

Physio-Géo

Géographie physique et environnement

Volume 15 | 2020

Varia 2020

Dynamique spatio-temporelle des paysages forestiers dans le Sud du Sénégal : cas du département de Vélingara

Spatio-temporal dynamics of forest landscapes in South Senegal: case of Velingara department

Boubacar Solly, El Hadji Balla Dieye, Issa Mballo, Oumar Sy, Tidiane Sane et Mamadou Thior



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/10058>

ISBN : 978-2-8218-0427-2

ISSN : 1958-573X

Éditeur

Claude Martin

Édition imprimée

Pagination : 41-67

Référence électronique

Boubacar Solly, El Hadji Balla Dieye, Issa Mballo, Oumar Sy, Tidiane Sane et Mamadou Thior, « Dynamique spatio-temporelle des paysages forestiers dans le Sud du Sénégal : cas du département de Vélingara », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 15 | 2020, mis en ligne le 02 janvier 2020, consulté le 02 janvier 2020. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/10058>



Les contenus de *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES PAYSAGES FORESTIERS DANS LE SUD DU SÉNÉGAL : CAS DU DÉPARTEMENT DE VÉLINGARA

Boubacar SOLLY, El Hadji Balla DIEYE, Issa MBALLO, Oumar SY, Tidiane SANE et Mamadou THIOR⁽¹⁾

(1) : Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Département de Géographie, UFR Sciences et Technologies, Université Assane Seck de Ziguinchor, BP 523, SÉNÉGAL.
Courriels : b.solly1087@zig.univ.sn ; edieye@univ-zig.sn ; i.mballo841@zig.univ.sn ; syoumarsy@gmail.com ; tsane@univ-zig.sn ; m.thior3145@zig.univ.sn

RÉSUMÉ : Les paysages forestiers du Sud du Sénégal, particulièrement dans le département de Vélingara, font de plus en plus l'objet de déforestation. Il en résulte une forte tendance à leur "savanisation", d'où la préoccupation majeure des autorités sénégalaises à prendre le problème en charge. Devant une telle situation, l'étude de la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal devient pertinente pour une gestion durable des ressources forestières. C'est l'objet de cette étude qui vise à analyser l'évolution des paysages forestiers du département de Vélingara et les facteurs de leur dynamique. La méthodologie adoptée s'appuie sur l'exploitation d'images du satellite Landsat acquises en 1987, 2003 et 2018, et sur des travaux de terrain. Les résultats indiquent une "savanisation" liée à une importante déforestation et à la progression des surfaces agricoles au nord et au centre du département. Cette évolution est d'autant plus accentuée d'est en ouest. Entre 1987 et 2003, la forêt a perdu 93 642 ha de sa superficie (soit 17 %), contre une progression de la savane (+59 717 ha) et des zones de culture (+26 380 ha) associées aux zones d'habitat et aux sols nus. La période 2003-2018 est marquée par la régression de la forêt et de la savane; respectivement de 34 149 et de 6 108 ha, au profit d'une augmentation importante des surfaces agricoles (+35 055 ha) et des zones d'habitat (+10 466 ha). Cette dynamique résulte de la combinaison de plusieurs facteurs : défrichements pour les besoins agricoles, feux de brousse, augmentation de la population, coupes non contrôlées de bois, évolution des conditions pluviométriques, entre autres.

MOTS-CLÉS : paysages forestiers, déforestation, savanisation, images satellitaires, Vélingara, Sénégal.

ABSTRACT : Spatio-temporal dynamics of forest landscapes in South Senegal: case of Velingara department

Forest landscapes located of southern Senegal, particularly in the department of Velingara, are increasingly subject to deforestation. As a result, there is a strong tendency to "savanise" them, hence the Senegalese authorities' major concern to take the problem in charge. In such a situation, the study of the spatio-temporal dynamics of the vegetation cover becomes relevant for a sustainable management of the forest resources. This is the purpose of this study which aims to analyze the evolution of the forest landscapes of the department of Velingara and the factors of their dynamics. The methodology adopted is based on the exploitation of Landsat satellite imagery acquired in 1987, 2003 and 2018, and on field work. The results indicate a "savanization" linked to a significant deforestation and a growth of agricultural areas in the north and center of the department. This evolution is all the more marked according to an east-west gradient. Between 1987 and 2003, the forest lost 93 642 ha of its area (17 %), against a progression of the savannah (+59 717 ha) and cultivation areas (+26 380 ha) associated with the zones of habitat and bare grounds. The period 2003-2018 is marked by the regression of the forest and the savannah; 34 149 and 6 108 ha respectively, to the benefit of a significant increase in agricultural area (+35 055 ha) and the habitats (+10 466 ha). This dynamic results from the combination of several factors: clearing for agricultural needs, bush fires, population increase, uncontrolled logging, changes in rainfall conditions, among others.

KEY-WORDS : forest landscapes, deforestation, savanisation, satellite images, Vélingara, Senegal.

I - INTRODUCTION

La problématique de la gestion des ressources forestières occupe une place centrale dans les débats sur l'environnement dans le monde. En effet, face à l'urgence de protéger et de restaurer les forêts, environ 80 pays, dont la Fédération de Russie, les États-Unis, la Chine et l'Inde, qui ont des couverts forestiers parmi les plus étendus au monde, sont arrivés à inverser le rythme de déforestation entre 2005 et 2010 (FAO, 2012). En Afrique, seuls trois pays, la Tunisie, le Maroc et le Rwanda, ont enregistré une forte augmentation de leur couvert forestier durant cette période. Le Sénégal, en revanche, continue de connaître un recul des forêts : 200 000 ha perdus entre 2005 et 2010 ; 1 075 000 ha entre 1990 et 2015, soit une diminution de 11,49 % (FAO, 2015). Dans le même temps, la Gambie, a enregistré une timide augmentation, les superficies forestières de ce pays passant de 442 000 ha en 1990 à 488 000 ha (FAO, 2015).

Dans le Sud du Sénégal, précisément dans la région de Kolda, qui dispose de grandes formations forestières, l'expansion de l'agriculture – souvent accompagnée d'une forte demande en bois, du développement du pâturage et de la multiplication des feux de brousse – constitue, avec la péjoration des conditions climatiques, l'un des facteurs majeurs de la régression du couvert forestier (A. N'GAIDE, 1997 ; T. SANE, 2003 ; G.G. TAPPAN *et al.*, 2004 ; CSE, 2015 ; B. SOLLY *et al.*, 2018-b). Cette évolution se traduit par une déforestation et une "savanisation", autrement dit l'extension de la savane au détriment de la forêt (A. STANCIOFF *et al.*, 1986 ; C. MBOW, 2000 ; B. SAMBOU, 2004).

Or la forêt est un capital naturel et un patrimoine commun (Photo 1) à léguer aux générations futures. Les forêts et les zones boisées fournissent le bois de chauffe et de service. Le Sénégal consomme en moyenne 4 millions de m³ de bois d'énergie par an (O. HAMEL *et al.*, 2011). Elles offrent des plantes médicinales, régulent le climat, captent le carbone, protègent le sol (P.L. GIFFARD, 1974 ; PNUE, 2002 ; A. KARSENTY et R. PIRARD, 2007) et sont un lieu d'habitat et de reproduction pour la faune sauvage.



Photo 1 - La forêt comme patrimoine naturel. [clichés : Boubacar SOLLY, 2018]

Toute altération de ce capital entraîne des impacts néfastes, tant du point de vue

environnemental que socioéconomique, comme en République Démocratique du Congo où la pression démographique s'est traduite par une déstabilisation et un dysfonctionnement des écosystèmes forestiers, qui ont été dégradés, fragmentés et largement déforestés (I. BAMBA, 2010). Au Sénégal, dans le département de Médina Yoro Foulah, la déforestation a entraîné la diminution de la fertilité des terres et de la productivité des sols, la rétraction des zones de pâturage, la raréfaction des fruits sauvages et de certaines espèces de la flore (*Pterocarpus erinaceus*, *Cordyla pinnata*, *Bombax costatum*, *Khaya senegalensis* et *Oxythenanthera abyssinica*) et la disparition de certaines espèces de la faune (lion, panthère, hyène, gazelle et chacal) (B. SOLLY *et al.*, 2018-a). Devant de tels constats, l'étude de la dynamique spatio-temporelle du couvert forestier apparaît nécessaire en vue de définir des alternatives en termes de gestion durable.

La présente étude analyse l'évolution des paysages forestiers du département de Vélingara et les facteurs responsables de leur dynamique. La télédétection est, à cet égard, un moyen efficace d'identification, de caractérisation et de suivi des changements paysagers. Elle permet de couvrir une zone donnée en peu de temps, de réduire les coûts, de décrire visuellement une situation donnée et son évolution dans le temps, mais aussi d'évaluer rétrospectivement les changements (M. PAIN-ORCET *et al.*, 1998 ; FAO, 2012). Elle constitue un puissant outil de suivi de la dynamique des paysages forestiers (V. DJOUFACK-MANETSA, 2011 ; M. BOULOGNE, 2016).

II - PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le département de Vélingara est situé dans le Sud du Sénégal, dans la région de Kolda (Fig. 1). Il est contigu à trois pays : la République de Gambie, au nord, la Guinée Bissau et la Guinée Conakry, au sud. La zone d'étude couvre une superficie de 5497 km², soit 40 % de la région, et compte cinq forêts classées (Anambé, Kayanga, Kantora, Koulountou et Mampaye), d'une superficie totale de 104 583 ha, et trois forêts aménagées (Thiewal, Bonconto et Mballoconda), qui couvrent 76407 ha (SREF Kolda, 2014). Les forêts classées relèvent de la protection et de la gestion du service des Eaux et Forêts. Les forêts aménagées font l'objet d'une exploitation, depuis 2005 pour la forêt de Thiewal, 2007 pour Bonconto et 2014 pour Mballoconda. Dans le cadre du Programme de Gestion Participative des Énergies Traditionnelles et de Substitution (PROGEDE), la production de bois d'énergie y est organisée suivant une division de la forêt en blocs et une rotation de 8 ans entre les blocs. Les activités sont menées en collaboration avec les services techniques régionaux de l'État (notamment l'Inspection Régionale des Eaux et Forêts et la Direction Régionale de Développement Rural) et les collectivités locales concernées, qui ont permis leur aménagement. Le PROGEDE est entré en vigueur au Sénégal en décembre 1997 grâce à un cofinancement de la Banque Mondiale, du Royaume des Pays-Bas, du Fonds pour l'Environnement Mondial et du Gouvernement du Sénégal (PROGEDE, 2009).

La topographie est plane, dans l'ensemble. Les formations cuirassées du Continental Terminal arment de vastes plateaux dont les points les plus hauts dépassent rarement 70 m (R. FAUCK *et al.*, 1963). Le substratum est constitué, pour l'essentiel, de dépôts sableux en lien avec la transgression marine du Miocène (J. ROGER *et al.*, 2009). Le Paléozoïque est représenté par le complexe effusif acide (rhyolites et microgranites) du Niokolo Koba (RAPPORT GERCA, 1962, *in* T. SANE, 2003).

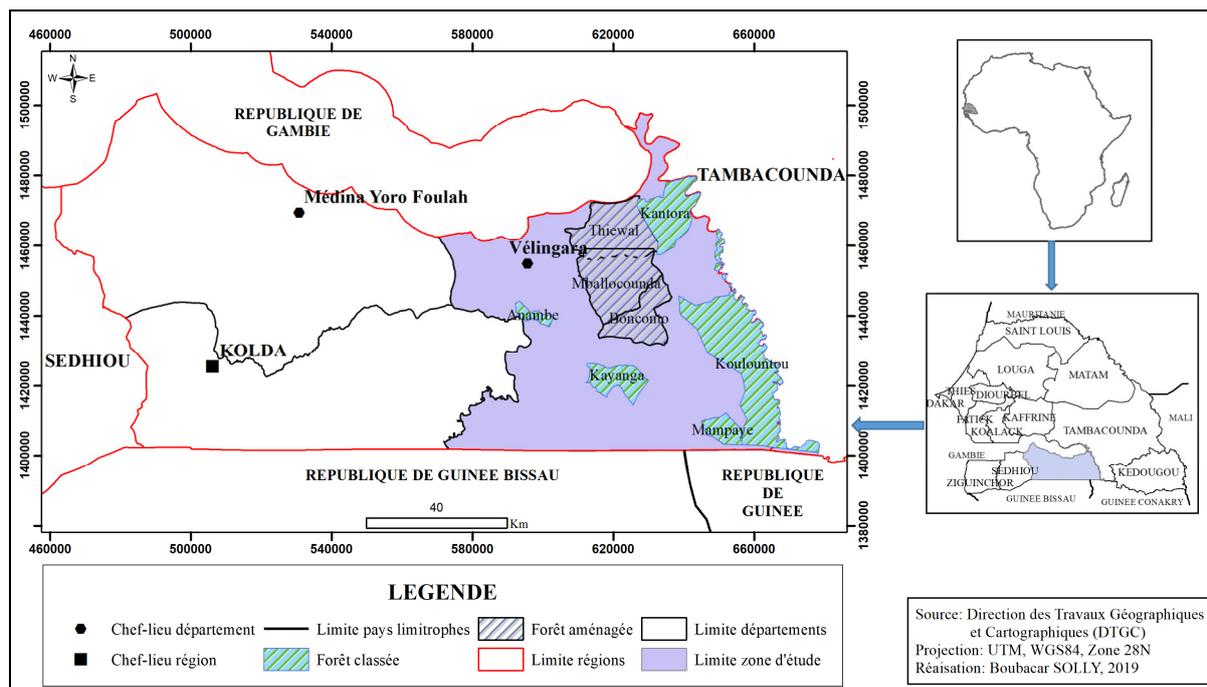


Figure 1 - Localisation de la zone d'étude.

Les sols (R. MAIGNIEN, 1965) se répartissent de la manière suivante :

- Des sols peu évolués, habituellement associés aux cuirasses, en particulier près de Médina Gounasse.
- Des sols ferrugineux tropicaux lessivés sur les plateaux et leurs bordures au sud et au sud-ouest de Vélingara et sur le pourtour du bassin de l'Anambé.
- Des sols minéraux bruts en bordure des plateaux de Bonkonto et de Kounkandé.
- Des sols ferrallitiques et faiblement ferrallitiques sur les terrasses et glacis en bordure de la Koulountou et de la Gambie, en contrebas des zones cuirassées.
- Des sols hydromorphes sur les replats exondés en bordure des rivières et à proximité des marigots le long de la Gambie, de la Koulountou, de la Kayanga et de l'Anambé.
- Des vertisols au centre du bassin de l'Anambé.

La zone d'étude est soumise à l'influence de l'anticyclone des Açores, de l'anticyclone de Sainte-Hélène et de l'anticyclone Saharo-Libyén. La circulation en surface est dominée par trois flux : l'alizé continental de décembre à janvier, l'alizé maritime continentalisé de février à avril et la mousson de mai à novembre.

Le climat relève du domaine sud-soudanien continental caractérisé par des précipitations annuelles entre 500 et 1500 mm (P. SAGNA, 2005). Au nord-est, une petite portion moins arrosée appartient au domaine nord-soudanien continental (précipitations annuelles entre 500 et 1000 mm).

Les précipitations annuelles enregistrées à Vélingara de 1987 à 2018 sont comprises entre 600 et 1300 mm (Fig. 2). La période 1987-1997 a été sèche. Sur ces onze ans, les pluies n'ont dépassé que quatre fois (en 1987, 1992, 1994 et 1996) la valeur moyenne de la série (870 mm). Ensuite se sont succédées des années humides ou moins humides, voire sèches (2001, 2002 et 2006). Durant cette période 1998-2018, 10 années sur 20 ont connu des précipitations supérieures à la moyenne, dont six des pluies supérieures à 1000 mm.

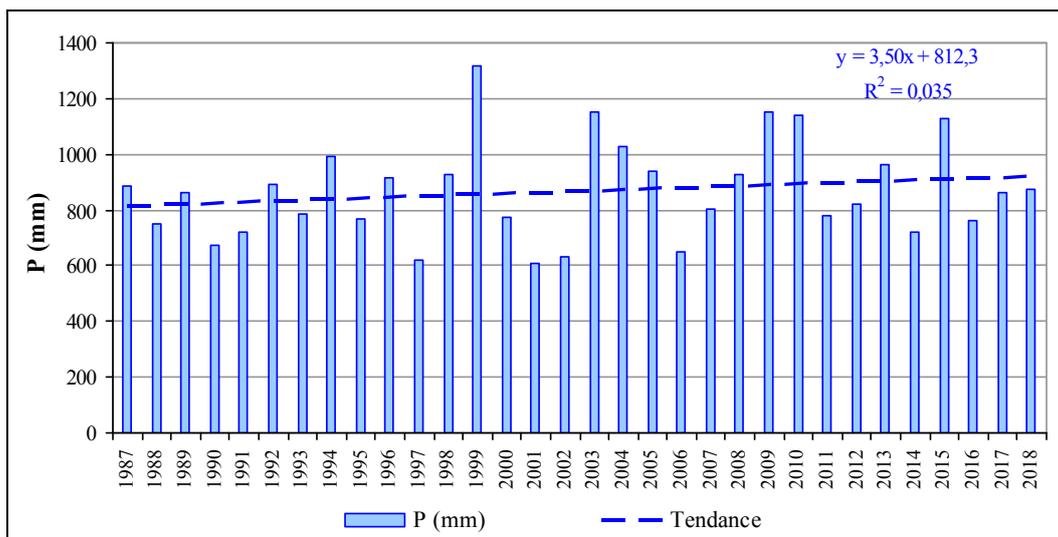


Figure 2 - Évolution des précipitations annuelles entre 1987 et 2018 à la station de Vélingara (source : ANACIM).

Les alizés déterminent une longue saison sèche, tandis que la saison humide correspond à la mousson. Les pluies les plus abondantes se produisent de juin à octobre (Fig. 3).

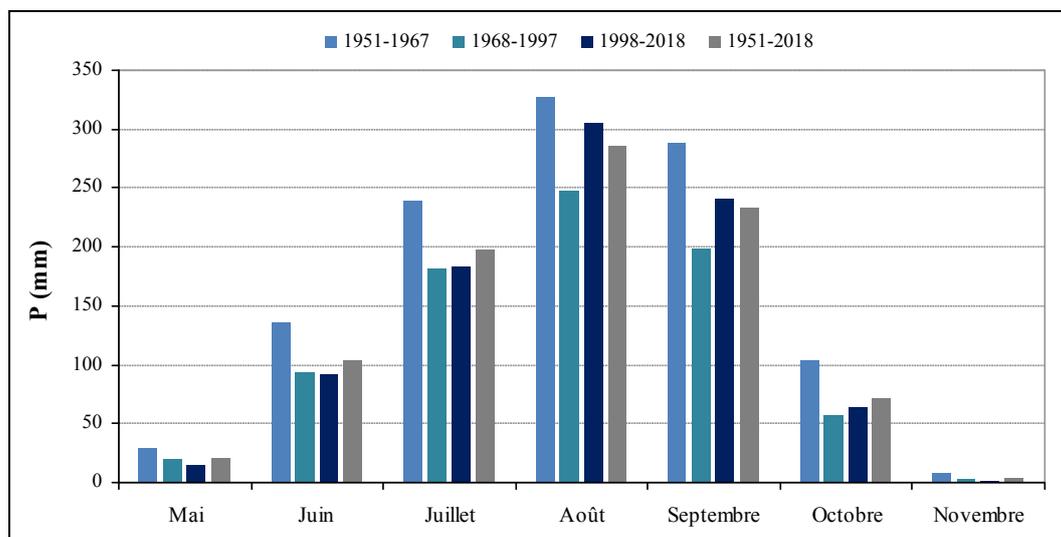


Figure 3 - Précipitations moyennes à Vélingara, sur la période 1951-2018 et trois sous-périodes, pour les mois où les valeurs dépassent 1,5 mm.

Les températures obéissent à la dynamique de la circulation générale atmosphérique. Elles ont une évolution annuelle bimodale (T. SANE, 2003 ; P. SAGNA, 2005). Le maximum principal se situe en mai (température moyenne autour de 31,4 °C) et le maximum secondaire en octobre (autour de 27,8 °C). Le minimum principal correspond à l'hiver de l'hémisphère Nord (vers janvier – autour de 24,1 °C) tandis que le minimum secondaire se manifeste au cœur de l'hivernage (mois d'août – autour de 27,1 °C). De manière générale, les températures restent toujours élevées dans cette partie du pays (V.B. TRAORE *et al.*, 2018).

Sur la période 1987-2018, les températures moyennes annuelles à Vélingara ont varié de 27,4 °C à 29,5 °C (Fig. 4). Les années les plus chaudes ont été 2001 (29,3 °C), 2010 (29,5 °C) et 2016 (29,4 °C) ; les moins chaudes, 1988 (27,4 °C), 1999 (27,5 °C) et 2004 (27,6 °C).

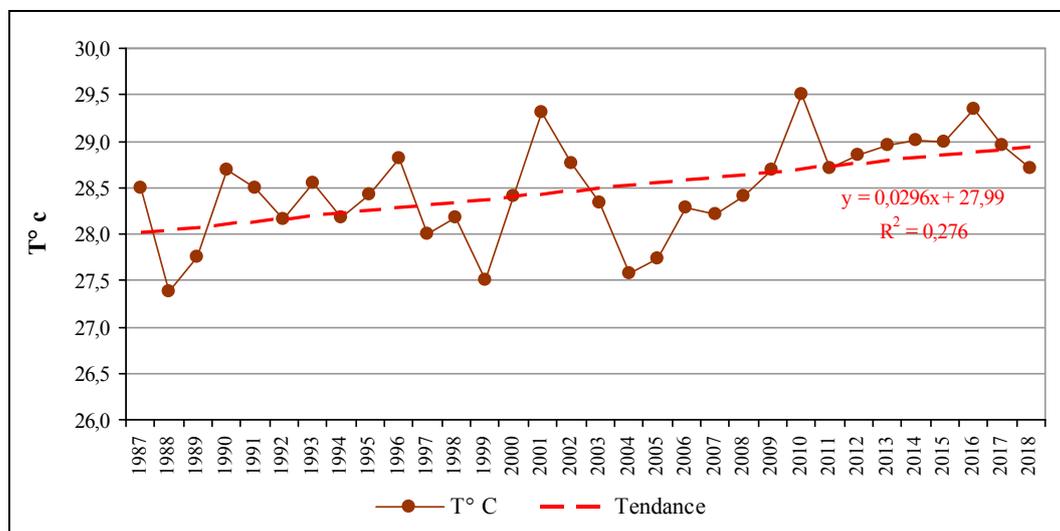


Figure 4 - Évolution de la température moyenne annuelle entre 1987 et 2018 à la station de Vélingara (source : ANACIM).

Sur le plan de la végétation, le climat se traduit par des formations à affinité guinéenne, telles que la forêt claire, la forêt-galerie, la savane boisée et la savane arborée à arbustive (A. STANCIOFF *et al.*, 1986). À la fin des années 1990 et au début des années 2000, les savanes occupaient plus de la moitié de la superficie des forêts classées situées dans la région (C. MBOW, 2000 ; T. SANE, 2003 ; B. SAMBOU, 2004). La transformation de la forêt en savane (la "savanisation") se réalise par l'intermédiaire d'une mosaïque "forêt-savane" au sein de laquelle la forêt laisse progressivement la place à la savane. Les espèces les plus abondantes selon les résultats d'une enquête menée auprès de la population (B. SOLLY, 2018) sont *Combretum glutinosum*, *Terminalia macroptera*, *Hexalobus monopetalus*, *Sterculia setigera*, *Piliostigma thonningii*, *Ficus gnaphalocarpa*, *Bombax costatum*, *Erythrophleum Africanum*, *Sarcocephalus latifolius*, *Prosopis africana*, *Adansonia digitata* et *Pericopsis laxiflora* (Fig. 5).

La population du département de Vélingara est passée de 127 111 habitants en 1988 à 198 158 habitants en 2002, puis à 278 381 habitants en 2013 (DPS, 1988 ; ANSD, 2008 ; ANSD, 2017). De même, le nombre de villages dans le département est passé de 499 en 1988 à 528 en 2013. À l'origine, les populations venaient de la République de Guinée et de la Guinée-Bissau, à la recherche de terres cultivables (P. PÉLISSIER, 1966 ; A. N'GAIDE, 1997). De la fin des années 1970 jusqu'au début des années 2000, de nombreux agriculteurs et éleveurs venant du Nord du pays se sont installés le long de la frontière avec la Gambie, à la recherche de terres agricoles et de pâturage (S. FANCHETTE, 2010). La population est donc essentiellement rurale ; ses principales activités sont l'agriculture, l'élevage et l'exploitation des produits forestiers. L'agriculture comme l'élevage sont restés de type extensif. Cependant, depuis le début des années 2000, la tendance est à une reconversion des agriculteurs dans l'exploitation des produits forestiers, notamment la production de charbon et la coupe illicite de bois pour la vente.

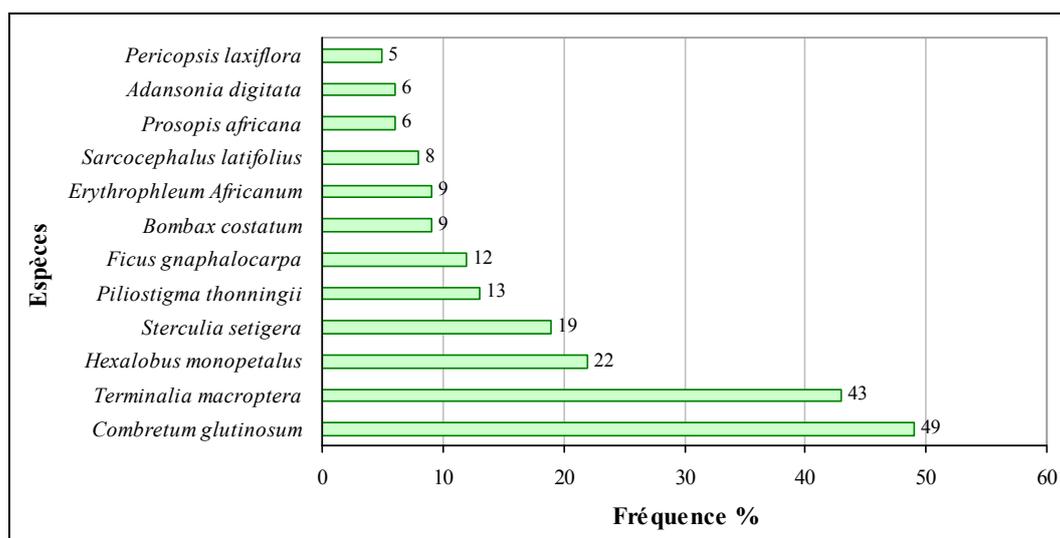


Figure 5 - Principales espèces abondantes dans le département de Vélingara selon la fréquence de citation par les populations (B. SOLLY, enquête de terrain 2018).

III - MATÉRIELS ET MÉTHODES

1) Matériels utilisés

Pour analyser l'évolution spatio-temporelle des paysages forestiers, des images multitudes du satellite Landsat sont utilisées (Tab. I). La première remonte à la fin des années 1980, la seconde au début des années 2000 et la dernière a été prise en 2018.

Tableau I - Images satellitaires Landsat utilisées.

Date d'acquisition	Satellite	Capteur	Résolution spatiale
15 Décembre 1987	Landsat 5	TM	30 m
01 Janvier 2003	Landsat 7	ETM+	30 m
18 Janvier 2018	Landsat 8	OLI_TIRS	30 m

Ces images ont l'avantage de couvrir l'ensemble de la zone d'étude dans une résolution spatiale suffisante pour cartographier l'évolution spatio-temporelle des paysages forestiers. En outre, les mois de prise de vue (saison sèche froide) permettent un bon contraste spectral entre les formations herbacées claires et celles boisées denses. Ces images du satellite Landsat sont complétées par des images Google Earth prises en 2004 et 2005 et par des images du satellite Sentinel 2B du capteur MSI acquises le 16 et le 18 décembre 2018 pour compléter la photo-interprétation.

Le traitement des données a été réalisé en utilisant notamment les logiciels suivants :

- Idrisi Selva 17.0 et Envi 5.1, pour le traitement des images satellitaires,
- Arc Gis 10.5, pour le calcul des superficies et la mise en page cartographique,

- Sphinx Plus²V5, pour le dépouillement et l'analyse des données socioéconomiques.

Lors des tournées sur le terrain, effectuées à l'aide d'un véhicule de type 4x4 du service régional des Eaux et Forêts de Kolda et d'une moto, nous avons employé un GPS de type Garmin eTrex 30x pour la prise des coordonnées géographiques.

2) Prétraitement des images et identification des classes d'occupation des sols

Le prétraitement s'est fait à partir du logiciel Idrisi Selva 17.0. Il s'articule autour de trois étapes : la correction géométrique des images, la composition colorée, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le calcul de l'Indice de Végétation Normalisée (NDVI). La correction géométrique a consisté à ramener les images à la même géométrie. Cette étape est nécessaire pour pouvoir superposer et utiliser conjointement les images prises par des capteurs différents à des dates différentes (D. DUCROT, 2005 ; J. ANDRIEU, 2008). La méthode de correction adoptée est le géoréférencement image par image avec choix de quatre points amers à partir de l'image de 2018, utilisée comme référence.

La composition colorée d'une image est le résultat de la superposition des bandes dans les canaux Rouge, Vert et Bleu (RGB). La composition colorée utilisée dans cette étude est celle dite infrarouge fausse couleur. Elle combine les bandes correspondant aux longueurs d'ondes du PIR, R et V respectivement dans les canaux R-G-B. Il s'agit des bandes 4-3-2 des images Landsat TM de 1987 et ETM+ de 2003, et des bandes 5-4-3 de l'image Landsat OLI TIRS de 2018. Cette composition colorée s'appuie sur les propriétés de la végétation qui réfléchissent très fortement le rayonnement proche infrarouge (M.C. GIRARD et C.M. GIRARD, 2010).

L'ACP est une méthode basée sur le changement du référentiel des variables brutes (canaux) dans un nouveau référentiel de variables synthétiques (composantes principales). Elle permet de synthétiser les canaux en composantes principales hiérarchisées suivant l'importance des contrastes radiométriques, d'éliminer la redondance, de réduire le nombre de canaux à afficher et d'accentuer les détails radiométriques des objets (J. ANDRIEU, 2008). La première composante principale est utilisée pour les différentes compositions colorées.

L'indice de végétation normalisée (NDVI) permet de caractériser les différents types de végétation par rapport à l'intensité de leur activité photosynthétique. La formule utilisée combine les bandes du proche infrarouge et du rouge (J.W. ROUSE *et al.*, 1974) : $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$. Cet indice varie entre -1 et +1 ($-1 \leq NDVI \leq +1$). De manière générale, les valeurs inférieures à 0,1 donnent des informations sur les sols nus, l'eau, les zones de culture, les surfaces affectées par les feux et les surfaces très peu végétalisées, tandis que les valeurs supérieures à 0,1 renseignent sur la couverture végétale, c'est-à-dire les zones où l'activité chlorophyllienne est importante (N. DESSAY, 2005 ; V. DJOUFACK-MANETSA, 2011). Plus la valeur est proche de 1, plus l'activité chlorophyllienne est importante et la végétation dense. En saison sèche (de fin janvier à début juin), la végétation est caractérisée par un NDVI autour de 0,5 ; alors qu'en saison végétative (de fin juin à début janvier), elle présente des maxima voisins de 0,9 (J. ANDRIEU et C. MERING, 2010).

Les produits issus de ces trois opérations ont servi de base à la photo-interprétation destinée à identifier les différentes classes d'occupation des sols. Les techniques conventionnelles d'interprétation basées sur les caractéristiques de l'image, à savoir la couleur et la forme principalement, sont utilisées. Elles sont complétées par des informations tirées de la documentation sur l'occupation des sols existant à l'échelle nationale et à l'échelle de certaines

forêts classées ou aménagées du département, et des premiers travaux d'observation et de pré-enquête réalisés sur le terrain du 2 octobre au 2 novembre 2016. C'est ainsi que neuf classes d'occupation des sols ont été identifiées. Il s'agit de la forêt claire, la forêt-galerie, la savane boisée, la savane arborée à arbustive, les brûlis, les zones de culture, les zones d'habitats et de sols nus, les plantations, l'eau. Ces classes ont été codées de 1 à 9 pour les besoins de la cartographie.

3) Traitement des images

Après avoir identifié les différentes classes thématiques pour la cartographie de l'occupation des sols, la classification par la méthode non supervisée a été adoptée pour l'ensemble des images. Le choix de cette méthode se justifie par l'absence d'échantillons de référence pour les images anciennes (D. DUCROT, 2005 ; A. MASSE, 2013). Cette classification permet de regrouper les pixels d'une image en classes spectrales suivant leurs signatures et dépend de la signature spectrale des classes thématiques composant la surface à cartographier.

Pour une meilleure séparation des classes, la première classification a été lancée sur quinze classes en utilisant l'ensemble des bandes allant du bleu au moyen infrarouge en se référant aux travaux de J. ANDRIEU (2008) et EL GAROUANI *et al.*, (2008). L'algorithme de classification K-means est utilisé. Il a l'avantage d'attribuer aux pixels la classe la plus proche. Les classes spectrales résultantes de la première classification ont fait l'objet d'une interprétation suivie d'un regroupement suivant les neuf classes thématiques qui composent la légende retenue. L'interprétation des histogrammes s'est faite en fonction des valeurs numériques des pixels et de la réflectance de la surface des objets dans les différents canaux spectraux de l'image (R. CHAUME et A. COMBEAU, 1983 ; P. CHAMARD *et al.*, 1993 ; J. ANDRIEU, 2008 ; M.C. GIRARD et C.M. GIRARD, 2010).

Pour affiner la classification et aller vers une cartographie détaillée et précise de l'occupation des sols, des masques ont été élaborés pour faire une meilleure discrimination de chacune des classes thématiques. À partir de chaque masque, une classification non supervisée par emboîtement a été réalisée. Celle-ci est basée sur l'interprétation des signatures spectrales des classes, suivie du regroupement progressif en fonction de leurs signatures semblables et de la nomenclature retenue pour la cartographie de l'occupation des sols. L'objectif visé à travers la classification emboîtée est de vérifier l'existence de groupes de pixels ne correspondant pas au masque, puis de les corriger. Cette opération a été répétée jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible d'identifier un pixel n'appartenant pas au masque à partir duquel la classification a été réalisée.

4) Travaux de terrain et validation des classifications obtenues

Les travaux de terrain peuvent être répartis en plusieurs rubriques : les relevés de points GPS, les enquêtes et la validation de la pré-carte. Ils ont été effectués durant la seconde mission de terrain qui s'est déroulée du 19 mars au 6 avril 2018.

Dix points GPS ont été relevés pour chaque classe sur l'ensemble de la zone d'étude. La différenciation des types de formation s'est faite en se référant à la classification des formations végétales adoptée à la conférence de Yangambi en 1956 (A. AUBREVILLE, 1957). Les points GPS ont été utilisés pour valider les résultats cartographiques pour l'année la plus récente et par interpolation pour les années antérieures. Ils sont complétés par une interprétation visuelle d'images Google Earth et Sentinel2. De même, d'autres sources d'information, complémentaires, ont été mises à contribution pour valider les résultats. Pour l'année la plus

récente, c'est-à-dire 2018, la carte au 1/50000 des grands domaines de peuplements végétaux du Sénégal a servi de référence (ANAT, 2018). Pour la période 2003, les cartes d'occupation des sols des forêts classées de Kayanga et Anambé, à l'échelle 1/4000 et 1/2000 respectivement (T. SANE, 2003), et la carte d'occupation et d'utilisation des sols du Sénégal au 1/3 000 000 (G.G. TAPPAN *et al.*, 2004) modifiée à partir de la carte du couvert végétal du Sénégal, ont été utilisées. Pour la situation de 1987, la carte de la végétation du Sénégal au 1/500 000 a été utilisée (A. STANCIOFF *et al.*, 1986). Au final, les cartes d'occupation des sols ont été produites à l'échelle du 1/20000 pour le département de Vélingara.

Pour la compréhension de l'évolution spatio-temporelle du couvert forestier ainsi que des facteurs responsables de sa dynamique, des données socio-économiques ont été collectées à l'aide d'un questionnaire. La méthode d'échantillonnage utilisée est de type aléatoire simple avec tirage au sort sans remise. L'unité d'échantillonnage est le ménage et l'unité de référence, le chef de ménage. Dans chaque localité, 20 % des chefs de ménage ont été interrogés, soit un total de 121 chefs de ménage répartis dans cinq localités : Médina Touat, Médina Dinguiraye, Barricounda, Ouassadou et Akane.

Par ailleurs, des entretiens, généralement individuels, mais parfois groupés, ont été réalisés avec des autorités locales, des exploitants forestiers, des agriculteurs, des éleveurs, des agents du service des Eaux et Forêts et les "anciens" dans les différentes localités. Les questions soulevées s'articulent autour de l'histoire du peuplement, des changements intervenus dans la forêt et dans le terroir, des facteurs de la dynamique de la forêt et ses impacts. Par la même occasion, les pré-cartes ont été validées sur le terrain avec l'appui des populations.

5) Cartographie des changements

Pour l'étude des changements, les classes forêt, savane, brûlis et zone de culture ont été retenues du fait que les principaux changements notés portent sur ces classes. C'est ainsi que les forêts ont été regroupées en une seule classe, ainsi d'ailleurs que les savanes. Par la suite, un même code a été attribué aux différentes classes pour chaque image, de sorte à pouvoir les croiser par addition sur Arc Gis.

Le traitement statistique des changements a abouti aux matrices de changement. Les changements sont de trois types : les régressions, qui correspondent à la diminution d'une classe au profit d'autres (changement négatif) ; les progressions, qui correspondent à l'augmentation d'une classe au détriment d'autres (changement positif) ; la stabilité, lorsqu'une classe ne subit aucun changement pendant la période d'étude.

IV - RÉSULTATS

1) Évolution de l'activité chlorophyllienne aux trois dates

Les résultats du NDVI indiquent, d'une manière générale, une activité chlorophyllienne plus importante en 1987 et 2003 qu'en 2018 (Fig. 6). En 1987, la valeur maximale du NDVI est de 0,55 ; tandis que la valeur minimale se situe à -0,79. De même, les valeurs positives particulièrement celles supérieures à 0,1 occupent quasiment toute l'image, ce qui indique l'importance de la végétation. En 2003, l'activité chlorophyllienne est tout aussi importante

qu'en 1987. Malgré l'importance des brûlis, les valeurs positives couvrent l'essentiel de l'image. La valeur maximale durant cette date est de 0,5 ; tandis que la valeur minimale est de -0,42. Les zones à forte activité chlorophyllienne sont situées au sud, où la végétation est développée. Les zones à faible valeur de NDVI se situent essentiellement à l'est. Le centre est marqué par des valeurs de NDVI intermédiaires. En 2018, contrairement à 1987 et 2003, l'activité chlorophyllienne est relativement faible en général. Bien qu'il existe une forte corrélation entre le NDVI et la pluviométrie, cette situation est liée principalement à la dégradation de la végétation. En effet, bien que la période 2003-2018 ait été plus pluvieuse que la période 1987-2003, la valeur maximale du NDVI en 2018 atteint à peine 0,37. Elle est observée au sud-ouest, la répartition spatiale des valeurs de NDVI selon la végétation étant identique à celle des années 1987 et 2003.

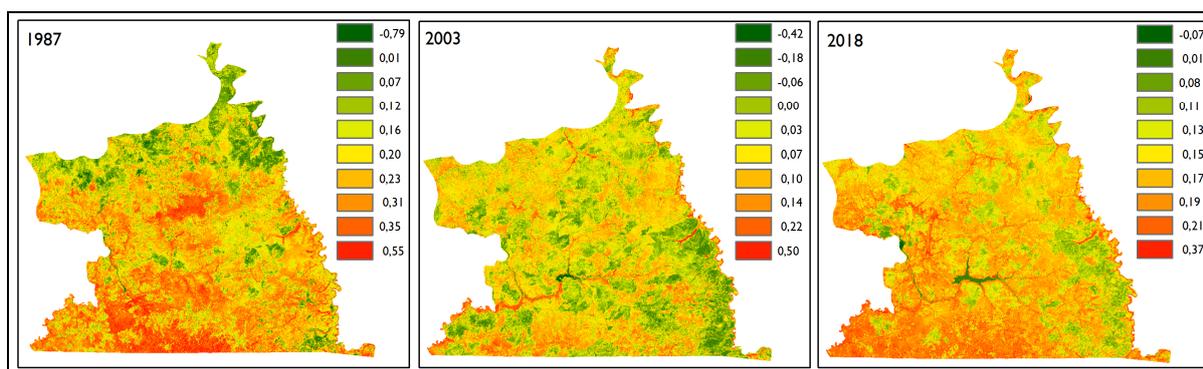


Figure 6 - État du NDVI en 1987, 2003 et 2018.

2) Évolution de l'occupation des sols entre 1987 et 2018

La cartographie de l'occupation des sols (1987, 2003 et 2018) fait ressortir une diminution globale des formations forestières (Fig. 7). En 1987, l'occupation des sols était dominée par la savane, suivie de la forêt. En 2003, la savane occupait plus de la moitié des sols. En 2018, l'occupation des sols est marquée par la dominance de la savane et des surfaces agricoles.

Les superficies indiquent une perte importante de la couverture végétale, en particulier forestière (forêt claire et forêt-galerie), accompagnée d'une augmentation de la couverture boisée (savane boisée et savane arborée à arbustive) et des surfaces agricoles (Tab. II). En 1987, le couvert végétal représentait 420 673 ha (soit 76,6 % de la superficie totale), dont 35,2 % sont occupés par les forêts, en particulier celle claire, et 41,4 % par les savanes, en particulier celle boisée. Les surfaces affectées par les feux à la date de prise de vue de l'image représentaient 39447 ha, soit 7,2 % ; tandis que les surfaces agricoles couvraient 82688 ha, soit 15 %. La part de la savane arborée à arbustive n'était que de 8,2 %.

En 2003, le couvert végétal était dominé par les savanes, toutes catégories confondues, avec une superficie totale de 286 865ha, soit 52,2 % (Tab. III). Elles ont connu une augmentation de 59717 ha, soit 10,8 %, depuis 1987. Cette augmentation des savanes s'est accompagnée de la diminution des forêts de 93642 ha, soit 17 %. En revanche, les surfaces affectées par les feux, les zones de culture, ainsi que les zones d'habitat associées aux sols nus, ont connu respectivement une augmentation de 7332 ha, 1692ha et 7688 ha par rapport à l'année 1987.

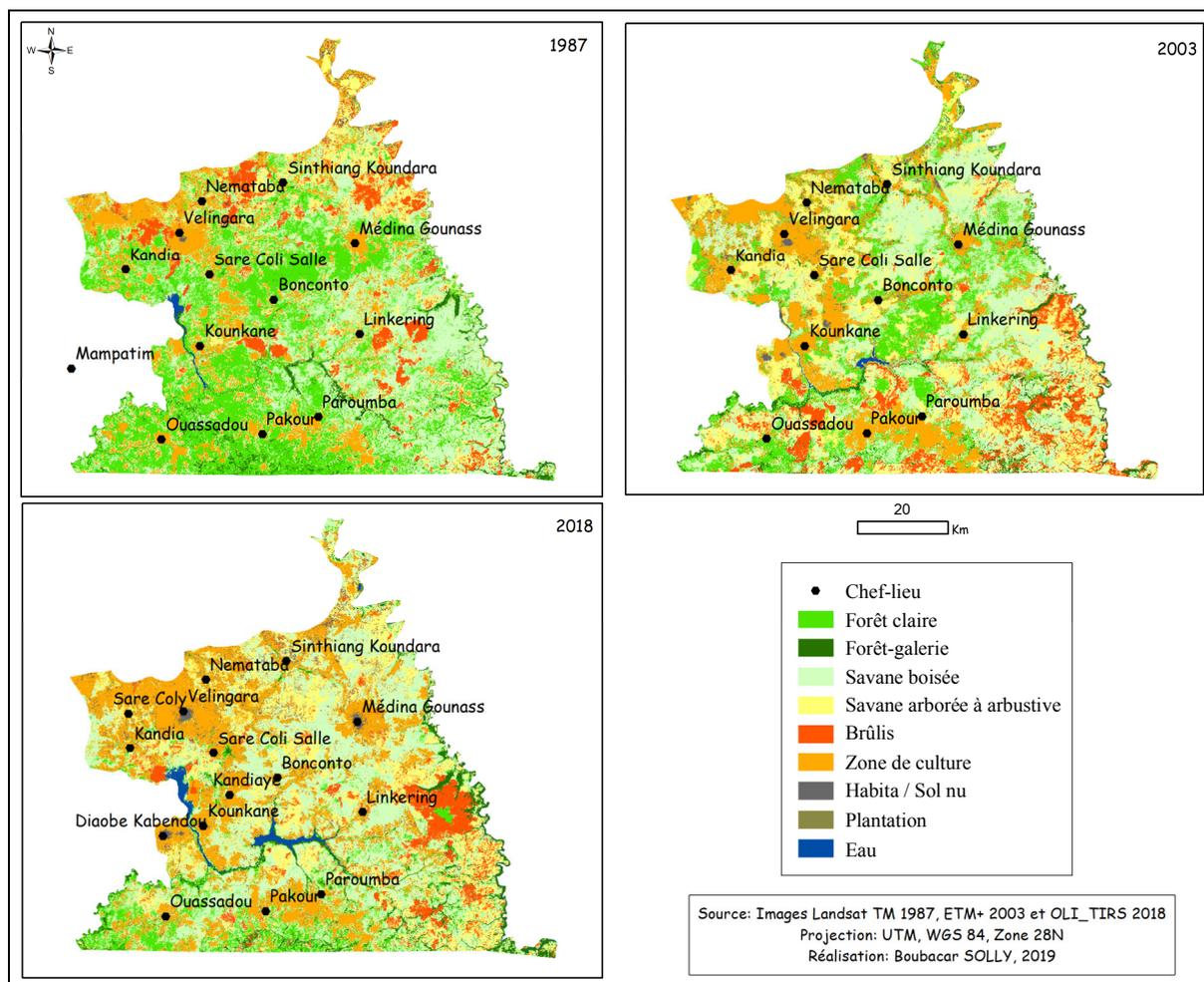


Figure 7 - Cartographie de l'occupation des sols dans le département de Vélingara en 1987, 2003 et 2018.

Tableau II - Superficie des classes d'occupation des sols dans le département de Vélingara en 1987.

Type de surface	Ha	Classe	Ha	%
Surface forestière	193 525	Forêt claire	177 193	32,2
		Forêt-galerie	16332	3,0
Surface boisée	227 148	Savane boisée	182 322	33,2
		Savane arborée à arbustive	44826	8,2
Surface brûlée	39447	Brûlis	39447	7,2
Surface anthropique	87621	Zone de culture	82688	15,0
		Habitat/Sol nu	4931	0,9
		Plantation	2	0,0
Surface hydrographique	1909	Eau	1909	0,3
Total	549 650		549 650	100

Tableau III - Superficie des classes d'occupation des sols dans le département de Vélingara en 2003.

Type de surface	Ha	Classe	Ha	%
Surface forestière	99 883	Forêt claire	83 111	15,1
		Forêt-galerie	16 772	3,1
Surface boisée	286 865	Savane boisée	183 716	33,4
		Savane arborée à arbustive	103 149	18,8
Surface brûlée	46 779	Brûlis	46 779	8,5
Surface anthropique	114 205	Zone de culture	101 380	18,4
		Habitat/Sol nu	12 619	2,3
		Plantation	206	0,1
Surface hydrographique	1 918	Eau	1 918	0,3
Total	549 650		549 650	100

Par rapport à 2003, la situation en 2018 montre une diminution globale des forêts, particulièrement celles claires, et des savanes, principalement celles boisées, et le développement des surfaces agricoles (Tab. IV). En effet, le couvert végétal, qui occupait 386 748 ha, soit 70,4 % des sols, est passé à 346 491 ha, soit 63,1 %. Il a perdu 40 257 ha, en faveur des surfaces agricoles et des zones d'habitat principalement. Ces dernières ont augmenté respectivement de 35 055 ha (6,4 % de la superficie totale) et 10 466 ha (1,9 %). De même, les surfaces affectées par les feux ont fortement diminué (-9 840 ha). L'extension des surfaces en eau dans le bassin de la Kayanga, qui sont passées de 1 918 ha à 6 168 ha, s'est accompagnée de celle de la forêt-galerie, qui est passée de 16 772 ha (3,1 % de la superficie totale), à 23 586 ha (4,3 %). Elle s'explique par le retour à des précipitations plus abondantes au cours de cette période. L'augmentation des plantations (+326 ha) est à relier à la transformation de superficies forestières en bananeraies dans la commune de Pakour.

Tableau IV - Superficie des classes d'occupation des sols dans le département de Vélingara en 2018.

Type de surface	Ha	Classe	Ha	%
Surface forestière	65 734	Forêt claire	42 148	7,7
		Forêt-galerie	23 586	4,3
Surface boisée	280 757	Savane boisée	178 883	32,6
		Savane arborée à arbustive	101 874	18,5
Surface brûlée	36 939	Brûlis	36 939	6,7
Surface anthropique	160 052	Zone de culture	136 435	24,8
		Habitat/Sol nu	23 085	4,2
		Plantation	532	0,1
Surface hydrographique	6 168	Eau	6 168	1,1
Total	549 650		549 650	100

3) Changements des paysages forestiers entre 1987 et 2003

De manière générale, les changements intervenus dans le paysage entre 1987 et 2003 indiquent une "savanisation" suivant un gradient NE-SO (Fig. 8). Cette "savanisation" se fait sur les surfaces initialement occupées par les forêts. En effet, la savane occupe largement la partie est du département, particulièrement les forêts classées de Koulountou, dont les 50000 ha se trouvent dans le Parc National du Niokolo Koba (PNNK), de Kantora et de Mampaye. Cette région est souvent soumise à des feux. La forêt, quant à elle, occupe principalement le centre et le sud-ouest du département. Les surfaces agricoles dominent au nord-ouest et au centre-ouest, où se trouve le bassin de l'Anambé, aménagé depuis 1978 par la Société de Développement Agricole et Industriel du Sénégal (SODAGRI). Elles ont connu aussi une progression autour du bassin et dans le sud du département, entre les chefs-lieux des communes de Pakour et Paroumba.

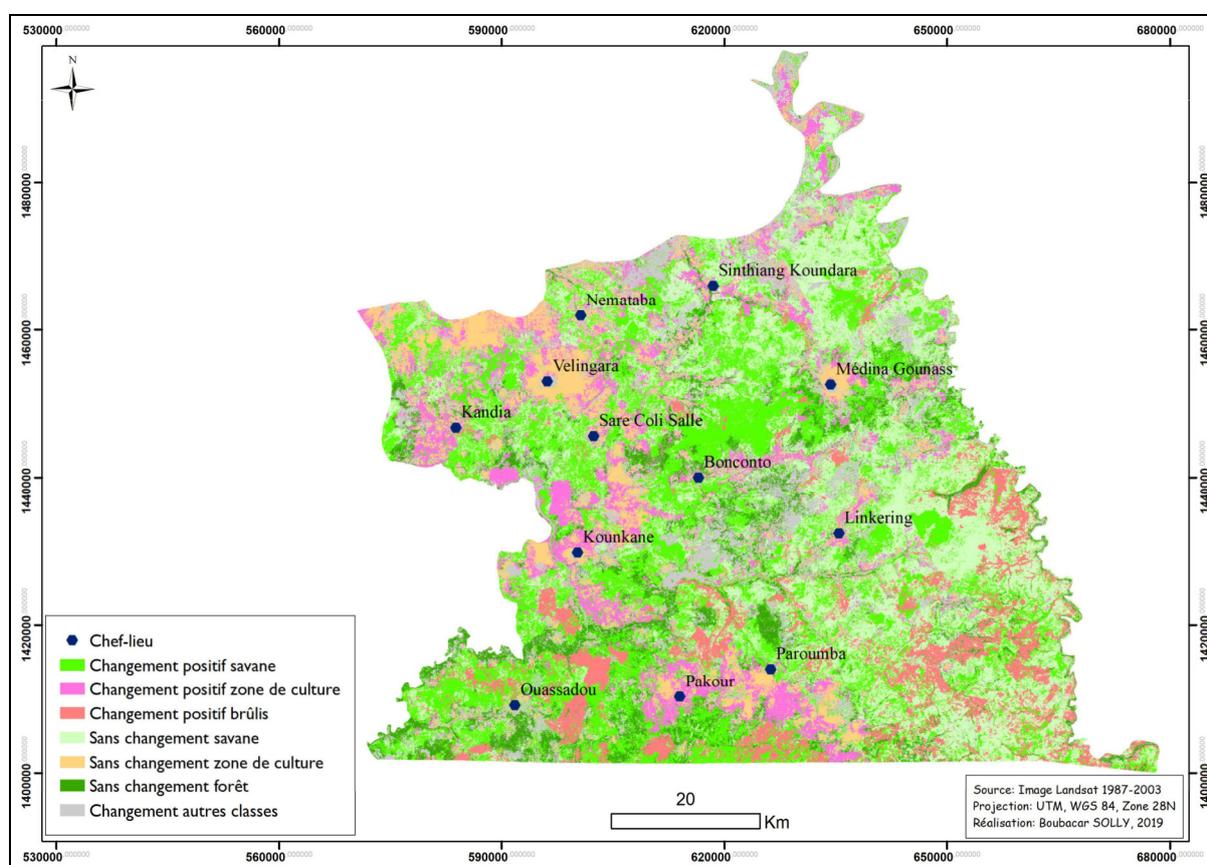


Figure 8 - Distribution spatiale des changements paysagers entre 1987 et 2003.

Les matrices de changements indiquent une progression importante des savanes (100 758 ha) au détriment de la forêt : "savanisation" (Tab. V). Le rôle des feux, qui ont affecté 21 468 ha de forêt entre les deux dates, est loin d'être négligeable dans ce processus. Ces feux sont soit précoces soit tardifs. Les feux précoces sont provoqués par le service des Eaux et Forêt juste à la fin de l'hivernage (en décembre), au moment où l'herbe n'est pas totalement sèche. Ils sont destinés à prévenir ou atténuer les effets des feux tardifs, qui sont plus destructeurs. Les feux tardifs, le plus souvent accidentels, ont pour responsables des agriculteurs, des apiculteurs, des fumeurs, des chasseurs et des exploitants clandestins de

charbon de bois. Ils se produisent essentiellement de février à avril. Suivant les besoins en terres agricoles, consécutifs à l'augmentation des populations, les savanes sont elles-mêmes progressivement converties à une agriculture extensive (28675 ha ont été ainsi transformés).

Tableau V - Matrice de changement de l'occupation du sol (en ha) entre 1987 et 2003.

	Forêt	Savane	Brûlis	Zone de culture	Autres classes
Forêt	46863	100 758	21 468	22 279	2 157
Savane	36540	139 438	21 269	28 675	1 215
Brûlis	5 631	26 242	2 528	4 097	949
Zone de culture	10 619	19 831	1 515	44 108	6 610
Autres classes	230	597	0	2 222	3 812

En jaune : les superficies sans changement ; En horizontale : les régressions ou changements négatifs ; En verticale : les progressions ou changements positifs

4) Changements des paysages forestiers entre 2003 et 2018

Les changements intervenus dans le paysage forestier entre 2003 et 2018 sont marqués par la forte progression des surfaces agricoles et de l'espace bâti (Fig. 9). En effet, le processus enclenché entre 1987 et 2003 s'est traduit par le maintien de certaines surfaces occupées par les savanes (dans la partie est et le centre du département) et une anthropisation importante avec une forte progression des surfaces agricoles vers le nord-est et le centre-ouest. Le sud-ouest, qui semble plus humide, reste dominé par la forêt. Le sud-est reste le domaine où se produisent le plus grand nombre de feux, allumés pour la plupart par des éleveurs autorisés à pâturer dans le PNNK durant certaines périodes de l'année.

Les matrices de changement indiquent une progression de 50943 ha des savanes au détriment de la forêt (Tab. VI). La forêt et les savanes ont en outre perdu respectivement 20002 ha et 39575 ha entre 2003 et 2018 à cause des défrichements à des fins agricoles. L'ensemble de ces évolutions a conduit à une déforestation et à une régression importante du couvert végétal.

5) Les facteurs de la dynamique des paysages forestiers

Deux types de facteurs expliquent la dynamique des paysages forestiers du département de Vélingara : les actions anthropiques, et la variation interannuelle de la pluviométrie.

a. Les actions anthropiques

Les actions anthropiques correspondent principalement aux défrichements agricoles, aux feux de brousse, aux coupes du bois et au surpâturage. En effet, dans le département de Vélingara, 53747 ha initialement occupés par le couvert végétal ont été convertis en surfaces agricoles. Cette situation est liée à l'arrivée massive d'agriculteurs venant du Nord du pays de la fin des années 1970 jusqu'au début des années 2000, qui se sont installés le long de la frontière avec la Gambie. Contrairement aux autochtones, qui pratiquaient une agriculture intensive (A. N'GAIDE, 1997), les migrants se consacraient à une agriculture extensive (S. FANCHETTE, 2010). C'est ce qui explique que la taille moyenne des surfaces de culture par

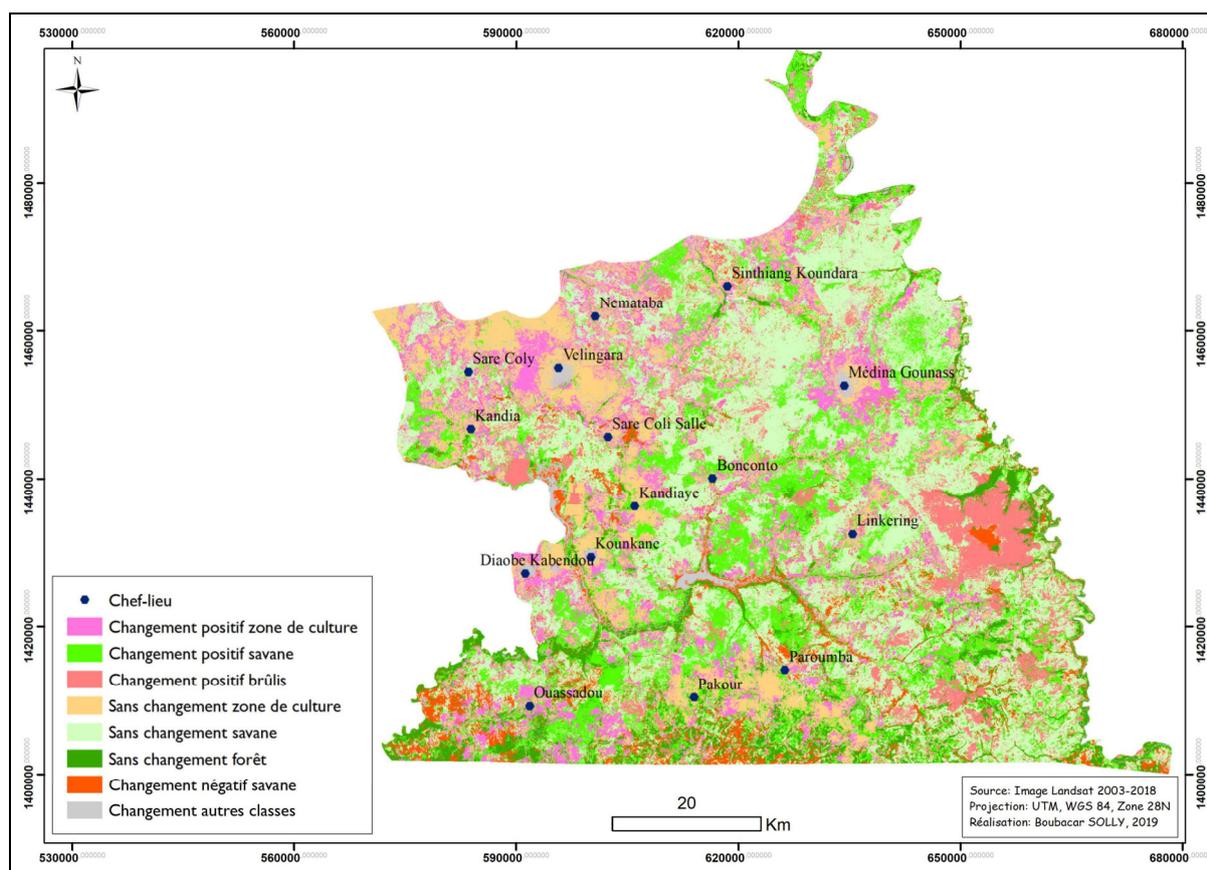


Figure 9 - Distribution spatiale des changements paysagers entre 2003 et 2018.

Tableau VI - Matrice de changement de l'occupation du sol (en ha) entre 2003 et 2018.

	Forêt	Savane	Brûlis	Zone de culture	Autres classes
Forêt	23257	50943	3045	20002	2157
Savane	27194	184 775	25205	39575	3259
Brûlis	10927	25572	6362	3260	1025
Zone de culture	4203	19420	2326	65998	6610
Autres classes	811	1683	122	2479	1792

ménage est globalement plus étendue pour les migrants que pour les autochtones : 6 ha pour les migrants arrivés avant 1987 et 5,2 ha pour ceux arrivés après 2003, contre 4,7 ha pour les autochtones. Toutefois elle n'est que de 2,6 ha pour les migrants qui se sont installés de 1987 à 2003.

Ainsi dynamisée, la région de Kolda occupe la deuxième position dans la production agricole du pays. Les défrichements sont effectués sur les terres du domaine national, à savoir les zones classées (zones à vocation forestières ou protégées ayant fait l'objet d'un classement), et sur les zones de terroirs (terres régulièrement exploitées pour l'habitat rural, la culture ou l'élevage). Malgré les restrictions du code forestier, les défrichements sont toujours effectués au vu et au su de certaines collectivités locales et de l'État. Certes, on note officiellement une diminution dans certaines communes. Mais, dans la réalité, pour défricher un nouveau champ, il faut une autorisation délivrée au niveau des communes. La procédure

étant jugée très longue par les populations et son aboutissement aléatoire, certaines personnes défrichent en cachette pour augmenter leurs surfaces agricoles ou pour se procurer des terres de culture. D'une année à l'autre, les surfaces agricoles s'agrandissent de petits défrichements qui finissent, à la longue, par former de vastes superficies. Les enquêtes de terrain ont révélé que 21,7 % des cultivateurs ont diminué leurs surfaces agricoles, contre 47,2 % qui les ont augmentées et 31,1 % qui les ont conservées identiques

Les défrichements sont consécutifs à l'augmentation de la population entre 1988 et 2013, le taux de croissance annuel moyen atteignant 4,76 % (ANSD, 1988 ; ANSD, 2017). À cela s'ajoute l'aménagement hydro-agricole de la vallée de l'Anambé située dans la partie ouest du département, aux environs de la forêt classée du même nom. Dans cette vallée la superficie agricole est passée de 1250 ha en 1987 à 5200 ha en 2018, au détriment de surfaces forestières et boisées (Fig. 10).

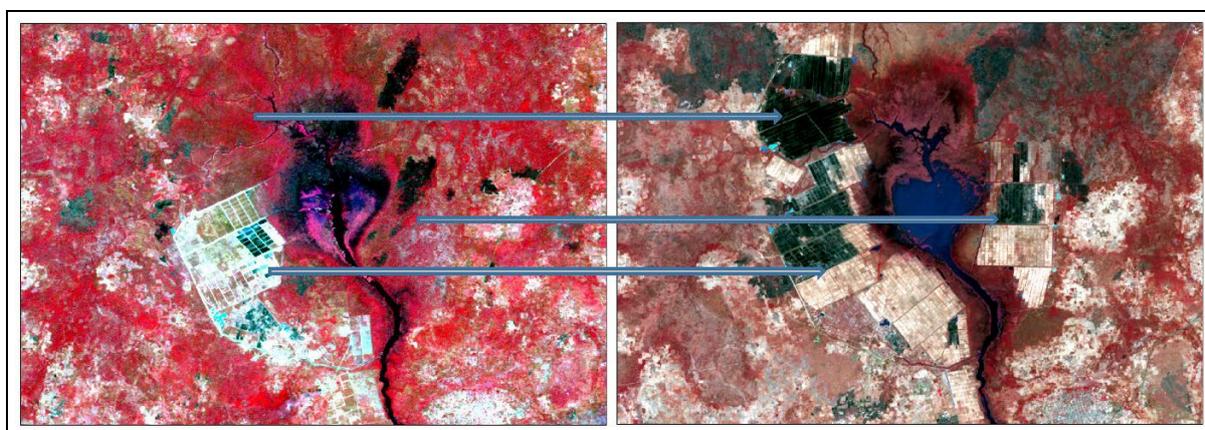


Figure 10 - Évolution de la vallée de l'Anambé entre 1987-2018 : compositions colorées infrarouges fausses couleur de l'image Landsat TM 1987 et OLI_TIRS 2018].

Mais, pour les populations, ce sont les feux de brousse qui sont considérés comme déterminants dans la dynamique observée. Ils arrivent en tête devant la coupe du bois, la variabilité pluviométrique, le surpâturage et les défrichements (Fig. 11).

Les feux sont d'ailleurs considérés par beaucoup d'auteurs comme un facteur important de la progression des savanes (A. AUBREVILLE, 1949 ; B. SOLLY *et al.*, 2018-b) et de la dégradation de la végétation (C. MBOW, 2000 ; CSE, 2015). Les estimations faites par le service forestier régional lors des campagnes de lutte contre les feux de brousse ont révélé que 280 514 ha de forêt ont été affectés entre 2002 et 2018 (Fig. 12). Il ressort également qu'ils ont particulièrement importants entre 2002 et 2007 et qu'ils diminuent depuis progressivement, grâce à une prise de conscience des populations et aux actions de sensibilisation.

Les feux de brousse expliquent, en particulier, l'importance des savanes dans la partie est, particulièrement dans la forêt classée de Kantora, Koulountou et Mampaye, où ils sont plus récurrents (Photo 2).

Les feux ont différentes causes, essentiellement anthropiques. Parmi les plus grands responsables, ceux qui sont le plus montrés du doigt par la population, sont les fumeurs qui

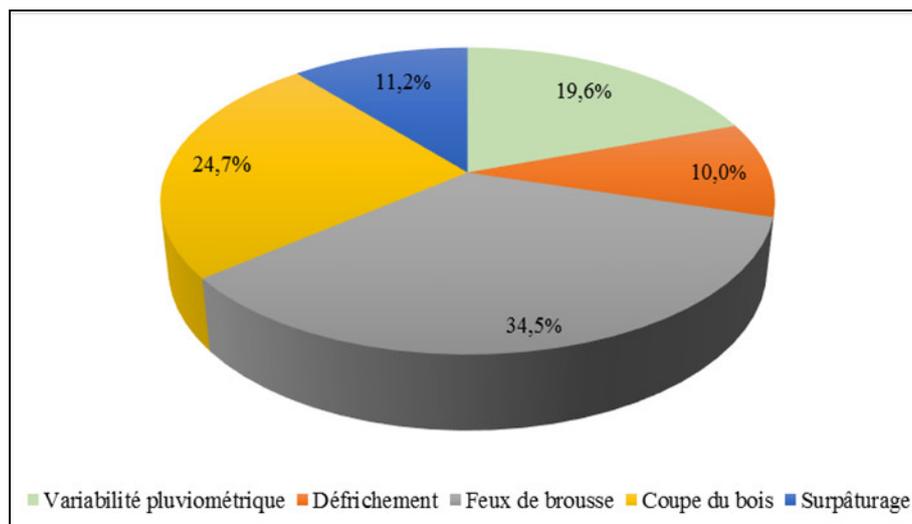


Figure 11 - Les facteurs de la dynamique de la végétation selon la population (Boubacar SOLLY, enquête de terrain 2018).

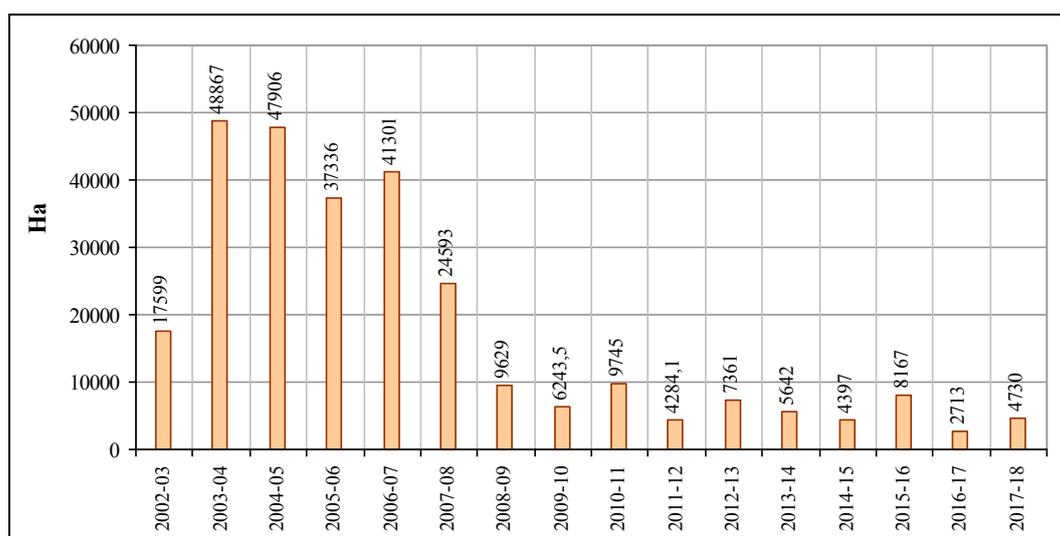


Figure 12 - Superficie touchée chaque année par les feux de brousse de 2002-03 à 2017-18 (source : SREF Kolda, 2018).

jettent les mégots le long des routes (feux accidentels), les apiculteurs, les exploitants clandestins de charbon et les agriculteurs (Fig. 13).

Parmi les facteurs de dégradation de la forêt, on trouve également les coupes illicites de bois pour la vente qui ont exacerbé la déforestation et la "savanisation". Les espèces les plus ciblées selon les résultats d'enquêtes sont *Pterocarpus erinaceus*, *Cordyla pinnata*, *Bauhinia reticulata*, *Terminalia macroptera*, *Combretum glutinosum*, *Bombax costatum*, *Azelia africana* et *Khaya senegalensis*. En effet, ces espèces sont victimes depuis 2010 d'une exploitation importante et clandestine en direction de la Chine, via le port de Banjul (Gambie), en passant par des "marchés de bois" installés le long de la frontière.



Photo 2 – Vue aérienne des traces de feux au-dessus de la forêt classée de Anambé à gauche et dans la forêt aménagée de Bonkonto à droite.

Source : Imagerie Sentinel, 4 février 2019.

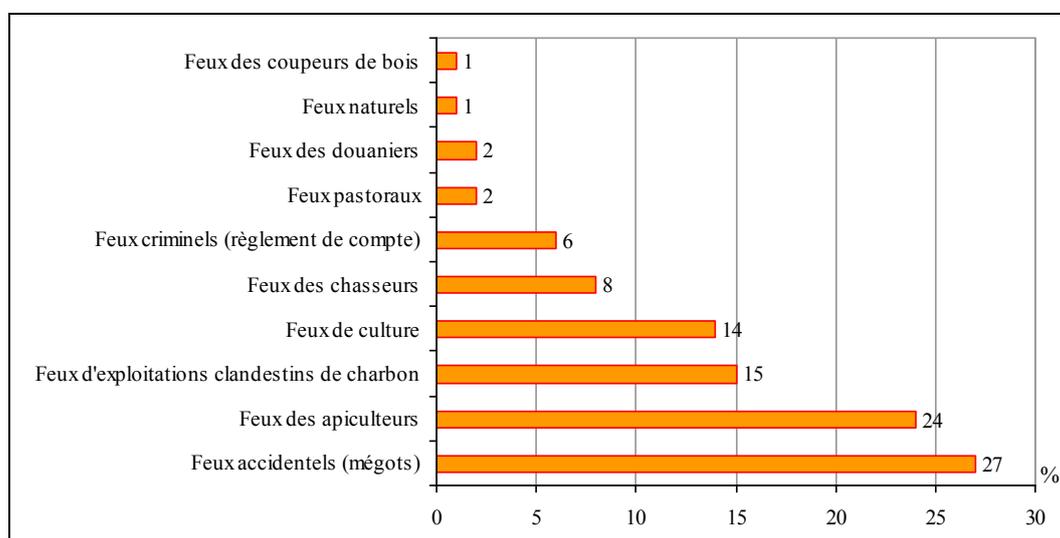


Figure 13 - Type de feux les plus destructeurs de la forêt selon les populations (Boubacar SOLLY, enquête de terrain 2018).

De manière générale, la longueur des billons varie de 2 à 4 m et le diamètre de 30 à 70 cm. Parmi les espèces ciblées, *Pterocarpus erinaceus*, *Azelia africana*, *Cordyla pinnata* et *Khaya senegalensis* sont partiellement protégées par le code forestier sénégalais de 1998 (MEPN, 1998). Elles sont aussi à compter parmi les cinq espèces rares et menacées de disparition selon les populations (Fig. 14). En ce qui concerne *Pterocarpus erinaceus*, son rythme d'exploitation a amené l'État du Sénégal à proposer son inscription à la convention sur le Commerce International des Espèces de Faunes et Flores menacées d'Extinction (CITES).

Le surpâturage est rangé par S.L. ARIORI et P. OZER (2005) dans les facteurs secondaires de dégradation, le plus souvent en empêchant la régénération naturelle des ligneux. Dans le département de Vélingara, il participe à la dégradation de la végétation à travers le piétinement des petits arbustes qui devaient former la régénération, l'arrachage des souches, et l'épuisement des espèces.

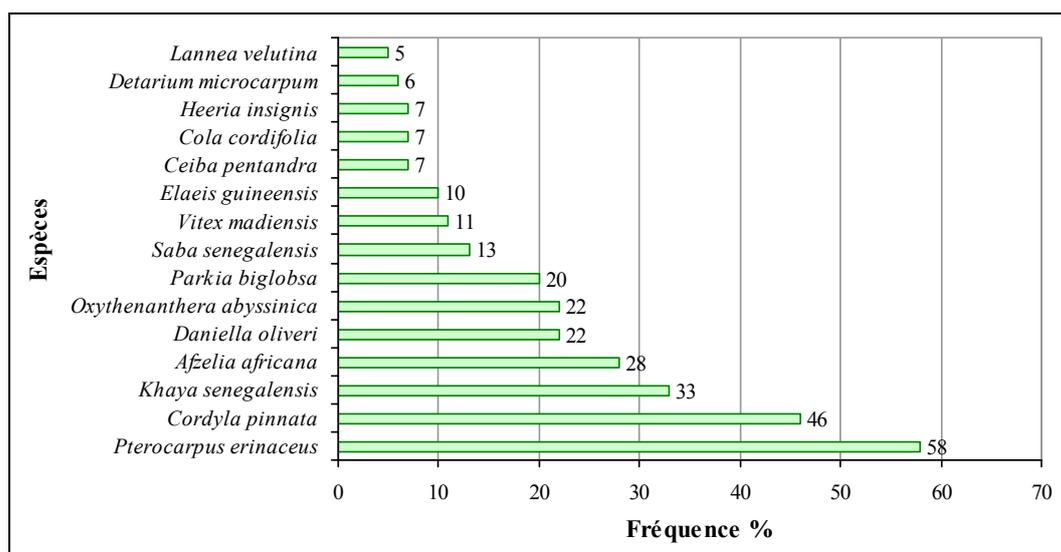


Figure 14 - Principales espèces rares et menacées de disparition dans le département de Vélingara selon le pourcentage de citation par la population (Boubacar SOLLY, enquête de terrain 2018).

b. Les variations de la pluviométrie

Il est reconnu que le régime pluviométrique a une influence sur la végétation en intervenant dans la formation et l'évolution des sols (A. AUBREVILLE, 1949). Mais il intervient surtout directement sur les formations végétales, dont il conditionne la répartition spatiale. Inversement, l'état du couvert végétal est un élément qu'il ne faut pas négliger, dans la distribution spatio-temporelle des précipitations.

D'après les relevés effectués depuis 1987, la station de Vélingara a connu une longue période de déficit pluviométrique de 1987 à 1997, suivie d'une succession d'années pluvieuses et non pluvieuses. La période de déficit a eu une influence de faible ampleur comparée aux activités humaines, mais elle n'a pas été sans conséquence sur l'évolution des paysages forestiers. Elle a favorisé la dégradation du couvert végétal (P. MICHEL, 1990 ; T. SANE, 2003) et donc accéléré la "savanisation". Les personnes enquêtées ont noté que cette variation de la pluviométrie a entraîné la mortalité des arbres par stress hydrique, le raccourcissement du cycle végétatif, la diminution de l'accroissement de certaines espèces connues pour leur hauteur (*Khaya senegalensis*, *Ceiba pentandra*, *Afzelia africana*, et *Pterocarpus erinaceus*) et la rareté de certains produits forestiers. Elle est aussi à l'origine de la rareté de certaines espèces fruitières telles que *Landolphia heudelotii*, *Elaeis guineensis*, *Detarium senegalens*, et *Daniella oloveri*. De même, elle a amplifié les feux de brousse et accéléré la décadence de certaines activités agro-sylvo-pastorales. L'évolution des températures, avec le développement d'une tendance à l'aridité, a aussi été déterminante dans la dégradation de la végétation, à travers l'amplification des feux de brousse et le dessèchement des arbres.

V - DISCUSSION

De nombreuses études se sont intéressées à la dynamique du couvert végétal en Afrique en général (J. CHAVE, 2000 ; H. DIBI N'DA *et al.*, 2008 ; FAO, 2012 ; A. MAMA *et al.*, 2014) et au Sénégal en particulier (B. SAMBOU, 2004 ; G.G. TAPPAN *et al.*, 2004 ; A.I.R. CABRAL

et F.L. COSTA, 2017 ; B. SOLLY *et al.*, 2018-b). Parmi ces études, nombreuses sont celles qui ont révélé une régression du couvert végétal et une tendance à la progression des surfaces agricoles.

La dynamique observée dans le département de Vélingara est semblable à celle observée dans la zone soudano-guinéenne du Bénin (A. MAMA *et al.*, 2014), à savoir une déforestation, par savanisation ou par développement des surfaces agricoles. En effet, les forêts ont perdu 127 791 ha de leur superficie entre 1987 et 2018. En revanche, les savanes et les surfaces agricoles ont augmenté respectivement de 53 609 ha et 53 747 ha. Cette diminution du couvert forestier affecte non seulement la flore, la faune, mais aussi l'agriculture elle-même, à travers la diminution de la fertilité des sols, le raccourcissement du cycle de la culture du mil et de l'arachide, et l'abandon progressif de la riziculture, les rizières subissant un ensablement du fait de l'érosion des sols moins bien protégés. Elle affecte également l'élevage, à travers la disparition de zones de parcours pour le bétail, transformées en surfaces agricoles, et la destruction du tapis herbacé par la récurrence des feux, facteurs auxquels s'est ajouté le tarissement précoce des mares du fait de précipitations moins abondantes.

En Afrique, les actions anthropiques sont les facteurs les plus importants de ces dynamiques (F. WHITE, 1986 ; FAO, 2012). Les défrichements et les coupes abusives représentent les deux principales causes directes des déboisements (S.L. ARIORI et P. OZER, 2005). Elles se traduisent par une déstabilisation ou un dysfonctionnement des écosystèmes forestiers entraînant la dégradation, la fragmentation et la déforestation (I. BAMBBA, 2010). Dans le département de Vélingara, des années 1970 au début des années 2000, les défrichements émanaient des fronts pionniers. Mais, depuis quelques années, les formes de défrichement les plus courantes sont de type abattis, cela en raison de l'interdiction des défrichements par le code forestier et de l'enjeu foncier. Cette forme de défrichement est à l'image de celle pratiquée en Guyane française (M. TSAYEM DEMAZE, 2002). Bien que de petites tailles au départ, les défrichements se multiplient de manière spontanée et non planifiée. Ils répondent à l'augmentation de la population, qui accroît à son tour la demande en combustibles ligneux et donc la coupe abusive et illicite de certaines espèces ligneuses pour la vente. Cette coupe clandestine, liée selon les populations à la pauvreté et au manque d'emploi, aurait permis de réduire le chômage et la criminalité, mais également de lutter contre l'exode rural et l'émigration. Selon leur taille et leur diamètre, les billons sont vendus entre 12 000 et 100 000 Francs CFA. Cette situation a rendu la gestion des ressources forestières très délicate dans le département, surtout ces dernières années, malgré les efforts consentis, d'une part, par le service forestier à travers des patrouilles journalières, des arrestations et des saisies de billons, de charrettes et de matériels (Photo 3) et, d'autre part, par l'État à travers le renforcement des personnels et des moyens, pour lutter contre ce fléau.

En plus des défrichements agricoles et de la coupe du bois, les feux de brousse constituent un facteur important de l'évolution du paysage forestier. Selon la FAO (2012), le Sénégal fait partie des dix premiers pays ayant subi les plus grandes pertes de couvert forestier liées aux feux de brousse entre 2003 et 2007 : durant cette période, 217 602 ha ont été touchés dans la région (SREF Kolda, 2018). D'après les populations, ils compromettent non seulement la régénération naturelle de la strate arbustive, mais également la repousse des rejets, surtout dans les forêts aménagées où est pratiquée la coupe du bois pour la production de charbon. Ils brûlent le tapis herbacé et certains arbres appétés par le bétail, compromettant ainsi leur survie durant la saison sèche. De même, ils endommagent les grands arbres qui finissent par mourir sur pied, appauvrissent le sol et tuent ses microorganismes. Pire, ils sont à l'origine de la rareté de certaines espèces animales nécessaires au maintien de la biodiversité,

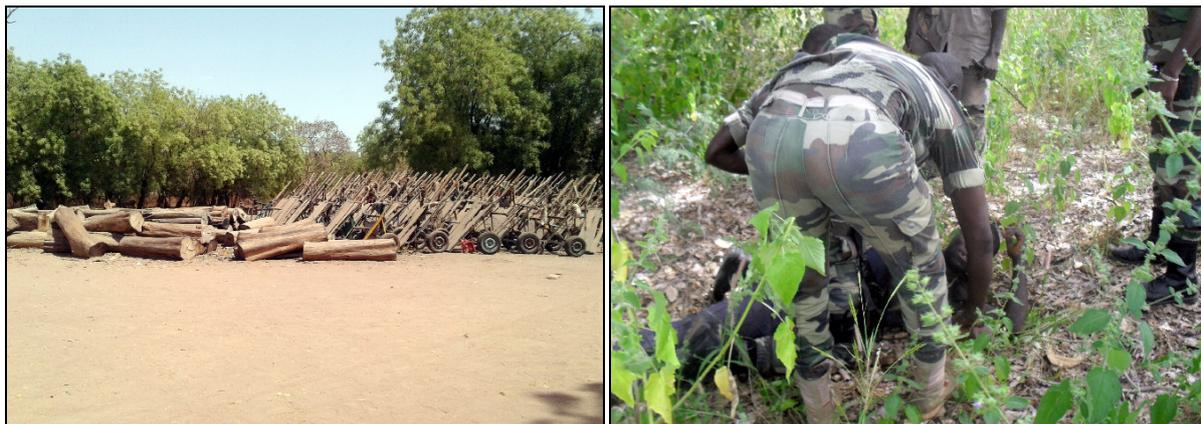


Photo 3 - Saisie de billons et interpellation d'un suspect par le service forestier.

[clichés : Boubacar SOLLY, 2016]

comme le lapin et la gazelle. Dans le PNNK, dans la partie sud-est du département, leurs effets se manifestent sur la diversité des espèces, l'évolution des types de végétation, la qualité des sols (C. MBOW, 2000) et la progression des savanes.

La variabilité de la pluviométrie, marquée par un déficit important entre 1987 à 1997, a des conséquences sur la dynamique des paysages forestiers. En effet, même en étant moins affirmatif que A. AUBREVILLE (1949) et T. SANE (2003), J. CHAVE (2000) estime qu'une longue saison sèche peut entraîner la mortalité des grands arbres et que plusieurs mois de sécheresse peuvent conduire à des feux de forêt même dans des zones de forêt humide. Dans le département de Vélingara, la longue période sèche a accéléré la mortalité des arbres par stress hydrique et l'extension des savanes. Ses conséquences sur les productions agricoles ont en outre contribué à accroître la pression anthropique sur la forêt. La tendance à l'augmentation des températures n'est pas non plus sans conséquences, car elles influencent la vie des plantes (P. SAGNA, 2005) et ne sont pas sans effet sur les feux de forêt.

Cependant, malgré l'adoption d'une "Nouvelle Gouvernance Verte" comme pilier du développement durable par l'État, le défi réside dans des politiques de développement soucieuses de l'environnement (CSE, 2015), mais aussi dans la connaissance de l'état des ressources. Cette nouvelle gouvernance est articulée autour de politiques économiques et sociales adossées à des technologies écologiquement rationnelles pour réduire la vulnérabilité des populations aux chocs résultant des changements climatiques, tout en préservant la base des ressources nécessaires pour soutenir une forte croissance sur le long terme. Il faudrait aussi, dans le département de Vélingara, une meilleure prise en charge de la question des défrichements agricoles, avec une application stricte de l'article 63 du nouveau code forestier par les collectivités locales. Pour la question des feux, il faudrait pérenniser les feux précoces, promouvoir l'ouverture de pare-feu et surtout renforcer la sensibilisation des populations.

VI - CONCLUSION

L'utilisation des données de télédétection a permis de cartographier et de quantifier l'ampleur des dynamiques paysagères dans le département de Vélingara entre 1987 à 2018. De manière générale, les résultats ont révélé une régression des forêts en faveur des savanes, puis

des savanes au profit des surfaces agricoles, sous l'effet combiné de la variabilité pluviométrique, des feux de brousse, de l'extension des surfaces agricoles en lien avec l'augmentation de la population et de la coupe illicite et abusive du bois. Sur une période de 31 ans, les forêts ont perdu 127 791 ha (23,2 %), alors que les savanes et les surfaces agricoles ont augmenté respectivement de 53 609 ha (+9,7 %) et 53 747 ha (+9,8 %). Cette déforestation et la "savanisation" appellent à la mise en place de stratégies de gestion durable, intégrée et participative des ressources naturelles situées dans le Sud du pays, avec l'implication de tous les acteurs, l'État, les ONG et les populations locales.

Remerciements : Nous remercions très sincèrement le service régional des Eaux et Forêts de Kolda pour son accompagnement durant les travaux de collecte de données sur le terrain. Nous remercions également le comité scientifique et les réviseurs de *Physio-Géo*, pour leur disponibilité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANAT (2018) - *Plan national d'aménagement et de développement territorial (PNADT) horizon 2035. Version Provisoire*. Édit. Agence Nationale d'Aménagement du Territoire, Dakar (Sénégal), 277 p.
- ANDRIEU J. (2008) - *Dynamique des paysages dans les régions septentrionales des Rivières-du-Sud (Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau)*. Thèse de l'Université Paris Diderot - Paris 7, 532 p.
- ANDRIEU J. et MERING C. (2010) - Synergie des données LANDSAT et MSG pour une cartographie de la végétation sur le littoral ouest-Africain. In : *Satellites Grand Champ pour le suivi de l'environnement, des ressources naturelles et des risques*, actes de colloque (Clermont-Ferrand), 15 p., en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01292401/document>.
- ANSD (2008) - *Résultats définitifs du troisième recensement général de la population et de l'habitat - (2002)*. Édit. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, Dakar (Sénégal), 163 p.
- ANSD (2017) - *Recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage de 2013. Rapport définitif*. Édit. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, Dakar (Sénégal), 417 p.
- ARIORI S.L. et OZER P. (2005) - Évolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, vol. 29, p. 61-68.
- AUBREVILLE A. (1949) - *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Édit. Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 351 p.
- AUBREVILLE A. (1957) - Accord de Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 51, p. 23-27.
- BAMBA I. (2010) - *Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République Démocratique du Congo*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 189 p.

-
- BOULOGNE M. (2016) - *Vulnérabilité des paysages forestiers dans le parc de Ranomafana (Madagascar) : dynamiques environnementales et trajectoires agroforestières*. Thèse de l'Université Grenoble Alpes, 269 p.
- CABRAL A.I.R. et COSTA F.L. (2017) - Land cover changes and landscape pattern dynamics in Senegal and Guinea Bissau borderland. *Applied Geography*, vol. 82, p. 115-128
- CHAMARD P., COUREL M.F., DUCOUSSO M., GUENEGOU M.C., LE-RHUN J., LEVASSEUR J.E., LOISEL C. et TOGOLA M. (1993) - Utilisation des bandes spectrales du vert et du rouge pour une meilleure évaluation des formations végétales actives. In : *Télédétection et cartographie*, actes de colloque (AUPELF-UREF), Édit. Presses de l'Université du Québec, Sherbrooke (Canada), p. 203-209.
- CHAUME R. et COMBEAU A. (1983) - *Évolutions saisonnières comparées des signatures spectrales de divers milieux pérennes (forêts, prairies, sols nus) à partir de documents Landsat*. Édit. ORSTOM, collection "Télédétection", vol. 8, Paris, 49 p.
- CHAVE J. (2000) - Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale. *Annales de Physique*, vol. 25, n° 6, 184 p.
- CSE (2015) - *Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal*. Édit. Centre de Suivi Écologique, Dakar (Sénégal), 199 p.
- DESSAY N. (2006) - *Dynamique de la végétation et du climat : étude par télédétection de cinq biomes brésiliens, forêt ombrophile dense et ouverte, Cerrados, Caatinga et Campanha Gaúcha*. Thèse de l'Université Paris X - Nanterre, 364 p.
- DIBI N'DA H., N'GUESSAN E.K., WAJDA M.E. et AFFIAN K. (2008) - Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, vol. 8, n° 1, p.17-34.
- DJOUFACK-MANETSA V. (2011) - *Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI*. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne et Université de Yaoundé I, 303 p.
- DPS (1988) - *Répertoire des villages région de Kolda*. Édit. Direction de la Prévision et de la Statistique, Ministère de l'Economie, des Finances et du Plan, Dakar (Sénégal), 67 p.
- DUCROT D. (2005) - *Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources, extraction de caractéristiques du paysage*. Mémoire d'HDR, INP Toulouse, 240 p.
- EL GAROUANI A., CHEN H., LEWIS L., TRIBAK A. et ABHAROUR M. (2008) - Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG Idrisi au nord-est du Maroc. *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, vol. 8, n° 1, p. 193-201.
- FANCHETTE S. (2010) - *Une région périphérique à l'épreuve de la décentralisation : le Fuladu, pays des Peuls de Haute-Casamance (Sénégal)*. Paris : Édit. Karthala, collection "Hommes et sociétés", Paris, 393 p.
- FAO (2012) - *Situation des forêts du monde 2012*. Édit. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 52 p. + carte.
- FAO (2015) - *Évaluation des ressources forestières mondiale 2015. Répertoire de données de FRA 2015*. Édit. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 244 p.

- FAUCK R., TURENNE J.F. et VIZIER J.F. (1963) - *Étude pédologique de la Haute-Casamance. I - Rapport général. II - Documents cartographique*. Édit. ORSTOM, Dakar, 181 p. + carte au 1/200 000.
- GIRARD M.C. et GIRARD C.M. (2010) - *Traitement des données de télédétection : environnement et ressources naturelles*. Édit. Dunod, Paris, 2^{ème} édition, 553 p.
- GIFFARD P.L. (1974) - *L'arbre dans le paysage sénégalais. Sylviculture en zone tropicale sèche*. Édit. GERDAT-CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), Dakar, 431 p.
- HAMEL O., DIENG C., NIANG A., DIOP A.B., KAIRÉ M., et TAMBA A. (2011) - *La couverture des besoins énergétiques ménagers du Sénégal par les forêts naturelles aménagées : rêve ou réalité ? Impacts sur les politiques nationales et opportunités liées aux Mécanismes "carbone"*. Édit. PACAF-Sénégal/CASCADE-Afrique, 26 p., en ligne : <http://app.olela.net/database/files/publications/besoins-energetiques-et-politiques-nationales-23apr13.pdf>.
- KARSENTY A. et PIRARD R. (2007) - Forêts tropicales : la question du bien public mondial et la quête d'instruments économiques multilatéraux pour un régime international. *Revue Forestière Française*, vol. 59, n° 5, p. 535-547.
- MAIGNIEN R. 1965 - *Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000*. Édit. ORSTOM, Dakar, 71 p. + carte hors texte.
- MAMA A., BAMBA I., SINSIN B., BOGAERT J. et DE CANNIÈRE C. (2014) - Déforestation, savanisation et développement agricole des paysages de savanes-forêts dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 322, n° 4, p. 65-75.
- MASSE A. (2013) - *Développement et automatisation de méthodes de classification à partir de séries temporelles d'images de télédétection-Application aux changements d'occupation des sols et à l'estimation du bilan carbone*. Thèse de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, 223 p.
- MBOW C. (2000) - *Caractéristiques spatio-temporelles des feux de brousse et de leur relation avec la végétation dans le Parc National de Niokolo Koba (Sud-Est du Sénégal)*. Thèse de 3^{ème} Cycle, Université Cheikh Anta-Diop, Dakar, 120 p.
- MEPN. (1999) - *Code forestier du Sénégal : loi N° 98/03 du 08 janvier 1998, décret N°98/164 du 20 février 1998*. Édit. République du Sénégal, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, Direction des Eaux, Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols, Dakar (Sénégal), 42 p.
- MICHEL P. (1990) - La dégradation des paysages au Sénégal. In : *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest*, actes de colloque (Dakar, Sénégal, 1988), J.F RICHARD édit., Édit. Presses Universitaires de Dakar, p. 37-53.
- N'GAIDE A. (1997) - Stratégies d'occupation de l'espace et conflits fonciers : les marabouts gaabunke et les peuls jaawaringa (Région de Kolda, Sénégal). In : *Le territoire, lien ou frontière ? Identités, conflits ethniques, enjeux et recompositions territoriales*, actes de colloque (Paris, 1995), J. BONNEMAISON, L. CAMBREZY, L. QUINTY-BOURGEOIS édit., Édit. ORSTOM, collection "Colloques et séminaires", Cd-Rom, Paris, 18 p.
- PAIN-ORCET M., LO SEEN D., FAUVET N., TRÉBUCHON J.F. et DIPAPOUNDJI B. (1998) - *Les cartes, la télédétection et les SIG, des outils pour la gestion et l'aménagement des forêts tropicales d'Afrique Centrale*. Édit. CIRAD-Forêt, série "FORAFRI 1998", rapport 12, Montpellier, 27 p.

- PÉLISSIER P. (1966) - *Les paysans du Sénégal : les civilisations du Cayor à la Casamance*. Thèse de doctorat d'État, Imprimerie Fabrègue, Saint Yrieux, XV + 939 p.
- PNUE (2002) - *L'avenir de l'environnement en Afrique, le passé, le présent et les perspectives d'avenir*. Édit. United Nations Environment Programme, Earthscan (Royaume-Uni), 422 p.
- PROGEDE (2009) - *Bilan des réalisations du PROGEDE janvier 1998 - décembre 2008*. Édit. République du Sénégal, Projet de Gestion Durable et Participative des Énergies Traditionnelles et de Substitution, rapport de travail, Dakar (Sénégal), 33 p.
- ROGER J., DUVAIL C., BARUSSEAU J.P., NOËL B.J., NEHLIG P. et SERRANO O. (2009) - *Carte géologique du Sénégal à 1/500 000, feuilles nord-ouest, nord-est et sud-ouest*. Édit. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar (Sénégal), 3 coupures.
- ROUSE J.W., HAAS R.W., SCHELL J.A., DEERING D.W. et HARLEM J.C. (1974) - *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation*. Édit. NASA/GSFC, rapport final, Greenbelt (USA), 164 p.
- SAGNA P. (2005) - *Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale*. Thèse de doctorat d'État, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), tome 1, 270 p.
- SAMBOU B. (2004) - *Évolution de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal*. Thèse de doctorat d'État, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 237 p.
- SANE T. (2003) - *La variabilité climatique et ses conséquences sur l'environnement et les activités humaines en Haute-Casamance (Sud Sénégal)*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 370 p.
- SOLLY B., DIEYE E.H.B. et SY O. (2018-a) - Impacts de la déforestation sur les activités agrosylvo-pastorale et la biodiversité dans le département de Médina Yoro Foulah (Haute-Casamance, Sénégal). *Actes du colloque International Ressources en Eau, Environnement et Changement Climatique, 22-24 octobre 2018, Hammamet (Tunisie)*, volume II, p. 166-172.
- SOLLY B., DIEYE E.H.B., SY O. et BARRY B. (2018-b) - Suivi de la déforestation par télédétection Haute-résolution dans le département de Médina Yoro Foulah (Haute-Casamance, Sénégal). *Journal International en Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement*, vol. 3, n° 2, p. 38-41.
- SREF Kolda (2014) - *Rapport annuel 2014*. Service Régional des Eaux et Forêts, Kolda (Sénégal), 100 p.
- SREF Kolda (2018) - *Rapport annuel 2018*. Service Régional des Eaux et Forêts, Kolda (Sénégal), 36 p.
- STANCIOFF A., STALJANSSENS M. et TAPPAN G. (1986) - *Cartographie et télédétection des ressources de la République du Sénégal. Étude de la géologie, de l'hydrogéologie, des sols, de la végétation et des potentiels d'utilisation des sols*. Édit. République du Sénégal / Agence des USA pour le développement, projet de cartographie et de télédétection SDSU-RSI-86-01, XVII + 653 p.
- TAPPAN G.G., SALL M., WOOD E.C. et CUSHING M. (2004) - Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments*, vol. 59, n° 3, p. 427-462.

TRAORE V.B., NDIAYE M.L., DIOUF R., MALOMAR G., BAKHOUM P.W., FAYE M., ABDE-RAMAN M.B., MBOW C., SARR J., BEYE A.C. et DIAW A.T. (2018) - Variability and change analysis in temperature time series at Kolda region, Senegal. *Journal of Water and Environmental Sciences*, vol. 2, n° 2, p. 337-358.

TSAYEM DEMAZE M. (2002) - *Caractérisation et suivi de la déforestation en milieu tropical par télédétection : application aux défrichements agricoles en Guyane française et au Brésil*. Thèse de l'Université d'Orléans, 242 p.

WHITE F. (1986) - *La végétation de l'Afrique : mémoire accompagnant la carte de la végétation*. Édit. ORSTOM-UNESCO, collection "Recherches sur les ressources naturelles", n° 20, traduit par P. BAMPS, Paris, 384 p.

Article soumis le 7 mars 2019.

Texte accepté après révision le 21 novembre 2019.

Mise en ligne le 2 janvier 2020.