

Les Changements d'Occupation des Terres au Sénégal: Une synthèse

À l'aube du 21^e siècle, la communauté mondiale prend conscience que la Terre est en train de connaître une évolution rapide et que l'humanité en est principalement responsable. Bien que des transformations se produisent à tous les niveaux, dans les océans et dans l'atmosphère, les exemples les plus remarquables et les plus visibles des transformations en cours se manifestent sur terre avec l'évolution sans précédent des ressources naturelles superficielles de la Terre. Parmi toutes les régions de la Terre, le Sahel ouest-africain se distingue comme une région particulièrement vulnérable, sujette à la variabilité climatique (Hulme, 2001) et animée par un des taux de croissance démographique mondiaux les plus élevés (2,7 pour cent par an (CILSS, 1999)). Les ressources terrestres sont limitées et en train de changer à des taux sans précédent. Au Sénégal par exemple, l'expansion agricole a empiété sur les habitats naturels pendant des décennies (Tappan et al., 2004; Stancioff et al., 1986). En outre, au cours des 40 dernières années, les savanes et forêts claires du Sénégal ont vu un déclin de la biodiversité et de la densité arborée, qui affecte la capacité des systèmes biologiques à subvenir aux besoins humains fondamentaux. Maintenant que nous avons réalisé que les êtres humains sont responsables de la majorité des changements dans les ressources terrestres à l'échelle mondiale, régionale et locale, il nous revient, pour commencer, de suivre cette rapide évolution - les types, les taux et les amplitudes des changements ainsi que les facteurs moteurs. Une meilleure compréhension des processus évolutifs est en effet essentielle à toute démarche de restauration écologique à travers la gestion des terres.

Au cours de la dernière décennie, le Sénégal a fait de gros progrès dans le suivi de l'état de ses ressources naturelles, en combinant judicieusement des observations sur le terrain et des données télédétektées. Récemment, les scientifiques du Centre de Suivi Ecologique et du Centre Régional AGRHYMET au Sénégal et ceux de l'U.S. Geological Survey/EROS Center se sont associés afin d'étudier la vue d'ensemble des changements dans les ressources terrestres des années 1960 à 2000. Ils ont découvert que les changements dans l'utilisation des terres, l'occupation des terres étaient plus graduels qu'ils ne l'avaient supposé, mais que la densité, la qualité et la diversité végétales avaient enregistré des déclinés importants. Une synthèse des principaux résultats est présentée ci-après.

Topographie et régions écologiques : Présentation générale

Il convient de décrire brièvement la géographie physique et les régions écologiques du Sénégal afin de fournir un contexte pour l'occupation (les attributs d'une partie de la surface terrestre, à savoir végétation, sol, topographie et eau) et l'utilisation des terres (les objectifs de l'exploitation humaine de l'occupation des terres). La Figure 1 présente une image



Figure 1. Vue satellite du Sénégal et d'une partie des pays voisins. Source de l'image : Image composite MODIS de novembre 2006. Dans cette image, les tons plus clairs dans la majorité du centre-ouest du Sénégal correspondent à la zone agricole densément peuplée et intensément cultivée. Une mosaïque de terres agricoles s'est étendue aux régions boisées du centre et du Sud. Les zones rougeâtres correspondent aux feux de brousse de début de saison sèche.

satellite du Sénégal, le pays le plus à l'ouest de l'Afrique de l'Ouest. Cette vue synoptique montre un pays relativement plat, drainé par plusieurs cours d'eau importants. Au plan géologique, le Sénégal est composé d'un bassin sédimentaire recouvert de sédiments éoliens, d'alluvions et d'une cuirasse latéritique intermittente (sols durs, fossiles). L'image fait apparaître le grand contraste entre les espaces herbeux semi-arides du Nord (région climatique sahélienne), les savanes boisées et arborées qui occupent le centre du Sénégal (région climatique soudanienne) et la végétation plus dense et plus humide du Sud (région climatique soudano-guinéenne). La végétation naturelle de ces régions a été considérablement modifiée par les êtres humains, en particulier au travers de la mise en culture. Dans cette image, les tons plus clairs dans la majorité du centre-ouest du Sénégal correspondent à la zone agricole densément peuplée et intensément cultivée. Une mosaïque de terres agricoles s'est étendue jusque dans les régions boisées du centre et du Sud.

Le Sénégal est une région très diverse physiquement et culturellement. Pour une évaluation de l'évolution des paysages, il convient de considérer les changements survenus dans le

contexte unique des régions écologiques (écorégions) du Sénégal. Ces écorégions sont en général des régions considérées comme relativement homogènes du point de vue des systèmes écologiques incluant les interrelations entre les organismes et leur environnement (Omernik, 1987). Les écorégions du Sénégal ont à l'origine été cartographiées par DAT *et al.* (1984), et publiées avec de légères modifications par Tappan *et al.* (2004). La Figure 2 présente les 12 écorégions du Sénégal. Les descriptions détaillées de chaque écorégion sont données dans Tappan *et al.* (2004) et DAT *et al.* (1984). Les écorégions ont été définies en fonction de critères intégrant divers éléments constitutifs des paysages naturels et socioéconomiques du Sénégal, à savoir les facteurs biophysiques (climat, géologie, hydrologie, sols, végétation) et les facteurs humains (type d'habitat, utilisation des terres). La carte des écorégions illustre le fort gradient environnemental observé au Sénégal, depuis les zones pastorales semi-arides au nord – appartenant à la région climatique sahélienne aux régions plus humides du sud – appartenant à la région climatique soudanienne. D'autres régions comme la Région Agricole du centre-ouest ou le Bassin Arachidier sont caractérisées par la prépondérance de facteurs humains forts qui ont complètement altérés les paysages naturels originaux.

Démarche du suivi des ressources terrestres du Sénégal

La majorité des types d'occupation des terres que nous pouvons suivre sont définis par les caractéristiques de la végétation, à savoir sa structure et sa composition. La végétation est la ressource terrestre biologique qui assure la survie de nombreux organismes vivants y compris les êtres humains. C'est une ressource précieuse qui fournit nourriture, fibres, médicaments, habitats pour la vie sauvage, matériaux énergétiques et de construction et assure la stabilité des sols. Pourtant plus qu'aucune autre ressource naturelle, la végétation du Sénégal est celle qui est modifiée par la pression humaine à des taux sans précédent.

Nous nous sommes servis de la végétation comme du principal indicateur de l'état des ressources naturelles parce qu'il est plus facile de l'observer et de la mesurer que la ressource sol. Si les transformations du couvert végétal pérenne et de sa diversité ne révèlent qu'une partie des tendances de l'histoire environnementale, ce sont de bons indicateurs de la santé et de la productivité globales d'un écosystème. Une perte de végétation par exemple, souvent représente le début d'une série d'événements qui aboutit à la désertification car elle peut entraîner des réactions telles qu'un déclin de la fertilité des sols (Bremen et de Wit, 1983) et une réduction des précipitations de convection pendant la saison des pluies (Charney *et al.*, 1975; Charney 1975). Des augmentations du couvert arboré sur les terres cultivées peuvent être un bon indicateur de la qualité de la gestion des terres et du degré de sécurité foncière. La couverture et la diversité végétales sont des baromètres du changement - évolution naturelle à long terme et transformations à plus court terme engendrées par les êtres humains et le climat.

Les paysages passés du Sénégal sont clairement documentés dans des centaines d'images satellites remontant à l'aube de l'âge spatial. Nous avons amplement utilisé cette archive. Les photos satellites du Sénégal les plus anciennes ont été prises en 1962. Pour des vues encore plus anciennes les premières photographies aériennes remontent à 1942. L'utilisation d'images acquises au cours du temps est un outil clé de la détection et de la quantification des changements à une échelle nationale. Sans aucun doute, la documentation la plus utile et la plus détaillée du Sénégal (et de nombreuses autres régions terrestres) remonte à 1965 au moment où des centaines de photographies satellites détaillées ont été prises par le satellite de reconnaissance américain Corona. Pour la période allant de 1972 à 2000 nous avons utilisé les images multispectrales de la série Landsat des satellites de ressources terrestres. Ces imageries ont permis de cartographier et de quantifier les changements dans l'utilisation et l'occupation des terres (LULC) au cours du temps. La Figure 3 compare une photographie Corona (1965) et une image Landsat (1990) illustrant les changements survenus au niveau du couvert forestier ripisylve dans la vallée du fleuve Sénégal à l'ouest de Podor.

Pour corroborer nos analyses de l'imagerie, nous nous sommes appuyés sur des données relevées sur le terrain sur l'ensemble du territoire sénégalais. Nous avons déjà

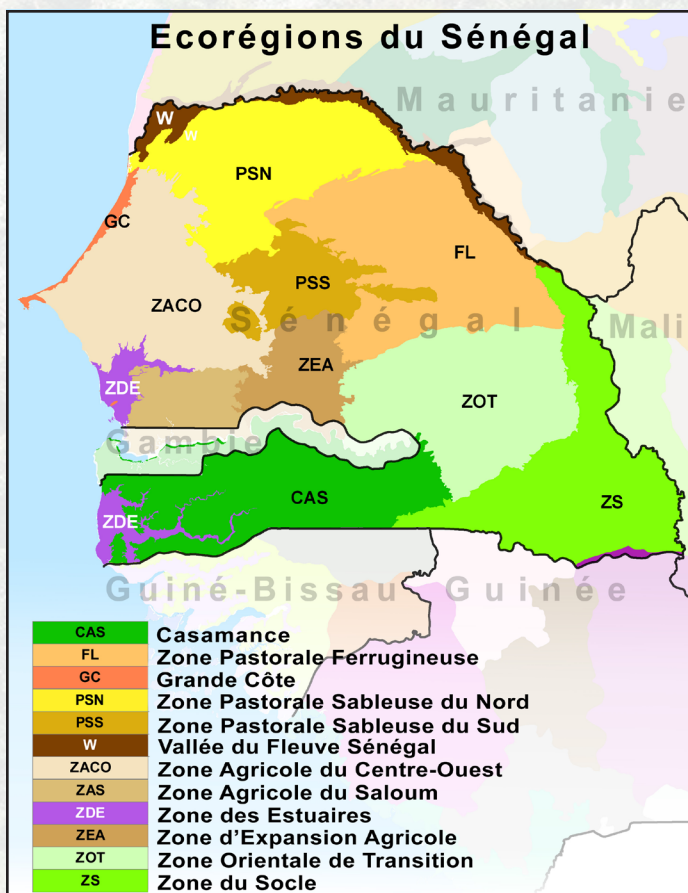
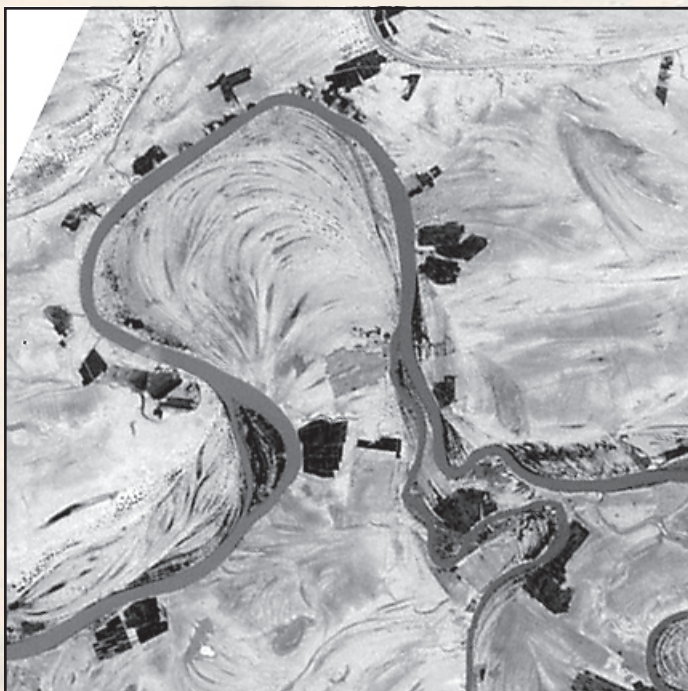
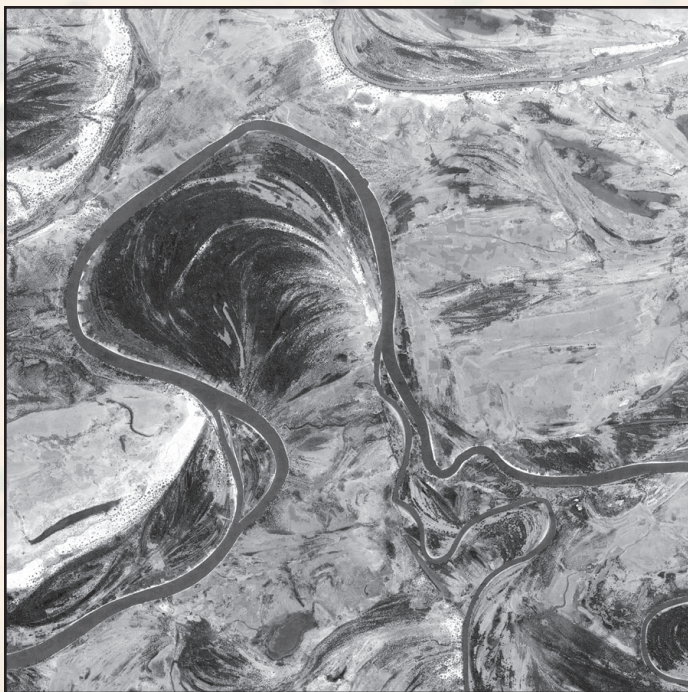


Figure 2. Écorégions du Sénégal.



Figures 3a et 3b. Cette paire d'images documente la réduction formidable des forêts riveraines dans la plaine d'inondation du fleuve Sénégal à l'ouest de Podor. En haut: Photographie Corona, 1965 ; En bas: Image Landsat, 1990.

documentés l'état de l'utilisation et de l'occupation des terres entre 1982 et 1984 et nous avons revisité la plupart de nos sites de terrain de 1994 à 1998 et de 2005 à 2007. De plus, nous avons interviewés un grand nombre de personnes locales afin de recueillir des informations précieuses relatives à la manière dont les paysages se sont transformés pendant le dernier demi-siècle.

Cartographie de l'utilisation et de l'occupation des terres

Afin de cartographier et de suivre les transformations au niveau des ressources terrestres du Sénégal, nous avons défini 18 classes de LULC générales. Nous avons choisi des classes assez générales de LULC qui pouvaient être reconnues sur l'imagerie satellite Corona et Landsat. Cette démarche a résulté en une meilleure précision et cohérence de l'interprétation. Le tableau 1 présente les classes de LULC utilisées pour l'entreprise de cartographie nationale ainsi qu'une brève description de chaque classe. Les noms et les définitions des types d'occupation végétale des terres dérivent pour la plupart de la conférence de Yangambi de 1956 ainsi que de plusieurs nomenclatures nationales (Trochain, 1957 ; Monod, 1963).

Tableau 1. Classes d'utilisation et d'occupation des terres (LULC) utilisées pour les efforts de cartographie nationale entrepris en Afrique de l'Ouest, ainsi qu'une brève description de chaque classe. Pour la cartographie des trois classes de savanes et forêts claires, nous les avons regroupées dans une grande classe générale du fait de la difficulté à les différencier sur l'imagerie Landsat.

Classe d'Occupation du Sol	Recouvrement de végétation ligneuse (%)	Définition brève
Steppe	1 – 25%	Formation herbeuse ouverte, parfois mêlée de plantes ligneuses, généralement non parcourue par les feux ; les graminées sont annuelles et accompagnées de plantes vivaces largement espacées
Savane arbustive	1 – 25%	Uniquement des arbustes disséminés dans le tapis herbacé continu à dominance de graminées
Savane arborée	1 – 25%	Arbres et arbustes disséminés dans le tapis herbacé à dominance de graminées
Savane boisée	25 – 50%	Arbres et arbustes formant un couvert généralement clair laissant largement passer la lumière ; tapis herbacé comportant une strate herbacée supérieure continue
Forêt claire	50 – 75%	Peuplement ouvert avec des arbres de petite et moyenne taille dont les cimes sont plus ou moins jointives, l'ensemble du couvert demeurant clair, strate graminéenne parfois peu dense
Forêt	75 – 100%	Peuplement fermé avec des arbres et des arbustes atteignant diverses hauteurs ; sempervirent ou semi-décidus ; au sol se trouvent çà et là des touffes de graminées
Forêt galerie / Formation ripicole	75 – 100%	Ce sont des forêts constituant une large bande en bordure d'un cours d'eau ; Les formations ripicoles constituent une bande étroite ou cordon de part et d'autre d'un cours d'eau
Prairie marécageuse / vallée inondable	0 – 25%	Formation herbeuse sur sol gorgé d'eau plus ou moins en permanence, parfois avec arbres et arbustes disséminés
Bowé	0 – 5%	Affleurement de latérite constituant une couche imperméable où le développement de la strate ligneuse est très limité ; tapis herbacé bas en saison des pluies
Mangrove	25 – 100%	Formation forestière en bordure de la mer et constituée surtout de palétuviers
Plantation	variable	Terrain occupé par des végétaux plantés à des fins de production d'aliments, de boissons, d'oléagineux, de matières premières industrielles ou de bois
Zone de culture	0 – 20%	Zones de culture pluviale où les productions végétales sont cultivées, parfois sous un couvert d'arbres et/ou d'arbustes
Zone de culture irriguée	0%	Ce sont les zones où la mise en culture se fait au fur et à mesure que les eaux d'un cours ou d'un plan d'eau se retirent
Sol dénudé	0%	Sol dégaré de couvert végétal, par exemple les glaciers érodés
Surface sableuse	0%	Plage ou monticule de sable en déplacement, édifié par le vent ; dunes vives
Terrains rocheux	0%	Ce sont les zones où les éléments rocheux sont dominants, à savoir piton rocheux, talus rocheux, affleurement rocheux, etc.
Plans d'eau	0%	Toute forme zonale occupée par les eaux de façon permanente ou quasi permanente.
Habitation	variable	Ensemble et arrangement des habitations dans un espace donné

Nous avons appliqué une démarche manuelle d'interprétation photographique pour identifier et cartographier les classes LULC sur les images Landsat. Cette méthode manuelle s'y prête bien pour plusieurs raisons. En premier lieu, elle permet de travailler avec des images provenant de satellites différents et ayant des formats différents. Ensuite elle permet aux experts d'intégrer les connaissances locales aux informations multidimensionnelles fournies par l'imagerie. Finalement les interpréteurs photographiques peuvent éliminer les différences saisonnières d'une image à l'autre ainsi que les différences dues à l'éclairage et aux effets atmosphériques. Ils peuvent en outre différencier les transformations réelles de LULC des transformations éphémères telles que celles dues aux feux de brousse annuels. Les interprétations ont été vérifiées là où c'était possible avec une imagerie satellite commerciale détaillée.

Pour notre analyse des changements, nous avons utilisé trois sources primaires d'images : Les images Landsat du multispectral scanner (MSS) de 1972-1975 et les images Landsat de l'enhanced thematic mapper (ETM+) de 1999-2000. Nous nous sommes servis de l'imagerie des périodes antérieures pour examiner les tendances dans des zones locales spécifiques, plus particulièrement des photographies satellites Corona de 1965-1968

La cartographie de LULC sur de vastes superficies au cours du temps présente de grandes difficultés. Les démarches semi-automatisées utilisant les données d'images spectrales sont souvent entachées par des problèmes d'erreur de classification. Nous avons mis au point une démarche unique pour cartographier efficacement LULC sur de vastes étendues, sur plusieurs périodes temporelles. Elle repose sur une méthode conceptuellement simple de production de cartes de LULC dans un format raster (basé sur le pixel). Les scientifiques de l'USGS EROS ont mis au point un outil spécial appelé Rapid Land Cover Mapper sous ArcView 9.0, qui est un logiciel de système d'information géographique (SIG) multi-usages. Au moyen de l'interprétation photographique, l'analyste cartographie LULC directement à l'écran en commençant généralement par la période la plus récente et en remontant ensuite dans le temps. On produit ainsi une série de cartes de LULC et des statistiques associées qui caractérisent les paysages en cours de changement aux échelles nationales. Le Sénégal est l'un des 12 pays qui a utilisé le nouvel outil cartographique de LULC.

La cartographie de LULC à partir des images satellites nécessite une combinaison de compétences comprenant une connaissance locale approfondie du pays - à savoir sa géographie y compris les paysages physiques, biologiques et humains. Afin de vérifier l'exactitude des cartes de LULC, nous avons utilisé de multiples sources de données ancillaires, à savoir les données de terrain de près de 600 sites et les photographies aériennes à références géographiques que nous avons prises entre 1994 et 2003. La paire de photographies prises sur le terrain montrées dans la Figure 4 donne un exemple de suivi des changements de LULC à l'un des nombreux sites de terrain. Les Figures 5 et 6 illustrent le type

d'informations précieuses relatives aux paysages, fournies par les photographies aériennes à basse altitude.

Tendances de l'utilisation et de l'occupation des terres

Les tendances générales de LULC de 1975 à 2000 révèlent des transformations légères à modérées pendant ces 25 années comme en témoignent la paire de cartes présentées dans les Figures 8a et 8b. Mais il faut être conscient que ces cartes reflètent des conversions entre classes LULC (transition d'un type d'occupation à un autre ou d'un type d'utilisation dans un autre) et non des modifications internes à une classe (maintien du type global d'occupation ou d'utilisation mais modification dans la qualité ou les attributs de cette classe). Il est également important d'examiner les chiffres de l'occupation des terres donnés dans le tableau 2, qui compare les changements dans les superficies occupées par chaque classe.



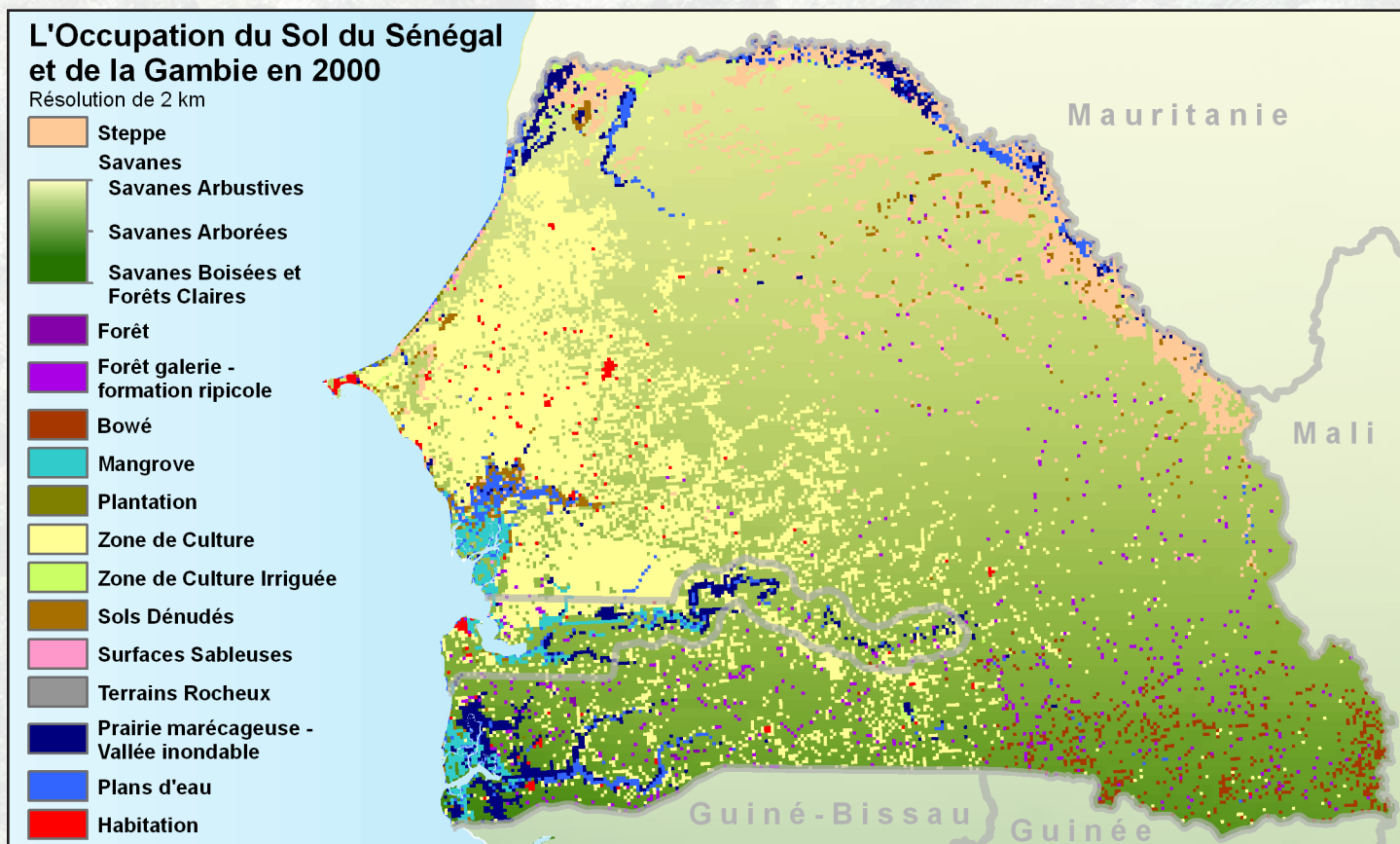
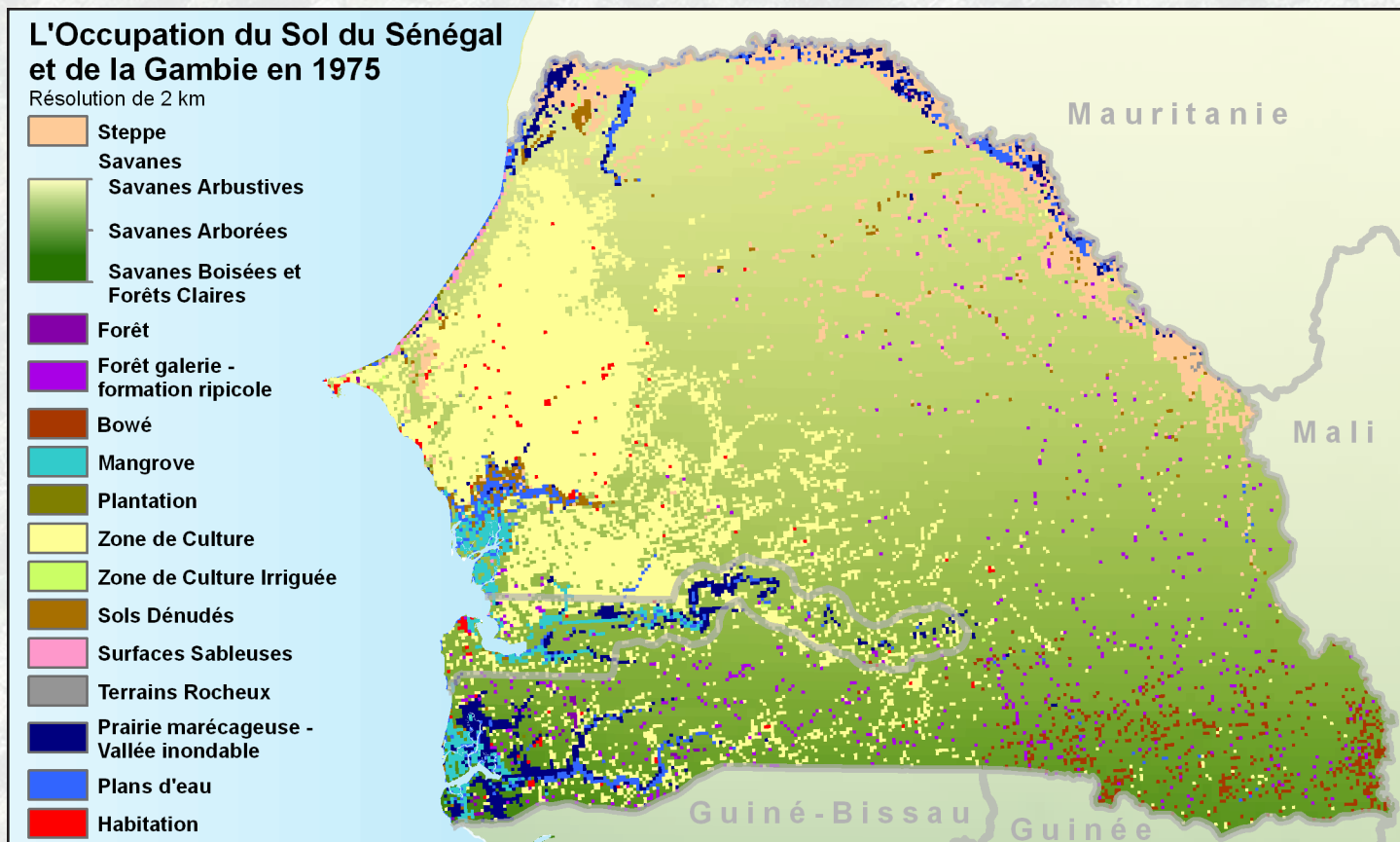
Figures 4a et 4b. La paire de photographies des paysages prise sur l'un des 600 sites de suivi est un exemple de conversion d'une classe de LULC dans une autre. La savane boisée vue en haut (août 1983) a été convertie en terres agricoles (septembre 1998) en bas.



Figures 5a et 5b. Par contraste avec une conversion d'une classe LULC en une autre, cette comparaison photographique à 11 ans d'intervalle de l'état d'une savane boisée soudanienne révèle une modification de la qualité de la végétation - une diminution de la densité et de la biodiversité arborée. Ce site est un exemple type de la pression d'abatage des arbres pour la production de charbon de bois, se traduisant par un éclaircissage significatif du couvert ligneux et une réduction de sa biodiversité. (À gauche, mars 1983 ; à droite, février 1994).



Figures 6 et 7. Ces vues aériennes à basse altitude de la Région Agricole du Saloum constituent des documents fondamentaux de LULC qui ont servi à vérifier l'exactitude des cartes de LULC. À gauche, nous pouvons voir la savane boisée de la Forêt Classée de Saboya bordée par des sols nus et une prairie marécageuse occupée par une mangrove. À droite, nous observons le motif caractéristique de culture extensive autour d'un village.



Figures 8a et 8b. Une paire de cartes de l'utilisation et l'occupation des terres (LULC) montrant la situation en 1975 et en 2000.

Tableau 2. Changement enregistré en superficie et en pourcentage entre 1975 et 2000 pour les classes LULC.

Classes d'utilisation et d'occupation des terres	Superficie (km ²) c. 1975	Pourcentage de la superficie totale du pays (%)	Superficie (km ²) c. 2000	Pourcentage de la superficie totale du pays (%)	Pourcentage de changement pour la classe (%)	Pourcentage de changement pour la superficie totale (%)
Steppe	9808	5,1	10284	5,3	4,9	0,2
Savane / forêt claire	138724	71,6	137120	70,8	-1,2	-0,8
Forêt	264	0,1	104	0,1	-60,6	-0,1
Forêt galerie	2228	1,2	2192	1,1	-1,6	0,0
Prairie marécageuse / vallée inondable	3340	1,7	3684	1,9	10,3	0,2
Bowé	2200	1,1	2200	1,1	0,0	0,0
Mangrove	1488	0,8	1428	0,7	-4,0	0,0
Plantation	116	0,1	128	0,1	10,3	0,0
Zone de culture	32540	16,8	32692	16,9	0,5	0,1
Zone de culture irriguée	328	0,2	664	0,3	102,4	0,2
Zone de culture : Totaux	32868	17,0	33356	17,2	1,5	0,2
Sol dénudé	1196	0,6	1436	0,7	20,1	0,1
Surface sableuse	216	0,1	60	0,0	-72,2	-0,1
Terrain rocheux	52	0,0	52	0,0	0,0	0,0
Plan d'eau	2856	1,5	3084	1,6	8,0	0,1
Habitation	508	0,3	736	0,4	44,9	0,1
Totaux nationaux	193664	100,0	193664	100,0	0,0	0,0

La comparaison des cartes LULC de 1975 et 2000 indique que le changement le plus ostensible se situe au niveau de l'organisation spatiale et la distribution des zones de culture. En 2000, l'organisation spatiale de l'agriculture est plus fragmentée, plus discontinue, en particulier dans l'ouest. L'expansion agricole conduit à la fragmentation des savanes boisées et des forêts claires dans la Casamance, se traduisant par une perte d'habitat et un déclin de la qualité de l'habitat.

Cette transformation de l'agriculture est complexe. Apparemment, l'augmentation des superficies cultivées (sous pluie et irriguées) est légère pour cette classe (1,5 pour cent), passant de 32.868 km² en 1975 à 33.356 km² en 2000. Mais la stabilité de la superficie totale consacrée à l'agriculture est trompeuse car elle masque des transformations significatives au sein de certaines écorégions du Sénégal. Une étude plus approfondie révèle une expansion importante dans plusieurs régions et l'abandon des terres agricoles dans le Bassin Arachidier. Le tableau 3 récapitule les tendances dans des écorégions sélectionnées en fonction des bouleversements profonds affectant les terres consacrées à l'agriculture. Dans le Bassin arachidier, la superficie en terres cultivées a décliné de 11,2 pour cent. Les terres agricoles sont abandonnées et se transforment en jachères à long-terme qui sont incluses dans la classe des savanes arbustives et arborées. Nous avons interviewé de nombreux agriculteurs à ce sujet. Ils ont tous évoqué une crise

de l'économie agricole, résultant de l'effondrement du cours de l'arachide. De nombreux agriculteurs ont abandonné leurs champs en faveur d'autres activités économiques, y compris l'émigration sur Dakar, Touba et les autres centres urbains.

À l'inverse, le tableau 3 montre une expansion agricole importante dans les savanes et les forêts claires du centre et du sud du Sénégal, en particulier en Casamance, Zone d'Expansion Agricole et la Zone Orientale de Transition. Si nous considérons toutes les écorégions du Sénégal en excluant le Bassin Arachidier, nous constatons alors qu'en fait les superficies cultivées ont augmenté de 19 pour cent en empiétant principalement sur les savanes et les forêts claires.

La disparition des savanes au profit de l'agriculture est également masquée dans la vue d'ensemble nationale par l'augmentation des savanes dans le Bassin Arachidier due aux terres mises en jachère plus longtemps (structurellement des savanes arbustive ou arborée). L'exclusion du Bassin Arachidier fait également apparaître une diminution importante des savanes et des forêts claires dans les autres régions, s'élevant à une perte de 3720 km², soit une diminution de 2,7 pour cent. Ceci correspond à une perte de 148 km² par an. Quoique significatif, ce chiffre est beaucoup plus faible que ceux trouvés dans la littérature. L'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture

Tableau 3. Changements enregistrés en superficie et pourcentage entre 1975 et 2000 pour l'utilisation terres agricoles dans les régions sélectionnées subissant des transformations importantes.

Classes d'utilisation et d'occupation des terres	Superficie (km ²) c. 1975	Pourcentage de la superficie totale du pays (%)	Superficie (km ²) c. 2000	Pourcentage de la superficie totale du pays (%)	Pourcentage de changement pour la classe (%)	Changement total de superficie (%)
Agriculture dans le Bassin arachidier (ZACO)	19952	10,3	17712	9,1	-11,2	-1.1
Agriculture dans la Casamance (CAS)	3180	1,6	3860	2,0	24,2	0.4
Agriculture dans la Zone d'Expansion Agricole (ZEA)	2232	1,1	2964	1,5	32,8	0.4
Agriculture dans la Zone Orientale de Transition (ZOT)	1084	0,6	1532	0,8	41,3	0.2
Agriculture dans toutes les autres régions (en excluant le Bassin arachidier)	12588	6,7	14980	7,7	19,0	1.2

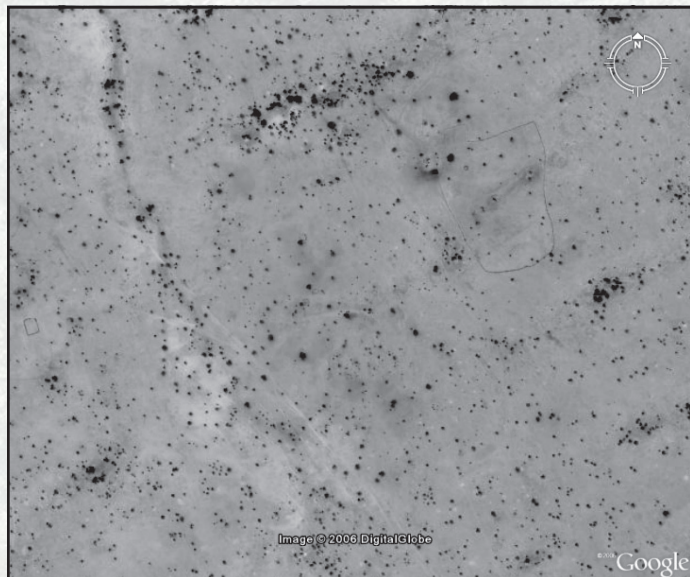
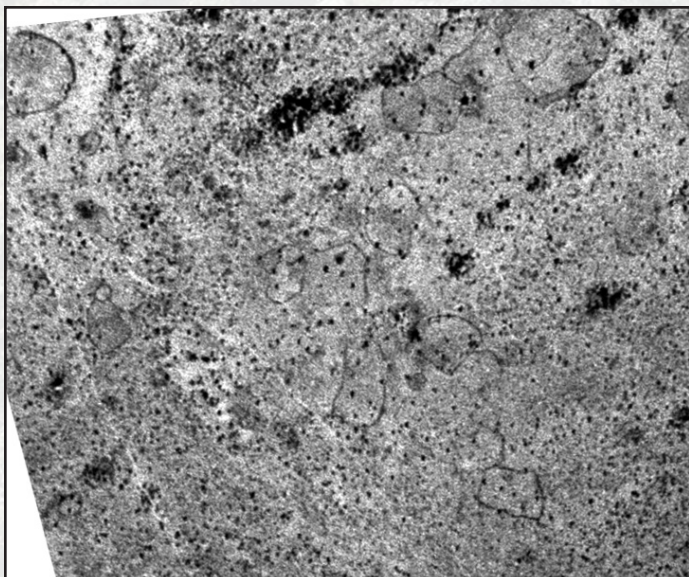
et l'Alimentation (FAO 1995) a estimé que la déforestation s'élevait à 520 km²/an.

Un certain nombre d'autres transitions sont dignes d'être notées. Il y a eu une perte de 60,6 pour cent des forêts denses sénégalaises (de 264 km² à 104 km²) entre 1975 et 2000. Ces forêts comprennent les forêts claires riveraines le long du fleuve Sénégal et les forêts semi-sempervirentes de la Basse Casamance. Biologiquement fort importantes ces forêts-galeries ont modérément décliné (1,6 pour cent). Une disparition beaucoup plus importante des forêts galeries s'est produite entre 1965 et 1975 (Tappan et al., 2004). La superficie en prairies marécageuses a augmenté de 10,3 pour cent. Une explication de ce phénomène est que de 1972 à 1975 le Sénégal a connu une période de sécheresse extrême alors que vers la fin des années 1990, la pluviométrie a approché des niveaux normaux. Une autre tendance importante, signe de conditions plus sèches et d'une dégradation des terres, est l'augmentation des steppes au détriment des savanes (4,9 pour cent d'augmentation, principalement dans les écorégions pastorales) et des sols dénudés (20,1 pour cent, essentiellement dans l'écorégion Pastorale Ferrugineuse). Le travail de terrain a confirmé cette tendance, avec une rapide explosion de badlands le long des vallées fossiles là où la terre est devenue complètement stérile. Une autre tendance plus positive est la diminution des surfaces sableuses dénudées (surtout des dunes côtières) de 72,2 pour cent. Cette diminution est largement attribuable au succès des efforts de reforestation côtiers et de stabilisation des dunes. Enfin, la grande augmentation des zones habitées (habitation) donne une autre mesure des impacts humains. La classe d'occupation des terres Habitation est passée de 508 km² à 736 km², soit un accroissement de 44,9 pour cent. Ceci reflète la croissance démographique accélérée surtout dans les zones urbaines.

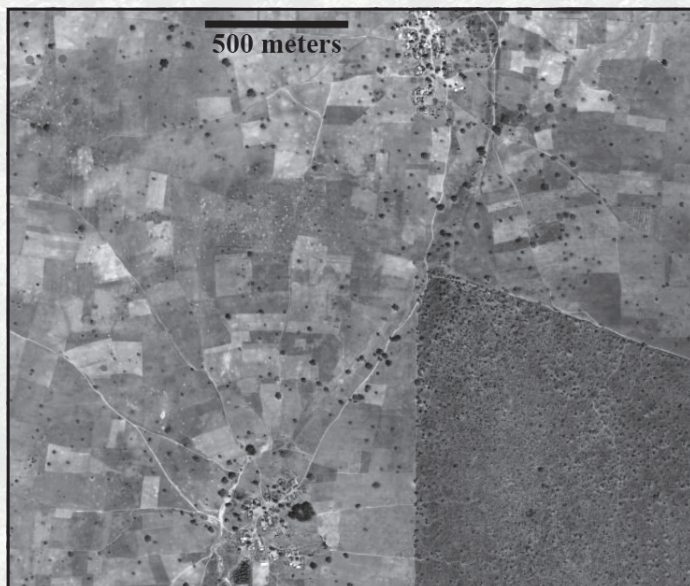
Modification interne de l'occupation des terres

La cartographie de LULC constitue un élément important de la vue synoptique de la manière dont les ressources terrestres changent. Mais elle peut négliger une autre dimension du changement, à savoir les modifications internes de l'occupation des terres au cours du temps. Par exemple, une forêt claire en 1975 peut toujours être cartographiée comme une forêt claire en 2000, occupant à peu près la même superficie, alors qu'elle peut avoir subi des changements importants au niveau de ses attributs. Elle peut être devenue dégradée sous le coup des pressions humaines ayant entraîné une réduction de la densité arborée et de la diversité biologique de ses communautés végétales. Les modifications de l'occupation des terres peuvent être subtiles et le suivi de telles modifications en général exige des observations sur le terrain et une imagerie à haute résolution. Woerner et al. (2004) ont observé que la majorité des pertes en biomasse ligneuse et en carbone au Sénégal entre 1965 et 2000 étaient dues à des modifications internes de l'occupation des terres plutôt que des changements de LULC.

Bien que nous ne possédions pas une image complète des modifications internes de l'occupation des terres au Sénégal, nous pouvons fournir plusieurs exemples qui illustrent des modifications significatives entre 1965 et 2000. Ainsi, les Figures 9a et 9b présentent une paire d'images comparant le couvert ligneux sur une période de 40 ans dans la Zone Pastorale Sableuse du Nord. Dans cet exemple, la densité arborée est tombée de 9 arbres/arbustes par hectare en 1965 à 6 arbres/arbustes par hectare en 2004. De plus, les observations de terrain indiquent une perte de biodiversité pour les espèces ligneuses. La classe de LULC n'a pas changé - il s'agit encore d'une savane arbustive et arborée, mais la qualité de l'occupation des terres a changé - elle est plus dégradée. Les Figures 10a et 10b illustrent ce phénomène de modification interne dans



Figures 9a et 9b. Cette paire d'images satellites de 1965 (Corona, à gauche) et 2005 (Quickbird, à droite) montre un déclin significatif de la densité arbustive et arborée dans la Zone Pastorale Sableuse du Nord – un exemple type de modification interne de LULC. La classe de LULC n'a pas changé (cartographiée comme une savane arbustive dans la classe globale des savanes en 1975 et en 2000), mais la densité végétale a enregistré un déclin significatif.



Figures 10a et 10b. Une paire d'images satellites de 1968 (Corona, à gauche) et 2005 (Quickbird, à droite) du Sénégal méridional (à Soukouto dans la Zone Agricole du Saloum) documentant la réduction progressive de la densité arborée dans les champs cultivés (les arbres sont les taches noires) comme dans les forêts classées où les plus gros arbres ont disparu. La forêt en question ici est la Forêt Classée de Saboya. Il s'agit d'un autre exemple de modification de l'occupation des terres.

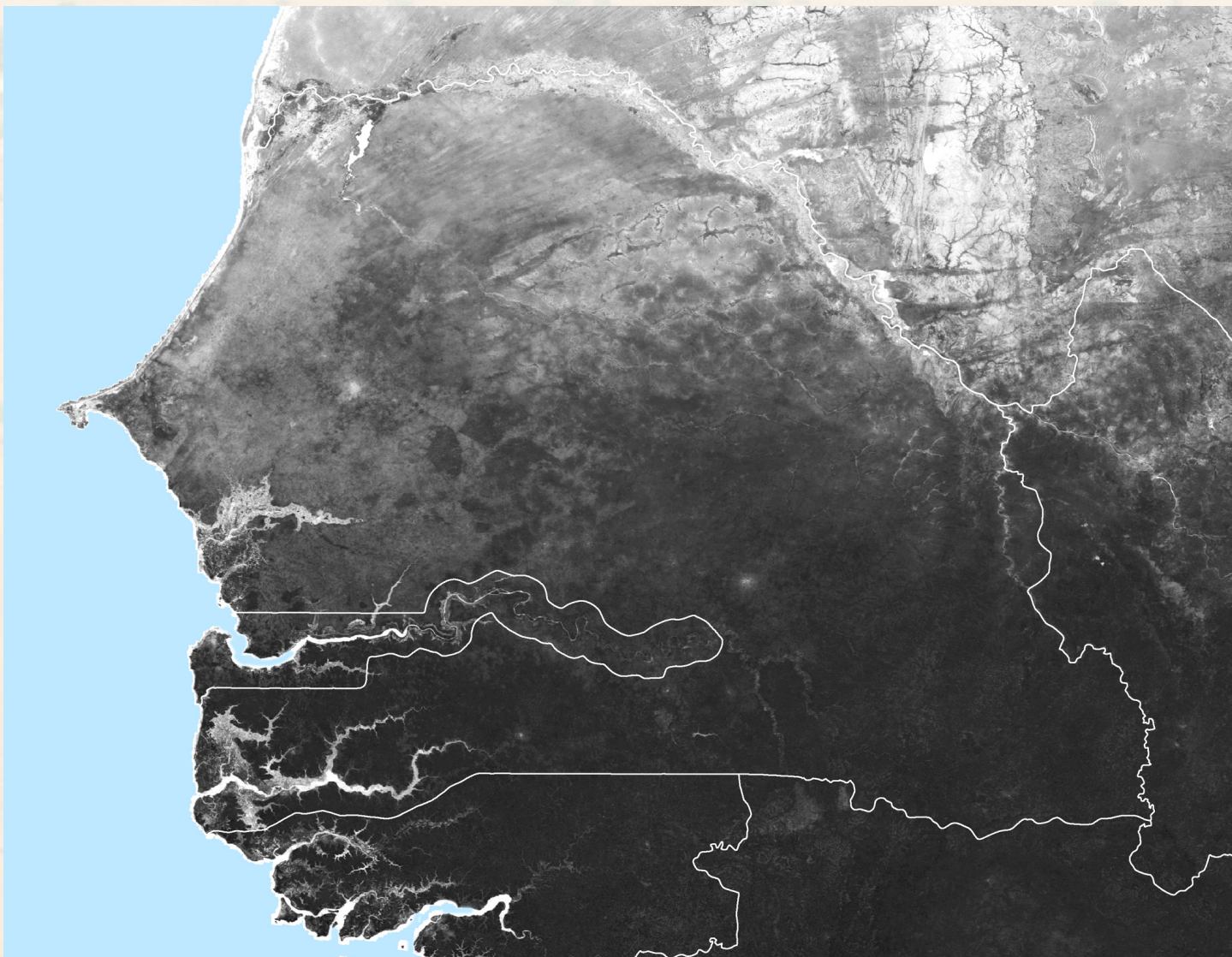


Figure 11. Une image MODIS de l'indice de végétation maximum moyen, indiquant la productivité des terres. Les teintes claires représentent un couvert végétal épars ou une faible productivité des terres ; les teintes sombres correspondent à une végétation plus dense et par conséquent une productivité des terres plus élevée.

le Sénégal méridional. La quantification de tels changements pour toutes les classes de LULC au Sénégal nécessite un travail supplémentaire.

Productivité des terres

Alors que les cartes de LULC caractérisent la surface terrestre et son utilisation par les êtres humains, une autre dimension importante est la productivité de la terre, c'est-à-dire sa capacité à subvenir à la vie et à l'entretenir. Une mesure de la productivité terrestre constitue également un bon indicateur des problèmes de dégradation ou de l'état des terres. Un moyen pratique de considérer la productivité est au travers de la végétation - sa densité et sa vigueur. La télédétection peut mesurer la productivité raisonnablement bien et les tendances de la productivité sont communément dérivées à l'aide d'un index de végétation qui est calculé à partir des caractéristiques de réflectance saisies dans les images satellites. Les indices de

végétation sont étroitement corrélés avec la production de végétation.

Afin d'examiner la productivité des terres au Sénégal, nous avons utilisé de nombreuses images d'indices de végétation dérivées du capteur satellisé MODIS, spectroradiomètre imageur à moyenne résolution, et calculé les valeurs maximales de végétation pendant la saison de croissance pour chacune des sept années de 2000 à 2006 incluses. Nous avons ensuite calculé la moyenne des ces maxima annuels sur les sept années afin de créer une « image de l'indice de végétation maximum moyen ». Cette technique simple permet de bien minimiser la variabilité saisonnière dans la végétation qui répond aux variations de la pluviométrie et fournit une excellente base pour déterminer les anomalies dans la production de végétation, positives ou négatives, sur l'ensemble du pays.

La Figure 11 présente le produit final, une image bien corrélée avec la productivité terrestre. Plus la teinte est sombre plus le couvert végétal est dense, ce qui indique une terre relativement productive. Dans le Nord, les régions les plus productives se situent dans les régions pastorales sableuses contrairement à la région pastorale ferrugineuse qui est beaucoup moins productive (tons plus clairs) du fait de ses sols latéritiques, minces et rocheux. Les régions agricoles du Bassin arachidier et du Saloum apparaissent moins productive que les savanes voisines. Mais dans ce cas, on doit être conscient que le couvert végétal d'une culture est en général moindre que celui d'un espace herbeux du fait de l'écartement entre les plantes cultivées et du désherbage pratiqué. L'information la plus intéressante dans cette image se situe peut-être au niveau des détails locaux. Ainsi, dans les régions pastorales, de nombreuses taches claires indicatrices d'une productivité anormalement faible sont présentes. Les observations sur le terrain confirment que la plupart des ces taches correspondent à des zones de dégradation du sol et de la végétation liée aux points d'abreuvement du bétail. Des surfaces dénudées le long des vallées fossiles sont également visibles. À l'inverse, des anomalies de productivité élevée (taches sombres) apparaissent, en particulier dans les régions agricoles. Elles correspondent pour la plupart à des zones protégées, y compris des forêts classées. D'autres zones sombres peuvent résulter de pratiques de gestion de terres qui améliorent la fertilité des sols et conservent le couvert végétal. L'image de l'indice de végétation maximum moyen fournit une bonne base pour la détection et le suivi des anomalies de productivité liées à la dégradation ou à l'inverse à des caractéristiques environnementales positives. Mesurant une autre dimension de l'état des ressources terrestres, cet indice constitue un excellent complément du suivi de LULC.

Bibliographie

- CSE, 2005. Rapport sur l'Etat de l'Environnement au Senegal. CSE/Dakar. 229 pp.
- Charney, J.G., 1975. Dynamics of Deserts and Drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 101 :193-202.
- Charney, J.G., P.H. Stone, and W.J. Quirk, 1975. Drought in the Sahara: a Biogeophysical Feedback Mechanism. *Science* 187:434-435.
- CILSS, 1999. Sahel 21: La Vision de l'Avenir du Sahel par les Sahéliens. Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel, Ouagadougou.
- DAT, PNUD, DTCD, 1984. Schéma national d'aménagement du territoire, version préliminaire. SEN 82.016, 749 pp
- FAO, 1995. Forest Resources Assessment 1990: Global Syntheses. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy
- Gonzalez, P., 2001. Desertification and a shift in forest species in the West African Sahel. *Climate Research*, 17, 217-228.
- Hulme, M., 2001. Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. *Global Environmental Change* 11, 19-29.
- McDonald R.A., 1995. Corona: Success for Space Reconnaissance, a Look into the Cold War, and a Revolution for Intelligence, *Photogram Eng Remote Sens*, 61 (6): 689-720
- Monod, Théodore, 1963. « Après Yangambi (1956) : Notes de Phytogéographie Africaine ». *Bulletin de l'Institut Français d'Afrique Noire*. Tome XXV, série A, n° 2.
- Omernik, J.M., 1987. Ecoregions of the conterminous United States. Map (scale 1:7,500,000). *Annals of the Association of American Geographers* 77(1):118-125.
- Stancioff, A.M., Staljanssens, M., Tappan, G., 1986. Mapping and Remote Sensing of the Resources of the Republic of Senegal: A Study of the Geology, Hydrology, Soils, Vegetation, and Land Use Potential. South Dakota State University/Remote Sensing Institute, Brookings, 650 pp.
- Tappan, G., Sall, M., Wood, E., Cushing, M., 2004. Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59 3, 427-462.
- Trochain, Jean L., 1957. « Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique Tropicale ». *Bulletin de l'Institut d'Etudes Centrafricaines*, Nouvelle série, No. 13-14:55-93.
- Woomer, P.L., L.Tieszen, G. Tappan, A. Toure, M. Sall, 2004. Land Use Change and Terrestrial Carbon Stocks in Senegal, *Journal of Arid Environments*, 59, 625-642.