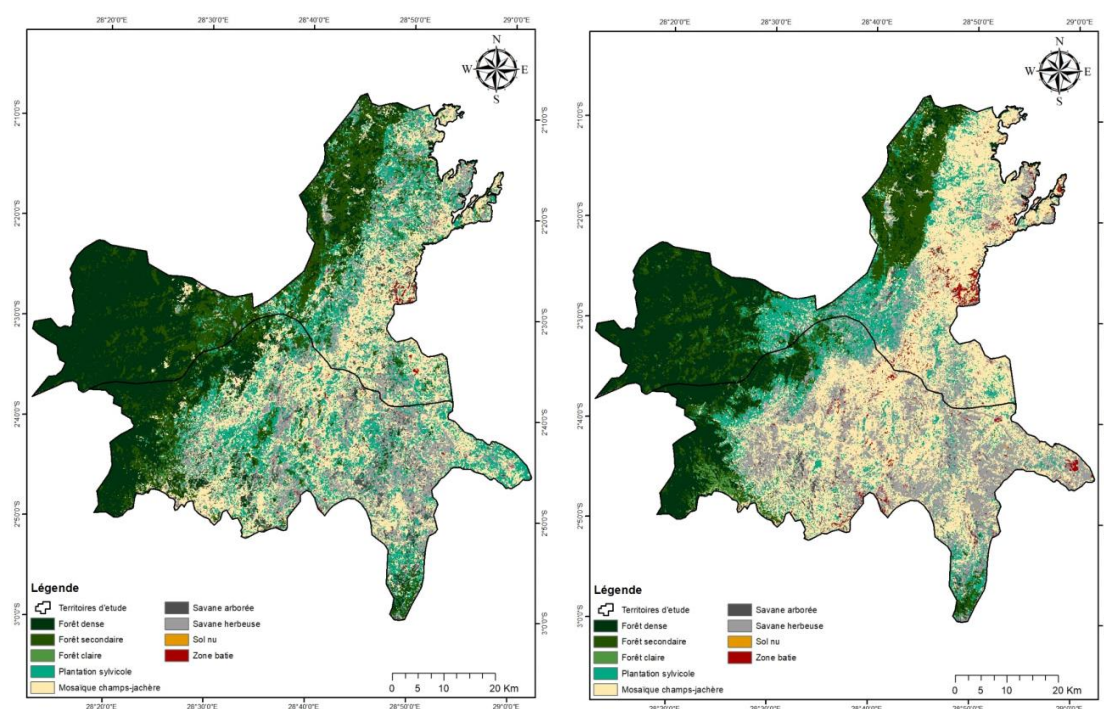


Figure 2. Occupations des sols du territoire de Kabare et Walungu en 2000 (gauche) et 2018 (droite)

Les changements les plus remarquables s'observent dans la classe des mosaïques champs-jachères, les savanes herbeuses, les plantations sylvicoles les forêts denses et les forêts secondaires. Par rapport à l'année 2000, il y a eu augmentation des mosaïques champs-jachères et savanes herbeuses avec respectivement une augmentation de près de 320 km² pour les mosaïques champs-jachères et 202 km² pour les savanes herbeuses. Par contre, les forêts denses, les forêts secondaires et les plantations sylvicoles ont perdu des superficies importantes : près de 178 km² de perte pour les forêts denses, 141 km² de perte pour les forêts secondaires et 195 km² de perte pour les plantations sylvicoles. Bien cela peut paraître négligeable, les zones bâties ont aussi connu une augmentation considérable (plus que doubler), allant de 18 km² à 46 km². La figure 4 montre les différents changements d'occupation de sol au sein de chaque classe de sol entre 2000 et 2018.

Les résultats de la figure 4 démontrent que les changements qui ont eu lieu dans les forêts denses ont consisté en une dégradation en forêt secondaire. La classe des forêts secondaires telle qu'elle était en 2000, a subi des modifications importantes. Bien qu'une partie ait évolué en forêt dense, la majeure partie a essentiellement été transformée en mosaïques champs-jachères ou en plantations sylvicoles. Les mosaïques champs-jachères retrouvés en 2018 sont issues de celles des années 2000, des anciennes plantations sylvicoles, savanes herbeuses ou de la dégradation des forêts

secondaires. Enfin, l'extension des zones bâties telles qu'on les retrouve en 2018 est principalement le résultat de la conversion des mosaïques champs-jachères des années 2000 en parcelles d'habitation.

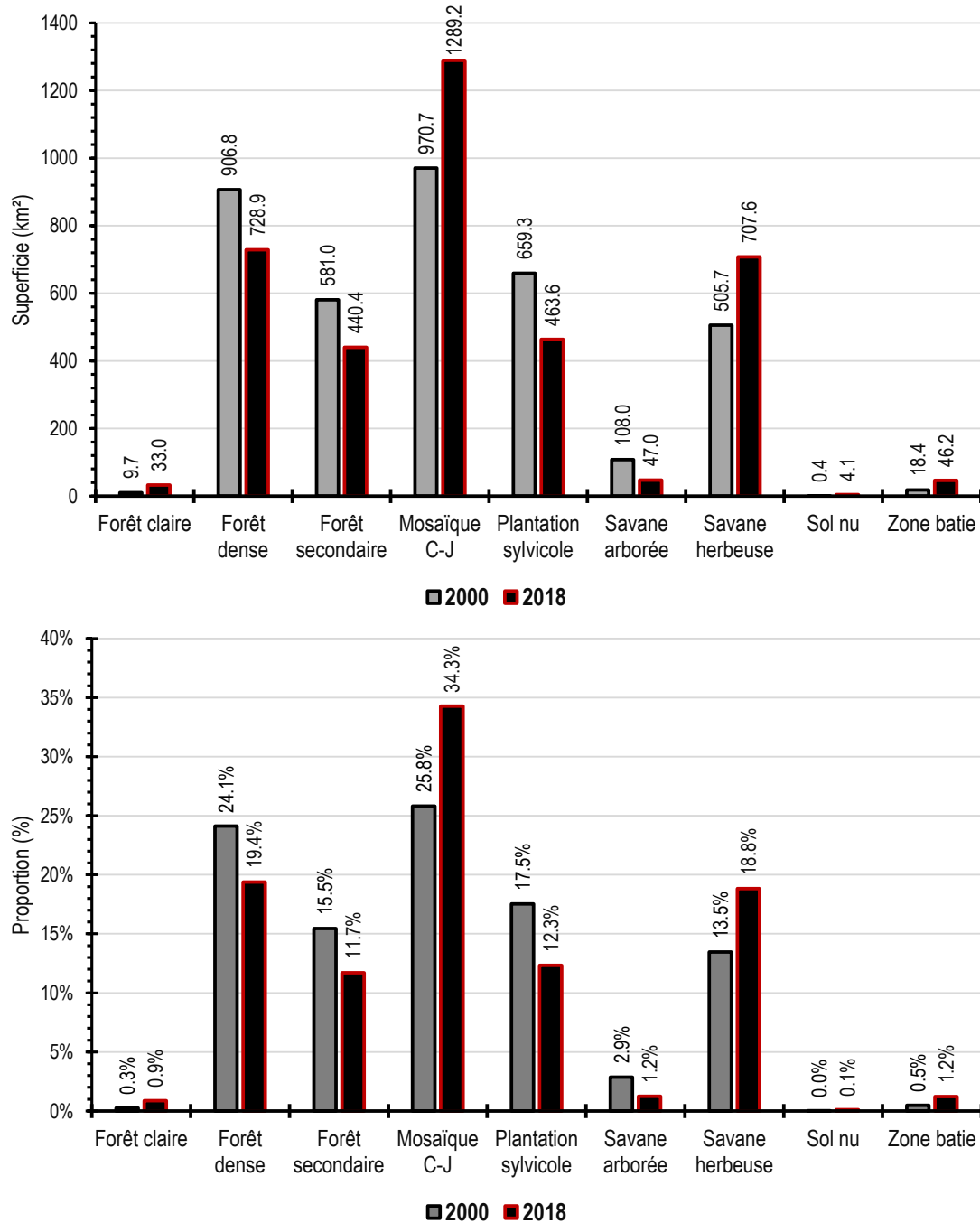


Figure 3. Estimations des superficies (en haut) et proportions (en bas) occupées par les différentes utilisations de terre dans les territoires de Kabare et Walungu

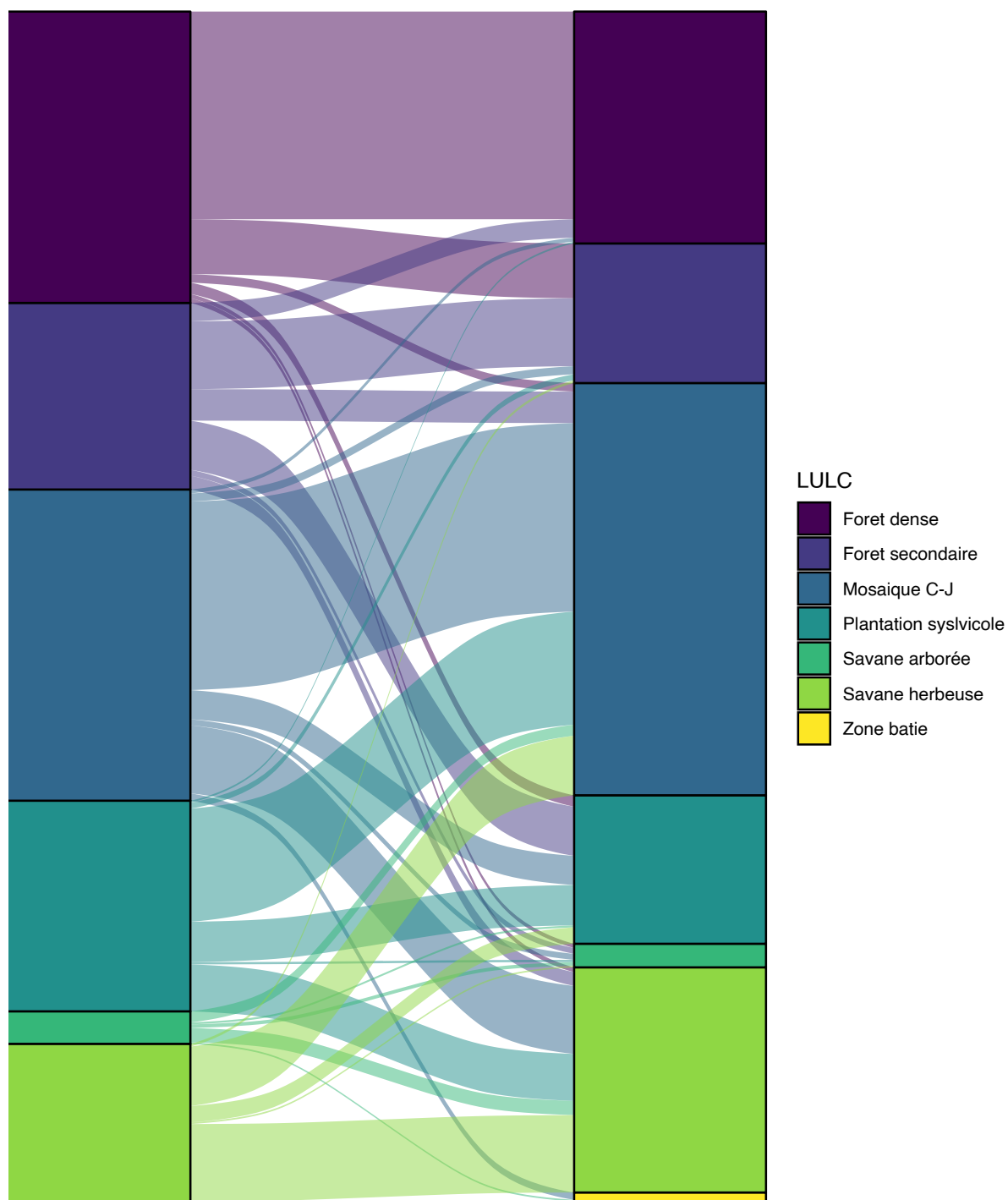


Figure 4. Dynamique des occupations des sols dans les territoires de Kabare et Walungu entre 2000 et 2018

Discussion

Performance du modèle Random forest dans la classification

Dans cette étude, nous avons utilisé la précision et l'indice kappa pour évaluer la performance du modèle Random forest dans la classification des occupations des sols dans les territoires de Kabare et Walungu. Le Kappa nous permet de vérifier et de tester si une carte donnée d'utilisation et d'occupation des sols générée à partir de données et en utilisant des techniques de télédétection et des analyses est très significative ou non (Mucova *et al.*, 2018). Dans cette étude, la précision obtenue a été de 0.861 et un indice kappa de 0.826 sont des indicateurs suffisants pour considérer que le modèle Random forest s'est montré suffisamment performant dans la classification des occupations des sols à Kabare et Walungu. En effet, un indice kappa supérieur ou égal à 0.80 est considéré comme un indicateur d'une excellente classification (Mucova *et al.*, 2018). Néanmoins, Il est possible que les superficies des classes de LULC aient été mal estimées en raison de la résolution des images. Fisher *et al.* (2018) montrent que la qualité et la résolution des images ont un impact sur la précision de la classification qui en résulte. Ainsi pour une classification plus précise, il est nécessaire d'utiliser des images satellitaires de résolution plus fine. Malheureusement, les images d'une telle qualité ne sont pas à accès gratuit.

Dynamique des occupations des sols. Comme on peut le voir, entre 2000 et 2018, il y a eu des changements considérables dans les occupations des sols à Kabare et Walungu. Malheureusement, ces changements sont essentiellement la dégradation des occupations des sols. C'est comme par exemple des forêts denses qui deviennent des forêts secondaires, des forêts secondaires qui sont transformées en mosaïques champs-jachères, des plantations sylvicoles et des savanes qui deviennent des mosaïques champs-jachères, etc. Tous ces changements témoignent du niveau de perturbation des écosystèmes locaux et l'éventuel déséquilibre y lié. De tels changements dans les paysages induisent aussi forcément des changements dans les services écosystémiques de ces paysages (Tiando *et al.*, 2021). En effet, les LULC ont un impact sur les services écosystémiques, notamment sur la biodiversité (Andrew *et al.*, 2014) et sur la régulation des émissions de gaz à effet de serre (Li *et al.*, 2017). Tous ces changements ne pourraient pas se produire sans qu'il n'y ait des actions anthropiques qui y concourent. Mucova *et al.* (2018) montrent que la croissance démographique et des besoins locaux sont parmi les principaux facteurs étroitement liés à l'exploitation des terres et des ressources naturelles et de surcroît aux changements dans les occupations des sols. Beaucoup d'études similaires conduites en Afrique comme celles de Padonou *et al.* (2017) montrent que l'exploitation des ressources naturelles par l'homme, l'agriculture, la croissance démographique, le bâti, sont considérés comme les principaux moteurs des changements des LULC. Cependant, nous associons aux promoteurs identifiés la fragilité gouvernementale dans l'application des lois de conservation de la biodiversité et de des lois sur la conservation de la biodiversité et l'exploitation des ressources naturelles, le contrôle, le suivi et la non mise en œuvre de programmes de planification territoriale et d'établissements humains. Néanmoins, il est difficile d'établir à partir des résultats de cette étude ce que seraient effets des actions anthropiques sur les changements identifiés et les perturbations des services écosystémiques.

Stratégies de mitigation et gestion durable des ressources naturelles. Les paysages des territoires de Kabare et Walungu sont sous une importante pression des moteurs de changements qui perturbent ses écosystèmes. Pour faire face à cette situation, les propositions suivantes peuvent être données :

- Les populations rurales ne semblent pas bien comprendre l'importance de la conservation

de l'environnement et la nécessité d'une gestion durable des ressources naturelles. Il est important d'initier des formations sur l'éducation à l'environnement et la gestion des ressources naturelles à l'intention des populations locales.

- A ce jour, il semble qu'il n'existe pas encore, ni au niveau national, ni au niveau provincial et encore moins au niveau local, des politiques sur l'environnement et la gestion des ressources naturelles. Il est actuellement urgent de mettre en place une politique nationale sur la gestion de l'environnement et la gestion durable des ressources naturelles et y assigner des objectifs mesurables dans l'espace et dans le temps. Pour cela, il faut doter le pays à tous les niveaux de la vie nationale des ressources pour le suivi de cette politique.

Conclusion

Les occupations des sols constituent une couche supérieure de la terre qui change sous l'effet des moteurs d'origine naturelle et/ou anthropique. Les images satellitaires permettent d'évaluer les changements des occupations des sols dans une zone donnée à des intervalles de temps souhaités. Cette étude classe les occupations des sols et les changements d'occupation des sols entre 2000 et 2018, dans les territoires de Kabare et Walungu en utilisant les images Landsat et le modèle Random Forest. Le modèle Random Forest s'est montré performant en donnant une bonne précision. Les occupations des sols identifiées ont révélé des changements substantiels entre 2000 et 2018 ; par exemple, les mosaïques champs-jachères, les savanes herbeuses ont connu des augmentations entre des superficies occupées : respectivement près de 320 km² et 202 km². Par contre, il y a eu diminution dans les superficies occupées par les forêts denses (178 km²), les forêts secondaires (141 km²) et les plantations sylvicoles (195 km²). Les changements qu'il y a eu ont essentiellement consisté en des dégradations. Nous pensons que la plupart des changements identifiés résulteraient principalement des activités anthropiques, avec une série d'impacts négatifs sur l'environnement. Nous pensons que les résultats de cette étude aideront les décideurs à formuler des politiques efficaces de gestion de l'environnement et des ressources naturelles.

Remerciements

Les auteurs remercient le RUFORUM à travers Canergie Corporation New-York, l'Université Evangélique en Afrique à travers le Pain pour le Monde / Allemagne et la FAO à travers le projet RGEM pour les ressources matérielles et financières pour la réalisation de cette étude. This paper is a contribution to the 2021 Africa Higher Education Week and RUFORUM Triennial Conference held 6-10 December in Cotonou, Benin

Références bibliographiques

- Adam, E., Mutanga, O., Odindi, J. and Abdel-Rahman, E. M. 2014. Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. *International Journal of Remote Sensing* 35 (10): 3440–3458. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.903435>
- Alam, A., Bhat, M. S. and Maheen, M. 2019. Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley. *GeoJournal* 85 (6): 1529–1543. <https://doi.org/10.1007/S10708-019-10037-X>
- Andrew, M. E., Wulder, M. A. and Nelson, T. A. 2014. Potential contributions of remote sensing

- to ecosystem service assessments. *Progress in Physical Geography* 38 (3): 328–353. <https://doi.org/10.1177/0309133314528942>
- Fisher, J. R. B., Acosta, E. A., Dennedy-Frank, P. J., Kroeger, T. and Boucher, T. M. 2018. Impact of satellite imagery spatial resolution on land use classification accuracy and modeled water quality. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 4 (2): 137–149. <https://doi.org/10.1002/RSE2.61>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O. and Townshend, J. R. G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342 (6160): 850–853. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1244693>
- Li, W., Ciais, P., Peng, S., Yue, C., Wang, Y., Thurner, M., Saatchi, S. S., Arneeth, A., Avitabile, V., Carvalhais, N., Harper, A. B., Kato, E., Koven, C., Liu, Y. Y., Nabel, J. E. M. S., Pan, Y., Pongratz, J., Poulter, B., Pugh, T. A. M. and Zaehle, S. 2017. Land-use and land-cover change carbon emissions between 1901 and 2012 constrained by biomass observations. *Biogeosciences* 14 (22): 5053–5067. <https://doi.org/10.5194/BG-14-5053-2017>
- Mucova, S. A. R., Filho, W. L., Azeiteiro, U. M. and Pereira, M. J. 2018. Assessment of land use and land cover changes from 1979 to 2017 and biodiversity and land management approach in Quirimbas National Park, Northern Mozambique, Africa. *Global Ecology and Conservation* 16: e00447. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2018.E00447>
- Padonou, E. A., Lykke, A. M., Bachmann, Y., Idohou, R. and Sinsin, B. 2017. Mapping changes in land use/land cover and prediction of future extension of bowé in Benin, West Africa. *Land Use Policy* 69: 85–92. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2017.09.015>
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M. and Rigol-Sanchez, J. P. 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 67(1): 93–104. <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2011.11.002>
- Tiando, D. S., Hu, S., Fan, X. and Ali, M. R. 2021. Tropical coastal land-use and land cover changes impact on ecosystem service value during rapid urbanization of benin, west africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (14): 7416. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147416>
- Turner, B. L., Lambin, E. F. and Reenberg, A. 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (52): 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0704119104>