L'ENVIRONNEMENT SUBSAHARIEN : PRÉJUGÉS SCIENTIFIQUES ET MÉTHODES CARTOGRAPHIQUES

par José Luis San Emeterio,
Université Paris Diderot, LIED UMR 8236
Jose-luis.sanemeterio@univ-paris-diderot.fr

Oumar Marega,
Université du Littoral-Côte-d'Opale, Dunkerque , TVES EA 4477
marega_o14@yahoo.fr

Ababacar Fall,
Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LaSTEE)
Membre associé à PLEIADE EA 7338
mbayza2004@hotmail.com

Tidiane Sane,
Université Assane Seck, Zinguinchor, (Sénégal)
Membre associé à l'UMR 208 PALOC (IRD-MNHN)
tsane@univ-zig.sn

Ibrahima Diedhiou,
Université Paris 13, PLEAIDE EA 7338
ibrahima.diedhiou85@gmail.com

et Julien Andrieu
Université de Nice Sophia-Antipolis, ESPACE UMR 7300
Julien.andrieu@unice.fr

Les cartes ont occupé une place principale dans l'étude de l'environnement sahélien depuis le XXe siècle. La climatologie, la géologie ou la biogéographie des lieux ont été appréhendées en s'appuyant sur des représentations géographiques de plus en plus précises. Simultanément elles ont contribué à bâtir le récit de grands défis environnementaux comme celui de la désertification. Depuis l'acquisition des outils d'une géographie quantitative et informatique, les réalisations cartographiques se sont multipliées. Dans ce processus, la carte a été souvent considérée comme un simple instrument. L'étape de réflexion en amont propre au cartographe a été remplacée par un raisonnement purement arithmétique et utilitaire où le choix de la méthode cartographique passe au second plan. C'est en s'inscrivant dans une démarche de géographie critique que nous cherchons d'une part, à étudier quelles inévitables distorsions sont introduites par les résultats cartographiques et, d'autre part, à penser à d'autres moyens de représentation. Nous verrons ainsi, à partir de quelques cas emblématiques, comment ces représentations cartographiques masquent souvent des réalités multidimensionnelles complexes et quelle en est l'influence sur la représentation que l'on se fait du phénomène étudié.

Introduction

Les cartes jouent un rôle fondamental dans la représentation mentale des phénomènes et la construction de récits qui en découlent. Les choix cartographiques servent, de manière consciente ou inconsciente, à la fabrication de perceptions qui influencent les prises de décision sur des questions très sensibles. Cependant, malgré leur importance, les cartes ne sont souvent considérées que comme un simple instrument soumis à un raisonnement purement arithmétique.

Pour les occidentaux, l'imaginaire de l'Afrique subsaharienne, région vaste et lointaine, éloignée par la présence du Sahara et relativement peu explorée, s'est souvent construit à travers des représentations cartographiques (Fall 1982 ; Zakaria 2017). Dans cet article, nous allons nous focaliser sur les cartes liées à l'étude, par télédétection, de l'évolution du couvert végétal et de l'occupation du sol. Ces cartes concernent l'environnement africain et la biogéographie, et font partie de problématiques (désertification, changement climatique ou déforestation) d'une importance capitale pour le devenir de l'Afrique subsaharienne. Il s'agit de réfléchir aux interprétations et aux distorsions introduites par ces cartes et d'apporter une réflexion sur l'importance des choix cartographiques pour l'élaboration de discours et l'apparition de préjugés. Cette réflexion se fera à partir de 4 exemples intimement liés. Dans le premier exemple, nous traiterons le problème de la désertification à partir de la cartographie de l'évolution du couvert végétal à l'échelle régionale. Deuxièmement, nous descendrons à l'échelle micro-régionale (sud-ouest Niger) pour étudier l'importance des échelles spatio-temporelles dans l'étude de l'évolution de l'occupation du sol. En troisième lieu nous aborderons le problème de l'articulation entre plusieurs échelles pour aboutir à une classification des paysages végétaux sahéliens. Pour finir nous présenterons un exemple en région soudano-guinéenne pour illustrer l'importance du choix de la méthode statistique utilisée pour interpréter un phénomène (régression des forêts).

La face cachée de la cartographie de l'évolution du couvert végétal de la bande sahélienne

Pour appréhender les dynamiques spatiales du phénomène de désertification, plusieurs méthodes et indices existent. L'analyse des séries temporelles d'indices de végétation, notamment le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), a été au centre du débat sur la « désertification » ou « reverdissement » de la région sahélienne à partir des années 80 (Tucker *et al.* 1991). Le capteur AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) à bord des satellites NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) a permis le calcul de cet indice de manière régulière (bimensuel) dès le début des années 80. Le NDVI est bien corrélé entre autres avec l'activité photosynthétique, la production de biomasse et l'indice foliaire. En région sahélienne le NDVI intégré pendant la saison de croissance a été souvent utilisé pour estimer la production végétale annuelle.

Les articles sur le suivi du couvert végétal en région sahélienne à partir de la télédétection n'ont cessé d'augmenter depuis les années 70 (Karlson *et al.* 2016). La télédétection a été, en effet, un outil incontournable pour la construction du récit de la « désertification ». En 1975, Lamprey avait utilisé des photos aériennes et des cartes de végétation pour réaliser une analyse diachronique qui lui permettait d'annoncer l'avancée du Sahara vers le sud à une vitesse de 5,5 km/an (Lamprey 1975). Ces travaux s'adaptaient bien au paradigme prépondérant de l'époque où la désertification était davantage conçue comme un état que comme un processus (Veron *et al*. 2006). Ainsi, ils ont contribué à bâtir une représentation spatiale du phénomène que simplifie à l'extrême le concept de désertification en s'appuyant sur la perception binaire d'une région désertique au nord (le Sahara) et d'une région plus humide au sud (les forêts tropicales et équatoriales).

En même temps, ces travaux s'accordaient bien avec le discours dominant de l'époque qui visait à provoquer une prise de conscience massive de la société dans le contexte des grandes sécheresses des années 1972 et 1973. Ainsi, la première conférence sur la « désertification » a été organisée en 1977 à Nairobi (UNCOD 1977) et ce phénomène est devenu le premier grand problème environnemental global précédant le réchauffement climatique ou le trou dans la couche d'ozone (Thomas et Middleton 1994).

L'hypothèse d'un désert qui avance vers le sud a été mise en cause par Tucker *et al.* (1991) et Nicholson *et al.* (1998) qui ont montré que les limites du Sahara sont très fluctuantes d'une année à l'autre et qu'elles sont directement corrélées aux fluctuations pluviométriques. La figure 1 montre les « limites » du Sahara pour chaque année pendant la période 1980-1995. Les limites du Sahara sont calculées à partir de la valeur saisonnière du NDVI et les précipitations annuelles (200 mm). La cartographie utilisée est ainsi adaptée à une réalité binaire qui distingue espace désertifié et espace non-désertifié.

Le terme désertification a une signification très concrète et absolue et à la fois difficile à cerner. Si l'on considère la désertification comme un état plutôt qu'un processus, il est possible de déduire que dans un sens purement scientifique il doit exister une certaine dualité, c'est-à-dire que l'espace étudié peut être soit désertifié soit non-désertifié, les états intermédiaires n'étant pas forcément pris en considération sauf si ceux-ci sont préalablement et convenablement définis. Ainsi, la désertification elle-même peut se présenter comme un phénomène binaire. On assiste à une sorte de rétroalimentation entre les représentations spatiales

d'un phénomène, sa nature et le discours que l'on veut en faire.

En effet, à partir de la fin des années 1990, plusieurs travaux scientifiques en télédétection aident à consolider la thèse d'un « reverdissement » sahélien, conséquence directe de la reprise des précipitations à partir des années 1990 (Nicholson *et al.* 1998 ; Prince *et al.* 1998 ; Kerr 1998). Ce discours est renforcé plus tard par d'autres travaux en télédétection à l'échelle régionale (Eklundh *et al*. 2003 ; Olsson *et al.* 2005 ; Anyamba *et al.* 2005 ; Hermann *et al.* 2005, cités respectivement 156, 266, 317 et 374 fois d'après SCOPUS). Ces articles sont principalement basés sur l'analyse de tendances inter-annuelles du NDVI. Les cartes proposées dans ces articles ont contribué à construire une vision collective du reverdissement en région sahélienne. Simultanément des études à l'échelle locale ont mis en cause la vision catastrophiste d'une dégradation irréversible en région sahélienne (Rasmussen *et al.* 2001 ; Mazzucato *et al.* 2002).

Parallèlement et depuis la fin des années 1990 les scientifiques ont proposé des analyses phénologiques (basées sur les variations intra-annuelles du NDVI) pour étudier l'évolution de la végétation et la prise en considération de la variabilité climatique à partir d'indices comme le RUE (Rain Use Efficiency). Ces indices posent de nouveaux défis qui ne seront pas traités dans cet article.

Les analyses de tendances (notamment pour la période 1981-2002) du NDVI montrent un reverdissement significatif de l'ensemble de la bande sahélienne, elles permettent également de repérer des nuances négatives, toujours à caractère local (fig. 2). Les images donnent le portrait d'un reverdissement général et flagrant du Sahel, le choix systématique du vert pour représenter une augmentation du NDVI vient renforcer la perception de reverdissement (fig. 2).

Localement, l'existence de zones de régression du NDVI (*hotspots* négatifs) s'ajuste bien au changement du paradigme à partir des années 1980 et 1990. La perception de la désertification (ou dégradation des terres) comme un empiétement linéaire des conditions désertiques a laissé la place à la perception d'une dégradation ponctuelle, d'éruptions éparses distribuées dans le territoire, survenant parfois à proximité des villes ou de puits par exemple (Mortimore 1998).

L'interprétation des tendances du NDVI pose de nombreux problèmes, tel qu'il a été constaté par les travaux réalisés ces dernières années. Ces problèmes sont principalement liés à la difficulté d'intégrer les échelles spatiales et temporelles. A titre d'exemple, ces analyses ne tiennent pas compte des changements de la composition floristique, qui est un efficace indicateur de dégradation environnementale, et elles ont des difficultés à caractériser les dynamiques socio-environnementales qui ne sont souvent perceptibles qu'à l'aide d'une étude à l'échelle micro-régionale. Ainsi, peut-on extrapoler les résultats obtenus à l'échelle du Sahel pour établir un diagnostic concernant des milieux qui, observés à des échelles plus fines, sont à la fois hétérogènes et changeants ?

Dans les années suivantes les analyses de tendances sont de plus en plus utilisées par la communauté scientifique mais également par des organisations internationales comme la FAO pour l'élaboration de cartes globales sur l'état du couvert végétal (Bai *et al*. 2008 ; Hellden *et al*. 2008) (fig.3). D'autres études similaires plus récentes ont été réalisées par Fensholt *et al*. 2011 ; Dardel *et al.* 2014 ; Anyamba *et al*. 2014.

Dans la figure 4, on propose une adaptation du graphique de Dardel *et al.* (2014) à des régions plus grandes de la bande sahélienne à partir du NDVI GIMMS 3g sur une période de 30 ans. Les tendances du NDVI pendant la période 1982-2011 sont étudiées en fonction de la longueur de la série de données et de la dernière année de la série étudiée. Le carré jaune ne présente une évolution positive significative du NDVI que si l'on prend en compte les premières années de la série étudiée correspondant aux grandes sécheresses des années 1983 et 1984. Pour les carrés vert et bleu l'évolution positive du NDVI dépend davantage des dernières années de la série, les premières années étant moins importantes. La diminution du NDVI du carré rouge situé au sud-ouest du Niger est, quant à elle, surtout dépendante des premières années de la série. En effet, si on enlève les années de sécheresse (1983 et 1984) la carte de tendances change de manière très significative. Par ailleurs, si l'augmentation de la production végétale qui suit immédiatement les dernières grandes sécheresses (des années 1983 et 1984) est peu surprenante, les tendances divergentes observées après ces sécheresses pourraient recouvrir des réalités différentes.

Le point de vue d'un reverdissement reste aujourd'hui minoritaire ; on pourrait parler de deux perceptions opposées de la dynamique sahélienne, l'une persistant dans une vision pessimiste centrée sur la désertification, l'autre optimiste qui voit au même moment dans les mêmes lieux un reverdissement (Ozer *et al.* 2010). L'interprétation étant très liée en effet aux échelles spatiales et temporelles utilisées.

L'objectif de ces cartes est de comprendre l'état actuel du couvert végétal par rapport à une période,

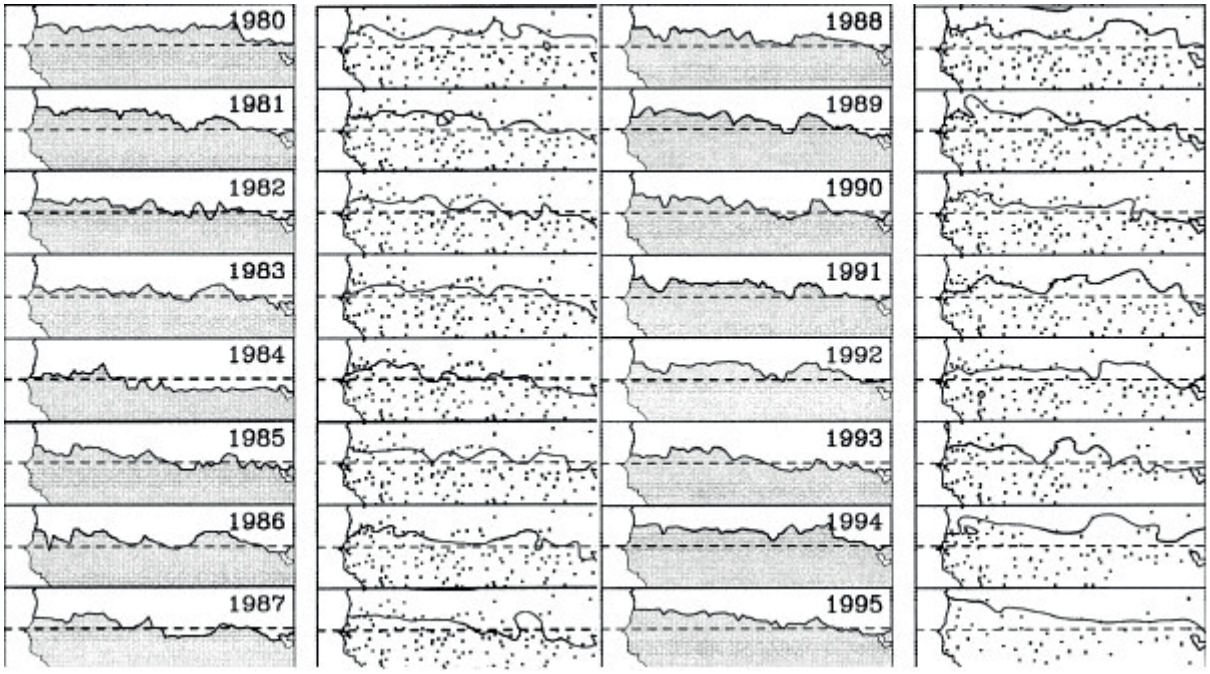

Figure 1 : Une approximation de l'isohyète 200mm comme indicateur de la limite du Sahara pendant la période 1980-1995. A gauche l'approximation en fonction du NDVI, à droite à partir de stations pluviométriques. La ligne pointillée indique la latitude 15°N (Nicholson et al. *1998).*

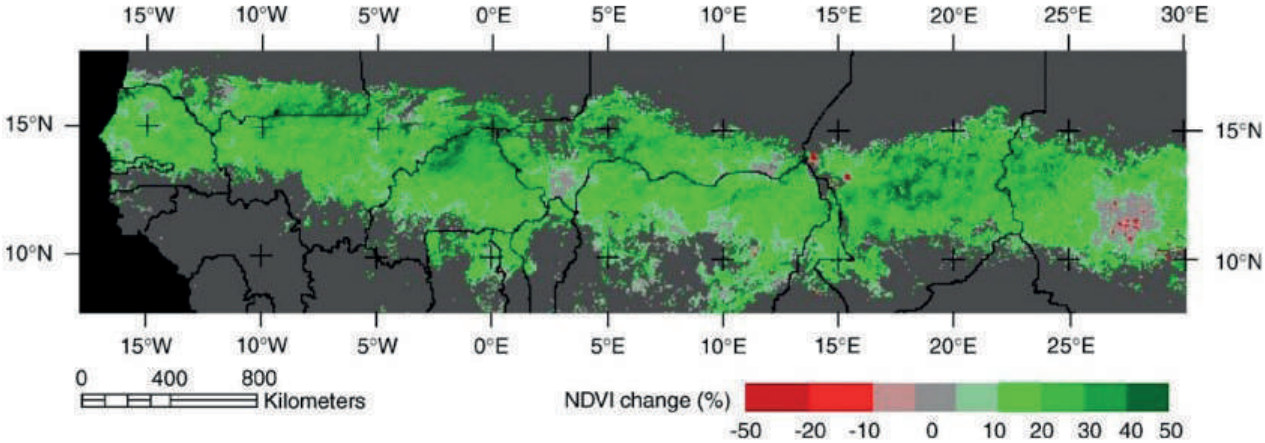

Figure 2 : Changements en pourcentage du NDVI moyen entre 1982 et 2003, calculés à partir d'une base mensuelle de AVHRR NDVI (Herrmann et al. *2005).*

une information qui est sans doute précieuse. Cependant, ces cartes de tendances sont très limitées et révèlent parfois une certaine urgence pour retracer l'état actuel des choses en oubliant le besoin de comprendre et de définir tout le processus qui mène aux conclusions finales. Ainsi, ces représentations cartographiques cachent souvent des réalités multidimensionnelles très complexes. Bien entendu le géographe n'est pas obligé de comprendre parfaitement les causes d'un changement pour avoir le droit de le cartographier. Certains auteurs ont ainsi proposé de distinguer entre la cartographie de la cinématique (cartographie des changements) et la cartographie de la dynamique (Cartographie des changements expliqués qui prenne en compte les forces motrices du changement) (Andrieu 2008). On souligne juste que la cartographie s'adapte à la narration dominante et aux besoins du moment et elle manque souvent d'une réflexion propre à la cartographie. Pourtant les images sont fondamentales pour la construction de récits et elles contribuent à un point difficilement mesurable à renforcer les messages transmis au lecteur. Ainsi, en l'absence de réflexion, ces représentations cartographiques sont souvent subordonnées aux besoins immédiats et généralement en retard par rapport au débat auquel elles participent, ne servant que comme simple soutien du discours.

Evolution de l'occupation du sol : des observations contrastées en fonction des échelles spatio-temporelles

La cartographie des états de surfaces à l'échelle locale montre que la question de la désertification et du reverdissement est fonction de la fenêtre d'observation aussi bien au niveau spatial qu'au niveau temporel. En fonction de ces deux variables, la perception cartographique accentue ou bien atténue les tendances en cours. On peut donc parler de biais de perception lié au choix en amont de la zone d'étude et de la temporalité du phénomène étudié. Dans ce cadre, l'analyse des cartes d'occupation du sol doit tenir compte de ces deux échelles spatio-temporelles pour une interprétation intelligible des tendances mises en évidence.

Prenons l'exemple de l'évolution de l'occupation du sol au sein de la commune de Dantiandou (sud-ouest du Niger). Cette commune se situe à 80 km à l'est de Niamey. Elle se trouve dans la région de *Tillabéry*. Située entre le *dallol Bosso* et le fleuve Niger au sud-ouest du bassin sédimentaire des *Iullemmeden*. Elle fait partie du domaine sahélien ou sud-sahélien et a reçu aux environs de 500 mm de précipitations par an au cours de ces dernières décennies (fig.5). Il s'agit d'un paysage éminemment rural et agroforestier où l'emprise de l'agriculture est croissante (principalement mil et sorgho et d'autres cultures secondaires). Cette région se caractérise par une légère diminution du NDVI entre 1982 et les années 2010 (fig.4), ceci malgré l'augmentation des pluies à partir des années 1990.

Les données de base étudiées ici sont des images Landsat des années 1973, 2000 et 2010, avec respectivement des résolutions spatiales de 57m (Landsat MSS de 1973) et 30 m pour Landsat TM (2000, 2010). Pourquoi avoir choisi ces dates ? L'année 1973 correspond à la première année de sécheresse sévère, ce qui permet ainsi de se placer avant que la végétation n'ait enregistré la dégradation liée au bilan hydrique. L'année 2000 représente la situation 6 ans après la date charnière de 1994 qui signe le retour des pluies et donc le début du lent processus de reverdissement. L'année 2010 correspond à la situation 16 ans après la date charnière de 1994 où, contrairement à 2000, il est possible de supposer que, comme l'ont remarqué de nombreux travaux, le processus de reverdissement est bien en place. Dans une région où l'alternance des saisons (saison des pluies et saison sèche) est très fortement marquée, la période de prise de vue des images devient un paramètre important, qui peut avoir aussi des répercussions sur le résultat cartographique et l'interprétation des tendances observées. Dans l'exemple présenté ici, les images de fin de saison des pluies ont été privilégiées afin de distinguer la végétation naturelle (ligneuse et herbacée) des surfaces cultivées dont la signature spectrale s'apparente à celle des sols nus après les récoltes qui sont généralement faites à la fin de la saison des pluies.

La méthode d'analyse est basée sur des classifications non supervisées qui permettent un regroupement automatique des pixels d'une image sur la base des paramètres statistiques des classes radiométriques. A partir des cartes d'occupation du sol établies aux différentes dates, l'analyse diachronique se fait par le croisement des différents types d'occupation du sol. Le croisement de l'occupation du sol ***A*** avec l'occupation du sol Á permet d'apprécier l'évolution positive ou négative de ***A*** par rapport à Á.

La figure 5 illustre bien ce procédé de cartographie. Les deux cartes diachroniques tirées du croisement de l'occupation du sol entre 1973 et 2000 puis entre 2000 et 2010 montrent bien les variants et les invariants dans l'évolution de la couverture du sol par la végétation à Dantiandou.

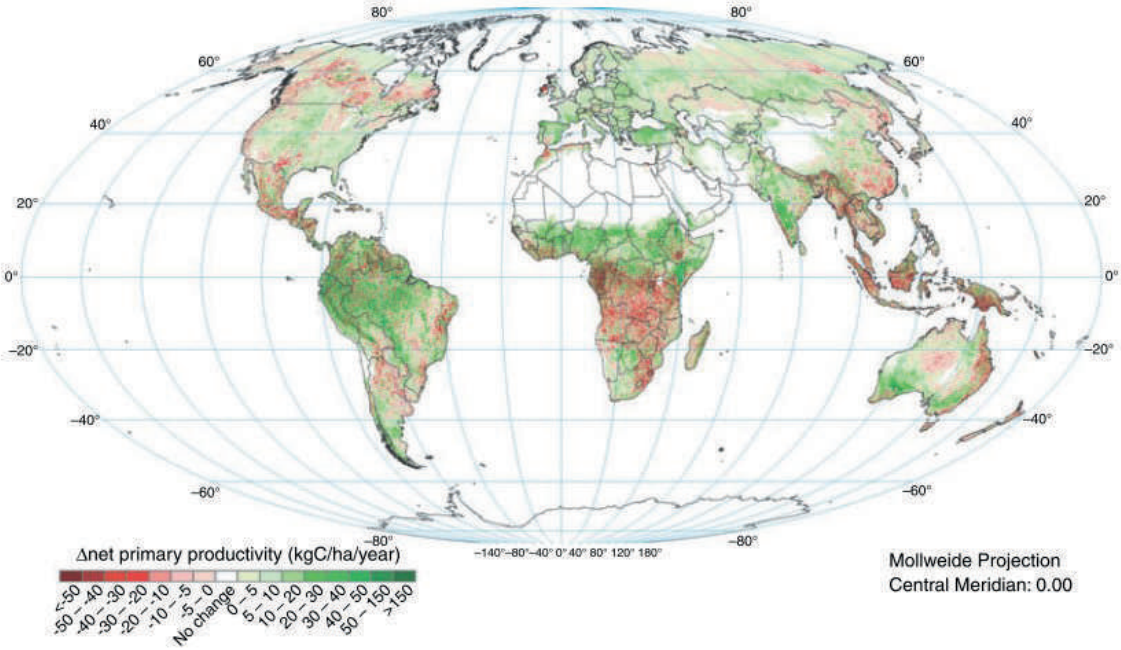

Figure 3 : Changement global en production primaire nette, 1981-2003 (PPN calculée à partir du NDVI) (Bai et al. *2008).*

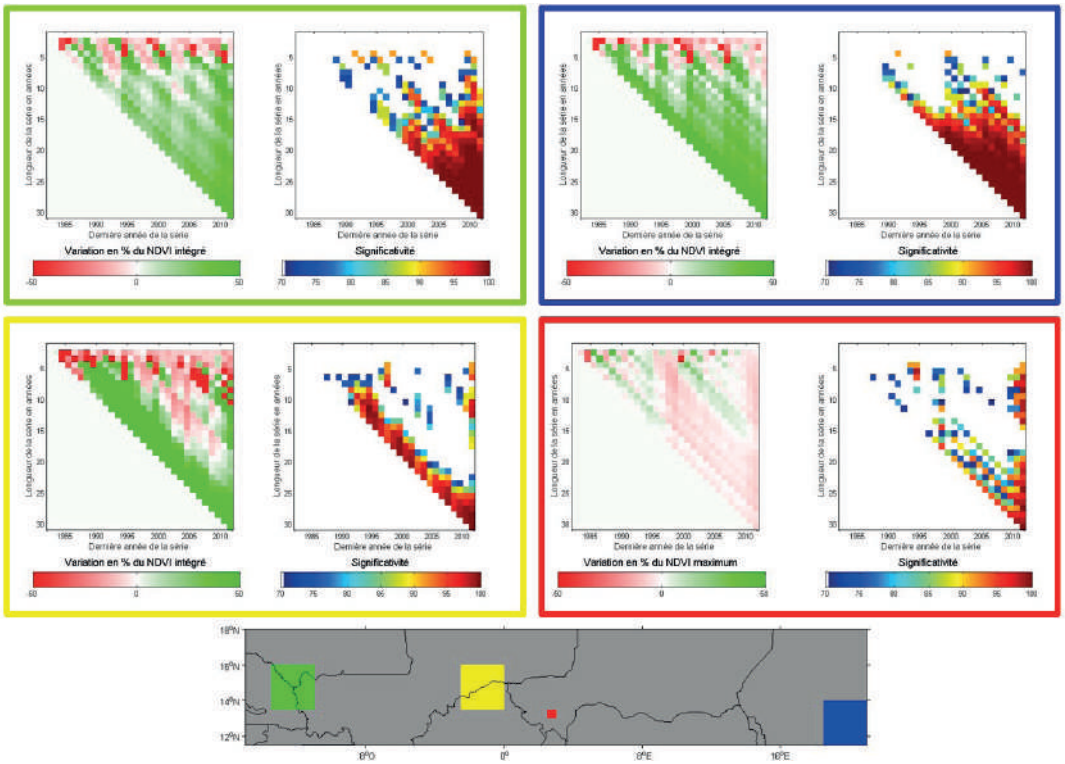

Figure 4 : Tendance du NDVI intégré (1982-2011) et sa significativité en fonction de la longueur de la série temporelle et de la dernière année étudiée (Source San Emeterio (2015), à partir de la méthode proposée par Dardel et al. *2014).*

Sur ces deux cartes, on observe une stabilité importante et une progression du couvert végétal entre 1973 et 2000 contrairement à ce qu'on observe entre les années 2000 et 2010. De plus, on observe une grande hétérogénéité spatiale des types de changement, la tendance à la progression et à la stabilité se concentre dans les parties basses du relief. Les secteurs où la végétation recule dans la commune de Dantiandou correspondent à la zone des plateaux du *Fakara*.

Un regard critique sur ces tendances nous amène à interroger la question du reverdissement à partir de la date charnière de 1994 (date de retour des pluies). On remarque que ce reverdissement dans l'exemple présenté est vrai entre 1973 et 2000 à l'échelle de la commune de Dantiandou mais non valide quand on observe la fenêtre temporelle entre 2000 et 2010.

Autrement dit, à l'échelle locale (et globale *cf.* les tendances du NDVI), si l'on encadre les sécheresses des années 1970 et 1980, l'évolution du couvert végétal dans les années postérieures aux sécheresses reste positive. Par contre lorsque l'on exclut les années de sécheresses de la fenêtre temporelle, la question du reverdissement devient problématique dans la mesure où l'on observe plutôt l'inverse. D'où l'intérêt d'articuler les échelles temporelles, spatiales (locale, régionale) et les méthodes de cartographie (indice NDVI, occupation du sol…) afin d'appréhender la complexité des phénomènes étudiés.

Pour une relecture de l'organisation des paysages végétaux sahéliens en relation avec le gradient climatique

L'analyse à l'échelle micro-régionale (*e.g.* : Dantiandou), révèle la croissante importance des dynamiques socio-environnementales pour mieux comprendre et expliquer les paysages végétaux sahéliens. L'approche par zonation bioclimatique (sahélien, soudanien, guinéen) a été facilitée par une coïncidence supposée au niveau spatial entre les paysages décrits et les classes pluviométriques correspondantes (Alexandre 2008). Une telle organisation des paysages végétaux n'a pas vraiment été depuis lors remise en question bien qu'elle ne corresponde qu'à une certaine conception de la « réalité » élaborée au début du siècle dernier, alors que le contexte biophysique n'est pas resté figé. En effet, les dynamiques socio-environnementales à l'échelle micro-régionale, ont beaucoup fait évoluer les choses depuis le milieu du XXe siècle et leur empreinte dans l'espace montre que la situation qui prévaut aujourd'hui n'est plus comparable à celle qui existait lors de ce découpage. Car le paysage est avant tout ici le résultat de l'expression actuelle des usages que les populations développent sur les écosystèmes qui leur fournissent une partie des ressources dont elles ont besoin (Fall 2014). Les travaux récents sur la question se sont développés à partir d'approches fondées sur la modélisation de l'activité photosynthétique de la végétation en mesurant le NDVI avant de la corréler avec les données climatiques pour finalement dresser des cartes bioclimatiques à l'échelle régionale ou continentale (Bai *et al*. 2008 ; Kaptue *et al*. 2010) (fig.6). Là aussi, demeure une incertitude dans la mesure où la question des pratiques anthropiques n'est pas toujours prise en compte alors que ses incidences sur l'organisation de la couverture végétale sont importantes. Aujourd'hui, l'intérêt scientifique d'une telle réflexion sur un découpage trop rigide dont la perfection n'apparaît que sur les cartes de végétation (Alexandre 2008) est lié à l'action de ces dynamiques socio-environnementales et spatiales qui se mettent en place dans des régions marquées par des changements à caractères multiples. Ainsi, si à l'échelle macrorégionale, les paysages végétaux (très faiblement anthropisés) semblent suivre de façon homogène le gradient de la pluviosité, à l'échelle des sites (micro-régionale), la réalité est tout autre.

Fluctuation du climat et organisation de la végétation, du préjugé à l'hypothèse et de l'hypothèse au choix de la méthode de cartographie

Cet exercice de mise en relation des paysages végétaux avec le gradient climatique se répercute lorsque l'on étudie les conséquences des fluctuations du climat sur l'organisation spatiale du couvert végétal, surtout quand cette fluctuation du climat n'est pas le seul facteur de changement. En Côte d'Ivoire comme ailleurs en Afrique Subsaharienne, les fluctuations de la pluviosité se sont ajoutées à différentes tendances des modifications de la végétation par les sociétés (Brou *et al*. 2005). La période sèche, en Côte d'Ivoire, s'est manifestée comme une diminution des précipitations mais aussi, au sud, par un raccourcissement de la « petite saison sèche ». Le retour aux conditions normales a donc permis le renforcement de celle-ci (Andrieu 2017). Ces mêmes décennies ont été l'objet, dans le centre de la Côte d'Ivoire, de grands défrichements par les fronts pionniers de la culture du cacao qui ont mis à mal le patrimoine forestier national à

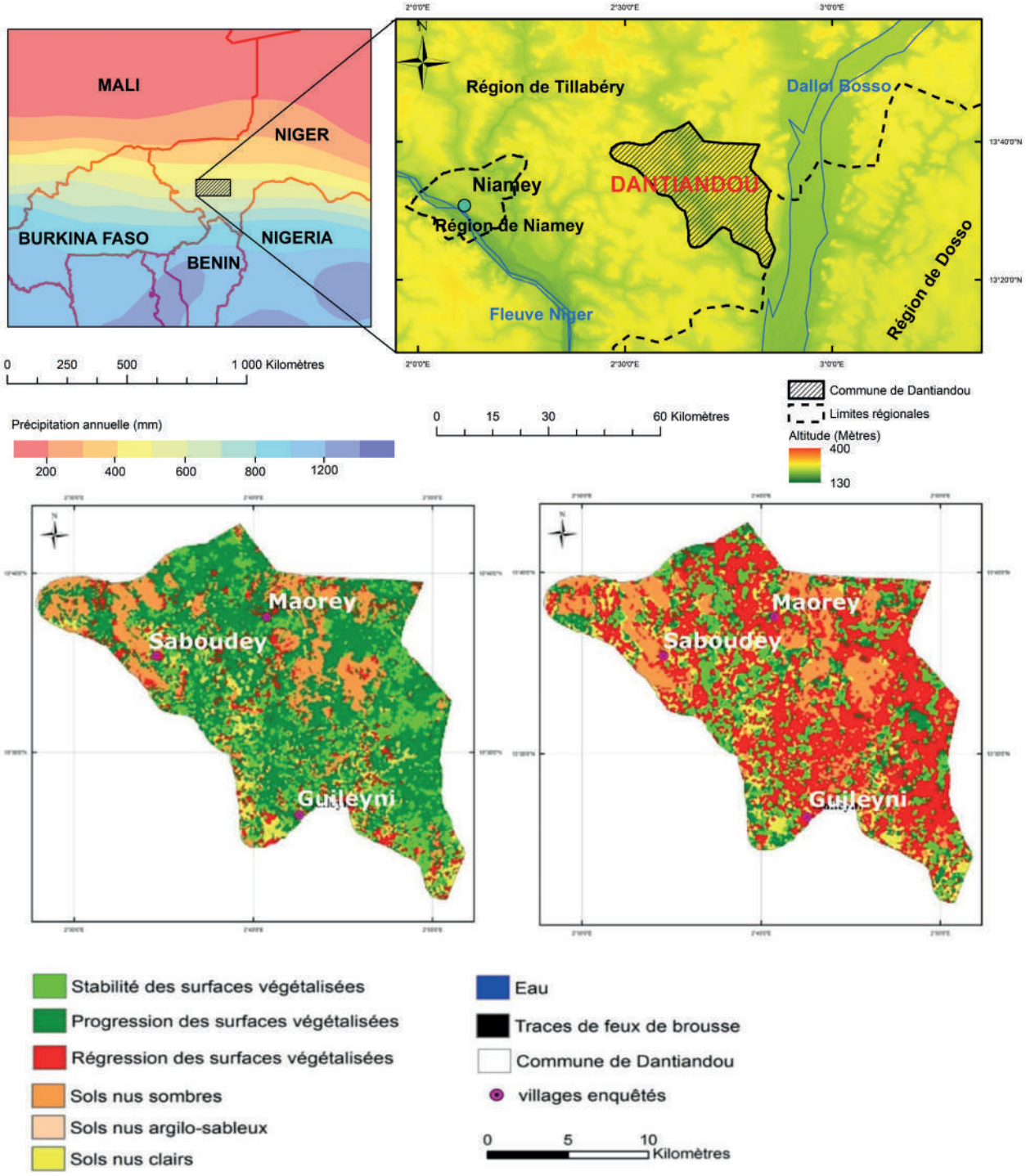

Figure 5 : Etude diachronique des changements de la couverture du sol par la végétation à Dantiandou (sud-ouest du Niger) entre 1973-2000 (carte 1 à gauche) et 2000-2010 (carte 2 à droite) (Source : Marega 2016).

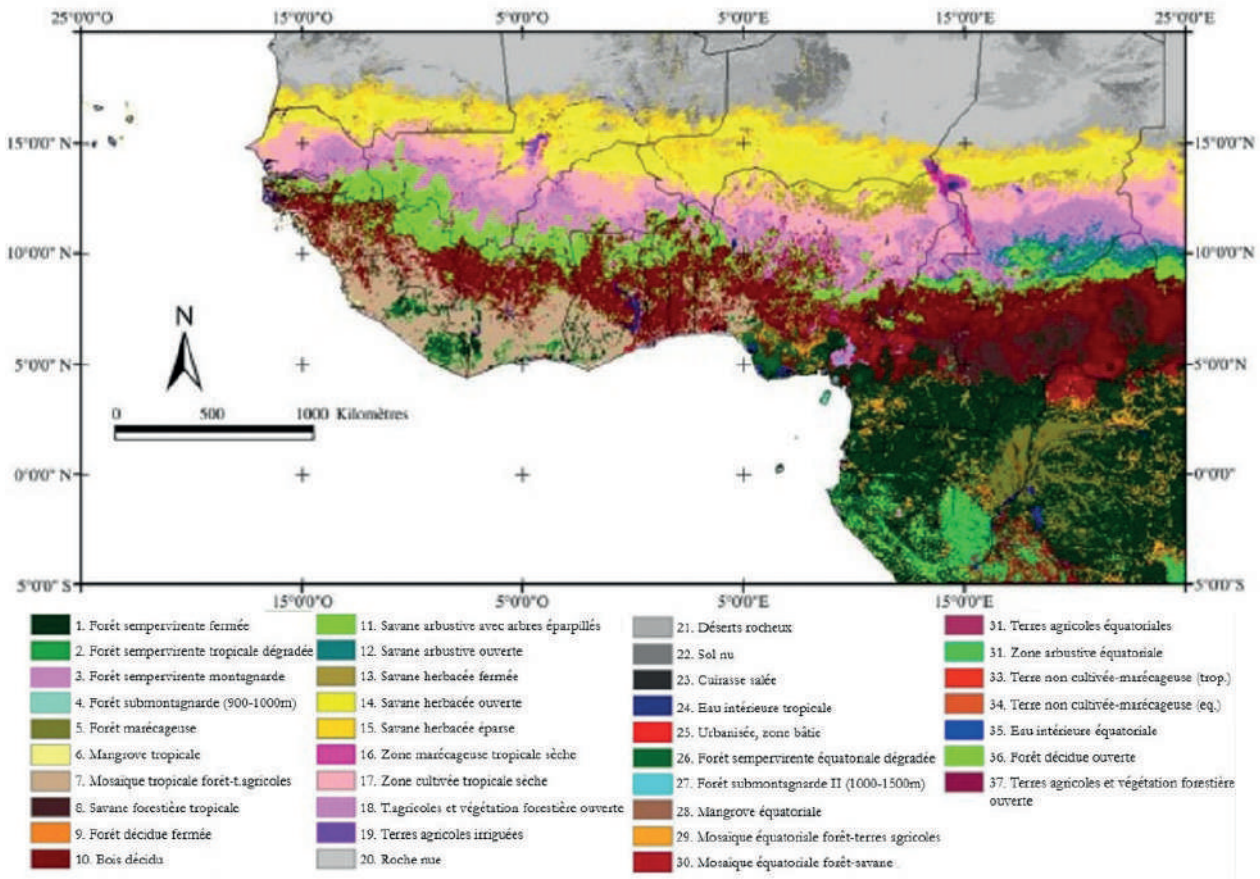

Figure 6 : La carte d'occupation du sol (à 1 km) de l'Afrique de l'Ouest ECOCLIMAP-II qui se compose de 37 écosystèmes (modifié de Kaptue et al. *2010).*

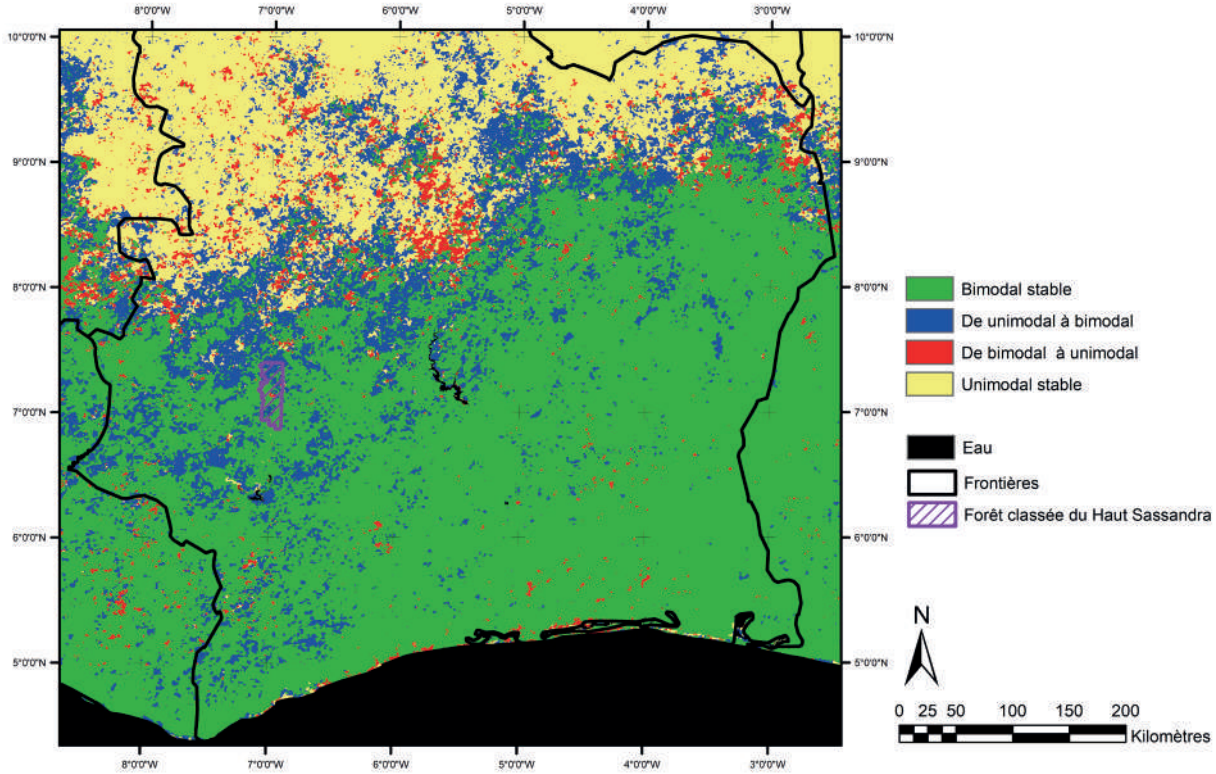

Figure 7 : Carte de la cinématique entre les rythmes unimodal et bimodal de l'activité synthétique entre 2003-2008 et 2008-2014 en Côte d'Ivoire (Andrieu 2016).

l'exception de quelques aires protégées. Or, la guerre civile (2000-2011) a été un événement perturbateur dans la conservation des aires protégées (Barima *et al*. 2016). Pour faire un bilan des conséquences des onze années de conflits armés en Côte d'Ivoire en termes de conservation des forêts, ont été mis en place, dans le cadre du programme D2PCPCI, des travaux de télédétection variés répondant à diverses hypothèses. Or, une hypothèse n'est rien d'autre que la formulation prudente d'un présupposé, parfois d'un préjugé. Tester cette hypothèse revient donc à confronter ce présupposé à la réalité. Le géographe tend à rapidement considérer qu'une carte issue de traitements quantitatifs reconnus et réalisés à partir de données validées constitue *de facto* une validation – devrait-on dire ici une *validation valable*. Or, les liens qui existent entre les hypothèses et les méthodes de calcul puis de cartographie ne font pas toujours l'objet d'un examen critique et portent parfois à des interprétations liées au choix de la technique.

Dans ce cas d'étude, en Côte d'Ivoire, deux hypothèses étaient à tester :

- Les forêts ont régressé à la suite de processus de défrichements agricoles illicites favorisés par les conflits

- Les forêts ont régressé à la suite de processus de surexploitation diffuse de la ressource végétale dans un processus de dégradation de la forêt en savane.

Pour tester la deuxième hypothèse, une première méthode a été pressentie : il s'agissait de cartographier la répartition des forêts et des savanes grâce aux rythmes phénologiques perçus par analyse de séries temporelles de NDVI. Plus exactement, il s'agissait de cartographier la dichotomie entre les végétations à rythme végétatif bimodal en réponse à un régime de pluies bimodal (donc guinéen, donc forestier) et les végétations à rythme végétatif unimodal en réponse à un régime de pluies unimodal (donc soudanien, donc de savane). Ce, sur deux périodes, pour cartographier la cinématique de cette structure spatiale bioclimatique. La figure 7 montre que durant les dernières décennies, en liaison avec le reverdissement du Sahel, la limite nord des végétations à rythme végétatif bimodal a migré vers le nord. Cela infirmait totalement l'hypothèse ; non seulement, il n'y avait pas de « savanisation » mais au contraire une « reforestation » (Andrieu 2017).

En revanche, si une méthode de calcul des tendances (Corrélation de Mann-Kendall) est choisie, des taches de tendance à la diminution du NDVI apparaissent dans une matrice de progression (figure 8). Ces taches correspondent aux aires protégées qui ont fait office de fronts pionniers agricoles durant la période de conflits armés. (Barima *et al*. 2016).

Ces deux résultats sont justes, la Côte d'Ivoire a bien connu un renforcement phénologique du caractère bimodal et une déforestation de certaines aires protégées. L'apparent paradoxe mis en évidence par les résultats des métriques phénologiques et des corrélations de Kendall est ici révélateur du rôle primordial des choix méthodologiques dans l'analyse spatiale des changements de la végétation terrestre (Andrieu 2018).

Conclusion

Les exemples étudiés ne donnent qu'un bref aperçu des difficultés d'interpréter ces cartes et de l'importance de faire des choix appropriés. Ces cartes cachent des réalités multidimensionnelles complexes qui peuvent entraîner la construction de récits partiels voire biaisés. La simplification consciente ou inconsciente liée au choix de la méthode peut ainsi donner lieu à des répercussions sur la manière dont on perçoit les populations locales. En effet, sur la base d'observations fondées sur les cartes, les populations locales au sud du Sahara sont souvent accusées de dégrader les milieux naturels et les ressources. Si l'augmentation de la pression anthropique peut avoir un impact sur les tendances observées au niveau des ressources végétales, les processus de dégradation observés par les scientifiques, les acteurs institutionnels, les ONG sont parfois moins évidents (Taibi 2015). La complexité de ces phénomènes nous invite ainsi à réinterroger les cartes de manière à tenir compte de l'ensemble de facteurs (biophysiques et anthropiques) à l'œuvre.

L'impact des représentations cartographiques sur l'imaginaire scientifique est évident, même s'il reste difficile à quantifier. Compte tenu de l'importance de son influence sur la construction de perceptions, la cartographie de l'environnement en Afrique subsaharienne devrait faire l'objet d'une réflexion profonde, qui, à notre connaissance, n'a pas encore été faite. Cette analyse critique permettra de mieux appréhender la complexité de l'environnement sub-saharien. C'est un travail indispensable aujourd'hui pour mieux orienter de façon adaptée les politiques de développement prenant appui sur les ressources naturelles et leurs usages par les populations sub-sahariennes.

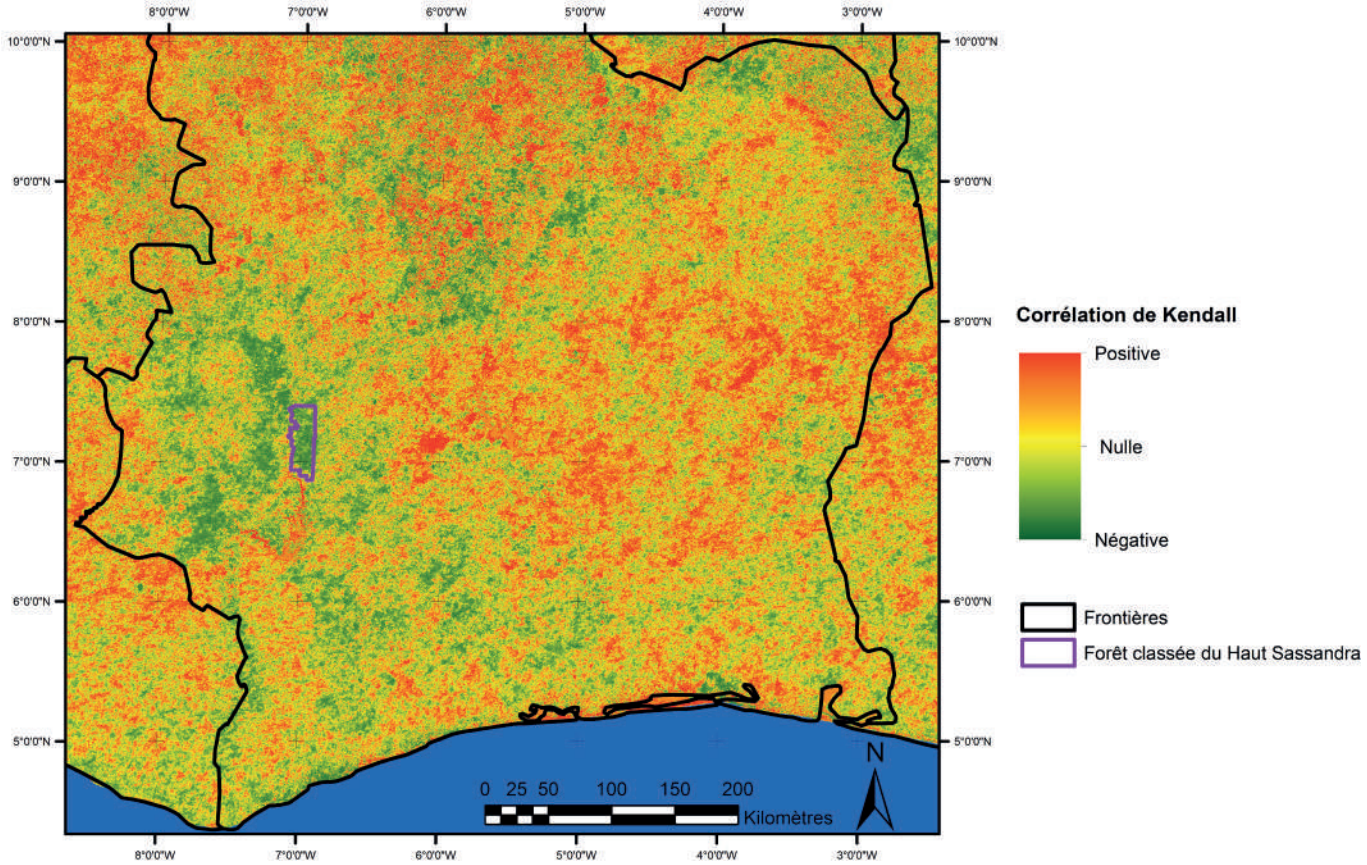

Figure 8 : Corrélation de Kendall moyenne de la saison des pluies sur la série MODIS 2002-2014 (Andrieu 2016).

Bibliographie

Alexandre F., 2008, Géographie et Écologie végétale Pour une nouvelle convergence, Thèse d'Habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Diderot Paris 7.

Andrieu J., 2008, Dynamique des paysages dans les régions septentrionales des Rivières-du-Sud (Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau), Thèse de doctorat, Géographie, Université Paris-Diderot Paris 7.

Andrieu J., 2017, « Phenological analysis of the savanna-forest transition from 1981 to 2006 form Côte d'Ivoire to Benin with ndvi noaa time series », *European Journal of Remote Sensing,* https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2017.1377051:

Andrieu J., 2018, « Analyse de la cinématique de la végétation en Côte d'Ivoire pendant les conflits, à travers une métrique phénologique et la corrélation de Kendall de deux séries temporelles de NDVI », *Tropicultura.* http://www.tropicultura.org/text/v36n2/258.pdf

Anyamba A., Tucker C.J., 2005, « Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003 », *Journal of Arid Environments*, 63, p.596-614.

Anyamba A., Small J.L., Tucker C.J., Pak E.W., 2014, « Thirty two years of sahelian zone growing season non-stationary NDVI3g Patterns and Trends », *Remote Sensing*, 6, p.3101-3122.

Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E., 2008, « Review article. Proxy global assessment of land degradation », *Soil use and Management*, 24, p.223-234.

Barima Y.S.S., Kouakou A.T.M., Bamba I., *et al.*, 2016, « Cocoa crops are destroying the forest reserves of the Classified Forest of Haut-Sassandra (Ivory Coast) », *Global Ecology and Conservation*, Vol. 8, p. 85-98.

Brou Y.T., Akindè F., Bigot S., 2005, « La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles », *Cahiers Agricultures*, Vol. 14, n. 6, p. 533-540

Dardel C., Kergoat L., Hiernaux P., *et al.*., 2014, « Re-greening Sahel : 30 years of remote sensing data and field observations (Mali, Niger) », *Remote Sensing of Environment*, 140, p. 350-364.

Eklundh L., Olsson L., 2003, « Vegetation index trends for the African Sahel 1982-1999 », *Geophysical Research Letters*, 30(8), p.1430-1433.

Fall A., 2014, Le Ferlo sénégalais : approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens, Thèse de l'Université Paris-Sorbonne (Paris XIII).

Fall Y.K., 1982, *L'Afrique à la naissance de la cartographie moderne. Les cartes majorquines : XIVe-XVe siècles,* Paris, Khartala, Centre de recherches africaines.

Fensholt R., Rasmussen K., 2011, « Analysis of trends in the Sahelian "rain-use efficiency" using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data », *Remote Sensing of Environment*, 115, p.438-451.

Hellden U., Tottrup C., 2008, « Regional desertification : a global synthesis », *Global and planetary change*, Vol. 64, Issues 3-4, p.169-176.

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, p.394-404.

Kaptue Tchuente A.T., Roujean J.L., Faroux S., 2010, « ECOCLIMAP-II: An ecosystem classification and land surface parameters database of Western Africa at 1 km resolution for the African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) project », *Remote Sensing of Environment*, 114, p.961–976.

Karlson M., Ostwald M., 2016, « Remote sensing of vegetation on the Sudano-Shalien zone : A literature review from 1975 to 2014 », *International Journal of Arid Environments*, 124, p.257-269.

Kerr R.A, 1998, « The Sahara is not marching southwards », *Science*, 281, 5377, p.633-634.

Lamprey H.F., 1975, « Report on the desert encroachment reconnaissance in northern Sudan. 21 Oct. to 10 Nov. », UNESCO/UNEP, Paris/Nairobi, republié dans *Desertification Control Bulletin*, 17, p.1-7.

Marega O., 2016, Changements socio-environnementaux et évolution des pratiques agropastorales en Afrique sahélienne : étude comparée entre le Ferlo (Sénégal), le Gourma (Mali) et le Fakara (Niger), Thèse de doctorat, Université Paris Diderot-Paris 7.

Mazzucato V., Niemeijer D., 2002, « Soil Degradation in the West African Sahel : How Serious is it ? », *Environment,* 44(2), p.20-31.

Mortimore M., 1998, *Roots in the African dust*, Cambridge, Cambridge University Press.

Nicholson S.E., Tucker C.J., Ba M.B., 1998, « Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the West African Sahel », *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, p.815–829.

Olsson L., Eklundh L., Ardo J., 2005, « A recent greening of the Sahel – Trends, patterns and potential causes », *Journal of Arid Environments*, 63, p.556-566.

Ozer P., Hountondji Y.C., Niang A.J., *et al.* 2010, « Désertification au Sahel: Historique et perspectives », *BSGLg*, 54, p.69-84.

Prince S.D., Brown De Colstoun E., Kravitz L.L., 1998, « Evidence from rain use efficiencies does not indicate extensive sahelian desertification », *Global Change Biology*, 4, p.359-374.

Rasmussen K., Fog B., Madsen J.E., 2001, « Desertification in reverse ? Observations from northern Burkina Faso », *Global environmental change*, 11, p.271-282.

Taibi A. N., 2015, Désertification et dégradation. Ré-interrogation des concepts à la lumière d'exemples africains. HDR, Université d'Angers.

Thomas D.S.G., Middleton N.J., 1994, *Desertification: exploding the myth*, Chicester, John Wiley & Sons, 194 pages.

Tucker C. J., Dregne H.E., Newcomb W.W., 1991, « Expansion and contraction of the Sahara Desert between 1980 and 1990 », *Science,* 253, p.299-301.

UNCOD (United Nations Conference On Desertification), 1977, *Desertification : Its Causes and Consequences*, , Oxford, Pergamon Press.

Veron S.R., Paruelo J.M., Oesterheld M., 2006, « Assesing desertification », *Journal of Arid Environements*, 66, p. 751-763.

Zakaria O, 2017, « « Mesurer » l'Afrique, ou la bataille posthume entre Peters et Mercator », *La tribune Afrique*. https://afrique.latribune.fr/think-tank/editos/2017-01-06/-mesurer-l-afrique-ou-la-bataille-posthume-entre-peters-et-mercator.html.