



English below

## Proposition de sujet post-doctoral : Télédétection et dégradation des terres en région sahélienne

L'équipe Dynamique des sols et changements globaux en régions (semi-)arides propose d'accompagner un.e candidat.e pour une demande de financement post-doctoral de 2 ans, lors de campagnes nationales de financements comme celle du CNES et de l'IRD, qui ont lieu début 2025. Si vous disposez d'une thèse en télédétection obtenue depuis moins de 3 ans, et êtes intéressé.e par le sujet proposé, envoyer CV et lettre de motivation à Caroline PIERRE ([caroline.pierre@sorbonne-universite.fr](mailto:caroline.pierre@sorbonne-universite.fr)) avant le 15 janvier 2025.

### Contexte :

Plusieurs publications scientifiques datant des années 2000 ont montré, en s'appuyant sur des observations satellitaires à l'échelle de l'ensemble de la région sahélienne, que cette région, dans son ensemble, avait connu une tendance au reverdissement suite aux grandes sécheresses des années 1970 et 1980 (e.g. *Herrmann et al.*, 2005 ; *Hickler et al.*, 2005), y compris au Sénégal (*Li et al.*, 2004). Ces études ont notamment utilisé les observations satellitaires NOAA AVHRR GIMMS<sup>1</sup> (résolution 8 km), disponibles pour une période commençant en 1982<sup>2</sup>. Par la suite, plusieurs travaux ont cherché à estimer la *Rain Use Efficiency* (RUE ; cf *Le Houérou*, 1984)<sup>3</sup> et son évolution au cours du temps à partir d'observations satellite pour identifier s'il y avait ou non dégradation des terres au Sahel. Une polémique scientifique s'en est suivie, notamment sur la dépendance attendue ou non de la RUE à la pluviométrie (*Hein and de Ridder*, 2006 ; *Prince et al.*, 2007).

Des raffinements à la définition et à l'utilisation de la RUE ont ensuite été proposés, notamment en s'appuyant davantage sur des mesures de terrain pour établir des relations entre pluviométrie et *Net Primary Production* (NPP) (e.g. *Hein et al.*, 2011) ou bien en modifiant l'utilisation de l'indice satellitaire *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) pour en déduire la NPP (*Fensholt et al.*, 2013). Les conclusions de la plupart de ces travaux suggéraient qu'il n'y avait pas de tendance généralisée à la dégradation des terres au Sahel, mais restaient au moins partiellement contradictoires entre elles, notamment du fait de méthodologies différentes (*Mbow et al.*, 2015 ; *Rasmussen et al.*, 2016).

Des analyses plus fines ont alors suggéré que le reverdissement observé au Sahel était sans doute principalement dû à une augmentation du couvert foliaire arboré, tandis que le couvert herbacé montre toujours une forte variabilité interannuelle. Cette dynamique peut s'accompagner néanmoins d'une diminution de la présence de certaines espèces ligneuses, comme par exemple au Sénégal (e.g. *Brandt et al.*, 2015). Cette dernière conclusion est d'ailleurs en accord avec les résultats d'entretiens menés auprès des populations locales dans ce même pays (*Herrmann and Tappan*, 2013 ; *Herrmann et al.*, 2014), reportant des changements dans la composition floristique, perçus comme non souhaitables par ces populations locales. En revanche, faisant suite à une initiative de cartographie globale de la dégradation des sols<sup>4</sup>, *Sonneveld et al.* (2016) ont estimé que le Sénégal comportait des terres dégradées et que cette dégradation diminuait les rendements agricoles.

Plusieurs travaux ont ensuite conclu à un effet (au moins localement) bénéfique de certaines activités humaines sur le couvert végétal au Sahel, comme par exemple une plus forte densité d'arbres à proximité des villages (*Brandt et al.*, 2018), ou encore une plus forte productivité végétale à proximité de lieux de campements pastoraux, sans doute grâce à la redistribution spatiale de nutriments par les déjections animales (*Rasmussen et al.*, 2018). *Souvereinjs et al.* (2020), grâce aux images Landsat, résolues à 30 m, ont également pu montrer qu'outre la tendance générale au reverdissement de la région, des images aussi bien résolues permettaient aussi de voir des changements plus subtils comme la dégradation de certaines forêts ou encore l'expansion des surfaces cultivées. Comme le rappelle *Herrmann et al.* (2020), ces dynamiques s'observent dans un contexte d'accélération du changement de couvert végétal (*land cover*) en Afrique de l'Ouest.

<sup>1</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration / Advanced Very High Resolution Radiometer / Global Inventory Modeling and Mapping Studies

<sup>2</sup> [https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C2759076389-ORNL\\_CLOUD.html](https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C2759076389-ORNL_CLOUD.html)

<sup>3</sup> Rapport de la production primaire sur la pluviométrie annuelle, donc e.g. en kg/ha/mm.

<sup>4</sup> <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1036360/>



De rares travaux ont également cherché à s'appuyer sur la télédétection pour déterminer l'effet de l'initiative de la Grande Muraille Verte au Sénégal. *Meroni et al.* (2017) ont ainsi montré, en s'appuyant sur des images MODIS (250 m) et Landsat (30 m), qu'une augmentation du couvert végétal n'était détectable que pour un tiers des 15 sites de restauration considérés dans leur étude (plantation d'arbres et/ou mises en défens). Plus récemment, *Fassinou et al.* (2024), en s'appuyant sur le recensement d'arbres effectué par *Brandt et al.* (2020) pour l'Afrique de l'Ouest à partir de plus de 50 000 images DigitalGlobe provenant des satellites QuickBird-2, GeoEye-1, WorldView-2 et WorldView-3 collectées de 2005 à 2018, ont montré la plus forte densité et masse produite par les plantations arborées privées que par le projet de Grande Muraille verte au Sénégal, mais aussi le plus grand taux de couvert et masse rapportée à chaque arbre en moyenne, pour la Grande Muraille Verte que pour les plantations privées.

Plus récemment, d'autres travaux ont investigué le lien entre changement climatique et réponse du couvert végétal dans les *drylands* globaux, en s'intéressant au fonctionnement des écosystèmes à partir d'observations satellitaires et de jeux de données complémentaires (e.g. pluviométrie, plant richness, soil moisture) (*Abel et al.*, 2021 ; 2024) pour les interpréter en termes de résistance de la végétation, notamment à l'aridification. Il est à noter cependant que l'affirmation d'une aridification en cours de ces *drylands* est sujette à des précautions de définition, selon qu'il s'agit d'une aridification « atmosphérique » ou « échohydrologique » (voir par exemple *Berg & McColl*, 2021), une aridification des *drylands* au sens de cette deuxième définition n'ayant pas lieu, d'après les auteurs.

#### Activités envisagées :

La/le post-doctorant.e pourra viser à améliorer notre estimation de la possible dégradation des terres au Sahel, plus particulièrement au Sahel sénégalais. Pour cela, elle/il pourra s'appuyer sur des outils de télédétection, complétés par la littérature, des échanges avec des partenaires locaux (e.g. ISRA), et des relevés de terrain.

Elle/il commencera par analyser les séries temporelles d'observations MODIS (250 m) et AVHRR (8 km) pour des zones de cette région dont le couvert présente une tendance pluridécennale négative d'après les travaux existants (e.g. *Dardel et al.*, 2014), ou encore pour des sites dont des études plus locales affirment qu'ils sont le lieu de dégradation des terres (*Li et al.*, 2004 ; *Brandt et al.*, 2014). Des produits satellites plus récents lui permettront alors de disposer d'une résolution temporelle et spatiale plus fine. Une fois certaines zones d'intérêt ainsi identifiées, il/elle les analysera plus en détail grâce aux observations Sentinel2 (10 m, disponible depuis 2016), Landsat (80 m de 1972 à 1982 ; 30 m depuis 1982) et SPOT (20 m de 1986 à 2002 ; 10 m de 2002 à 2012 ; 6 m depuis fin 2012). Ces observations pourront être complétées par des images provenant de constellations de nano-satellites (RapidEye, 5m, 2009-2020 ; PlanetScope<sup>5</sup>, 3 m, 2016-aujourd'hui). Lors de missions de terrain, nous visiterons les sites ainsi identifiés pour les documenter davantage (analyses de sol, caractéristiques du couvert). Ce travail de terrain sera couplé à des entretiens avec les populations locales.

Une approche pourra alors consister à étudier des sites appariés, pour des sites présentant des mêmes caractéristiques pédoclimatiques (pluviométrie annuelle, distribution saisonnière des pluies, température, texture et épaisseur des sols...) et d'usage (superficies cultivées et pâturées, pratiques agricoles et pastorales, usage du parc arboré...) mais des tendances différentes du couvert végétal (cf. *Meroni et al.*, 2017 et *Fassinou et al.*, 2024). Parmi les localités retenues pour un examen plus approfondi, il sera intéressant de considérer des zones appartenant à l'empreinte de la Grande Muraille Verte, et d'autres aux mêmes conditions pédoclimatiques, à l'extérieur de cette empreinte, afin de contribuer à quantifier l'effet possible de cette initiative. Les 3 métriques proposées par *Cowie et al.* (2018) pour estimer s'il y a dégradation des terres (land cover, NPP, et Carbone du sol) pourront être utilisé comme comparaison de référence.

Un apport précieux serait d'adjoindre à cette analyse des relevés terrain de long terme de la productivité végétale, ce qui pourrait être envisagé à travers une collaboration avec le *Centre de Suivi Ecologique* (CSE) au Sénégal.

---

<sup>5</sup> Dont la mosaïque à 4.77 m de résolution est désormais accessible gratuitement : <https://www.planet.com/nicfi/>. Les images journalières restent payantes.



## Postdoctoral topic proposal: Remote sensing and land degradation in the Sahel region

*The Soil Dynamics and Global Changes in (semi-)arid Regions team offers to support a candidate for a post-doctoral funding request for 2 years, during national campaigns such as that of the CNES and the IRD, which take place in early 2025. If you recently graduated with a PhD in remote sensing (less than 3 years ago), and are interested in the proposed subject, send a CV and cover letter to Caroline PIERRE ([caroline.pierre@sorbonne-universite.fr](mailto:caroline.pierre@sorbonne-universite.fr)) before January 15, 2025.*

### Context:

Several scientific publications based on satellite observations across the entire Sahel region and dating from the 2000s have shown that this region had experienced a trend towards greening following the great droughts of the 1970s and 1980s (e.g. Herrmann et al., 2005; Hickler et al., 2005), including in Senegal (Li and al., 2004). These studies mostly used NOAA AVHRR GIMMS satellite observations (8 km resolution), available for a period starting in 1982. Subsequently, several studies sought to estimate the Rain Use Efficiency (RUE; cf Le Houérou, 1984) and its evolution over time from satellite observations to identify whether or not there was land degradation in the Sahel. A scientific controversy ensued, in particular on the expected dependence, or not, of the RUE on rainfall (Hein and de Ridder, 2006; Prince et al., 2007).

Refinements to the definition and use of the RUE were then proposed, in particular by relying more on field measurements to establish relationships between rainfall and Net Primary Production (NPP) (e.g. Hein et al., 2011) or by refining the use of the satellite-based Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to deduce the NPP (Fensholt et al., 2013). The conclusions of most of these works suggested that there was no generalized trend towards land degradation in the Sahel, but remained at least partially contradictory between them, notably due to different methodologies (Mbow et al., 2015; Rasmussen et al., 2016).

More detailed analyzes then suggested that the greening observed in the Sahel was mainly due to an increase in tree leaf cover, while herbaceous cover still exhibits a strong interannual variability. This dynamic can nevertheless be accompanied by a reduction in the presence of certain woody species, as for example in Senegal (e.g. Brandt et al., 2015). This last conclusion is also in agreement with the results of interviews conducted with local populations in the same country (Herrmann and Tappan, 2013; Herrmann et al., 2014), reporting changes in the floristic composition, perceived as undesirable by these local populations. On the other hand, following a global mapping initiative for land degradation, Sonneveld et al. (2016) estimated that Senegal had degraded land and that this degradation reduced agricultural yields.

Several studies then concluded that there was a (at least locally) beneficial effect of certain human activities on plant cover in the Sahel, such as, for example, a higher density of trees near villages (Brandt et al., 2018), or even higher plant productivity near places of pastoral camps, undoubtedly thanks to the spatial redistribution of nutrients by animal waste (Rasmussen et al., 2018). Souverijns et al. (2020), thanks to Landsat images, resolved at 30 m, were also able to show that in addition to the general trend towards greening of the region, such well-resolved images also made it possible to see subtler changes such as the degradation of certain forests or further expansion of cultivated areas. As pointed out by Herrmann et al. (2020), these dynamics are observed in a context of accelerating change in land cover in West Africa.

A few studies have also sought to rely on remote sensing to determine the effect of the Great Green Wall in Senegal. Meroni et al. (2017) thus showed, based on MODIS (250 m) and Landsat (30 m) images, that an increase in plant cover was only detectable for a third of the 15 restoration sites considered in their study (e.g. planting of trees and/or fencing). More recently, Fassinou et al. (2024), based on the tree census carried out by Brandt et al. (2020) for West Africa from more than 50,000 DigitalGlobe images from the QuickBird-2, GeoEye-1, WorldView-2 and WorldView-3 satellites collected from 2005 to 2018, highlighted the highest density and mass produced by private tree plantations than by the Great Green Wall project in Senegal, but also the greater rate of cover and mass reported to each tree in average, for the Great Green Wall than for private plantations.

More recently, other studies investigated the link between climate change and the response of plant cover in global drylands, focusing on the functioning of ecosystems based on satellite observations and complementary



datasets (e.g. rainfall, plant richness, soil moisture) (Abel et al., 2021; 2024) to interpret them in terms of vegetation resistance, particularly to aridification. It should be noted, however, that the assertion of ongoing aridification of these drylands is subject to caution in its definition, depending whether one considers an “atmospheric” or “ecohydrological” aridification (see for example Berg & McColl, 2021), as an aridification of drylands within the meaning of this second definition does not take place, according to the authors.

#### Foreseen activities:

The postdoctoral fellow will aim to improve our estimation of possible land degradation in the Sahel, more particularly in the Senegalese Sahel. To do this, s/he will rely on remote sensing tools, supplemented by literature, exchanges with local partners (e.g. ISRA), and field surveys.

S/he will begin by analyzing the time series of MODIS (250 m) and AVHRR (8 km) observations for areas of this region whose vegetation cover presents a negative multi-decadal trend according to existing work (e.g. Dardel et al., 2014), or even for sites which more local studies state are the place of land degradation (Li et al., 2004; Brandt et al., 2014). More recent satellite products will then provide finer temporal and spatial resolution. Once certain areas of interest will be identified, s/he will analyze them in more details using Sentinel2 (10 m, available since 2016), Landsat (80 m from 1972 to 1982; 30 m since 1982) and SPOT (20 m from 1986 to 2002; 10 m from 2002 to 2012; 2012). These observations could be supplemented by images from constellations of nano-satellites (RapidEye, 5m, 2009-2020; PlanetScope, 3 m, 2016-today). During field missions, we will visit the sites identified to further document them (soil analyses, cover characteristics). This field work will be coupled with interviews with local populations.

One approach could then consist of studying paired sites, for sites with the same pedoclimatic characteristics (annual rainfall, seasonal distribution of rain, temperature, texture and thickness of soils, etc.) and use (cultivated and grazed areas, agricultural practices and pastoral, use of wooded parkland, etc.) but different trends in plant cover (see e.g. Meroni et al., 2017 and Fassinou et al., 2024). Among the localities selected for a more in-depth examination, it will be interesting to consider areas belonging to the footprint of the Great Green Wall, and others with the same pedoclimatic conditions, outside this footprint, in order to help quantify the possible effect of this initiative. The 3 metrics proposed by Cowie et al. (2018) to estimate whether there is land degradation (land cover, NPP, and soil carbon) could be used as a reference comparison.

A valuable contribution would be to add to this analysis long-term field surveys of plant productivity, which could be considered through collaboration with the *Centre de Suivi Ecologique* (CSE) in Senegal.



## Références :

- Abel, C., Maestre, F. T., Berdugo, M., Tagesson, T., Abdi, A. M., Horion, S., & Fensholt, R. (2024). Vegetation resistance to increasing aridity when crossing thresholds depends on local environmental conditions in global drylands. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 379.
- Abel, C., Horion, S., Tagesson, T., De Keersmaecker, W., Seddon, A. W., Abdi, A. M., & Fensholt, R. (2021). The human–environment nexus and vegetation–rainfall sensitivity in tropical drylands. *Nature Sustainability*, 4(1), 25-32.
- Berg, A., & McColl, K. A. (2021). *No projected global drylands expansion under greenhouse warming*. *Nat. Climate Change*, 11, 331–337.
- Brandt, M., Romankiewicz, C., Spiekermann, R., & Samimi, C. (2014). Environmental change in time series—An interdisciplinary study in the Sahel of Mali and Senegal. *Journal of Arid Environments*, 105, 52-63.
- Brandt, M., Mbow, C., Diouf, A. A., Verger, A., Samimi, C., & Fensholt, R. (2015). Ground-and satellite-based evidence of the biophysical mechanisms behind the greening Sahel. *Global change biology*, 21(4), 1610-1620.
- Brandt, M., Rasmussen, K., Hiernaux, P., Herrmann, S., Tucker, C. J., Tong, X., ... & Fensholt, R. (2018). Reduction of tree cover in West African woodlands and promotion in semi-arid farmlands. *Nature Geoscience*, 11(5), 328-333.
- Brandt, M., Tucker, C. J., Kariryaa, A., Rasmussen, K., Abel, C., Small, J., ... & Fensholt, R. (2020). An unexpectedly large count of trees in the West African Sahara and Sahel. *Nature*, 587(7832), 78-82.
- Dardel, C., Kergoat, L., Hiernaux, P., Mougin, E., Grippa, M., & Tucker, C. J. (2014). Re-greening Sahel: 30 years of remote sensing data and field observations (Mali, Niger). *Remote Sensing of Environment*, 140, 350-364.
- Fassinou, F. J. C., Cesaro, J. D., Nungi-Pambu, M., Fensholt, R., Brandt, M., Akodewou, A., ... & Taugourdeau, S. (2024). Quantifying the impact of Great Green Wall and Corporate plantations on tree density and biomass in Sahelian Senegal. *Trees, Forests and People*, 16, 100569.
- Fensholt, R., Rasmussen, K., Kaspersen, P., Huber, S., Horion, S., & Swinnen, E. (2013). Assessing land degradation/recovery in the African Sahel from long-term earth observation based primary productivity and precipitation relationships. *Remote Sensing*, 5(2), 664-686.
- Hein, L., & De Ridder, N. (2006). Desertification in the Sahel: a reinterpretation. *Global Change Biology*, 12(5), 751-758.
- Hein, L., De Ridder, N., Hiernaux, P., Leemans, R., De Wit, A., & Schaepman, M. (2011). Desertification in the Sahel: Towards better accounting for ecosystem dynamics in the interpretation of remote sensing images. *Journal of Arid Environments*, 75(11), 1164-1172.
- Herrmann, S. M., & Tappan, G. G. (2013). Vegetation impoverishment despite greening: A case study from central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 90, 55-66.
- Herrmann, S. M., Anyamba, A., & Tucker, C. J. (2005). Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, 15(4), 394-404.



- Herrmann, S. M., Sall, I., & Sy, O. (2014). People and pixels in the Sahel: a study linking coarse-resolution remote sensing observations to land users' perceptions of their changing environment in Senegal. *Ecology and Society*, 19(3).
- Herrmann, S. M., Brandt, M., Rasmussen, K., & Fensholt, R. (2020). Accelerating land cover change in West Africa over four decades as population pressure increased. *Communications Earth & Environment*, 1(1), 53.
- Hickler, T., Eklundh, L., Seaquist, J. W., Smith, B., Ardö, J., Olsson, L., ... & Sjöström, M. (2005). Precipitation controls Sahel greening trend. *Geophysical Research Letters*, 32(21).
- Le Houérou, H. N. (1984). Rain use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. *Journal of arid Environments*, 7(3), 213-247.
- Li, J., Lewis, J., Rowland, J., Tappan, G., & Tieszen, L. L. (2004). Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. *Journal of Arid Environments*, 59(3), 463-480.
- Mbow, C., Brandt, M., Ouedraogo, I., De Leeuw, J., & Marshall, M. (2015). What four decades of earth observation tell us about land degradation in the Sahel?. *Remote Sensing*, 7(4), 4048-4067.
- Meroni, M., Schucknecht, A., Fasbender, D., Rembold, F., Fava, F., Mauclair, M., ... & Leonardi, U. (2017). Remote sensing monitoring of land restoration interventions in semi-arid environments with a before–after control–impact statistical design. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 59, 42-52.
- Prince, S. D., Wessels, K. J., Tucker, C. J., & Nicholson, S. E. (2007). Desertification in the Sahel: a reinterpretation of a reinterpretation. *Global Change Biology*, 13(7), 1308-1313.
- Rasmussen, K., D'haen, S., Fensholt, R., Fog, B., Horion, S., Nielsen, J. O., ... & Reenberg, A. (2016). Environmental change in the Sahel: Reconciling contrasting evidence and interpretations. *Regional Environmental Change*, 16, 673-680.
- Rasmussen, K., Brandt, M., Tong, X., Hiernaux, P., Diouf, A. A., Assouma, M. H., ... & Fensholt, R. (2018). Does grazing cause land degradation? Evidence from the sandy Ferlo in Northern Senegal. *Land degradation & development*, 29(12), 4337-4347.
- Sonneveld, B. G. J. S., Keyzer, M. A., & Ndiaye, D. (2016). Quantifying the impact of land degradation on crop production: the case of Senegal. *Solid Earth*, 7(1), 93-103.
- Souverijns, N., Buchhorn, M., Horion, S., Fensholt, R., Verbeeck, H., Verbesselt, J., ... & Van De Kerchove, R. (2020). Thirty years of land cover and fraction cover changes over the Sudano-Sahel using Landsat time series. *Remote Sensing*, 12(22), 3817.