

# La dynamique des parcs agroforestiers en région soudano-sahélienne comme stratégie d'adaptation des systèmes socio-écologiques.

Aude Nuscia TAÏBI<sup>1</sup>, Benjamin DOLFO<sup>2</sup>

1. LETG-Angers LEESA, UMR 6554 CNRS, Université d'Angers, France

2. ESO-Angers, UMR 6590 CNRS, Université d'Angers, France  
nucia.taibi@univ-angers.fr

## Résumé

Les paysages végétaux en Afrique soudano-sahélienne, souvent perçus comme « naturels », sont en réalité profondément construits par les sociétés et correspondent le plus souvent à des parcs arborés à vocation agroforestière, où les arbres sont sélectionnés dans les champs. Ces parcs agroforestiers constituent des paysages très ouverts où les arbres hors-forêt sont dominants et associés à des champs de mil et sorgho.

Ces paysages végétaux sont soumis à de fortes pressions ces dernières décennies, sous l'impact de sécheresses, récurrentes, et de profondes mutations socio-économiques, et se transforment rapidement.

La caractérisation et le suivi de la dynamique d'évolution des parcs agroforestiers de la région de Sadia dans la plaine du Séno en Pays dogon (Mali), à partir de photographies aériennes de 1952 et d'images Quickbird Google Earth de 2004 montrent une évolution qui remet en question l'idée reçue largement diffusée d'une dégradation généralisée de ces milieux soudano-sahéliens au cours du XXe siècle malgré la sécheresse sévère des années 70-80.

Les processus d'évolution actuels de ces terroirs semblent plutôt relever d'un changement d'agrosystème et de la création de nouveaux équilibres dynamiques complexes entre milieux et sociétés dans le cadre de stratégies d'adaptation et de résilience.

**Mots clés :** Télédétection orientée objet, ligneux, parcs agroforestiers, Pays dogon, Mali

## Abstract

The dynamic of agroforestry parks as adaptation strategy of socio-ecological systems (dogon country, Mali). This study focused on mapping ligneous vegetation of sudano-sahelian agroforestry parks (dogon country, Mali) using the oriented-object classification of optical satellite (Quickbird dated 2004) and aerial photography data (1952). The fast landscapes changes identified reveal agrosystems changes more than degradation processes.

**Keywords :** oriented-object remote sensing, ligneous, agroforestry parks, dogon country, Mali

## 1. INTRODUCTION

Les paysages végétaux en Afrique soudano-sahélienne, souvent perçus comme « naturels », sont en réalité profondément construits par les sociétés et correspondent le plus souvent à des parcs arborés à vocation agroforestière, où les arbres sont sélectionnés dans les champs. Ces parcs agroforestiers constituent des paysages très ouverts où les arbres hors-forêt sont dominants. Ces paysages végétaux sont soumis à de fortes pressions ces dernières décennies, sous l'impact de sécheresses récurrentes et de profondes mutations socio-économiques, et se transforment rapidement.

Des traitements d'images satellites et photographie aérienne orientés objet ont permis d'identifier et dénombrer automatiquement tous les ligneux de la région de Sadia dans la plaine du Séno en Pays dogon (Mali) et d'en établir un suivi diachronique de 1952 à 2004 à partir d'images satellites et de photographies aériennes. La méthode a également permis de définir une typologie de paysages de parcs agroforestiers et de leur évolution sur cette période. Ces résultats remettent en question l'idée reçue largement diffusée d'une dégradation généralisée de ces milieux soudano-sahéliens au cours du XXe siècle.

La zone d'étude localisée en région soudano-sahélienne se répartit entre trois unités : un plateau gréseux, limité par la « falaise » de Bandiagara, et dominant la plaine sableuse du Séno au sud-est.

Le site de plaine de Sadia (figure 1) plus particulièrement étudié ici, est caractérisé par une vallée de piémont (Guringin) drainant les écoulements saisonniers issus du plateau gréseux, dans une gouttière (dépression périphérique) parallèle à la « falaise » de Bandiagara et qui se perdent rapidement à l'aval dans les formations sableuses dunaires de la plaine du Séno. Les différents chenaux de crue, bordés par une ripisylve, sont incisés dans une basse terrasse dominée par une terrasse supérieure passant à des formations sableuses organisées en dunes linéaires vers la « falaise » et simples épandages vers le sud-est. Cette transition géomorphologique marque aussi une limite entre des parcs agroforestiers, peu denses en ligneux et principalement dédiés aux troupeaux transhumants peuls à proximité de la falaise et beaucoup plus densément boisés et voués avant tout aux cultures pluviales de mil et sorgho lorsque l'on s'en éloigne.

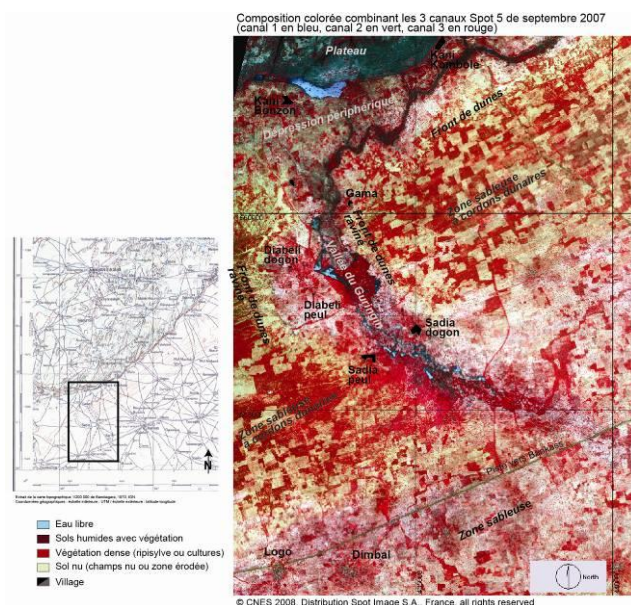


Figure 1 . Localisation et caractéristiques du site de Sadia (Pays dogon)

Les parcs agroforestiers qui colonisent cette plaine sont rarement monospécifiques avec des combinaisons variées des principales espèces *Faidherbia albida*, *Vitellaria paradoxa*, *Prosopis africana*, *Adansonia digitata*, *Sclerocarya birrea*, *Combretum glutinosum*, *Detarium microcarpum*, *Parkia biglobosa*, *Terminalia spp.*, etc. Ils sont diversifiés pour plus de la moitié du peuplement, parfois avec une espèce principale ou prédominante, mais peuvent être aussi des parcs quasi-monospécifiques.

## 2. METHODOLOGIE ET OUTILS MIS EN ŒUVRE POUR LA CARACTERISATION ET LE SUIVI DIACHRONIQUE DES PARCS AGROFORESTIERS

La caractérisation et le suivi diachronique des parcs agroforestiers du Pays dogon et leur composante ligneuse sont basés sur des images Quickbird du 21-11-2004 récupérées sur Google Earth par capture d'écran, par imagerie de 2.7km de côté, mosaïquées et géoréférencées en UTM 30N WGS 84, et une photographie aérienne du 22-02-1952 (n°46 Mission AOF 020 février 1952) au 1/50 000e. En raison de la qualité assez médiocre de la carte topographique couvrant la région et surtout de son échelle (200 000°), il n'a pas été possible d'orthorectifier la photographie aérienne de 1952. Uniquement géoréférencée en UTM 30N WGS 84, un léger décalage subsiste avec les images Google Earth, mais sans incidence pour le suivi quantitatif portant uniquement sur le nombre de ligneux ou leur densité et pas leur position exacte. Si ces dates d'images n'ont pas été expressément choisies, elles sont par contre intéressantes car positionnées en début de saison sèche, elles permettent d'augmenter les contrastes entre herbes en cours de dessèchement et arbres encore verts. Par ailleurs, la date des photographies aériennes coïncide avec une période de précipitations et de durée de la saison humide particulièrement élevées durant la décennie 1950 (Frappart *et al* 2009), retardant le dessèchement des ligneux.

Les techniques de télédétection satellitaire pour la discrimination, la caractérisation et le suivi des paysages de ces milieux de savane sont pour l'essentiel basées sur des traitements spectraux comme les indices thématiques (NDVI) ou les classifications (Boggs, 2010 ; Taibi *et al*, 2005). Les traitements mis en œuvre pour caractériser les dynamiques des couverts végétaux sont généralement basés sur la composante spectrale des images satellites particulièrement avec des analyses des variations spatiales et temporelles de différents indices de végétation (Anyamba & Tucker, 2005 ; Wessels *et al*, 2004). Les travaux de Dougherty M. *et al*. (2004) et Kennedy R.E. *et al*. (2007) ont montré que ces analyses de séries temporelles d'indices de végétation pour mettre en évidence des changements à la fois dans la structure et dans l'activité du couvert végétal, nécessitaient d'utiliser des images satellitaires à haute répétitivité temporelle type NOAA-AVHRR, SPOT-VEGETATION, TERRA-MODIS ou ENVISAT-MERIS. Or, la résolution basse ou moyenne de ces images fait perdre toutes les informations précises sur les éléments constituant ces couverts végétaux, notamment leur composante arborée et arbustive. Ehrlich *et al*. (1997), ont montré que les images à basse résolution spatiale (supérieures à 1 km) ne permettaient pas de caractériser suffisamment l'hétérogénéité spatiale de la structure de la végétation des savanes (pixels mixtes herbes-arbres) ce qui rend difficile l'interprétation des changements observés. Plus récemment, des approches d'ordination/classification texturale, basée sur la décomposition spectrale de Fourier, ont fait leurs preuves pour la caractérisation à grande échelle de la structure de végétations tropicales semi-arides (Couteron, 2002 et 2006; Barbier *et al*, 2010 ; Couteron *et al*, 2005). Mais les images texturales obtenues ne permettent pas de délimiter chaque objet (houppier d'arbre) individuellement. L'utilisation de séries temporelles d'images de haute voire très haute résolution permettrait de dépasser cette limite, mais cela implique un coût financier souvent inaccessible dans des travaux de recherches.

C'est pourquoi nous avons mis en œuvre des approches orientées objets qui nous ont permis de discriminer la composante arborée en nous appuyant sur les caractéristiques spectrales, mais également les caractéristiques géométriques (longueur, périmètre...), topologique (position dans l'image et par rapport aux autres objets) et sémantiques (lié à sa signification) qui peuvent servir à l'identification des objets (Boggs, 2010).

Les classifications orientées objet mise en œuvre avec le logiciel ENVI et son module Feature extraction object (ENVI Ex) sur les images Quickbird et la photographie aérienne, se divisent en deux étapes de segmentation puis de classification proprement dite. Il a été nécessaire de travailler préalablement les contrastes de la photographie aérienne de 1952, d'assez mauvaise qualité, avant d'extraire automatiquement les individus ligneux par segmentation et classification. Cette segmentation facilite beaucoup l'interprétation thématique de l'image en se rapprochant du mode de fonctionnement de la vision humaine, qui ne perçoit pas une image en pixel mais en zones homogènes.

Ces paramètres, après exportation en polygones distincts des objets de la classe thématique regroupant les houppiers, ainsi que leurs valeurs attributaires de périmètre et superficie calculées précédemment aux deux dates, nous ont servis ensuite à classer ces ligneux en trois classes sous ArcGIS; arbustes, petits arbres et grands arbres, après avoir défini visuellement les caractéristiques de chacune de ces classes.

Dans une troisième étape, à partir de ces résultats spatialisés, nous avons généré des cartes des types de paysages et particulièrement des types de parcs agroforestiers en 2004 et en 1952. En effet, selon la part et la densité respective des trois classes de ligneux, auxquelles on ajoute celle des formations herbacées, on peut définir différents types de parcs. Pour cela nous avons calculé des densités de ligneux total et par type à partir de la carte des ligneux ponctuels sur la base d'une grille de 100 m de coté (figure 2).



Figure 2. Densité de ligneux en 1952 et en 2004 (carroyage 100m). Région de Sadia

Les données ponctuelles de ligneux ont été également croisées avec l'occupation du sol digitalisée visuellement, pour l'ensemble de la zone en 2004, et pour quatre fenêtres en 1952. Nous avons distingué à chaque date la ripisylve, les zones ravinées, les villages et plusieurs classes d'occupation des sols selon l'ancienneté des cultures – jachère (Parcs cultivés de l'année, Jachère récente, Jachère prolongée / zone de parcours).

Les entités ripisylve et plateau gréseux n'ont pas été prises en compte pour l'analyse statistique, soit parce que les ligneux y sont assez difficiles à dénombrer (ripisylve car trop denses), soit parce que quasiment absents (plateau). Ils ont donc été masqués pour les traitements automatiques. Cependant, la ripisylve a été analysée visuellement aux deux dates, permettant notamment de caractériser la densité de couverture arborée.

Plusieurs missions sur le terrain en 2009 et 2010 ont permis de valider les résultats images, notamment la typologie de paysages de parcs agroforestiers, et de caractériser les espèces de ligneux.

### 3. RESULTATS

En 2004, 22 648 ligneux ont été recensés dans cette région de plaine du Séno, se subdivisant en arbustes très largement dominants (plus de 80%), suivis par les petits arbres (plus de 15%) puis les grands arbres. Par contre, leur répartition spatiale n'est pas homogène. Les fortes densités des trois types de ligneux dans la ripisylve (non prise en compte dans la quantification) et en périphérie proche de la vallée contrastent avec, en général, les plus faibles densités de la périphérie plus lointaine. D'autre part, le croisement des deux couches d'informations d'inventaire des ligneux et type d'occupation du sol indique que, après exclusion de la ripisylve où ils sont donc particulièrement concentrés, les ligneux se retrouvent majoritairement dans les champs cultivés de l'année en nombre et en densité (8,09 ligneux/ha). Le nombre de ligneux est également élevé ~~forêt~~ dans les zones de parcours et jachères prolongées bien que la densité y soit inférieure avec 5,27 ligneux/ha. Ce croisement décliné par type de ligneux révèle que si globalement en 2004 le nombre d'arbustes est comparable pour les zones de parcours/jachères prolongées et les parcs cultivés, la densité est elle plus importante dans les parcs cultivés (6,71 arbustes/ha) et la différence s'affirme pour les petits arbres (1,24 petits arbres/ha dans les parcs cultivés contre 0,34 /ha dans les zones de parcours/jachères prolongées) et surtout les grands arbres, beaucoup plus denses dans les parcs agroforestiers (0,13 grands arbres/ha) que dans les zones de parcours/jachères anciennes (0,04 grands arbres/ha), bien que restant modeste dans les deux cas.

Avec une moyenne de 8.3 ligneux/ha pour une médiane de 7 ligneux/ha et un écart type de 5.96 en 2004, on a défini cinq types de parcs aux deux dates (figure 3) :

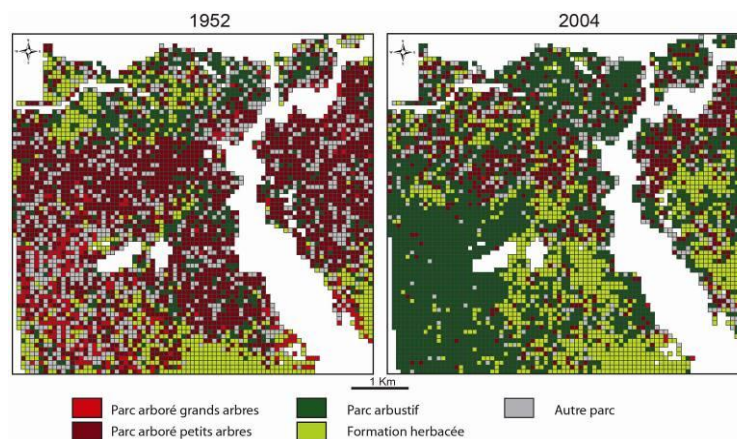


Figure 3 : Typologie des parcs agroforestiers de la région de Sadia en 1952 et 2004

Les formations herbacées caractérisées par un nombre de ligneux inférieur à 2 par cellule, les parcs arbustifs caractérisés par un nombre de ligneux supérieur à 2 par cellule et une densité d'arbustes supérieure à 50% de l'ensemble des ligneux, les parcs arborés à petits arbres caractérisés par un nombre de ligneux supérieur à 2 par cellule et une densité de petits arbres supérieure à 50% de l'ensemble des ligneux, et les parcs arborés à grands arbres caractérisés par un nombre de ligneux supérieur à 2 par cellule et une densité de grands arbres supérieure à 50% de l'ensemble des ligneux. Le cinquième type regroupe tous les cas particuliers de parcs

qualifiés de mixtes où l'on ne peut pas identifier un type de ligneux dominant par exemple. On peut y ajouter la ripisylve du Guringin et ses affluents à dominante de grands arbres, ainsi que les parcs arborés diversifiés dans les zones de cultures permanentes autour des villages, concentrant les grands arbres (baobabs dominants à proximité immédiate des villages dogon, passant à des *Faidherbia albida* dominants en deuxième auréole) associés à de petits arbres. Ces parcs couvrant des surfaces relativement réduites, ils n'ont pas été discriminés sur les cartes.

Ces paysages de la plaine du Séno ont connu une importante évolution depuis la deuxième moitié du XXe siècle. Si on relève depuis les années 1950 une diminution globale des ligneux de 1952 (26 636) à 2004 (22 648), celle-ci reste modeste, et on peut qualifier le couvert ligneux de globalement stable. Par contre, les suivis diachroniques de l'occupation du sol et de la couverture de ligneux par type indiquent des évolutions contrastées à l'échelle de cette région de Sadia et que la distribution des différents types de paysages définis en 2004, était très différente en 1952 (figure 3). De manière générale, on note un recul important des « vieux » parcs à grands arbres, et un recul très important des parcs à petits arbres, qui étaient dominants en 1952. Par contre, il y a une très forte augmentation des parcs arbustifs aujourd'hui très largement dominants (alors qu'ils étaient en troisième position en 1952) et une augmentation des formations à dominante herbacée.

L'évolution de la terrasse de rives droite et gauche du Guringin entre 1952 et 2004 montre une substitution de formations herbacées à *Sida* piquetées de petits arbres (*Piliostigma*, *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis*, etc.) élagués peu denses, principalement dédiées aux parcours, aux parcs arborés denses à *Vitellaria paradoxa*, *Sclerocarya*, *Prosopis africana*, *Detarium microcarpum*, Néré, etc., que l'on y rencontrait en 1952. Malgré cette ouverture, le terrain a montré que la diversité spécifique des ligneux (qui devait donc exister en 1952) persiste dans ces zones. La zone des dunes de la partie nord ouest de ce site de plaine montre, elle, une substitution de parcs arbustifs denses aux vieux parcs arborés denses de 1952. La gouttière humide montre une construction de nouveaux parcs arbustifs et arborés (petits arbres) à *Balanites aegyptiaca* et *Faidherbia albida* ainsi que quelques *Piliostigma*, associées à des cultures intensives sur un parcellaire de petits champs, et dont la densité reste assez proche de ce qu'elle était en 1952. Le front nord des dunes est caractérisé par le passage de parcs arborés assez diversifiés assez denses en 1952 à des parcs plus arbustifs (*Combretum* et *Guiera*) moins denses où subsistent de vieux arbres très élagués leur conférant une morphologie de petits arbres. Par ailleurs, ces fronts de dunes ont reculé entre les deux dates en lien avec les processus de ravinement. Mais l'emprise spatiale des ravines n'a pas particulièrement augmenté entre les deux dates. Par ailleurs, elles sont associées à une accumulation des formations ruisselées en aval des ravines.

La périphérie des villages montrent des évolutions spécifiques. Si globalement le nombre de ligneux diminue autour des villages de Sadia dogon et Sadia peul (-28.8%), par contre la densité en arbustes, notamment *Faidherbia albida* et *Acacia sp.*, y a nettement augmenté, spécifiquement dans les parcs cultivés où elle a été multipliée par deux. L'emprise de ces parcs cultivés s'est d'ailleurs nettement accrue en auréole autour de ces villages (de 30,6% à 88% du terroir de Sadia dogon en 1952 et 2004), en champs désormais potentiellement permanents, corrélativement au recul des jachères et lié à une intensification agricole.

Les formations ligneuses de la ripisylve montrent elles aussi une évolution particulière avec un recul de 14 % de leur surface globale passée de 225,26 ha en 1952 à 197,6 ha en 2004. Par ailleurs, elle est nettement moins dense et plus discontinue en 2004. Ce recul est plus ou moins accentué selon la localisation. Il est notamment particulièrement marqué à proximité du village de Diabéli.

#### 4. CONCLUSION

La classification orientée objet des images du site de Sadia a permis de faire le recensement des ligneux dans cette zone, de définir une typologie des parcs selon le nombre et le type de ligneux et leur densité globale et également de travailler plus précisément sur les caractéristiques spécifiques et structurelles des paysages et leur évolution temporelle au cours de la deuxième moitié du XXe siècle, à travers plus spécifiquement cette composante ligneuse.

Ces caractérisations et suivis diachroniques de cette région de Sadia en Pays dogon (Mali) montrent une évolution rapide et importante des paysages. Les rythmes et modalités de transformation récente ainsi mis en évidence peuvent être reliés avec d'intenses et rapides mutations environnementales et socio-économiques dans la deuxième moitié du XXe siècle qui ont profondément modifié les équilibres naturels et socio-économiques.

Ces transformations sont classiquement présentées comme correspondant à des processus de dégradation, voire de désertification (Banga, 2003 ; Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement du Mali, 2009). Pourtant, même s'il existe effectivement souvent une réalité matérielle de dégradation physique (érosion des sols, de la biodiversité ...) localisée, ces caractérisations sont en général plutôt fondées sur des représentations des paysages qui ne s'appuient pas sur ces réalités matérielles, mais profondément culturelles et souvent idéalisées. La désertification décrite ne correspond souvent qu'à une lecture du paysage chargée des filtres culturels de l'observateur ainsi que de toutes les images catastrophistes et idées reçues qui imprègnent aujourd'hui profondément l'esprit de la plupart de nos contemporains. Sans tomber dans l'écologie-scepticisme, on peut s'interroger sur l'application assez systématique de ces notions de dégradation et de désertification à tous les événements mutatifs observés. Les résultats obtenus ici permettent de réinterroger les fondements des descriptions catastrophistes sur cette région, et plus largement sur les régions sahéliennes et soudano-sahéliennes. Ainsi, l'analyse des nombreux travaux portant sur ces dynamiques d'évolution, en pays dogon ou ailleurs, depuis la période coloniale, montrent que ces représentations s'appuient sur l'idée d'une régression par rapport à un état initial considéré comme "idéal" et qu'il faudrait restaurer. Elles font référence aux notions d'équilibre et de climax, très controversées car l'idéologie d'un « état d'équilibre idéal vers lequel tend la végétation d'un lieu dans des conditions naturelles stables » (Simon, 1997) est toute théorique, la stabilité d'un écosystème n'étant jamais totale. Les systèmes se trouvant « à l'équilibre » sont en fait des singularités temporelles dans un contexte général de changement (Blandin, 2009). Par ailleurs, dans ces régions soudano-sahéliennes, cet état de référence correspond le plus souvent à celui d'une forêt, idéalisée, dans « la tradition de l'École forestière française, [qui] recherche partout les peuplements homogènes, ou presque purs, et les formations fermées, modèle idéal du forestier français. » (Bergeret, 1993). Ainsi, selon Aubréville, illustre représentant de cette école, « tous les immenses boisements de savanes de l'Afrique sont le résidu d'une dégradation lente et qui se poursuit opiniâtrement, d'anciennes forêts tropicales » (Bergeret, 1993) Or, de nombreux chercheurs, comme Fairhead et Leach (Fairhead & Leach, 1996) par exemple, ont démontré depuis que les terres qualifiées par les colons européens puis les forestiers européens et africains de dégradées par déforestation, n'ont en réalité jamais été couvertes de forêts. Les quelques forêts existants dans les zones de mosaïques forêt-savane de ces régions sont, au contraire, des créations des populations (Ribot 1999). Enfin, penser en termes de dégradation, c'est penser assez systématiquement en termes de relations Nature – Société conflictuelles, que les populations soient vues comme victimes ou comme causes des processus à l'œuvre. Or, ici, les écosystèmes de savane présentés comme dégradés sont en réalité des constructions anthropiques et résultent « des rapports

interactifs entre les sociétés humaines et les milieux dans lesquels elles vivent et dont elles vivent » (Rossi et André, 2006).

Ces transformations sont donc loin de correspondre à une dégradation généralisée de ces milieux soudano-sahéliens comme on peut le lire trop souvent dans la littérature et l'entendre dans le discours des gestionnaires et des ONG, et ceci malgré la sécheresse sévère qui y a sévit dans les années 1970-80. Ces processus d'évolution relèvent plutôt de changements d'agrosystèmes et de la création de nouveaux équilibres dynamiques complexes entre milieux et sociétés dans le cadre de stratégies d'adaptation et de résilience. L'augmentation très importante des arbustes partout dans la plaine du Séno révèle le formidable dynamisme des agriculteurs de cette région, qui, confrontés aux crises écologiques et socio-économiques combinées transforment volontairement et durablement les parcs agroforestiers construits par les générations qui les ont précédés. L'évolution différenciée arbustes/petits arbres (qui augmentent globalement) et grands arbres/ripisylve (dont le nombre et la surface se réduisent) est en réalité révélatrice de stratégies d'adaptation aux sécheresses et aux mutations socio-économiques par gestion de la fertilité des sols face à leur appauvrissement lié à la réduction de la jachère dans un contexte de besoin croissant en terre à cultiver. L'augmentation de la densité en arbustes (multiplié par 2 ou plus) et la diminution du nombre de grands arbres dans les parcs cultivés révèlent une substitution de parcs à *Faidherbia albida* et *Acacia sp.* aux parcs anciens composites à karité, néré, ... Ce processus se réalise dans un contexte d'intensification agricole que traduit le recul assez systématique des jachères, *Faidherbia albida* permettant de fixer l'azote et une meilleure régénération des sols (Lesueur, 1996). Il s'agit donc de l'illustration de la résilience des socio-écosystèmes et non pas de processus de dégradation ni de désertification (Taibi, 2015).

*Cette étude a été financée par une ANR franco-allemande en SHS et une Action de recherche du Réseau Télédétection de l'AUF et bénéficié du soutien matériel du programme Planet Action (Spot Image et UNESCO et leurs partenaires (ESRI, ITT, Definiens)).*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anyamba A., & Tucker C.J., 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981 to 2003. *Journal of Arid Environments*, 63, pp. 596-614
- Banga P., 2003, Les dogon et leur environnement naturel, *In* : Bedaux R. et Van Der Waals J.D. (eds), Regards sur les dogon du Mali, Rijksmuseum voor volkenkunde, Leyde, Editions Snoeck, Gand, pp. 15-22.
- Barbier N., Couteron P., Deblauwe V., Lejoly J. & Lejeune O., 2006. Self-organized vegetation patterning as a fingerprint of climate and human impact on semiarid ecosystems. *Journal of Ecology*, 94, pp. 537-547.
- Bergeret A., 1993. Discours et politiques forestières coloniales en Afrique et à Madagascar. *Revue française d'histoire d'outremer*, t. 80, 298, 1er trimestre 1993, pp. 23-47.
- Blandin P., 2009. De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité, Sciences en questions, éditions Quae, paris, 122 p.



- Boggs GS., 2010. Assessment of Spot5 and Quickbird remotely sensed imagery for mapping tree cover in savannas. *Intern. journal of applied earth observation and geoinformation*, 12, pp. 217-224.
- Couteron P., 2002. Quantifying change in patterned semi-arid vegetation by Fourier analysis of digitized photographs. *International Journal of Remote Sensing*, 23(17), pp. 3407–3425.
- Couteron P., 2006. Statistiques spatiales appliquées à l'étude de la végétation : un lien entre structures et processus dynamiques. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Montpellier 2, 69 p.
- Couteron P., Pélissier R., Nicolini E.A. & Paget D., 2005. Predicting tropical stand structure parameters from Fourier transform of very high-resolution remotely sensed canopy images. *Journal of Applied Ecology*, 42(6), pp. 1121-1129.
- Dougherty M., Dymond R.L., Goetz S., Jantz C.A., & Goulet N., 2004. Evaluation of impervious surface estimates in a rapidly urbanizing watershed. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70, pp. 1275–1284
- Ehrlich D., Lambin E.F., & Malingreau J.P. 1997. Biomass Burning and Broad-Scale Land-Cover Changes in Western Africa. *Remote sensing of environment*, 61, 201-209
- Fairhead J. & Leach M., 1996. Misreading the African landscape. Society and ecology in a forest-savanna mosaic, Cambridge University Press, Cambridge, 354 p.
- Frappart F., Hiernaux P., Guichard F., Mougin E., Kergoat L., Arjounin M., Lavenu F., Koité M., Paturel J-E., Lebel T., 2009. Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375, pp. 128–142.
- Kennedy R.E., Cohen W.B., & Schroeder T.A., 2007. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. *Remote sensing of environment*, 110, pp. 370–386
- Lesueur D., Njiti C.F., Dianda M., Galiana A., 1996. In : Peltier R. Les parcs à *Faidherbia*, Montpellier : CIRAD-Forêt, Cahiers scientifiques, 12, p. 245-258.
- Ministère de l'environnement et de l'assainissement du Mali, 2009. Rapport Evaluation intégrée des écosystèmes : cas de la région de Mopti au Mali, Initiative Pauvreté – Environnement, 114 p.
- Ribot J.C., 1999. A history of fear : imagining deforestation in the West African dryland forests. *Global Ecology and Biogeography*, 8, pp. 291-300.
- Rossi G. & André V., 2006. La biodiversité : questions de perspectives. *Ann. Géo.*, 651, pp. 468-484.
- Simon L., 1997. Climax et dynamiques végétales méditerranéennes: des notions à redécouvrir. Exemples pris dans les Alpes du Sud, In : Tabeaud M., Pech P., Simon L. (eds), *Geo-Mediterranée*, Pub. Sorbonne, pp. 175-184.

TAÏBI A.N., 2015. Désertification et dégradation. Ré-interrogation des concepts à la lumière d'exemples africains, Habilitation à Diriger des recherches, Université d'Angers, 170 p.

Taïbi AN., Gassani J., Elghadi AV., Ballouche A., Moguedet G., Ould Baba ML., Ould Jiddou M., 2005. Diagnostic de la dynamique des ressources hydriques de surface et des processus de « désertification » du lac d'Aleg et son bassin versant (Brakna, Mauritanie) par télédétection multidate. *Télédétection*, vol. 5 (1-2-3), pp. 35-45.

Wessels K.J., Prince S.D., Frost P.E., & van Zyl D., 2004. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Remote sensing of environment*, 91, pp. 47-67