

# Reverdissement du Centre-Sud du Niger: Deux décennies de données de télédétection et de terrain

I. BAGGNAN<sup>1</sup>, T. ADAM<sup>2</sup>, A. MAHAMANE<sup>3</sup>

(Reçu le 05/08/2020; Accepté le 30/01/2021)

## Résumé

Depuis plus de quatre décennies, les pays de l'Afrique de l'Ouest sont confrontés à une forte dégradation du potentiel productif de leurs systèmes agro-sylvo-pastoraux, sous les effets conjugués du changement climatique et des pressions anthropiques. Mais, au cours de ces trois dernières décennies la tendance à la dégradation des terres est contrée par un processus de «reverdissement» ou «re-végétalisation» qui a eu lieu grâce à la pratique de la régénération naturelle assistée (RNA). Cette étude vise à mettre en évidence à petite échelle le reverdissement dans Centre-Sud du Niger en confrontant les données de terrains à celles des images satellitaires de deux (2) villages pionniers (Dan saga et El Guiéza) de la pratique de la RNA dans la région de Maradi. Pour cela, trois images Landsat de 1999, 2008 et 2018 ont été exploitées. Une matrice de transition a été établie pour analyser les changements de couverture terrestre. L'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de 1996 à 2018 a été utilisé pour mettre en évidence les tendances climatiques. Des relevés de mesures dendrométrique d'étude antérieures et actuelle ont été utilisés pour évaluer la densité des arbres et arbustes et la dynamique de la végétation. Les résultats de l'imagerie satellite montrent un modèle géographiquement cohérent de l'augmentation de la productivité de la végétation, caractérisée par une augmentation de la différence de l'indice de végétation normalisée traduisant ainsi, une tendance au reverdissement. Les résultats montrent la régression des zones peu reverdis (NDVI < 0 et 0-0,14) dans tous les sites d'études entre 1999 et 2018. A l'opposé, les zones reverdis (NDVI > 0,14) augmentent en superficie. Pendant, cette période, les précipitations ont eu une forte tendance à l'aridité, avec 11 ans de sécheresse contre 9 ans d'humidité, ce qui montre la persistance du déficit pluviométrique. Les caractéristiques des peuplements ligneux révèlent une tendance à la reconstitution des ressources végétales, en témoigne la forte proportion d'individus relativement jeune et la dynamique de la végétation de plus de 70%. Les résultats de cette étude confirment le reverdissement de la bande sud du Niger.

**Mots clés:** RNA, NDVI, SPI, reverdissement, changement climatique, Niger

## Re-greening of South Central Niger: Two decades of remote sensing and field data

### Abstract

For more than four decades, the countries of West Africa have faced a strong degradation of the productive potential of their agro-sylvo-pastoral systems, under the combined effects of climate change and human pressures. However, over the past three decades a process of “re-greening” or “re-vegetation” which has taken place through the practice of Farmer Managed Natural Regeneration (FMNR) has countered the trend of land degradation. This study aims to highlight on a small scale the re-greening in Center-South of Niger by comparing field data with those of satellite images of two (2) pioneer villages (Dan Saga and El Guiéza) of the practice of FMNR in the region of Maradi. For this, three Landsat images from 1999, 2008 and 2018 were used. A transition matrix was established to analyze changes in land cover. The Standardized Precipitation Index (SPI) from 1996 to 2018 was used to highlight climate trends. Previous and current dendrometric measurements were used to assess tree, shrub density and vegetation dynamics. The results of the satellite imagery show a geographically consistent model of the increase in vegetation productivity, characterized by an increase in the Normalized difference vegetation index, thus indicating a tendency to re-greening. The results show regression of areas with little greening (NDVI < 0 and 0-0.14) in all study sites between 1999 and 2018. In contrast, the re-greened areas (NDVI > 0.14) are increasing. During this period, the rainfall tended to be strongly arid, with 11 years of drought compared to 9 years of humidity which shows the persistence of the rainfall deficit. The characteristics of woody stands reveal a trend towards the reconstitution of plant resources. The high proportion of relatively young individuals and the dynamics of the vegetation of more than 70% evidence this. The results of this study confirm the re-greening of the southern Niger strip.

**Keywords:** FMNR, NDVI, SPI, re-greening, climate change, Niger

## INTRODUCTION

Le Sahel a connu deux graves sécheresses en 1972-73 et en 1983-84 qui ont provoqué un déséquilibre écologique (Le Barbé et Lebel, 1997; Lebel et Ali, 2009; Nicholson, 2013). Cependant, après ces années sécheresses le Sahel connaît un reverdissement (Seaquist *et al.*, 2009; Bégué *et al.*, 2011). En effet, l'imagerie satellite montre un modèle géographiquement cohérent de l'augmentation de la productivité de la végétation, caractérisé par une augmentation de la différence normalisée de l'indice de végétation (NDVI) saisonnier, depuis le début des années 1980. Plusieurs études ont montré que les changements dans la gestion des terres, les pratiques culturelles ont été à la base de ce reverdissement observé (Reij et Kaboré, 2004; Reij *et al.*, 2005; Reij *et al.*, 2009).

Au Niger, la pratique de la régénération naturelle assistée (RNA) est généralement considérée comme le pilier du reverdissement (Rinaudo, 2007; Tougiani *et al.*, 2009; Bagnian, 2014). Elle a permis une augmentation de la population d'arbres sur environ cinq millions d'hectares entre 1983 à 2005 dans la bande sud du Niger, principalement dans les régions de Maradi et de Zinder (Larwanou *et al.*, 2006; Sendzimir *et al.*, 2011). Ainsi, grâce à cette mise en valeur des connaissances locales et de savoir-faire des populations rurales, en vingt ans plus de 200 millions d'arbres se sont régénérés soit une mise à jours de 500 000 ha/an de terres cultivables, assurant ainsi la sécurité alimentaire à plus de trois millions de paysans (Reij *et al.*, 2009). Pour comprendre les interactions entre l'environnement en mutation et le développement humain en particulier Seaquist *et al.*, (2006 et 2009) ont recommandé la nécessité de mener des études à petite échelle.

<sup>1</sup> Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Tahoua, Niger

<sup>2</sup> Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

<sup>3</sup> Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Diffa, Niger

Dans l'optique de mettre en place et des mécanismes durables de gestion de ces agro-écosystèmes reverdis, il s'avère nécessaire de disposer de données sur le processus de changement de l'occupation des terres et de la végétation. Si la disponibilité des données scientifiques est une étape première pour soutenir et guider les méthodes de gestion des ressources naturelles, il est aussi important de proposer ces données sous forme d'outils qui puissent être utilisés par un grand nombre d'acteurs (Ouedraogo, 2009). L'étude sur les tendances du NDVI et la dynamique de l'occupation de la végétation permet ainsi d'établir l'état de référence et l'état actuel d'une zone d'étude. Cette étude a pour objectif de mener à petite échelle une étude dans deux terroirs villageois du Centre-Sud du Niger afin d'apprécier les changements de la différence de l'indice de végétation normalisée à partir d'une approche diachronique basée sur le SIG. Mais aussi, confronter ces données avec ceux collectés sur le terrain, afin de mettre évidence le reverdissement constaté au Sahel depuis 1983 (Hermann, *et al.*, 2005; Olsson *et al.*, 2005).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Localisation des sites d'études

L'étude s'est déroulée dans cinq (2) terroirs villageois du Centre-Sud du Niger dans la région de Maradi. Il s'agit de Dan Saga situé à environ 20 km au Nord de la ville d'Aguié, à 13°41'43" de latitude Nord et 7°44'12" de longitude Est. El Guiéza situé à 17 km au Sud d'Aguié dans le département de Gazaoua entre 13°25'58" de latitude Nord et 07°54'47" de (Figure 1). Ces villages ont été choisis à cause de leur longue histoire dans la pratique de la RNA à la base de leurs potentialités en ressources ligneuses (Dramé et Berti, 2008; Botoni et Reij, 2009).

### Choix du satellite Landsat pour l'étude de la dynamique de la végétation

Les données satellitaires, recommandées pour l'étude du NDVI, doivent fournir une qualité spatiale suffisante capable d'identifier le couvert végétal. Les valeurs brutes du NDVI sont obtenues à partir des mailles des coordonnées GPS de deux sites. La tendance NDVI est représentée dans une gamme de couleurs allant de l'orange au vert dans 3 classes (<0; 0-0,14 et > 0,14). Les pixels orange et gris indiquent des valeurs négatives de NDVI (peu de changement ou réduction de la végétation) et les pixels verts indiquent les valeurs positives de NDVI (augmentation de la végétation au cours d'une période). Aussi, les valeurs théoriques extrêmes du NDVI sont comprises entre -1 (pas de végétation) et 1 (végétation dense). Ainsi, des images Landsat, téléchargées sur le site de la United States Geological Survey ([www.earthexplorer.usgs.gov/](http://www.earthexplorer.usgs.gov/)) ont été utilisées. Les données pluviométriques du département d'Aguié de la période 1996-2018 ont été obtenu de la Direction Nationale de Météorologie du Niger.

### Analyses de données

Les densités des arbres adulte et arbuste ont été estimés sur la base des études antérieures (Adam *et al.*, 2006 et Baggnian *et al.*, 2013). Le calcul du taux de régénération (TRG) est effectué d'après l'équation (1) (Mahamane et Saadou, 2008):

$$\text{Taux de régénération global (TRG)} \quad (1)$$

$$\text{TRG} (\%) = \left( \frac{\text{Nombre d'individus régénérés} < 5 \text{ cm}}{\text{Nombre d'individus total de plants}} \right) * 100$$

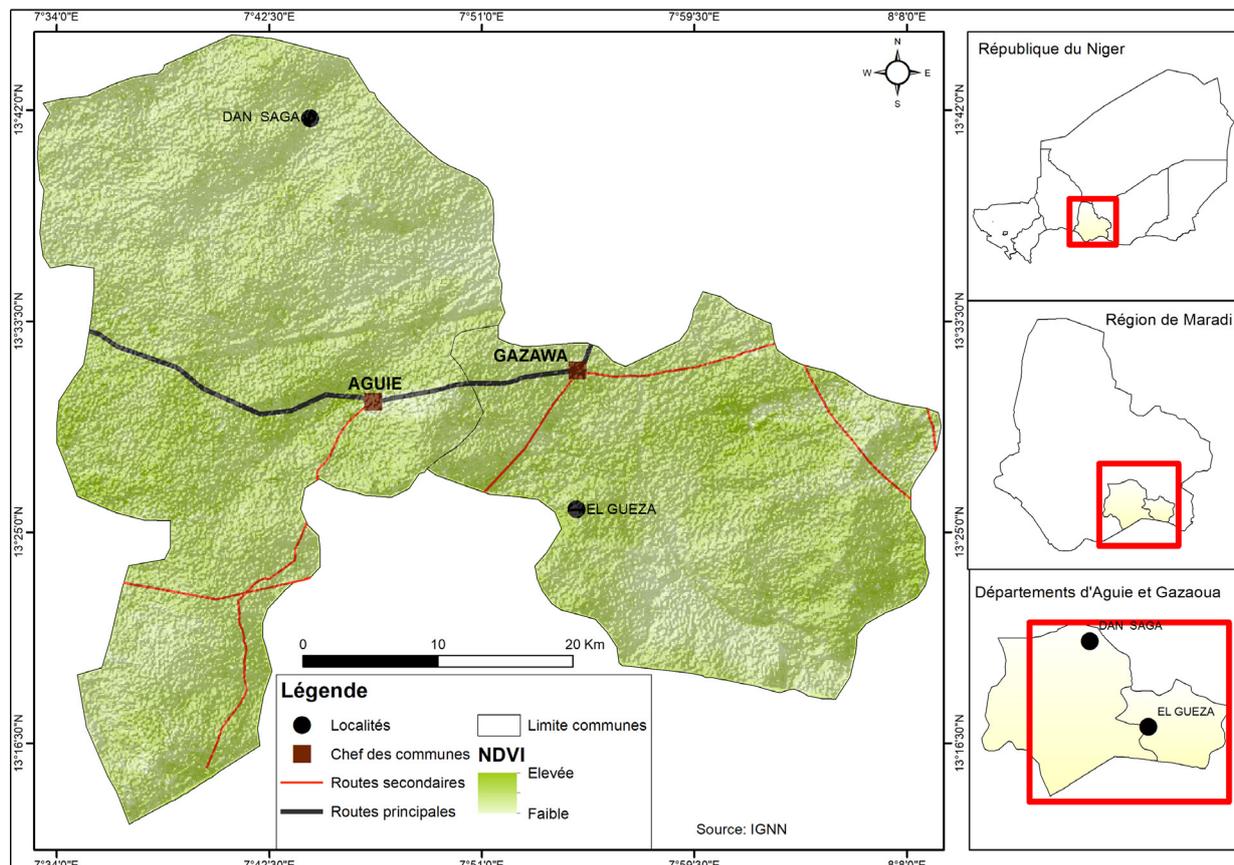


Figure 1: Région d'étude

**Le taux de mortalité (M):** c'est le dénombrement des pieds et des souches d'arbre et arbustes morts (obtenus dans chaque placette) par site et exprimé en pourcentage de l'effectif total des plants équation (2).

**Taux de mortalité global (TMG) (2)**

$$TMG (\%) = \left( \frac{\text{Nombre total pieds morts}}{\text{Nombre d'individus total des plants}} \right) * 100$$

**Le taux de dynamique (TD) total du peuplement ligneux:** la dynamique est considérée comme la différence entre le taux de régénération et la proportion de mortalité de jeunes plants. Elle s'exprime suivant l'équation (3):

$$TD (\%) = TRG - TMG \quad (3)$$

TD= taux de dynamique total, TR = taux de régénération global, TM = taux de mortalité global.

**Analyse de la dynamique du couvert végétal**

La superficie des classes de NDVI pour chaque année a été calculée à l'aide du logiciel Arc GIS 10.2. Le calcul des changements de superficie a été effectué pendant trois périodes (1999-2008; 2008-2018 et 1999-2018) en utilisant une matrice de transition de deux dates (t0 et t1) superposées. La sortie est une matrice carrée condensée décrivant les changements du NDVI pendant la période considérée (Bamba *et al.*, 2008). Le taux de changement annuel moyen pour chaque classe était obtenu en utilisant l'équation 4 (Puyravaud, 2003).

$$r = (100/t2-t1) \times \ln A2/A1 \quad (4)$$

Où r représente le taux de variation annuel pour la classe i, A1 est la surface de la i<sup>ème</sup> classe et au temps t1 et A2 est la surface de classe i au temps t2.

**Calcul de l'Indice Standardisé des Précipitations**

La quantité et la répartition spatio-temporelle des précipitations contrôle la croissance des plantes et doivent être pris en compte dans une analyse de la dynamique de la végétation. L'Indice Standardisé des Précipitations, ou en anglais Standardized Precipitation Index (SPI) créé par McKee *et al.* (1993) a été utilisé pour identifier les années de sécheresse et les relier à la dynamique de la végétation observée (Bergaoui et Alouini, 2001). SPI a été calculé à l'aide de l'équation 5:

$$SPI = (Xi - Xm) / Si \quad (5)$$

où Xi est le cumul de la pluie pour une année i, Xm et Si sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée.

Les valeurs d'index indiquent des détails sur l'humidité ou la sécheresse environnementale (Tableau 1).

**Tableau 1: Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI)**

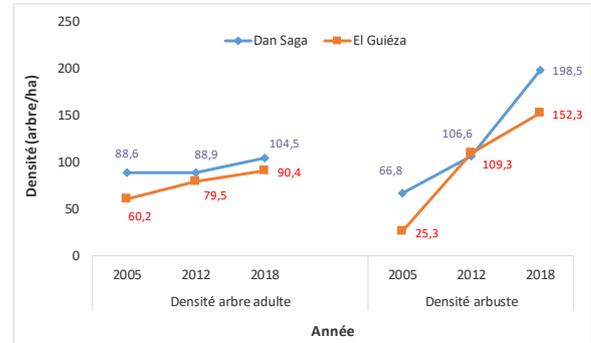
Classes du SPI	Degré de la sécheresse
SPI > 2	Humidité extrême (HE)
1 < SPI < 2	Humidité forte (HF)
0 < SPI < 1	Humidité modérée (HM)
-1 < SPI < 0	Sécheresse modérée (SM)
-2 < SPI < -1	Sécheresse forte (SF)
SPI < -2	Sécheresse extrême (SE)

**RÉSULTATS**

**Tendance de l'évolution du peuplement ligneux**

**Évolution de la densité des ligneux**

L'évolution de la densité du peuplement ligneux en général et celle des arbustes en particulier dans son ensemble est évolutive entre 2005 et 2018 (Figure 2). En effet, la densité des juvénile a triplé en moins de deux décennie.



**Figure 2: Tendence du peuplement ligneux juvénile et adulte de 2005-2018**

**Dynamique du peuplement ligneux juvénile**

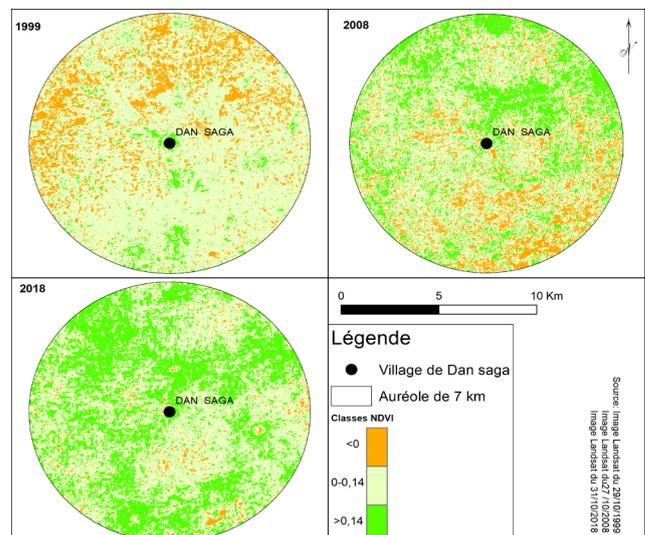
La dynamique de la végétation ligneuse est positive dans l'ensemble des sites avec un taux de plus de 70% (Tableau 2).

**Tableau 2: Dynamique du peuplement ligneux juvénile dans les sites d'étude**

	Village	Mortalité (%)	Régénération (%)	Dynamique (%)
<b>Aguíé</b>	Dan Saga	1,28	79,7	78,4
<b>Gazaoua</b>	El Guíéza	1,06	74,3	73,2

**Dynamique de l'utilisation et de l'occupation des sols par le couvert végétal de 1999 à 2018**

Le taux de changement de la superficie occupée par la couverture végétale (Figure 3 et 4 et Tableau 3) montre une diminution de 2862 et 2276 ha respectivement à Dan Sage et El Guíéza durant la période de 1999 à 2018, représentant une perte de 6 % dans les zones peu reverdis des deux terroirs (NDVI<0 et 0-0,14). Par contre, durant la même période, dans les zones reverdis des deux terroirs villageois (NDVI>0,14), il est observé une augmentation de 5 724 et 4 553 ha de la superficie occupée par la couverture végétale (Figure 3 et 4 et Tableau 3), soit un gain de 12 et 4 % respectivement à Dan Saga et El Guíéza.



**Figure 3: Carte d'occupation des terres par le couvert végétal de 1999 à 2018 dans le terroir de Dan Saga**

**Effet du climat**

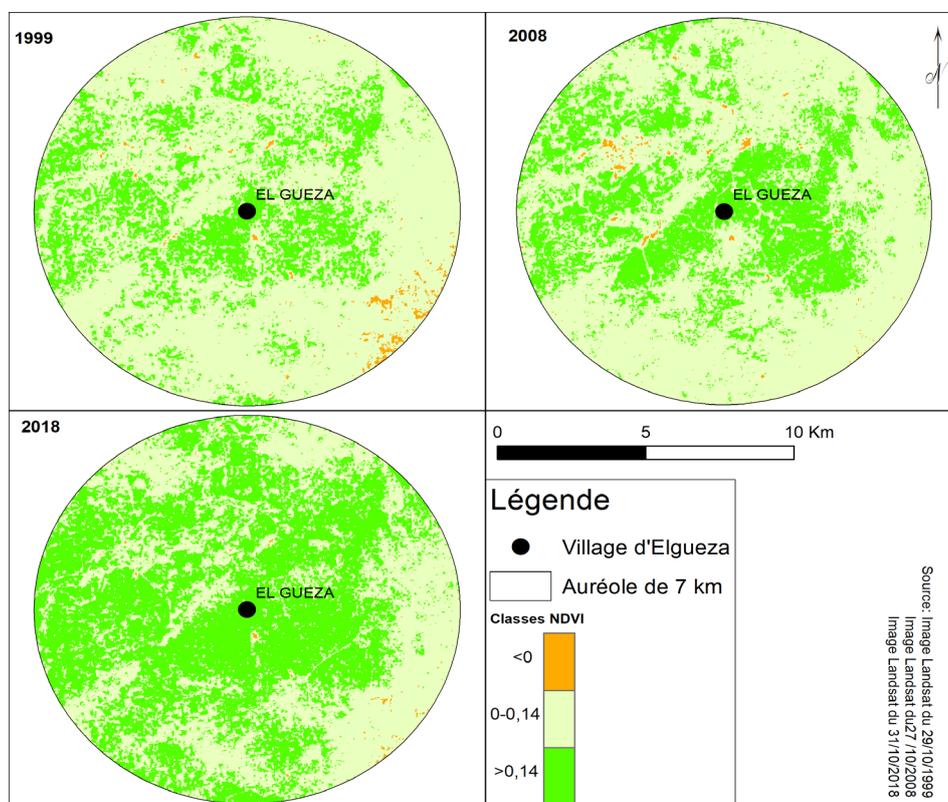
L'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) calculé à partir d'une série chronologique des précipitations sur 23 ans montre que le département d'Aguié a connu 1 ans de forte sécheresse, 2 ans de sécheresse modéré, 10 ans de sécheresse extrême, 2 ans d'humidité modérée et 6 ans d'humidité extrême. Dans l'ensemble, les années de sécheresse (13) ont été plus fréquentes que les années humides (Figure 5).

**DISCUSSION**

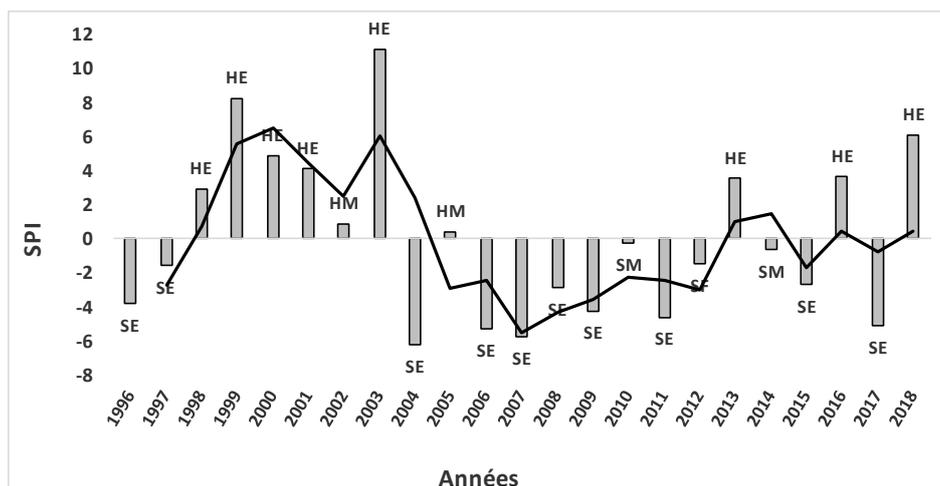
La tendance évolutive du NDVI observée dans les zones reverdis des deux terroirs villageois (NDVI >0,14) durant la période 1999-2018 renforce l'hypothèse du reverdissement du Centre sud du Niger. Ces résultats sont conformes aux observation de plusieurs auteurs (Eklundh et Olsson, 2003; Anyamba et Tucker, 2005; Herrmann et al., 2005; Hickler et al., 2005; Olsson et al., 2005; Heumann et al., 2007; Fensholt

**Tableau 3: Dynamique de l'utilisation des terres par la couverture végétale**

	Année	1999-2008		2008-2018		1999-2018	
		Changement (ha)	R (%)	Changement (ha)	R (%)	Changement (ha)	R (%)
Dan Saga	<0	-457,6	-2,02	-1 887,5	-17,40	-2 345,0	-10,11
	0-0,14	-2 865,7	-3,05	-513,4	-0,58	-3 379,0	-1,75
	>0,14	3 323,2	19,30	2 400,8	7,67	5 724,1	11,60
El Guiéza	<0	-49,9	-5,50	-54,8	-12,20	-104,7	-9,03
	0-0,14	-879,5	-0,88	-3 568,6	-4,10	-4 448,1	-2,57
	>0,14	929,2	2,44	3 623,6	5,70	4 552,8	4,16



**Figure 4: Carte d'occupation des terres par le couvert végétal de 1999 à 2018 dans le terroir de El Guiéza**



**Figure 5: Courbe de variation de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI)**

*et al.*, 2009; Herrmann et Tappan, 2013; Dardel *et al.*, 2014) qui affirment que le reverdissement du Sahel a commencé depuis les années 1980. Aussi, la dynamique positive de l'évolution du couvert végétal (+70%) est marquée non seulement par une augmentation de la densité des arbres adulte, mais aussi par une forte dominance des arbustes, ce qui s'explique par la pratique de la RNA. Ainsi, cette tendance montre la résilience de ces écosystèmes agricoles jadis dégradés. L'inventaire fait ressortir une dominance des arbustes par rapport aux grands arbres. Cet état de fait peut s'expliquer par l'intensification de la pratique de la Régénération Naturelle Assistée dans la zone d'étude. En effet, dans cette région, Bagnian *et al.* (2013) ont également noté une diminution des grands arbres et une forte augmentation la densité d'arbustes. Certains facteurs de pression anthropique comme la création des marchés de bois, l'insécurité alimentaire, le vol de bois, les coupes frauduleuses, les tradi-praticiens, les éleveurs locaux, les transhumants, les cordonniers, le manque de leadership de certains chefs de village, les bûcherons et la vente d'arbre vivant étaient à la base de cet état de fait (Bagnian *et al.* (2012 et 2013). La même observation a été faite par Herrmann et Tappan (2013) dans le Centre du Sénégal où ils concluent à un déclin de la population des grands arbres, une forte augmentation la densité d'arbustes et une baisse de la diversité des espèces, ce qu'ils ont interprété comme un changement vers plus d'espèces arides tolérantes. Une autre étude basée sur des photographies aériennes (images Ikonos) et des mesures sur le terrain au Sénégal et en Mauritanie a conclu à une baisse générale de la densité des arbres et de la diversité dans l'ouest du Sahel (Gonzalez *et al.*, 2012). Cette tendance à la baisse peut être liée au changement climatique, caractérisé par des déficits des précipitations.

Cette tendance, caractérisée par un retour de la végétation est comparable aux observations de Herrmann *et al.*, (2005) qui qualifient ce type de situation de "retour des conditions de pré-sécheresse ou une transition vers un nouvel état d'équilibre" est appelé reverdissement. Des tendances similaires ont été trouvées dans l'Ouest et le Centre sud du Niger, le Centre et l'Est du Soudan (Herrmann et Tappan, 2013; Dardel *et al.*, 2014, Saidou et Ambouta, 2020). Par ailleurs, le fort reverdissement observé suggère une haute résilience des agro-écosystèmes après les sécheresses des années 1980. En effet, Bagnian *et al.*, (2013) ont noté la résilience de ces agro-écosystèmes malgré quelques pressions anthropiques. Dans certaines régions du Burkina Faso et du Niger, le reverdissement a permis d'augmenter la capacité de résistance par une augmentation de la couverture forestière et par des rendements plus élevés (Sendzimir *et al.*, 2011; Mortimore, 2010; Reij *et al.*, 2009; Tougiani *et al.*, 2009, Bagnian *et al.*, 2018 et 2019).

Dans le Centre-Sud du Niger, les tendances de reverdissement ne semblent pas être liées à la pluviométrie. En effet, la tendance générale est marquée par une baisse des précipitations par rapport à la moyenne. Ce résultat est conforme aux observation de Saidou et Ambouta (2020), et Hountondji *et al.*, (2006) qui avaient constaté qu'au Burkina Faso et au Niger, l'évolution des rapports de l'efficacité d'utilisation des pluies par la couverture végétale est dans l'inertie avec une tendance au déclin. C'est dire que le facteur climatique n'explique pas à lui seul la tendance au reverdissement récent observée dans la frange sahélienne.

## CONCLUSION

Cette étude compare les données de NDVI à celles du terrain dans le Centre-Sud du Niger. Il en ressort une bonne concordance entre ces deux types de données. En effet, il a été noté une dynamique évolutive positive des valeurs du NDVI à travers les images satellitaires et de la densité de la végétation sur le terrain. Cependant, après plus de 20 ans d'efforts, certains villages ont pu reverdir leur terroir alors que dans d'autres on assiste sous l'effet de la mauvaise pratique culturale à une dégradation de la fertilité chimique, physique et biologique des sols. Le corollaire est une diminution tragique de leur productivité. C'est pourquoi il s'avère nécessaire d'évaluer les déterminants du succès de la pratique de la régénération naturelle assistée du reverdissement au Sahel.

## RÉFÉRENCES

- Abdourahamane H., Morou B., Mahamane A. Saadou M., Issaka A. (2012). Caractérisation de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le complexe des forêts de Dan Kaka Dodo-Dan Gado (région de Maradi, Niger). *Journal des Sciences de l'Environnement*, 1: 7-13.
- Adam T., Reij C., Abdoulaye T., Larwanou M., Tappan G., Yamba B. (2006). Impacts des investissements dans la Gestion des Ressources Naturelles (GRN) au Niger: Rapport de Synthèse. Étude Sahélienne. Centre Régional Enseignement Spécialisé en Agriculture (CRESA), Niamey, Niger, 65 p.
- Ali A., Lebel T. (2009). The Sahelian standardized rainfall index revisited. *International Journal of Climatology*, 29: 1705-1714.
- Anyamba A., Tucker, C.J. (2005). Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*, 63: 596-614.
- Bagnian I. (2014). Résilience des agro-écosystèmes au Sahel: analyse du reverdissement dans le Centre Sud du Niger. Thèse Doctorat unive de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 184 p.
- Bagnian I., Abdou L., Batiéno T. B.J., Abdourahamane I.R., Adam T. Mahamane A. (2019). Contribution des comités villageois de gestion de la régénération naturelle assistée des ligneux (RNA) au processus de reverdissement dans la région de Maradi au Niger. *Afrique Science*, 15: 262 - 273.
- Bagnian I., Adamou M. M., Toudou A., Mahamane A. (2013). Impact du mode de gestion de la Régénération Naturelle Assistée des ligneux (RNA) sur la résilience des écosystèmes dans le centre-sud du Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 71: 5742– 5752.
- Bagnian I., Batiéno T. B.J., Gonda A., Adam T., Mahamane A. (2018). Contribution of innovative farmers to regreening process in Maradi and Zinder regions-Niger. *Agricultural Science Research Journal*, 8:182-188.
- Bagnian I., Mohamadou A., Adamou. M. M., Lawali S., Adam T., Enfors E, Larwanou M., Tougiani A. (2012). Perceptions paysannes des tendances du reverdissement des zones dégradées au Niger. *Journal des Sciences de l'Environnement*, 1 : 43-52.
- Bamba, I., Mama, A., Neuba, D. F. R., Koffi, K. J., Traoré, D., Visser, M., Sinsin, B., Lejoly, J., Bogaert, J. (2008). Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas- Congo (RD Congo). *Sciences et Nature*, 5: 49–60.
- Bégué A., Vintrou E., Ruelland D., Claden M., Dessay N. (2011). Can a 25-year trend in Soudano- Sahelian vegetation dynamics be interpreted in terms of land use change? A remote sensing approach. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 21: 413–420.
- Bergaoui M., Alouini A. (2002). Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: Cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse* 12: 205-13.

- Botoni E., Reij C. (2009). La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au sahel: L'impact des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles. Amsterdam, the Netherlands, 26-33.
- 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
- Dramé Y., Berti F. (2008). Les enjeux socio-économiques autour de l'agro-foresterie villageoise à Aguié (Niger). *Tropicicultura*, 26: 141 - 149.
- Eklundh L., Olsson L. (2003). Vegetation index trends for the African Sahel 1982–1999. *Geophysical Research Letters*, 30: 1430–1433.
- Eklundh L., Sjöström M. (2005). Analysing vegetation changes in the Sahel using sensor data from Landsat and NOAA, report for the 31<sup>st</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment.
- Fensholt R., Rasmussen K., Nielsen T.T., Mbow C. (2009). Evaluation of earth observation based long term vegetation trends -Inter-comparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113: 1886–1898.
- Gonzalez P., Tucker C.J., Sy H. (2012). Tree density and species decline in the African Sahel attributable to climate. *Journal of Arid Environments*, 78: 55–64.
- Hermann 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: 394 – 404.
- Herrmann S.M., Tappan G., (2013). Vegetation impoverishment despite greening: A case study from central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 90: 55–66.
- Heumann B.W., Seaquist J. W., Eklundh L., Jonsson P. (2007). AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982–2005. *Remote Sensing of Environment*, 108: 385–392.
- Hickler, T., Eklundh, L., Seaquist, J. W., Smith, B., Ardo, J., Olsson, L. (2005). Precipitation controls Sahel greening trend. *Geophysical Research Letters*, 32: L21415.
- Hountondji Y-C, Sokpon N., Ozer P. (2006). Analysis of vegetation trends using low resolution remote sensing data in Burkina Faso (1982-1999) for the monitoring of desertification, *International Journal of Remote Sensing* 27:871-884.
- Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy DP., Morisette J.T. (2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83: 3-15.
- Larwanou M., Abdoulaye M., Reij C. (2006). Étude de la Régénération Naturelle Assistée dans la Région de Zinder, Niger. USAID, p 3-5. International Resources Group, Washington, 56 p.
- Larwanou M., Oumarou I., Laura Snook I., Dan Guimbo I., Eyog-Matig O. (2010). Pratiques sylvicoles et culturelles dans les parcs agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. *Tropicicultura*, 28: 115-122.
- Larwanou M., Saadou M. (2011). The role of human interventions in tree dynamics and environmental rehabilitation in the Sahel zone of Niger. *Journal of Arid Environments*, 75: 194–200.
- Le Barbé L., Lebel T. (1997). Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, 189: 43-73.
- Lebel T., Ali A. (2009). Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990–2007). *Journal of Hydrology*, 375: 52-64.
- Mahamane A., Saadou M. (2008). Méthodes d'étude et d'analyse de la flore et de la végétation tropicale. Actes de l'atelier sur l'harmonisation des méthodes. Sustainable Use of Natural vegetation in West Africa, 78 p.
- Mckee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. Actes de la 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology (Anaheim, Californie), p. 179-184.
- Mortimore M. (2010). Adapting to drought in the Sahel: lessons for climate change. *WIREs Climate Change*, 1: 134–143.
- Nemani RR., Keeling C.D., Hashimoto H., Jolly WM., Piper S.C., Tucker C.J., Myneni R.B., Running S.W. (2003). Climate-driven increase in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 300: 1560–1563.
- Nicholson S. E. (2013). The West African Sahel: A review of recent studies on the rainfall regime and its interannual variability. *ISRN Meteorology*, 2013.
- Nicholson S.E. (2005). On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63: 615-641.
- Oloukoi J., Mama VJ., Agbo FB. (2006). Modélisation de la dynamique de l'occupation de terres dans les départements des collines au Bénin. *Revue Télédétection*, 6: 305-323.
- Olsson L., Eklundh L., Ardö J. (2005). A recent greening of the Sahel-trends, patterns and potential causes. *Journal of Arid Environments*, 63: 556–566.
- Ouédraogo O. (2009). Phyto-sociologie, Dynamique et productivité de la végétation du parc national d'Arly (sud-est du Burkina Faso). Thèse de doctorat de l'Université de Ouagadougou; 188 p.
- Penning de Vries, FWT, Djitéye MA. (1982). La Productivité des pâturages sahéliens: une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Wageningen: Centre for Agricultural Pub. and Documentation.
- Puyravaud J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177: 593-596.
- Reij C., Kaboré D. (2004). The Emergence and Spreading of an Improved Traditional Soil and Water Conservation Practice in Burkina Faso. *EPTD Discussion Paper*, 114.
- Reij C., Tappan G., Belemvire A. (2005). Changing land management practices and vegetation on the Central Plateau of Burkina Faso (1968–2002). *Journal of Arid Environments*, 63: 642–659.
- Reij C., Tappan G., Smale M. (2009). Agro-environmental Transformation in the Sahel - Another Kind of “Green Revolution”. *IFPRI Discussion Paper* (00914).
- Reij C.P., Smaling EMA., 2005. Introduction: The Greening of the Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63: 535–537.
- Rinaudo T. (2007). The development of Farmer Managed Natural regeneration. *Leisa magazine*, 23: 32.
- Saidou S., Ambouta J-M. K. (2020). Part contributive de la densité démographique au reverdissement de certaines zones fortement anthropisées du Sahel: cas des Communes d'Aguié et d'Ibohamane au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14: 816-834.
- Seaquist J. W., Hickler T., Ardö J., Heumann BW. (2009). Disentangling the effects of climate and people on Sahel vegetation dynamics. *Biogeosciences*, 6:469-477.
- Seaquist JW., Olsson L., Ardö J., Eklundh L. (2006). Broad-scale increase in NPP quantified for the African Sahel, 1982–1999. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 5115-5122.
- Sendzimir J., Reij CP., Magnuszewski P. (2011). Rebuilding Resilience in the Sahel: Regreening in the Maradi and Zinder Regions of Niger. *Ecology and Society*, 16: 1.
- Tougiani A., Guero C., Rinaudo T. (2009). Community mobilisation for improved livelihoods through tree crop management in Niger'. *Geo Journal*, 74: 377-389.