CARTOGRAPHIE PAR TÉLÉDÉTECTION DES CHANGEMENTS DE LA COUVERTURE VÉGÉTALE SUR LA BANDE LITTORALE OUEST-AFRICAINE : EXEMPLE DES RIVIÈRES DU SUD DU DELTA DU SALOUM (SÉNÉGAL) AU RIO GEBA (GUINÉE-BISSAU)

Julien ANDRIEU et Catherine MERING

Pôle Image de l'Université Paris Diderot – Paris 7, case courrier 7001 75205 Paris cedex 13.
UMR 8586, Pôle de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique, 2, rue Valette 75005 Paris.
Tél. 0157277198 Fax. 0157277197
Julien.andrieu@univ-paris-diderot.fr ; catherine.mering@univ-paris-diderot.fr

Soumis le 1er novembre 2007 ; révisé le 11 mars 2008 ; accepté le 7 avril 2008, © *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 2, p. 93-118

Résumé

Pour cartographier et quantifier les changements de la couverture du sol par la végétation sur le littoral ouest-africain, à partir de scènes LANDSAT TM à différentes dates, nous avons élaboré une procédure par emboîtement de classifications non dirigées. L'objectif est d'appliquer de façon reproductible et généralisable une nomenclature prédéfinie à différentes scènes d'images satellite. La première étape consiste à interpréter les classes radiométriques obtenues par classification non dirigée de sorte à former les classes de la nomenclature thématique. Une amélioration de la classification est ensuite obtenue en augmentant les contrastes radiométriques au sein de chacune des classes précédemment obtenues au moyen d'une Analyse en Composantes Principales appliquée aux canaux LANDSAT, suivie d'une seconde classification au sein des classes qui permet de réaffecter correctement les pixels antérieurement mal classés.

L'analyse des séries temporelles d'images LANDSAT a permis de mettre en évidence que, durant les trois dernières décennies, les superficies boisées en mangrove comme en savane ont très peu évolué. Entre la fin des années 1970 et le début des années 2000, les superficies boisées ont augmenté de moins de 1 % par rapport aux superficies boisées en 1979. Ce bilan de faible changement est en fait la résultante d'une tendance à la régression durant les années 1980 suivie d'une tendance à la progression dans les années 1990.

Mots clés : *Carte des changements, occupation du sol, littoral ouest africain, savane, mangrove.*

Abstract

Vegetation land cover change mapping of West African coastal zone from remotely sensed images : example of "Rivières-du-Sud" from Salum Delta (Senegal) to Rio Geba (Guinea-Bissau)

This paper aims the mapping and quantification of vegetation land cover changes in West-African coastal zone using LANDSAT TM images. A multistage unsupervised classification has been designed for this purpose. The objective was the mapping of land cover, with a predefined typology, by means of a reproducible method that could be easily generalized to other regions. The first step is an interpretation of the unsupervised classification, the clusters of which are regrouped according to the typology. The classification is improved by stretching radiometric contrasts with Principal Component Analysis applied to LANDSAT bands followed by a second unsupervised classification to re-classify properly the previously ill-classified cells.

The analysis of time series LANDSAT images has shown that, during the last three decades wooded areas (both in mangrove and savannah) had known few changes. Within 25 years, wooded areas increased of less than 1 percent of wooded areas in 1979. However, this quantitative balance results from a first trend of reduction of wooded areas during the 1980's followed by a second trend of increase during the 1990's.

Key words : *Change mapping, land cover, West-African littoral, savannah, mangrove.*

1. INTRODUCTION

En Afrique comme ailleurs, le recul ou l'altération des surfaces boisées devient une préoccupation, tant pour les acteurs locaux que pour la communauté scientifique. En Afrique de l'Ouest, se pose en outre le problème de l'impact de la sécheresse depuis la fin des années 1960 (Dai *et al*. 2004, Chapell et Agnew, 2004, Hulme 2001, Nicholson, 2000) et celui de la reprise relative des précipitations (Fall, 2006 ; Nicholson, 2005) sur l'état du couvert végétal (Heumann *et al*., 2007 ; Camberlin, 2007 ; Sow et al., 1994 ; Bassel, 1993). En effet, la diminution des surfaces boisées semble liée à la variabilité du climat mais aussi aux évolutions sociales, économiques et politiques des systèmes ruraux que l'ensemble du continent a connues durant les dernières décennies. Cette zone correspond au passage entre l'Afrique des savanes et des cultures céréalières (alternance du mil et de l'arachide dans le Bassin Arachidier) au nord du fleuve Gambie (Wright, 2004) et l'Afrique agroforestière (riz, de mangrove et riz pluvial dans un système agroforestier à Palmier à huile) au sud (Ecoutin et al, 1999 ; Montoroi, 1996 ; Loyer, 1989). Le nord est depuis des années soumis à une dégradation des savanes (Ndiaye, 1990) et des paysages agricoles (Lericollais, 1989). Le sud connaît à la fois une diminution des agroforêts converties en vergers d'anacardiers (Vasconcelos et al, 2000 ; Fazeindeiro-Catarino, 2004) et la dégradation des systèmes de riziculture de mangroves (Bosc, 2005 ; Ecoutin et al, 1999)

La cartographie des changements dans la couverture végétale et plus spécifiquement dans la répartition des boisements, est nécessaire à une meilleure connaissance des dynamiques paysagères et donc à une meilleure gestion de ces ressources. Sur le littoral, cette question se complique par la grande variété des boisements : la mangrove et les boisements de terre ferme (savanes et palmeraies) dont les évolutions peuvent différer. La complication vient aussi d'une difficile distinction entre forêt et espace agraire par la présence de paysages mixtes.

Le littoral ouest-africain est un espace assez largement et anciennement étudié comme en témoignent les travaux de Cormier Salem (1994, 1999) où les travaux anciens (Trochain, 1940, Pélissier, 1966). La plupart des travaux qui utilisent la télédétection pour cartographier le changement des paysages se limite, soit à un paysage unique soit à une zone restreinte ; Ainsi, Diop *et al.*, (2000) et Moreau, (2005) se sont focalisés essentiellement sur l'évolution des massifs de mangrove du Delta du Saloum. Vasconcelos *et al*. (2002) se sont intéressés à l'ensemble des paysages dans le cas de deux sites de Guinée-Bissau : le parc national du Rio Cacheu et l'île d'Orango. Tappan *et al*. (2004) ont défini les différentes écorégions**,** pour l'ensemble du Sénégal et cartographié localement quelques formes d'évolutions de l'occupation du sol. Cuq. et al. 1996 ont produit une carte d'occupation du sol à typologie très détaillée de la Guinée-Bissau mais pas de carte des changements. Pour notre part, nous proposons de cartographier l'évolution récente de la couverture du sol d'une zone d'étude qui s'étend du Saloum (Sénégal) au Rio Geba (Guinée-Bissau) (figure 1). La plupart de ces travaux s'appuient sur des analyses locales basées autant sur les cartes topographiques que sur des images satellites (Vasconcelos *et al.*, 2000 ; Diop *et al.*, 2000 ; Tappan *et al.*, 2004) mais pas sur une procédure de détection des changements du paysage et leur cartographie. Le recours à une méthode reproductible et applicable à de grands espaces semble donc aujourd'hui une nécessité pour faire avancer les connaissances sur le littoral ouest-Africain.

L'objectif de cette cartographie réalisée à partir de l'analyse des images satellites à différentes dates est de répondre aux questions suivantes : quelle est actuellement l'importance de la déforestation sur le littoral ouest-africain ? Observe-ton des phénomènes de progression des boisements ? Quelle sont les structures spatiale des changements à l'échelle régionale ? Peut-on constater des évolutions différentes durant les années 1980 et les années 1990 ?

Une telle étude permet, par ailleurs, une réflexion sur l'utilisation des méthodes de classifications non dirigées pour la réalisation des cartes thématiques à partir de nomenclatures pré-définies. En effet, pour réaliser des cartes de la couverture du sol par télédétection en fonction d'une nomenclature établie a priori, on a généralement recours à des méthodes de classifications dirigées en utilisant une base de zones témoins représentant chacune des classes de la nomenclature. Ne disposant pas ici d'une base de données de terrain pour adopter cette approche avec la rigueur nécessaire, et recherchant par ailleurs une méthode facilement généralisable à d'autres régions similaires ou à d'autres périodes d'étude, nous préférons utiliser une méthode non dirigée. Nous proposons donc une approche par étapes successives au cours desquelles, après avoir réalisé une analyse multi-spectrale rigoureuse des classes obtenues par la classification non dirigée, l'utilisateur effectue successivement des regroupements puis des divisions des classes obtenues à l'étape précédente jusqu'à l'obtention des classes relevant de la nomenclature qu'il a choisie en amont.

2. SITE D'ETUDE ET NOMENCLATURE

La zone d'étude (figure 1) couvre le Delta du Saloum, le fleuve Gambie, la Basse Casamance et l'ensemble du littoral bissau-guinéen. Le littoral est entendu au sens d'une bande large d'une cinquantaine à une centaine de kilomètres. Le long du littoral, en s'appuyant sur les systèmes estuariens, quatre régions peuvent ainsi être mises en évidence (Diop, 1990) : le Delta du Saloum, la Gambie dont on n'étudie que l'aval, la Basse-Casamance et le Nord bissau-guinéen composé de deux systèmes fluviaux, le Rio Cacheu et le Rio Mansoa. Ces régions permettront d'effectuer une rapide régionalisation de l'évolution de la couverture du sol.

On cherchera, ici, à mettre en évidence les évolutions de la couverture végétale, à l'aide d'une nomenclature la plus simple possible, qui permet de décrire le milieu physique qui se décompose en trois types de milieux, les deux derniers présentant ou non une couverture boisée :

- Le milieu infratidal qui comprend l'eau de l'Océan et des chenaux de marée.

- Les vasières qui comprennent les mangroves (forêts à palétuviers), les rizières de mangrove et les tannes (étendues de vases dépourvues de végétation de mangrove des systèmes arides et hyperhalins).

- La terre ferme où les couvertures du sol sont beaucoup moins contrastées avec divers types de formations plus ou moins boisées (savanes, forêts, palmeraies, friches) et des espaces peu ou pas boisés (espaces bâtis, sols nu, végétation basse et très ouverte).

On retiendra ainsi cinq thèmes pour la nomenclature de classification :

L'eau
Les mangroves
Les tannes et rizières de mangrove
Les espaces peu ou pas boisés de terre ferme
Les boisements de terre ferme

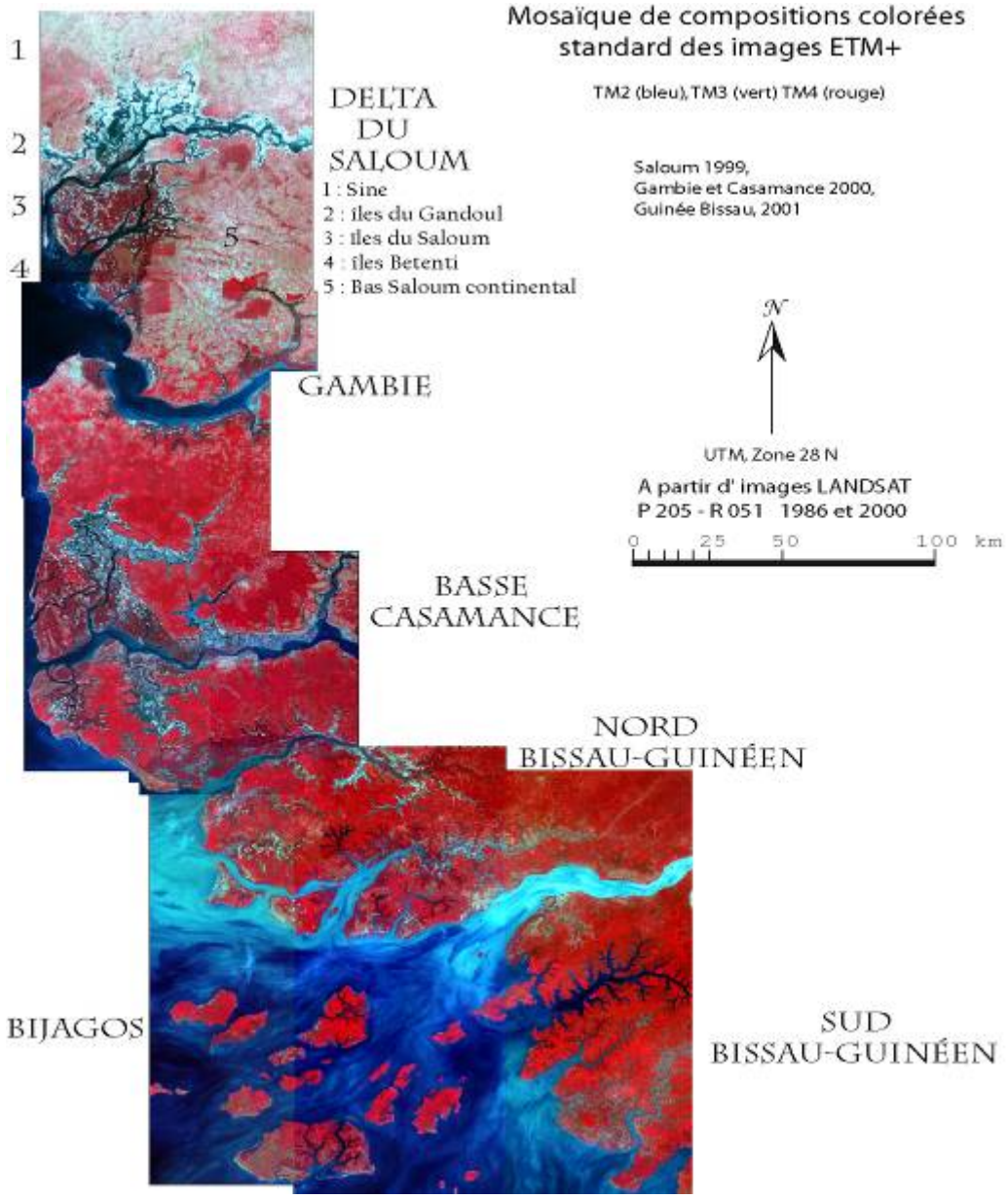


Figure 1 : Carte de localisation.

3. MATERIEL ET METHODE

3.1. Matériel

Pour cette analyse, le choix des images est fondé sur quatre critères : la couverture, la résolution spatiale, les années et les saisons de prise de vue.

Tout d'abord, les images doivent être d'une taille suffisante pour couvrir le littoral sur une longueur d'environ 400 km. et sur une largeur d'environ 100 km. Pour cela, les images à très haute résolution de type IKONOS et QUICKBIRD sont inadaptées, de par les dimensions réduites des scènes. La possibilité de détecter les individus sur ces images n'est ici d'aucune utilité pour l'objectif recherché. Il est donc préférable d'utiliser des images à haute résolution telles que les images en mode multispectral de SPOT et de LANDSAT, dont la résolution est suffisante pour cartographier avec précision les contours des grandes unités de la couverture du sol aux échelles moyennes. La scène LANDSAT étant plus grande que la scène SPOT, nous avons choisi d'analyser les images LANDSAT pour réduire le nombre de scènes à traiter et garantir l'homogénéité des résultats cartographiques. Ainsi, l'ensemble de la zone d'étude a pu être couverte par une mosaïque de quatre scènes LANDSAT.

En ce qui concerne les dates de prises de vue, trois ensembles d'images ont été choisis : une couverture la plus ancienne possible, en 1979, une couverture la plus récente possible, au début des années 2000, et une couverture intermédiaire à la fin des années 1980.

Enfin, nous avons systématiquement sélectionné des prises de vue de saison sèche qui comportent généralement un très faible taux de couverture nuageuse. Les images sélectionnées en fonction de ces critères sont présentées dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Liste des images traitées

ETM+ - Début des années 2000		TM - Fin des années 1980		MSS Fin des années 1970	
Saloum	4 novembre 1999	**Saloum**	10 mars 1988	**Saloum**	23 novembre 1979
Gambie-Casamance ouest	6 novembre 2000	**Gambie-Casamance ouest**	9 février 1986	**Gambie-Casamance**	5 novembre 1979
Gambie-Casamance est	1 décembre 2000	**Gambie-Casamance est**	30 novembre 1988	**Guinée-Bissau ouest**	26 novembre 1979
Guinée-Bissau	4 décembre 2001	**Guinée-Bissau**	30 novembre 1988	**Guinée-Bissau est**	28 décembre 1979

A l'exception des deux scènes du nord-ouest (Saloum et Gambie-Casamance ouest) sur la prise de vue de la fin des années 1980, toutes les prises de vues se placent entre le début novembre et la fin décembre. Si les deux images de la fin de saison sèche (février et mars), nous permettent de distinguer aisément les mangroves des vasières non boisées et les boisements de terre ferme des espaces non boisés, elles ne permettent pas de distinguer autant de catégories de couverture du sol que ce qui aurait pu être détecté à partir des prises de vue du début de la saison sèche. C'est une raison supplémentaire qui a fait choisir une nomenclature simplifiée : la détection des unités doit pouvoir se faire aussi aisément en fin qu'en début de saison sèche.

3.2. Procédure de traitement par classification emboîtée

Parmi les travaux relatifs à l'étude du changement de l'occupation du sol par télédétection, on peut distinguer trois ensembles de méthodes de détection. La première méthode consiste à effectuer une classification non dirigée qui sépare les pixels de l'image en autant de classes que l'on a défini *a priori* d'états de surface (Chowdhury, 2006 ; Siddiqui *et al*., 2004 ; Fraser *et al*., 2005). Cette méthode est inappropriée lorsqu'on se réfère à une nomenclature qui n'est pas définie en fonction des signatures spectrales des états de surface mais en fonction de classes thématiques d'occupation du sol dont les signatures spectrales ne sont pas toujours suffisamment homogènes intrinsèquement ni contrastées d'une classe à l'autre pour pouvoir être reconnues automatiquement.

La seconde méthode, dite de classification dirigée, implique l'utilisation de zones témoins basées sur la localisation précise d'une grand nombre de « réalités-terrain » (Masoud & Koike, 2005 ; Nagendra *et al*. 2006). Ne disposant pas de telles données, nous n'avons pas pu utiliser cette méthode.

La troisième méthode consiste à utiliser des classifications non dirigées (Murray, 2003) en séparant les pixels en un nombre de classes suffisamment important pour procéder à l'élaboration de la carte par regroupement de ces classes (Ackermann et al., 2007 ; Thampanya, 2006 ; Moreau, 2005).

C'est cette approche que nous avons choisi d'utiliser en raison de sa souplesse, qui s'avère très utile pour qui ne dispose pas d'une banque de données de terrain issue d'une étude exploratoire car elle permet d'ajuster, pas à pas, les résultats de la classification à la nomenclature thématique prédéfinie.

Parmi les milieux étudiés et que l'on cherche à cartographier, certains sont en effet faiblement contrastés entre eux : c'est le cas par exemple entre les boisements denses de mangrove et certains boisements de terre ferme, ou encore entre les sols nus de terre ferme et certains tannes secs. Sachant que les classifications multispectrales sur une image totale opèrent à partir des contrastes radiométriques entre les pixels, il est peu vraisemblable qu'une seule étape de classification permettra de séparer en plusieurs classes de tels états de surfaces qui sont radiométriquement proches. Ainsi, même si l'on choisit en amont un grand nombre de classes, les pixels relatifs à ces à deux états de surfaces présentant une certaine similarité biophysique, tels que, par exemple, les boisements de mangroves et de terre ferme, risquent d'être affectés à une même classe.

Pour surmonter cette difficulté, on procèdera par étapes successives en opérant des classifications emboîtées afin d'affiner de proche en proche la définition des classes (figure 2). A la fin de chaque étape de classification, on analyse la signature radiométrique des classes de façon à les interpréter en termes d'unité de couverture du sol.

Pour augmenter les contrastes numériques entre les pixels d'une même classe, nous procédons au calcul d'une Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) au sein des pixels de cette classe. A partir des néo-canaux issus de l'A.C.P., on effectue ensuite une seconde classification non dirigée au sein de chaque classe afin de produire des sous-classes. L'analyse radiométrique de ces sous-classes permettra de différencier entre eux des groupes de pixels précédemment englobés dans la classe parente. Après rehaussement des contrastes radiométriques par l'A.C.P., leur comportement spectral peut en effet, être aisément différencié. Il est ensuite possible de les réattribuer à la classe de la nomenclature à laquelle les rattache leur comportement radiométrique.

Il a, en outre, semblé préférable d'analyser séparément les scènes et de constituer la mosaïque finale après avoir effectué les classifications sur chaque scènes. Sur cette mosaïque, le problème de raccord peut se poser à deux niveaux :

le premier est celui des différences entre les comptes radiométriques des deux scènes prises à des moments différents et qui pourraient créer des distorsions entre les classifications produites à partir de chacune des scènes. La méthode de classification emboîtée d'une part et le faible nombre de classes produites en aval d'autre part, permettent de pallier les discordances de classification entre les résultats des classifications des deux scènes.

Le second problème est celui des changements d'occupation du sol entre les deux dates de prise de vue au niveau du raccord, ce qui crée des discontinuités sur la carte résultante. Les changements d'occupation du sol de cette typologie qui peuvent exister entre deux dates proches sont, dans la zone d'étude, uniquement liés aux cultures itinérantes sur brûlis. Cependant, le seul raccord présentant un fort contraste dans les dates de prises de vues est localisé entre le Saloum et la Gambie où ces types de cultures ne sont pas pratiqués.

Ainsi, les images ont été traitées suivant la même procédure, en tenant compte, pendant les étapes d'interprétation, de leurs spécificités, liées aux dates de prises de vues correspondant à des périodes de l'année légèrement différentes. Nous détaillerons la production de la carte de couverture du sol d'une sous-scène, la Basse Casamance, à une date, le 6-11-2000.

3.3. Etapes du traitement

3.3.1. Prétraitement des images

Toutes les images doivent présenter le même géoréférencement, et les trois dates d'une même sous scène doivent posséder un même nombre de pixels en lignes et en colonnes. Pour cela nous avons extrait les pixels de rectangles communs aux trois images, le ré-échantillonnage n'étant nécessaire que pour la scène MSS qui a été rééchantillonnée à la résolution des images plus récentes.

3.3.2. Première cartographie de la couverture du sol

Nous procédons à une classification, en 15 classes, des pixels par l'algorithme des Nuées Dynamiques sur le logiciel MicroImages TNTmips® 2006 : 72. Nous obtenons d'une part une image en 15 classes (figure 3) et d'autre part, des statistiques pour chacune de ces classes, lesquelles font l'objet d'une synthèse sous forme de courbes radiométriques (figure n°4).

L'analyse des courbes radiométriques a pour objet, par l'examen des caractéristiques spectrales, de mettre en correspondance chaque classe radiométrique avec l'une des cinq classes de la nomenclature prédéfinie. Les classes 1, 9 et 11 sont regroupées comme eau profonde. Les classes 2, 5, 6, 10, 12, 13, 14 et 15 sont regroupées pour constituer le masque des tannes et rizières de mangrove. La classe 3 constitue à elle seule le masque de la mangrove. Les classes 4 et 7 seront regroupées pour constituer le masque des boisements de terre ferme. La classe 8 constitue à elle seule le masque des espaces non ou peu boisés de terre ferme. On regroupe ces quinze classes de façon à produire 5 classes dont les profils radiométriques moyens biens différenciés entre eux correspondent au mieux à la nomenclature (figure 6). De cette étape résulte donc une première carte de la couverture du sol (figure 5).

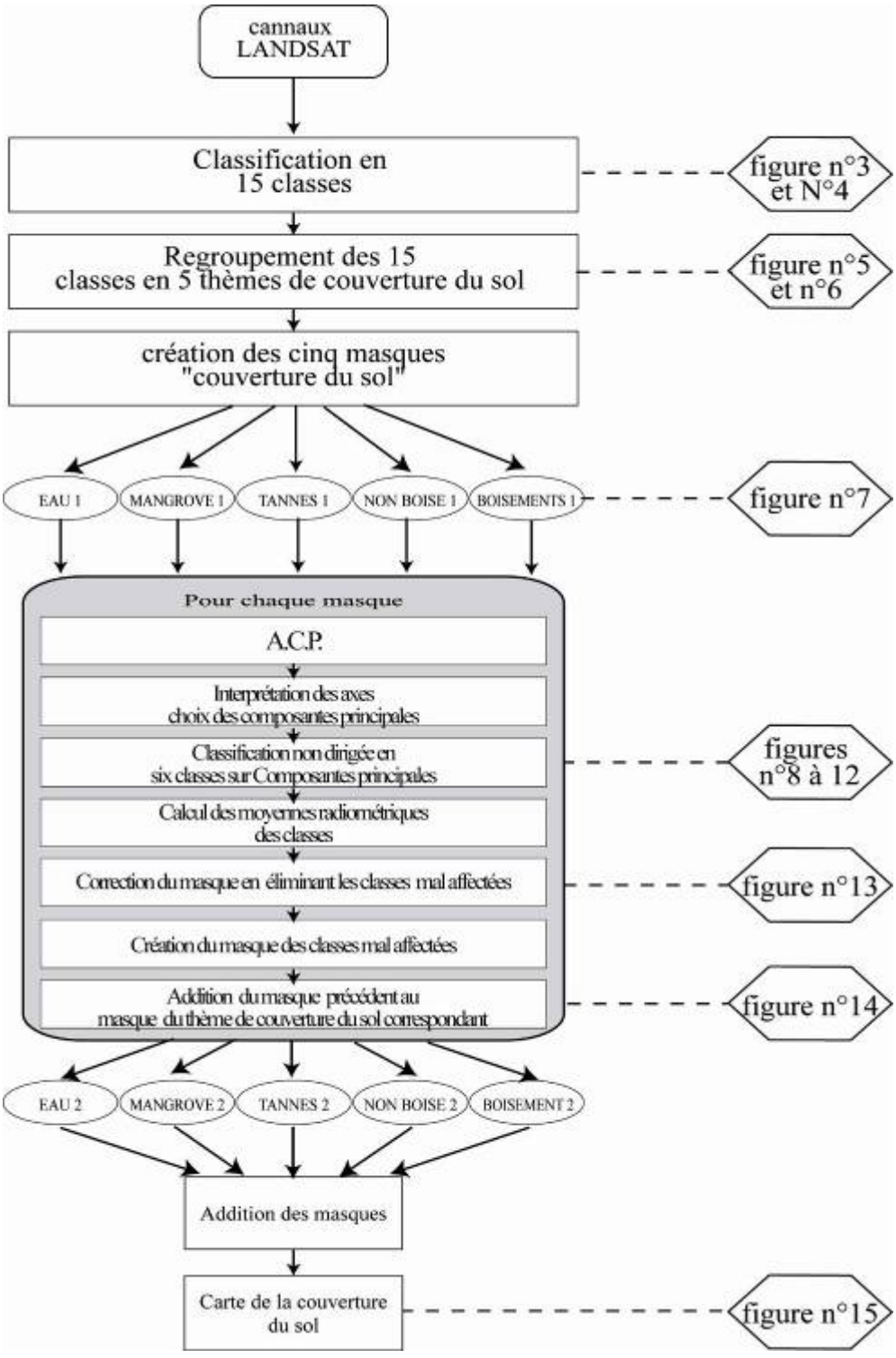


Figure 2 : Procédure de cartographie de la couverture du sol.

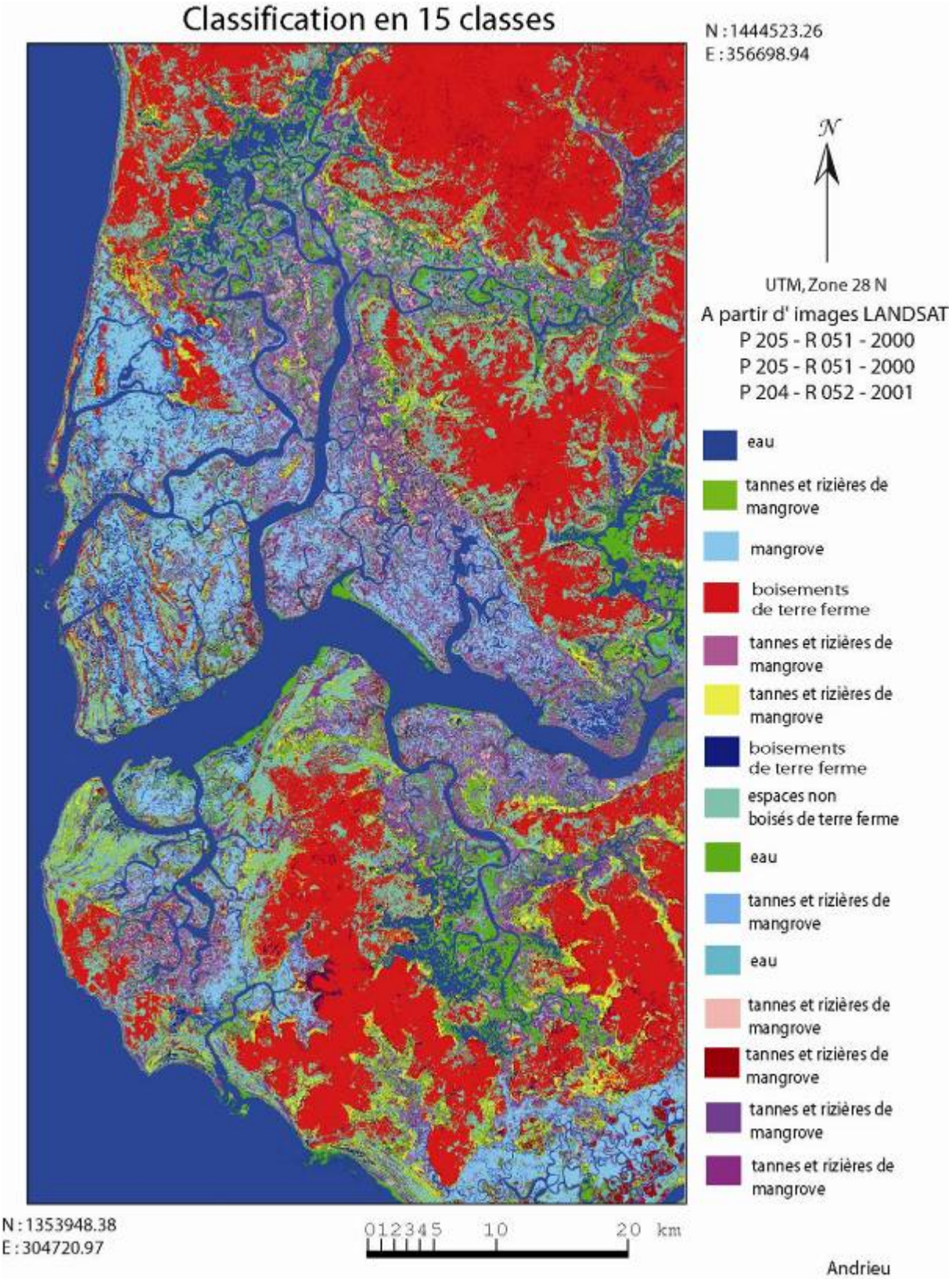


Figure 3 : Classification en 15 classes de la sous-scène Basse-Casamance en 2000.

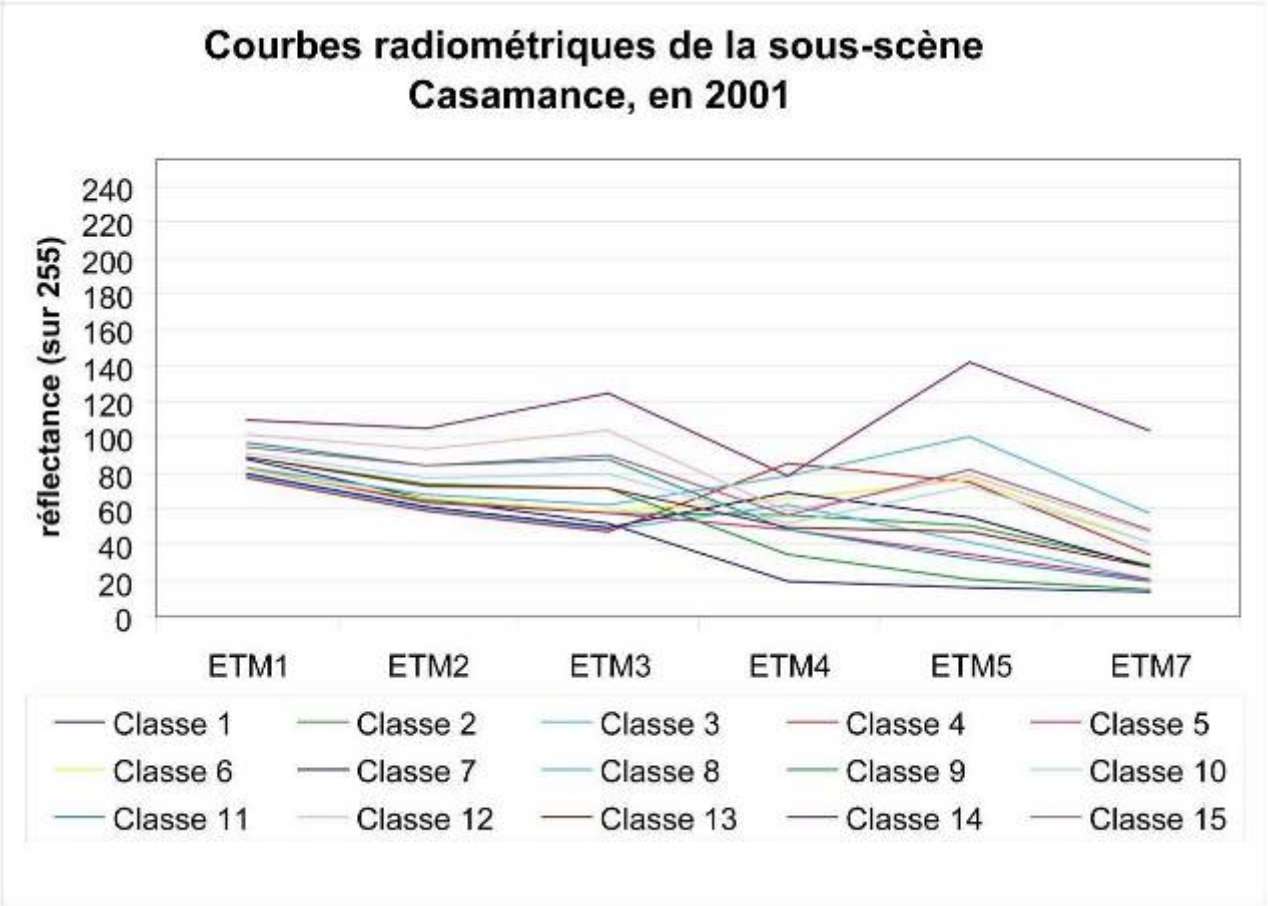


Figure 4 : courbes radiométriques des 15 classes de la classification en Nuées Dynamiques. *Sur la figure 3, la classe 3 caractérisée par une valeur moyenne de luminance supérieure sur TM4 à celles de TM3 et TM2, et par une faible luminance moyenne sur TM5 et 7 semble correspondre à la mangrove. La classe 8 montrant un pic de luminance sur TM5 semble correspondre aux espaces pas ou peu boisés de terre ferme.*
Les classes 4 et 7, pour lesquelles on observe un pic de luminance dans le proche infrarouge (TM4), s'interprètent comme des boisements de terre ferme et seront regroupées entre elles.
La courbe radiométrique de la classe 1, décroissant du visible à l'infrarouge à ondes courtes (TM7) caractérise l'eau profonde. Les classes 9 et 11 représentées par des courbes de forme similaire, avec des valeurs moyennes de luminance plus importantes que celles de la classe 1, caractérisent des eaux peu profondes appartenant au domaine infratidal.
Enfin, les classes 2, 5, 6, 10, 12, 13, 14 et 15 ont toutes en commun un double pic de luminance en TM3 et TM5, qui caractérisent les tannes. Ces courbes se distinguent entre elles par la valeur de luminance sur TM5 et TM7 qui varie en fonction de l'humidité de leurs sols et selon leur emplacement dans l'estran. Elles seront regroupées dans la classe « tannes et rizières de mangrove ».

Figure 4 : Courbes radiométriques des 15 classes de la classification.

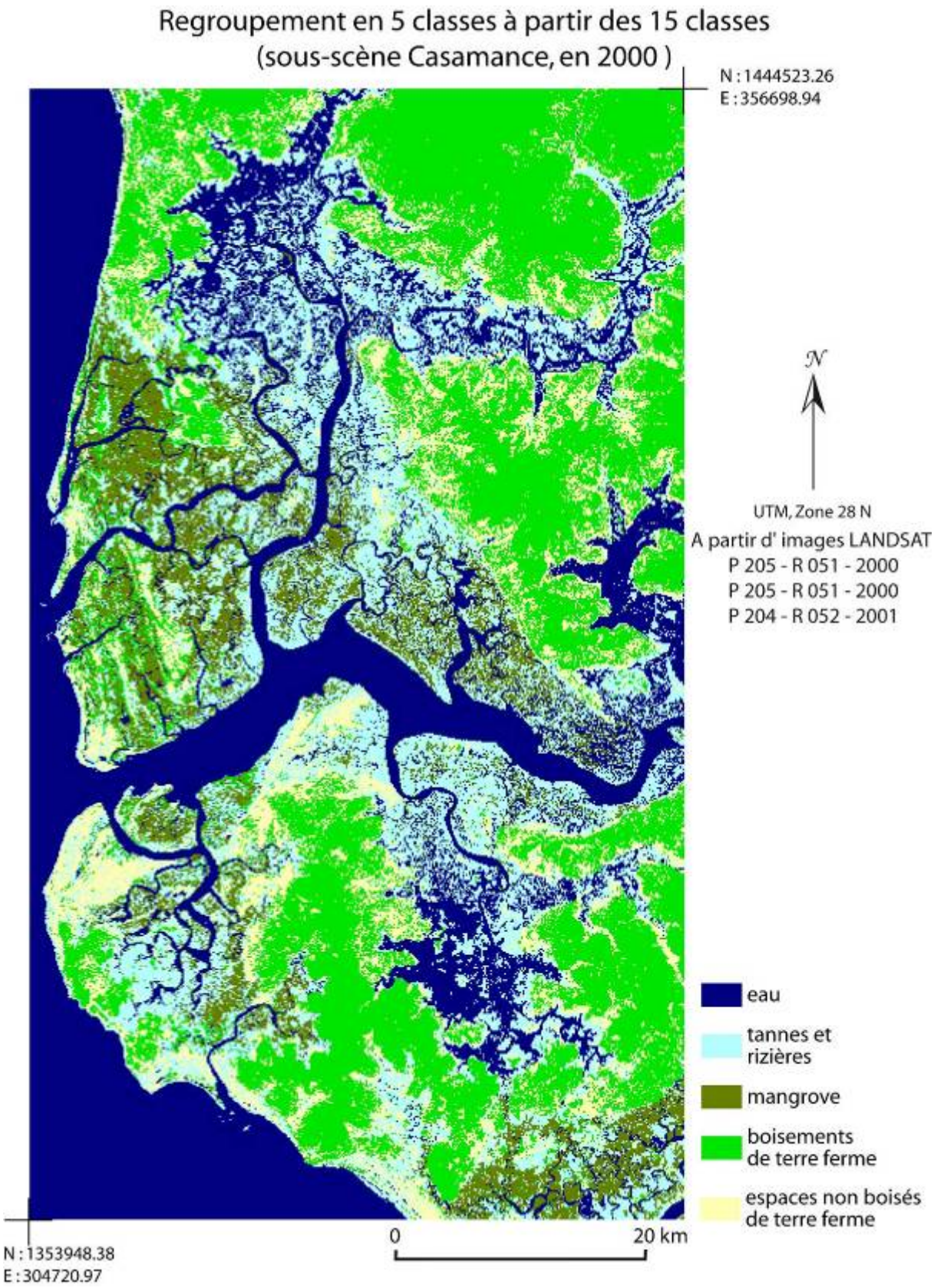


Figure 5 : Carte du regroupement en 5 classes des 15 classes.

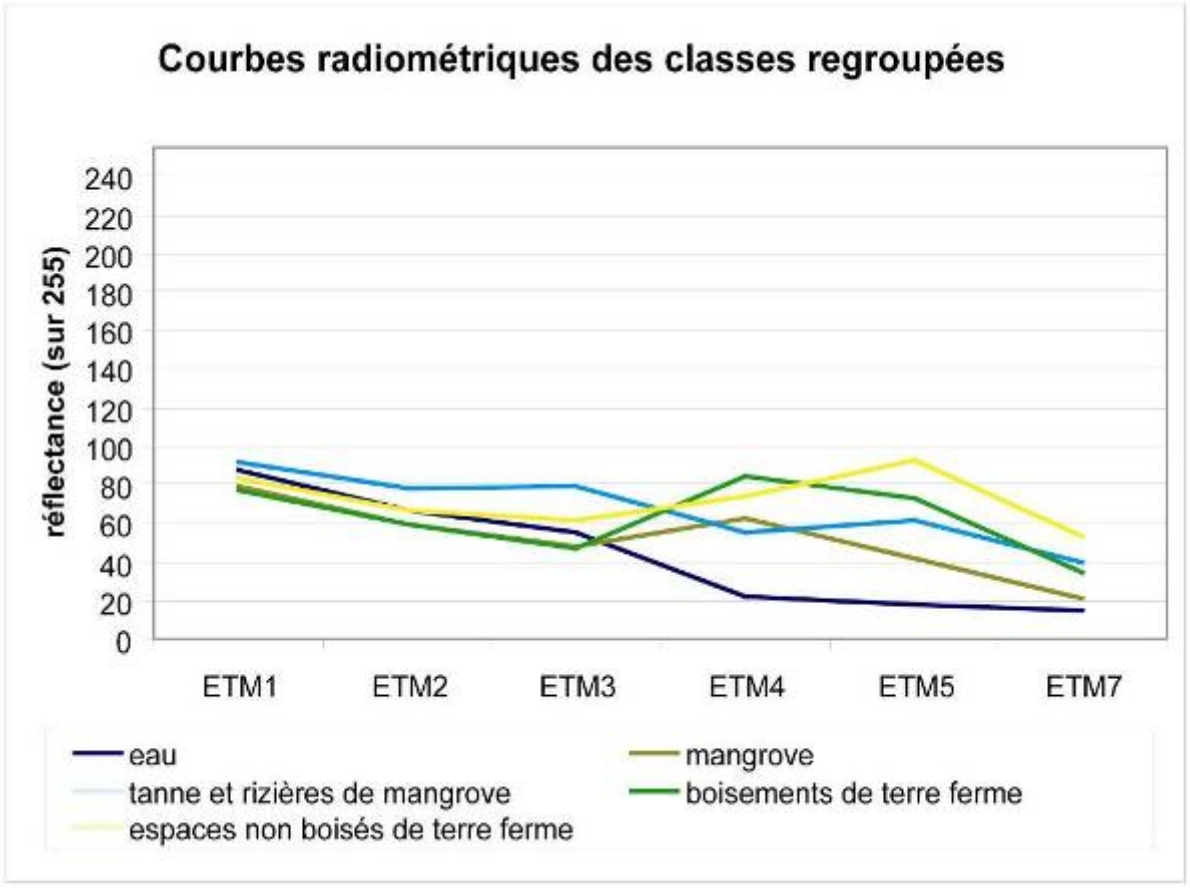


Figure 6. Courbes radiométriques des cinq classes obtenues par regroupement. *La courbe de l'eau est dans l'ensemble décroissante et fortement décroissante entre TM3 et TM4, la courbe de la mangrove est décroissante avec un léger pic sur TM4. La courbe des tannes et rizières de mangrove est décroissante avec des valeurs fortes pour TM1, TM3 et TM5. La courbe des boisements de terre ferme présente une pente positive forte entre TM3 et TM4 et une pente légèrement négative entre TM4 et TM5. La courbe des espaces pas ou peu boisés de terre ferme présente un pic sur TM5.*

Figure 6 : Courbes radiométriques des cinq classes obtenues par regroupement

Nous procédons ensuite à la création de cinq images binaires correspondant à ces cinq classes que nous appellerons « masques » par la suite. La figure 7 illustre le masque des boisements.

3.3.3. Vérification – correction de la cartographie de la couverture du sol

Pour chaque masque, on produit une analyse en composantes principales (A.C.P.) sur les six canaux, au sein du masque. On effectue ensuite une classification non dirigée (toujours à l'aide des Nuées Dynamiques) en six classes sur les composantes principales de l'A.C.P. La figure 7 illustre la classification sur ACP au sein du masque des boisements.

A l'issue de la classification, on examine les statistiques par sous-classe pour déterminer si celles-ci correspondent à la classe parente ou à une autre, toujours parmi les cinq classes de la typologie (figures 8 à 12). Ces analyses nous permettent de réaffecter les groupes de pixels qui avaient été englobés dans une autre classe à l'issue de la première classification. A l'issue de ces analyses, une correction peut être apportée à un masque par ajout ou retrait de l'une des six classes qui le composent. Un nouveau masque est alors créé par sélection de l'ensemble des sous-classes d'après leur comportement radiométrique : par exemple pour le nouveau masque des boisements, on a soustrait la classe 1 qui correspond à de la mangrove (figure 13). Cette classe est ensuite affectée à un nouveau masque des mangroves (figure 14).

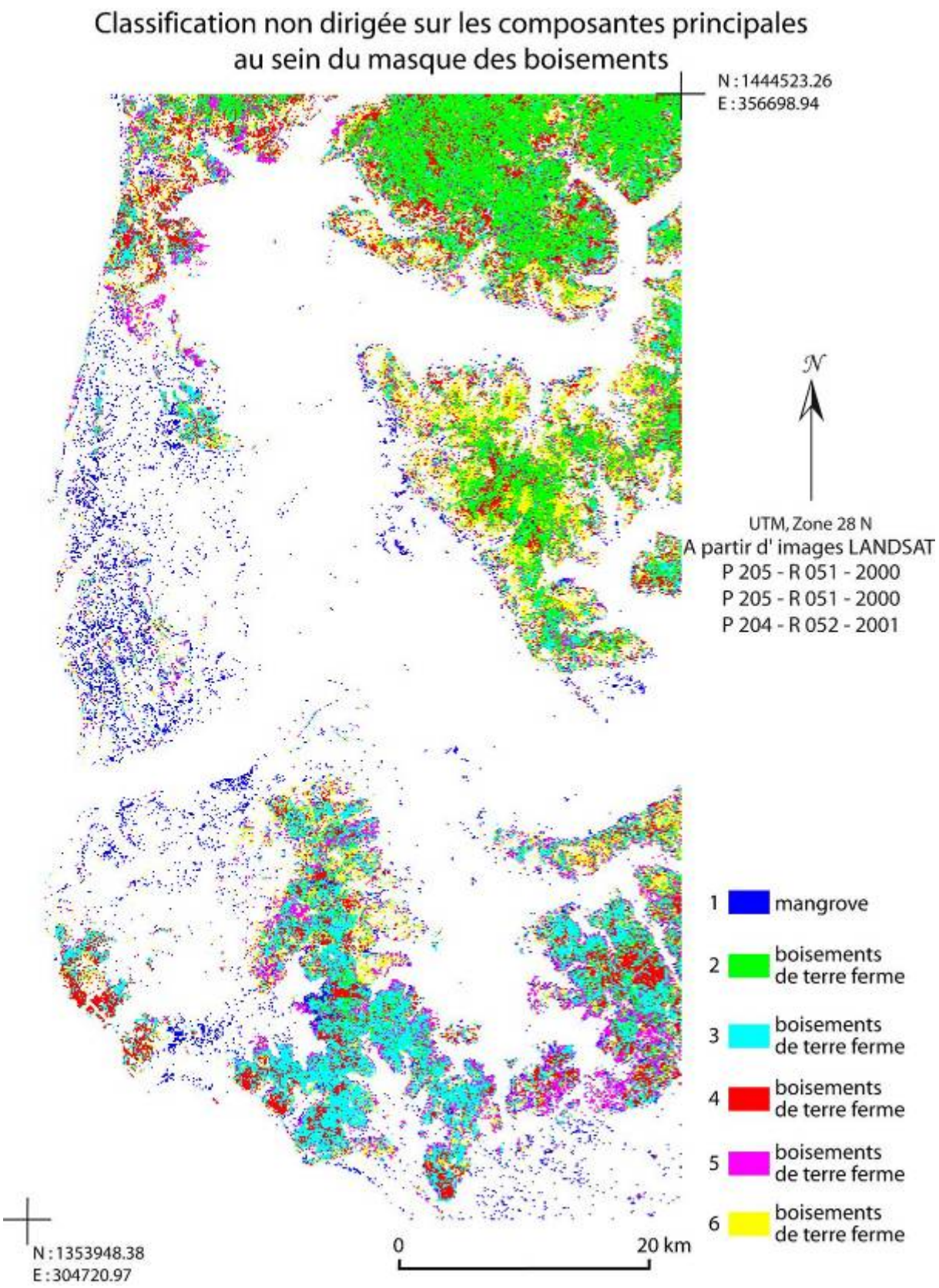


Figure 7 : Carte de la classification sur ACP sur le masque des boisements de terre ferme

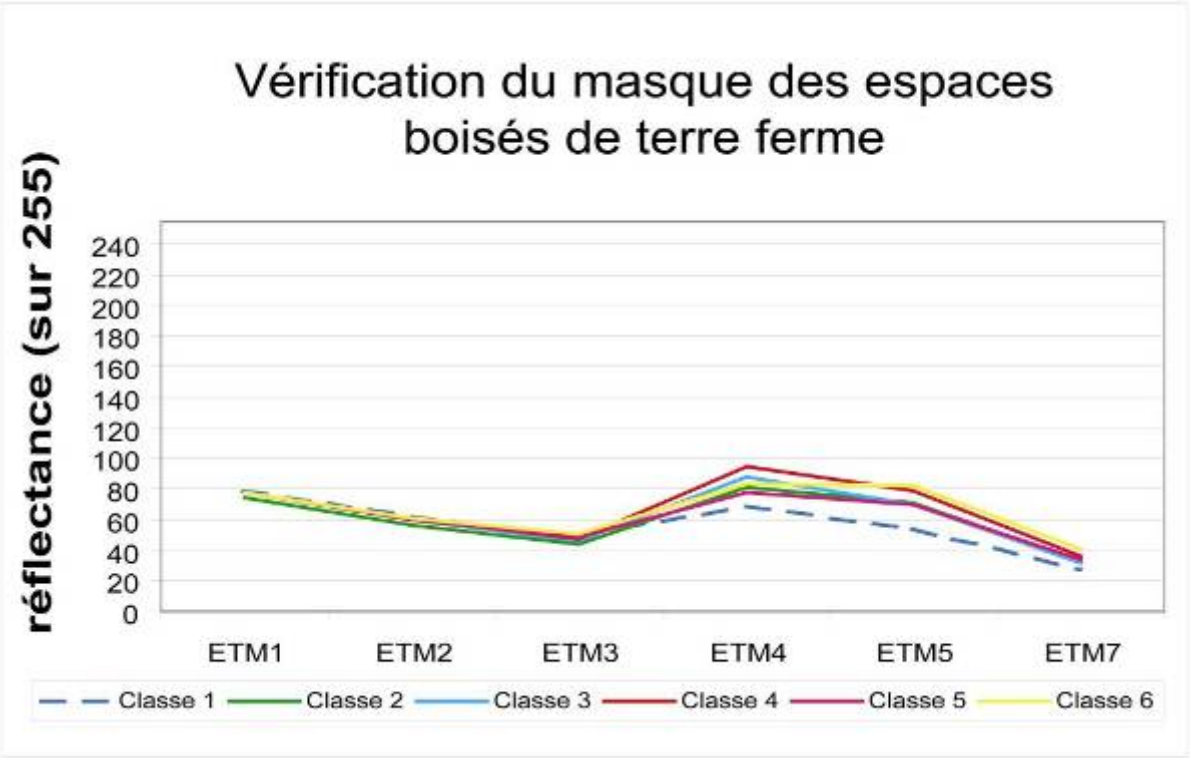


Figure 8, courbes radiométriques du masque des boisements de terre ferme. *On voit que la classe 1 présente un pic modeste sur TM4 et des valeurs de luminance dans TM5 et TM7 sensiblement plus faibles que pour les autres classes. Ces caractéristiques sont plutôt celles de la mangrove que celles des boisements de terre ferme. Au regard de leur signature spectrale ces pixels seront reclassés en mangrove.*

Figure 8 : Courbes radiométriques du masque des boisements de terre ferme.

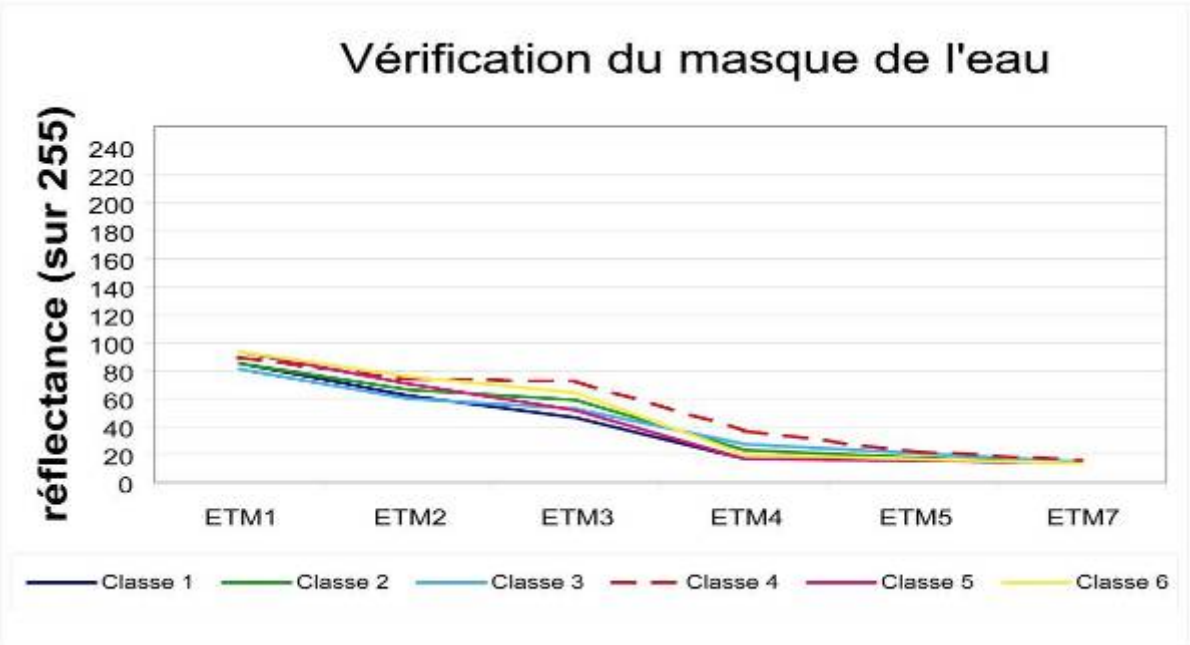


Figure 9, courbes radiométriques du masque de l'eau. *On observe que la courbe radiométrique de la classe 4 présente une pente faible entre TM3 et TM4 avec des valeurs assez fortes de luminance sur TM3, 4 et 5. Il s'agit certainement de tannes légèrement inondés et non de surfaces en eau.*

Figure 9 : Courbes radiométriques du masque de l'eau.

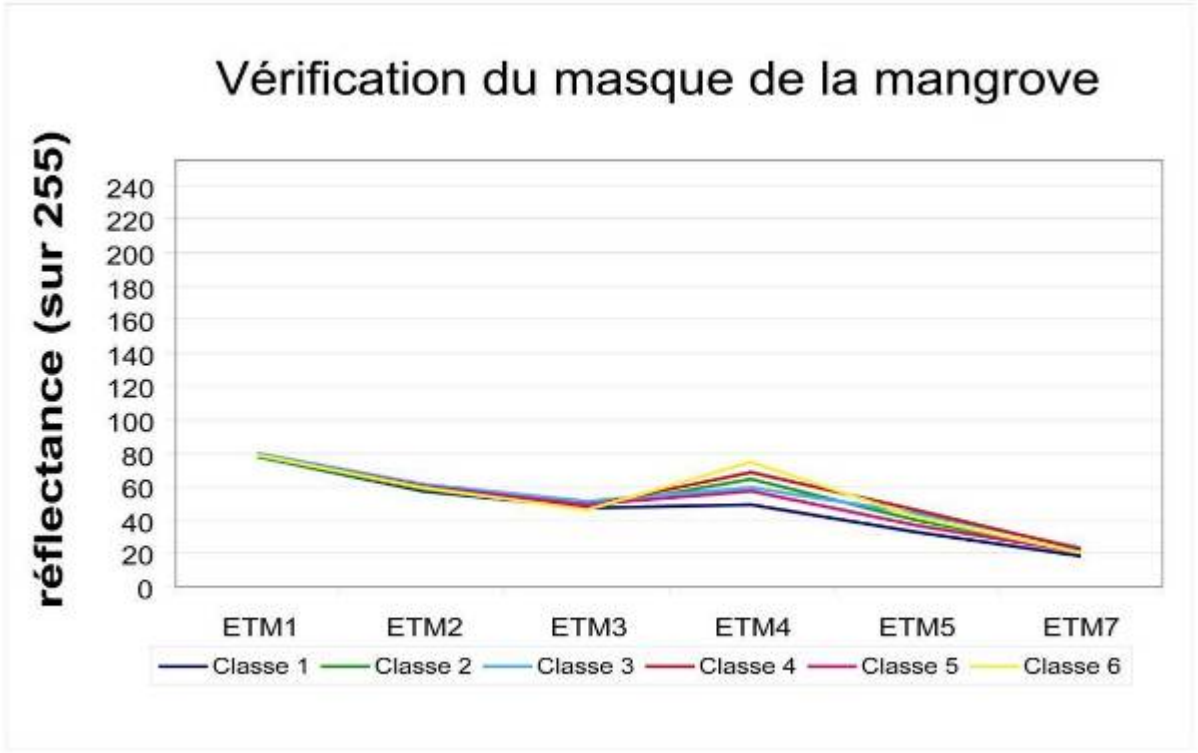


Figure 10 courbes radiométriques du masque des mangroves. *On voit que les six classes présentent les caractéristiques radiométriques de la mangrove à savoir une valeur moyenne de luminance supérieure sur TM4 à celles de TM3 et TM2, et une faible luminance moyenne sur TM5 et 7.*

Figure 10 : Courbes radiométriques du masque des mangroves.

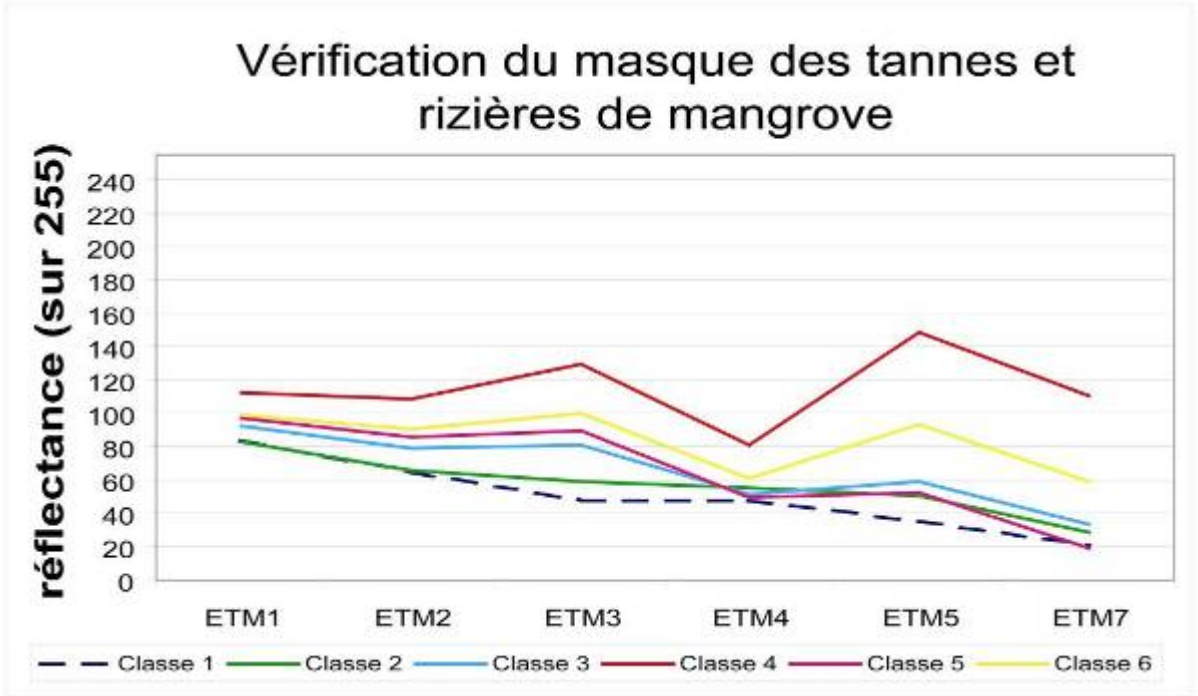


Figure n° 11, courbes radiométriques du masque des tannes et rizières de mangrove, *on voit que la classe 1 présente des valeurs de luminance très faibles sur TM3 et TM5. Il s'agit donc de surfaces en eau.*

Figure 11 : Courbes radiométriques du masque des tannes et rizières de mangrove.

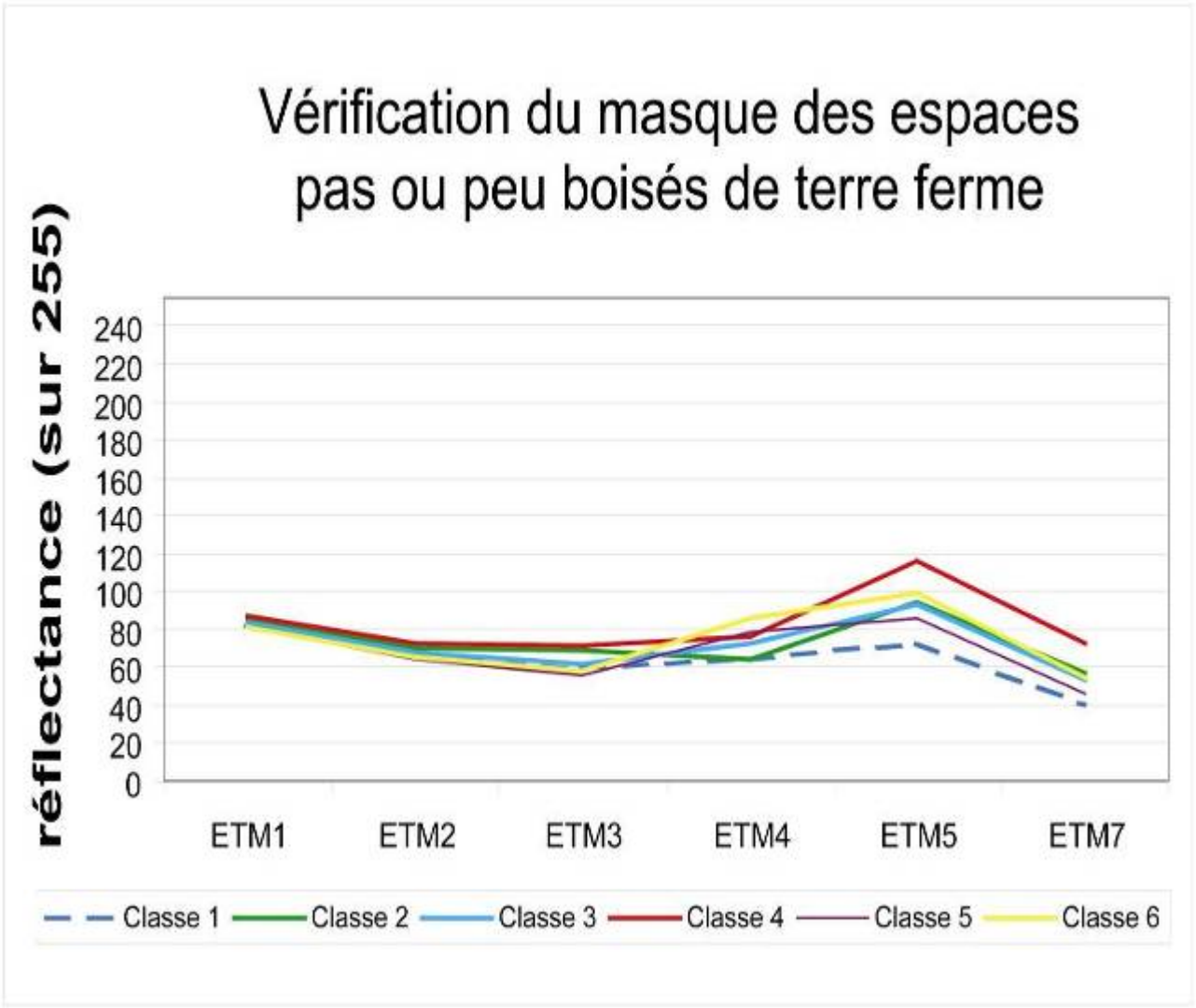


Figure n°12 courbes radiométriques du masque des espaces pas ou peu boisés de terre ferme. *On voit que la classe 1 présente des valeurs de luminance très faibles sur TM4 et TM5. il s'agit donc de tannes ou de rizières partiellement inondées.*

Figure 12 : Courbes radiométriques du masque des espaces pas ou peu boisés de terre ferme.

3.3.4. Carte des changements

Pour établir la carte des changements, on recode les classes de sorte à pouvoir croiser les trois cartes de couverture des sols par simple addition des images correspondantes. (Ackermann, 2007 ; Chowdhury, 2006, Nagendra *et al*. 2006. ; Fraser *et al*., 2005 ; Moreau, 2004, Masoud & Koike, 2005 ; Pahari & Murai, 1999). Les 5 premières valeurs (1, 2, 3, 4, 5) ont été données respectivement aux classes : eau, mangroves, tannes et rizières de mangrove, espaces non ou peu boisés de terre ferme et boisements de terre ferme des prises de vues de la fin des années 1980. Les classes équivalentes sur les prises de vues du début des années 2000 ont été codées en multipliant par 10 les codes précédents (10, 20, 30, 40, 50). Les valeurs 6, 11, 56, 61 et 106 ont été attribuées aux cinq classes de la fin des années 1970.

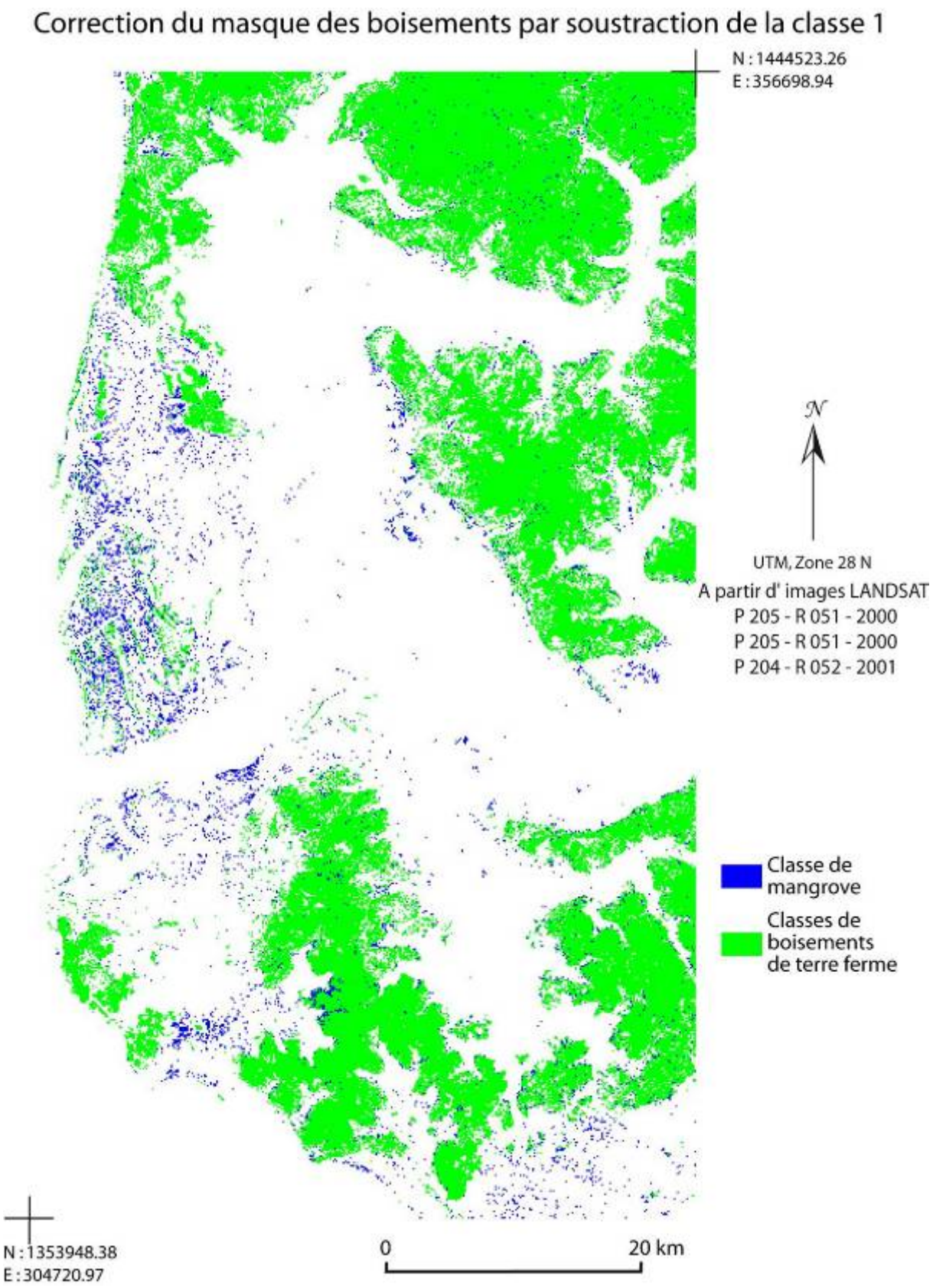


Figure 13 : Correction du masque des boisements par soustraction de la classe 1.

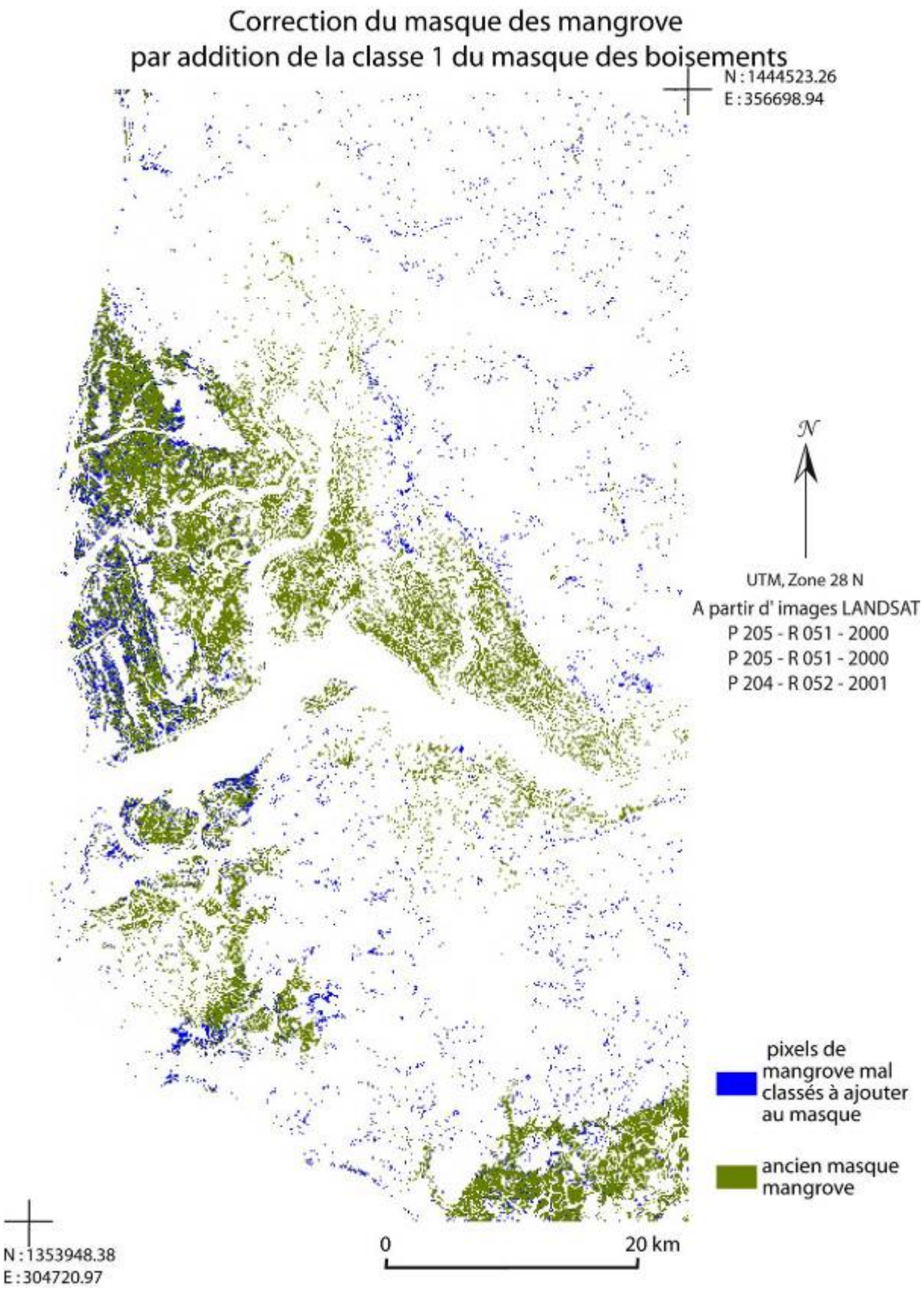


Figure 14 : Correction du masque des mangroves par addition de la classe 1 du masque des boisements.

De l'addition des 5 masques à une date, résulte une carte de la couverture du sol (figure 15). La carte résultant de l'addition des trois dates (figure 16) provient donc d'une combinaison entre les trois séries de codes précédemment établis obtenue par addition des trois images, ce qui peut produire 125 codes numériques différents. Or, d'une part, on peut s'attendre à l'absence de certaines combinaisons de codes dans le résultat, d'autre part, seules les combinaisons donnant lieu à une interprétation réaliste en terme de changement de couverture du sol seront retenues. Par exemple, à ce pas de temps très court, les espaces de terre ferme ne peuvent pas se transformer en espaces intertidaux, l'inverse n'étant pas non plus vraisemblable. On considérera donc que les codes décrivant ces types de changements correspondent à des erreurs dans l'interprétation originelle des classes. Par ailleurs, on négligera certains changements qui, tout en étant réalistes, ne sont pas de nature à figurer sur une carte des changements de la couverture. Ainsi, les éventuelles fluctuations de profondeur des vasières inondées peuvent apparaître sur la carte des changements : les surfaces étant classées comme « eau profonde » à une date et « tanne inondé » à une autre. Dans ce cas, on choisira de les considérer comme des « tannes ou rizières », aux deux dates. Compte tenu de ces choix, seules 25 classes sont prises en considération :

- Cinq classes correspondant à une stabilité de la couverture du sol.
- Six classes correspondant aux trois formes de progression (ancienne, récente, temporaire) et de régression des boisements de terre ferme.
- Six classes correspondant aux trois formes de progression (ancienne, récente, temporaire) et de régression des boisements des mangroves à l'interface avec l'eau.
- Six classes correspondant aux trois formes de progression (ancienne, récente, temporaire) et de régression des boisements des mangroves à l'interface avec les tannes ou les rizières de mangrove.
- Une classe caractérisant la succession eau, mangrove et tanne
- Une classe d'« erreur » incluant toutes les combinaisons incluant eau ou vasières à une date et terre ferme à une autre date.

3.4. Confrontation à la réalité du terrain

Une confrontation de la carte des changements dans la couverture du sol par la végétation entre la fin des années 1970 et le début des années 2000 avec la réalité du terrain a été effectuée pour chaque type de changement à partir de dix sites répartis aléatoirement sur l'ensemble de la zone (figure 18). Dans un premier temps il s'agit de vérifier l'occupation du sol au temps présent selon la nomenclature précédente. Pour les relevés sur les lieux cartographiés comme boisement stable ou comme progression, il s'agit de savoir si le terrain est boisé. Pour les relevés localisés sur des secteurs de recul ou des espaces non boisés aux trois dates, il s'agit de vérifier qu'il s'agit bien d'un espace non ou peu boisé.

Dans un deuxième temps nous tenterons à travers l'analyse du paysage, de déduire l'occupation du sol à la fin des années 1970, de la façon suivante :

Dans le cas d'un boisement stable, le but est de pouvoir confirmer que les individus présents étaient ou non en mesure de couvrir 20 % du sol à la fin des années 1970. Pour cela, il est nécessaire d'estimer l'âge des individus végétaux et d'effectuer des comptages par tranches d'âges. Pour préciser la dynamique, on évalue la régénération en comptant des jeunes pousses et des reprises de souches. On recherche enfin les facteurs de dégradation potentielle par comptage des souches, reconnaissance des marques d'incendies, d'élagages, de surpâturages ou de sénescence.

Dans le cas de l'apparition ou de la réapparition d'un boisement, le but est de confirmer l'absence du peuplement lors de la (des) prise(s) de vue antérieure(s). Il s'agit pour cela de confirmer le jeune âge du boisement en estimant l'âge des arbres et en effectuant des comptages d'individus par strates d'âge. Ensuite, il s'agit de rechercher les facteurs de régénération (reboisement, mise en défens, régénérations naturelles) et les indices sur l'utilisation du sol précédente (anciens sillons, ou diguettes, haies, pour une friche agricole souches pour une exploitation forestière en régénération…)

Dans le cas d'une disparition du boisement, le but est de confirmer la présence du boisement à la fin des années 1970 ce qui reste une tache délicate. Une des solutions consiste à rechercher des individus morts sur pied, ou des indices d'un ancien boisement. On recherche également des indices sur les causes éventuelles de ce déboisement (souches, incendies, mise en culture...). On teste finalement la possible présence d'une régénération récente ou à venir (comptage de jeunes pousses, reprises de souche…)

Les confrontations au terrain et les facteurs qui ont pu être mis en évidence sont synthétisés par le tableau 3.

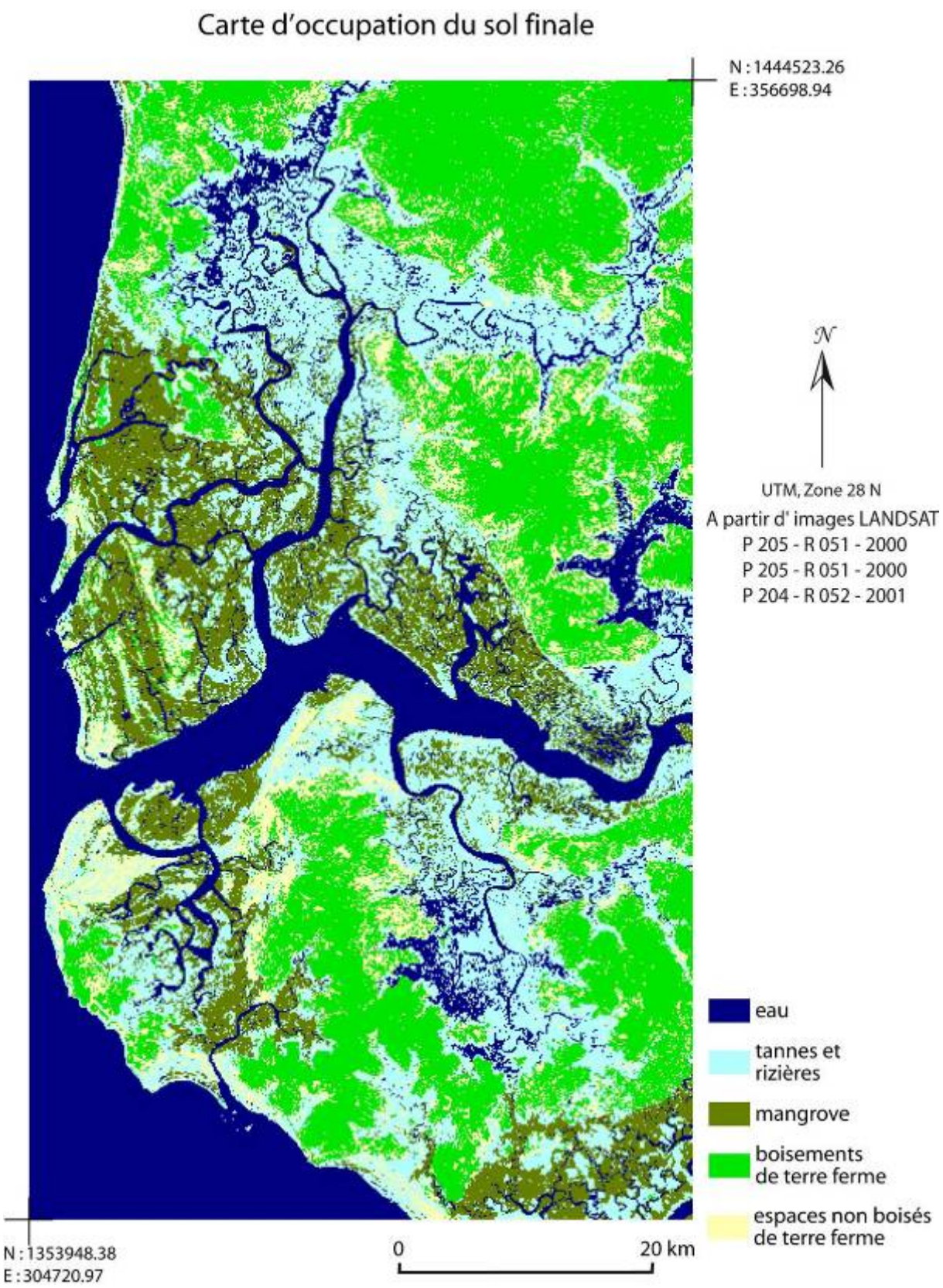


Figure 15 : Carte d'occupation du sol au début des années 2000 en Basse Casamance.

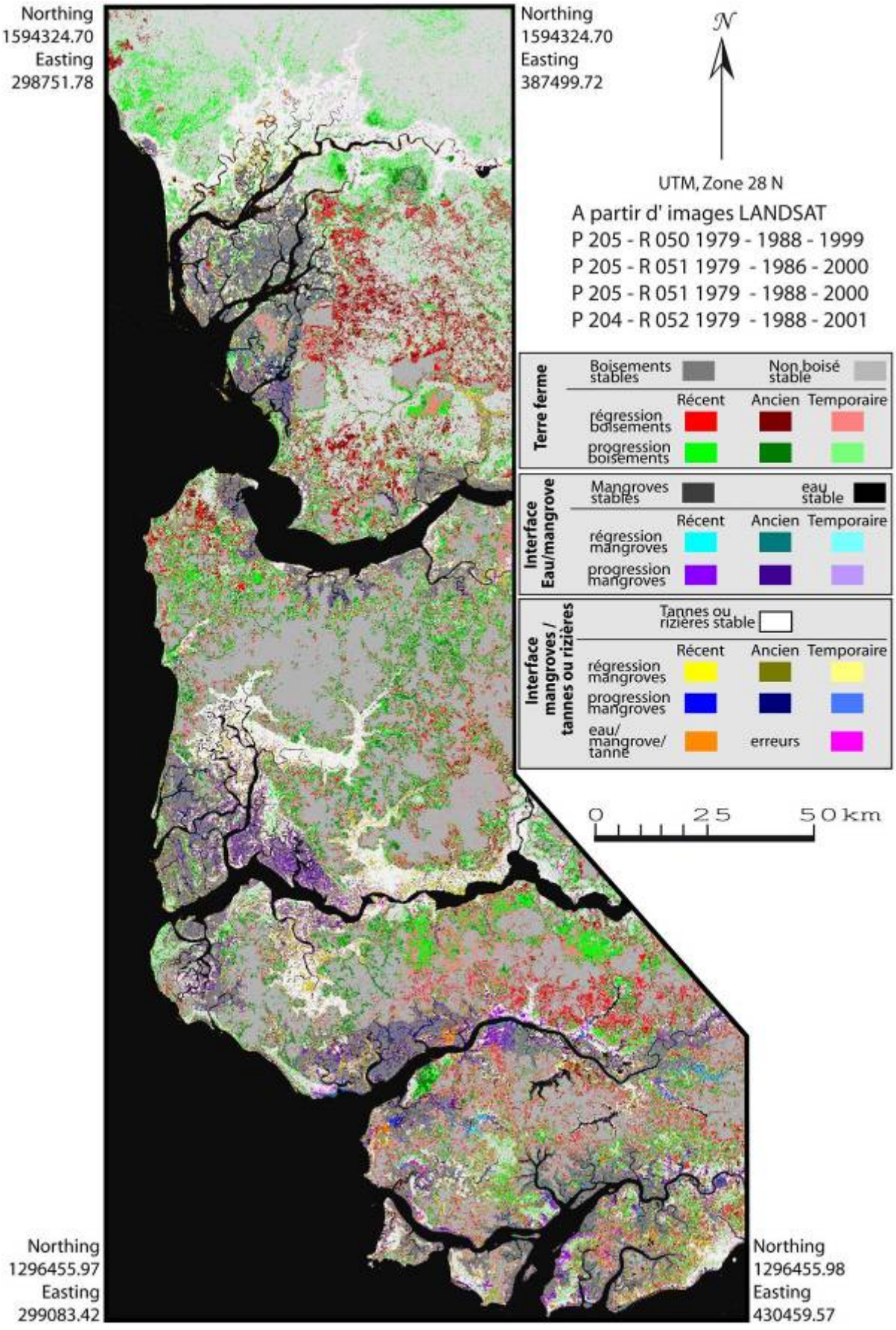


Figure 16 : Carte des changements dans la couverture du sol par la végétation.

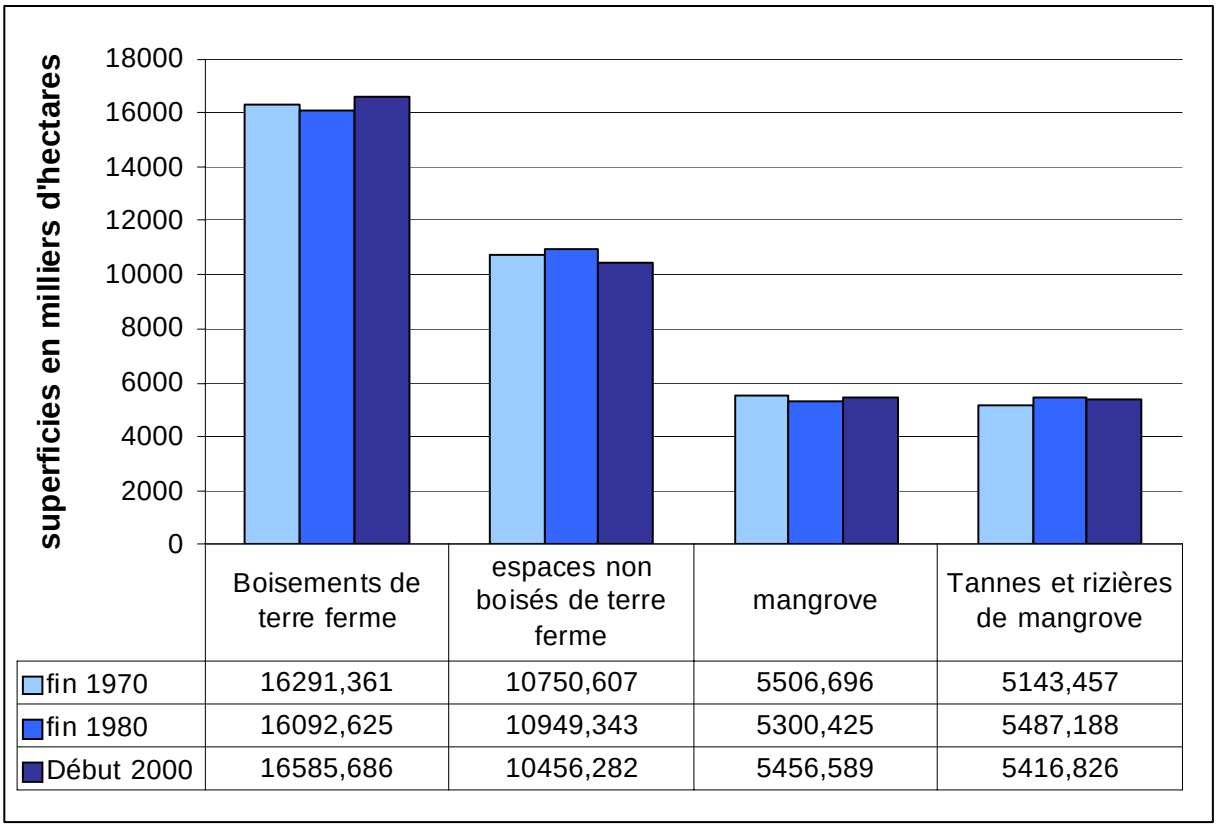


Figure 17 : Evolution des superficies boisées en mangrove et en terre ferme entre la fin des années 1970 et le début des années 2000.

Tableau 2 : Importance des différentes cinématiques
(en % de la terre ferme pour les quatre premières lignes et en % des vasières sur les six dernières lignes).

		Entre 1979 et 1986-1988	Entre 1986-1988 et 1999-2000
Terre ferme	**Boisement stable**	50,4	50,3
	Non boisé aux deux dates	30,6	29,5
	(Re)boisement	9,2	11
	Déboisements	9,9	9,2
vasières	**Mangrove stable**	37,7	41,6
	Tannes ous rizières stables	39,3	43
	déboisements de mangrove (tannes ou rizières)	10,3	5,9
	reboisements de tannes ou de rizières par la mangrove	7,2	6,6
	Progression de la mangrove sur l'eau	3,1	1,2
	Progression de l'eau sur la mangrove	1,8	0,4

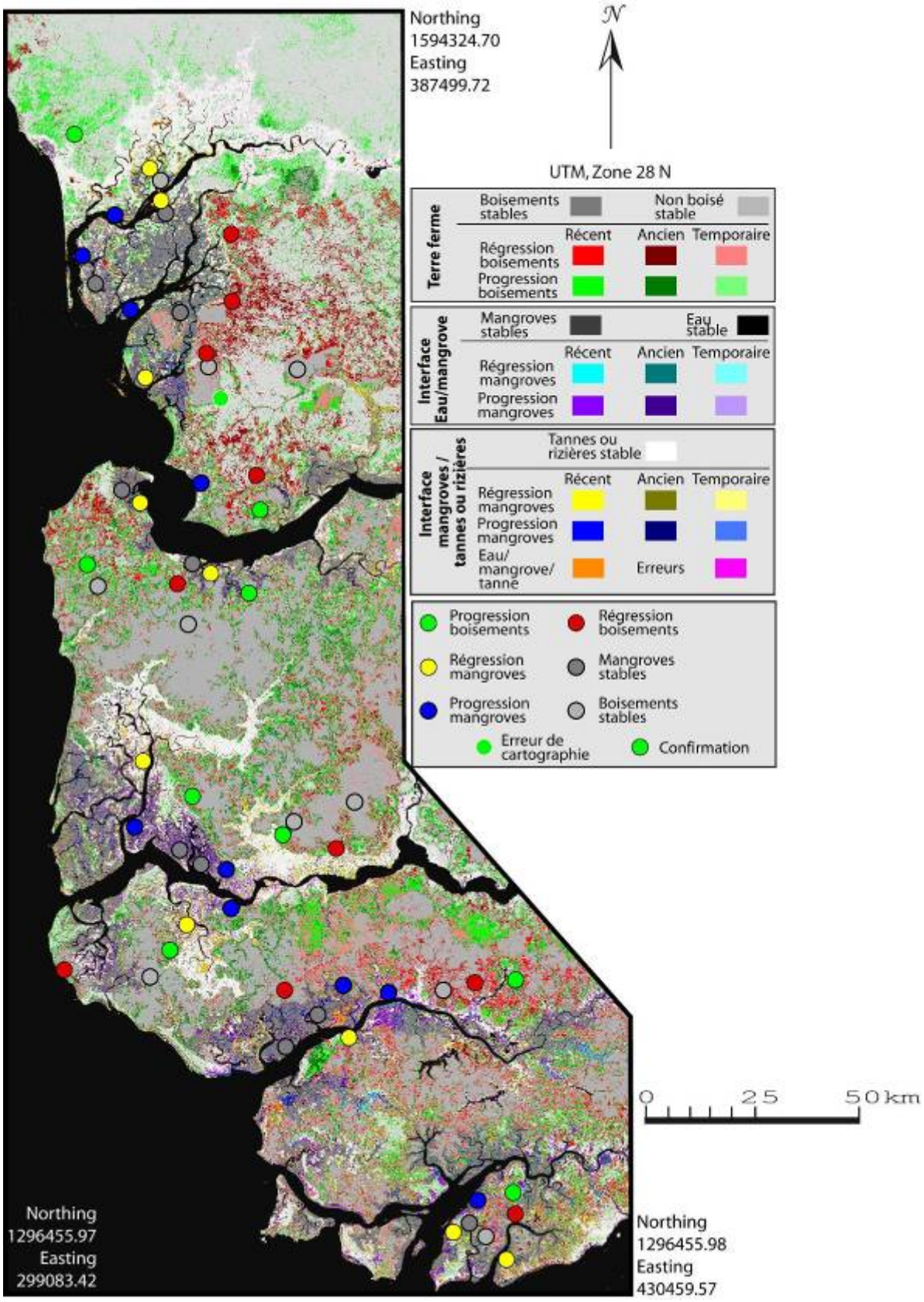


Figure 18 : Carte de localisation des relevés de confrontation au terrain.

4. RESULTATS

4.1. Présentation

On distingue, tout d'abord, quatre grands ensembles de tannes ou de rizières stables : le nord du Delta du Saloum, les trois secteurs en amont de la Casamance. Des secteurs de moindre importance se situent par ailleurs dans la partie médiane du Rio Cacheu et la partie amont du Rio Mansoa. Les lieux où la stabilité des massifs de mangrove domine sont l'est des îles du Saloum, les îles Betenti, les rives de la Gambie, l'ouest de la Casamance, l'embouchure du Rio Cacheu et du Rio Mansoa. Ces secteurs incluent des forêts qui sont à la fois faiblement et durablement exploitées.

La régression de la mangrove est particulièrement nette et forte dans quatre secteurs de dimension importante ainsi qu'au sein d'une multitude de petits espaces dans les secteurs éloignés des embouchures des fleuves, ceci dans les secteurs ne connaissant que de faibles apports en eaux continentales : il s'agit du Nord Saloum, du chenal de Koular, situé sur la rive nord de la Gambie, et des trois secteurs amont de la Casamance : le nord, et tout particulièrement le nord est, l'amont du fleuve au-delà de Ziguinchor, et du Bolon d'Oussouye et ses affluents. Ensuite, dans le Saloum et en Casamance, on observe également de nombreux secteurs de légère régression notamment sous la forme de lisières entre mangrove et tannes. Il s'agit d'une régression face au tanne par dépérissement naturel. Enfin, de façon moins importante, le Nord bissau-guinéen présente un certain nombre de secteurs de régression sous forme de superficies moyennes isolées : il s'agit de nouveaux endiguements pour la mise en place de rizières.

La progression de la mangrove est importante à l'ouest des îles du Saloum, et surtout sur la rive nord de la Casamance, entre Ziguinchor et le Diouloulou. La progression est ici liée à la régénération de mangroves dépérissantes. Sur les rives du Rio Mansoa on la retrouve liée à l'abandon de rizières qui sont enfrichées par la mangrove.

On observe une stabilité des grands boisements de terre ferme le long de la frontière Gambie – Casamance, dans les Kalounayes, et le long de la frontière Casamance – Guinée-Bissau, ainsi que dans les forêts classées du Bas-Saloum, et en Guinée Bissau dans les secteurs éloignés des villes et des estuaires.

On trouve de grands secteurs non boisés aux trois dates dans la partie nord-est de la zone d'étude, dans le Bas-Saloum continental entre Kaolack et Sokone ; le Nord du Niumi, le secteur de Cachungo (Guinée-Bissau) et les rives du Rio Mansoa en amont. On remarque que ces grands espaces dépourvus de couvert forestier se situent souvent aux confins des principales agglomérations de la région à savoir : Banjul, Bignona, Ziguinchor, Bissau.

On note que les espaces où les boisements de terre ferme ont régressé sont assez régulièrement répartis sur la carte. Les secteurs fortement concernés par cette régression se trouvent dans le Bas-Saloum et le Niumi. Dans cette région avec la sécheresse de la fin des années 1960 et l'effondrement des cours de l'arachide, les paysans ont procédé, d'une part au défrichement d'espaces de savane et d'autre part, à la dégradation des systèmes agroforestiers menant à d'importants déboisements (Sidibé, 2005 ; Lericollais, 1989). On remarquera également ce phénomène au nord-Est du Rio Cacheu, et sur un ensemble de petites zones dans le reste du Nord bissau-guinéen. Cette dernière région est un secteur de forte pression anthropique à proximité de la capitale de la Guinée-Bissau où l'agroforêt est défrichée au profit de l'urbanisation et des cultures permanentes. Dans ces deux régions, de nombreux vergers d'anacardiers sont en installation.

Les rives des chenaux de Casamance en rive Nord notamment, ainsi que le Kombo sont marquées par des régressions et des progressions des boisements de terre ferme qui s'organisent en mosaïque. La confrontation au terrain a révélé, d'une part une dynamique contraire à celle du Bas-Saloum, c'est-à-dire un abandon partiel des terroirs de cultures du mil et de l'arachide. Il en résulte l'enfrichement de certaines parcelles. D'autre part on observe une progression des rizières au contact entre les vasières et la terre ferme et quelques parcelles de défrichements des terroirs mil-arachide (Wright, 2004).

Outre le Kombo et les secteurs proches des chenaux en Casamance, on pourra distinguer, du nord au sud de la zone d'étude, un certain nombre de petites régions de progression. Un premier ensemble s'organise en petites taches dans la région du Sine. La Rive Sud de la Casamance, notamment vers l'amont, présente également de grandes surfaces de progression ; c'est également le cas à l'ouest de Cacheu où l'on observe la progression sensible d'un grand massif forestier. Enfin, au sud de la zone d'étude, la rive Nord du Rio Mansoa connaît un grand nombre de petites taches de progression. Le sine et le Kassa sont des secteurs d'enfrichement liés à des abandons de zones agricoles. La rive nord du Rio Mansoa est constituée d'agroforêts défrichées dans les années précédant la prise de vue ancienne, un verger d'anacardier s'y étant développé depuis.

Comme on peut le constater d'après la figure 17, si l'on s'en tient aux chiffres globaux, les superficies ont très peu évolué. Les régions septentrionales des Rivières-du-Sud présentaient un peu plus de **162 913 000 ha** de boisements de terre ferme à la fin des années 1970. A la fin des années 1980, ces superficies avaient diminué de **198 736 ha**. Entre la fin des années 1980 et le début des années 2000, **493 061 ha** se sont boisés portant les superficies boisées à un peu plus de **165 856 500 ha**, soit **294 325 ha** de plus qu'à la fin des années 1970, les évolutions des espaces non boisés de terre ferme ayant connu bien évidemment une évolution inverse. Les mangroves couvraient, à la fin des années 1970, plus de **5 506 500 ha**. A la fin des années 1980, cette superficie avait diminué de **206 271 ha**. Entre la fin des années 1980 et le début des années 2000, **156 164 ha** se sont boisés portant les superficies boisées à un peu plus de **5 456 500 ha**, soit **50 107 ha** de plus qu'à la fin des années 1970.

Le tableau 2 montre que ces faibles bilans dans les changements de la superficie boisée ne rendent pas totalement compte des nombreux changements qui affectent la région. En effet, entre la fin des années 1970 et la fin des années 1980, la faible diminution globale des surfaces boisées de terre ferme résulte en réalité à la fois des **9,2%** de superficies de terre ferme qui ont connu un reboisement et des **9,9%** qui ont connu un déboisement. La régression des boisements de certaines régions est donc compensée par une progression dans d'autres parties de la sous région. Cette remarque vaut également lorsque l'on établit la synthèse des changements entre les années 1980 et les années 2000. La mangrove connaît des compensations entre progression et régression du même ordre de grandeur, correspondant en réalité à une régression dans la première période et à une progression dans la deuxième période.

Le tableau 3 confirme très largement les résultats de la cartographie puisque seul un site sur 60 apparaît comme une erreur de cartographie. Il permet également d'identifier les principaux phénomènes de changement :

- La progression des tannes sur les mangroves par dépérissement dans les secteurs hyperhalins et la régénération des tannes et des mangroves en cours de dépérissement
- L'endiguement des mangroves pour la riziculture et l'enfrichement des rizières abandonnées après la rupture de la digue
- Le défrichement pour l'agriculture et l'enfrichement de jachères agricole
- La mise en place de vergers d'anacardiers
- La coupe forestière de la terre ferme alliée aux feux tardifs
- La également montré un certain nombre de forme de dynamiques cycliques :
- La régénération immédiate des coupes de la mangrove, voire la stabilité des mangroves lors des coupes d'éclaircies
- Les cultures itinérantes sur brûli

Tableau 3 : Synthèse de la confrontation au terrain.

	Mangrove	Terre ferme
S1	Stabilité malgré un léger dépérissement	Stabilité d'une savane arbustive ouverte
S2	Stabilité malgré une coupe d'éclaircie	Stabilité
S3	Stabilité	Stabilité
S4	Stabilité	Palmeries à culture itinérante sur brulis
S5	Stabilité	Stabilité
S6	Stabilité malgré un léger dépérissement	Stabilité malgré un feux important récent
S7	Stabilité	Stable gestion en taillis fureté
S8	Stabilité	Palmeries à culture itinérante sur brulis
S9	Stabilité	Palmeries à culture itinérante sur brulis
S10	Stabilité malgré un léger dépérissement	Palmeries à culture itinérante sur brulis
P1	Régénération d'une mangrove dépérissante	Enfrichement agricole
P2	Conquête d'un nouveau banc de vase	**Stabilité**
P3	Régénération d'une mangrove dépérissante	Enfrichement agricole
P4	Régénération d'une coupe forestière	Enfrichement agricole
P5	Régénération d'une mangrove dépérissante	Progression de cause indéfinie
P6	Régénération d'une mangrove dépérissante	Enfrichement agricole
P7	Régénération d'une mangrove dépérissante	Progression de cause indéfinie
P8	Régénération d'une coupe forestière	Enfrichement agricole
P9	Enfrichement d'anciennes rizières	Plantation d'anacardiers
P10	Enfrichement d'anciennes rizières	Culture itinérante sur brulis
R1	Tannification par dépérissement	Défrichement agricoles
R2	Tannification par dépérissement	Défrichement agricoles
R3	Coupe (régénération en cours)	Défrichement agricoles
R4	Tannification par dépérissement	Défrichement agricoles
R5	Tannification par dépérissement	Défrichement agricoles
R6	Tannification par dépérissement	Surexploitation du bois et feux tardifs
R7	Tannification (régénération en cours)	Défrichement agricoles
R8	Tannification par dépérissement	Plantation d'anacardiers
R9	Endiguement pour la riziculture	Culture itinérante sur brulis
R10	Endiguement pour la riziculture	Plantation d'anacardiers

4.2. DISCUSSION

Cette étude permet tout d'abord de constater qu'à l'échelle régionale, les deux milieux, celui de la mangrove et celui de la terre ferme sont dans ces régions très dynamiques puisque moins de 80% de la surface boisée reste stable au cours de ces deux périodes. Cependant, au sein des changements, s'établit une double compensation entre les deux périodes étudiées et entre les différentes régions pour chaque période dont résulte un bilan des surfaces boisées qui sur 25 ans varie positivement de moins de 1%.

Le second constat que l'on peut faire est celui d'une tendance à la régression des boisements (mangrove et terre ferme) entre les années 70 et 80, qui s'inverse dans les années 1990 et qui aboutit à ce que les étendues boisées de mangrove et de terre ferme soient légèrement inférieures ou bien légèrement supérieures au début des années 2000 à ce qu'elles étaient à la fin des années 1970. Ces évolutions laissent dans une premier temps supposer que le climat joue un rôle important dans les dynamiques de ces paysages végétaux. Après une confrontation avec l'étude des phénomènes sur le terrain, on peut compléter ce jugement. Les mangroves, dont on sait qu'elles sont particulièrement réactives aux variations du climat et, en particulier, son impact sur la salinité des eaux (Sadio, 1991 ; Marius, 1985, Viellefons, 1977), ont connu une régression pendant la période de fort déficit pluviométrique puis une régénération dans la période suivante où on a assisté à un infléchissement de cette tendance puis au début d'une reprise des précipitations en Afrique de l'Ouest (Nicholson, 2005 ; Sultan *et al*., 2004). Cette reprise semble donc suffisamment significative pour expliquer par une progression de la mangrove. L'évolution des surfaces en mangrove apparaîtrait ainsi très sensible aux fluctuations de la pluviosité. En dehors de ce cas de figure, les autres changements sont liés à l'action de l'homme. Il s'agit pour la grande majorité des cas de défrichements agricoles ou d'enfrichement après abandon des cultures et dans de très rares cas de l'impact d'activités forestières.

Cependant, l'analyse spatiale de ces changements fait apparaître des dynamiques complexes qui ne peuvent qu'être difficilement appréhendées à l'échelle des grandes régions politiques ou des systèmes deltaïques, mais le sont bien davantage aux échelles micro-régionales où les conditions écologiques et les systèmes ruraux sont plus homogènes. A l'échelle locale, on peut déduire de la forme des tâches des explications que corroborent les analyses de terrain. Les linéaires de régressions de la mangrove dans les secteurs de correspondent à la tannification. Les formes géométriques de changement de l'occupation agricole du sol en terre ferme correspondent souvent à des parcelles agricoles. Une analyse plus fine de la géographie des changements pourrait à l'avenir, s'ajouter au portrait global des dynamiques de la couverture du sol.

5. CONCLUSION

Premièrement, la méthode de classifications non dirigées emboitées avec A.C.P. à la deuxième étape s'est avérée bien adaptée à la réalisation d'une carte de la couverture du sol utilisant une nomenclature prédéfinie. Deuxièmement, les principaux résultats mettent en évidence un bilan quasi-nul à un pas de temps de 25 ans et la prépondérance du rôle du climat, ce qui va à l'encontre de la thèse d'une importante dégradation des paysages végétaux qui serait liée à une mauvaise gestion des ressources ligneuses. Troisièmement, conformément aux fluctuations de la pluviosité, deux phases se distinguent : une phase de régression du couvert boisé de la fin des années 1970 à la fin des années 1980 et une phase de progression du couvert boisé entre la fin des années 1980 et le début des années 2000 bien que ces changement soient souvent liés aux actions de l'homme.

Cependant, la simplicité de la nomenclature utilisée masque sans doute de nombreux changements des écosystèmes à l'échelle locale et ne permet pas de cartographier ni de quantifier les évolutions intrinsèques de la végétation comme par exemple l'appauvrissement de la biodiversité ou la réduction de la biomasse. Cette méthode offre cependant une base de connaissance de l'organisation spatiale et des types de changements sur laquelle on peut établir des analyses du contenu botanique et de la physionomie de la végétation des secteurs de changement (Andrieu et al., sous presse)

Références

Ackermann G., Alexandre F., Andrieu J., Mering C., Olivier., (2007) Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur le Petite Côte et dans le delta du Sine – Saloum (Sénégal). VertigO Vol. 7, N°2, Art.16.

Andrieu J., Alexandre, F., Mering C., (sous presse) Dynamique des paysages agricoles et forestiers dans les espaces littoraux de l'Afrique de l'Ouest, L'exemple de Diamniadio. In colloque « Paysages et environnement, de la reconstitution du passé aux analyses prospectives » Chilhac, Octobre 2006.

Andrieu, J. (2007) Croisement des données LANDSAT et MSG pour la détection des formations végétales et le suivi de l'activité végétale. In colloque « météosat seconde génération : un nouvel instrument de suivi de l'environnement ». Université de Bourgogne, Dijon. 13 - 14 septembre 2007

Bassel M. (1993) : Conséquence durable de deux décennies de sécheresse : l'hypersalinisation de la Casamance entre 1987 et 1992. Dakar : Université Cheikh Anta Diop, département de géographie. 23p.

Bosc, P.-M., (2005) A la croisée des pouvoirs. Une organisation paysanne face à la gestion des ressources (Basse-Casaamnce, Sénégal). I.R.D. éditions, Collection à travers champs Paris, 310 p.

Camberlin, P., Martiny, N., Philippon, N. and Richard, Y., (2007) Determinants of the interannual

relationships between remote sensed photosynthetic activity and rainfall in tropical Africa. Remote sensing of Environments 106 : (2007) 199-216.

Chappell, A., Agnew C. T. (2004) Modelling climate change in West African Sahel rainfall (1931–90) as an artifact of changing station locations. Int. J. of Climatol. 24 : 547–554.

Chowdhury, R.R., (2006) Landscape change in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico: Modeling the driving forces of smallholder deforestation in land parcels. Applied Geography, Volume 26, Issue 2, April 2006, Pages 129-152

Cormier-Salem éd. (1999) Rivières du Sud : sociétés et mangroves ouest-africaines. IRD. Paris, 1/2, 416 p.

Cormier-Salem éd. (1994) Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du Sud (du Sénégal à la Sierra Leone). ORSTOM, collections Colloques et Séminaires, Paris, 353 p.

Cuq F., Madec V., Gourmelon F., (1996). Mise à jour de la carte d'occupation des sols des provinces côtières de Guinée-Bissau. Mappemonde, 4 : 21-26.

Dahdouh-Guebas, F. & Koedam, N., (2000) Are the northernmost mangroves of West Africa viable ? - a case study in Banc d'Arguin National Park, Mauritania. Hydrobiologia. 458 : 241-253

Dai A. Lamb, P.J. Trenberth, K.E. Hulme, M., Jones, P.D., Xie, P., (2005) The recent Sahel Drough is real. Int. J. Climatol. 24: 1323–1331 (2004)

Diop E. S., (1990) : La côte Ouest africaine : du Saloum (Sénégal) à la Mellacorée (Rép. Guinée). Paris : O.R.S.T.O.M. 379 p.

Diop E. S., Soumare, A., Diallo, N. Guisse, A., (1997) Recent changes of the Saloum River Estuary. Mangrove and Salt marshes. Volume 1, Number 3 / September, 1997 pages 163-172

Ecoutin J.-M., Barry M. B., Bouju S., Charles-Dominique E., Journet O., Penot E., Rûe O., Souaré D., Sow M. (1999) : Aménagement technique du milieu, in Cormier-Salem M.-C. éd. : Rivières du Sud : sociétés et mangroves ouest africaines. Paris : IRD éditions, 209-268.

Fall, S., Semazzi, F. H. M., Miyogi, D. D. S., Anyah, R. O. and Bowden, J. (2006) Spatiotemporal climate variability over Senegal and its relationship to global climate. Int. J. Climatol. 26: (2006) 2057-2076

Fazendeiro-Catarino L.-M. (2004). Fitogeografia da Guiné-Bissau. Lisbonne : Instituto superior de agronomia. (Universidade técnica de Lisboa), 440 p.

Fraser R.H., Abuelgasim A., Latifovic R. (2005) A method for detecting large-scale forest cover change using coarse spatial resolution imagery Remote Sensing of Environment, Volume 95, Issue 4, 30 April 2005, Pages 414-427

Heumann B.W., Seaquist J.W., Eklundh L., Jonsson, P., (2007) AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982-2005 Remote Sensing of Environment, 108 (4), p.385-392, Jun 2007

Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M., Lister, D. (2001) African climate change : 1900 - 2100, Clim. Res. Vol. 17:145-168, 2001

Lericollais A. (1989). La mort des arbres à Sob en Pays serrer (Sénégal). Tropiques : lieux et liens : florilège offert à Paul pélissier et Gilles Sautter. D. A. (Ed). Paris, ORSTOM: 187-197

Loyer J.-Y. (1989). Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation, distribution et évolution sous culture. Paris, O.R.S.T.O.M. 137p.

Marius, 1985. Mangroves du Sénégal et de la Gambie : écologie, pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement Orstom. Collection travaux et documents. Paris, 193 p.

Masoud A.A., Koike, K., (2006), Arid land salinization detected by remotely-sensed landcover changes: A case study in the Siwa region, NW Egypt. Journal of Arid Environments, Volume 66, Issue 1, July 2006, Pages 151-167 2005

Montoroi J.-P. (1996). Gestion durable des sols de la mangrove au Sénégal en période de sécheresse : dynamique de l'eau et géochimie des sels d'un bassin versant aménagé. Paris, O.R.S.T.O.M. 263p.

Moreau, N., (2004) Mise en évidence et cartographie de l'évolution des forêts de mangrove dans les Iles du Saloum au cours des trois dernières décennies (1972 à 2001), Photo-Interprétation, n° 2004/4, pp. 23-55.

Murray, M. R., Zisman, S. A., Furley, P. A., Munro, D. M., Gibson, J., Ratter, J., Bridgewater, S., Minty C. D., et Place, C. J., (2003), The mangroves of Belize: Part 1. distribution, composition and classification, Forest Ecology and Management, Vol. 174, Issues 1-3, pp. 265-279.

Nagendra H., Pareeth, S., Ghate, R., (2006) People within parks—forest villages, land-cover change and landscape fragmentation in the Tadoba Andhari Tiger Reserve, India Applied Geography, Volume 26, Issue 2, April 2006, Pages 96-112

Nicholson, S.E. (2000) the nature of rainfall variability over Africa on time scales of decades to millenia. Global and Planetary Change. 26 (2000) 137-158.

Nicholson, E.S. (2005) On the question of the "recovery" of the rains in the West African Sahel Journal of Arid Environments, Volume 63, Issue 3, November 2005, Pages 615-641

Pélissier P. (1966) Les paysans du Sénégal, les civilisationsagraires du Cayor à la Casamance, aint-Yriex, Imp. Fabrègue, 939 p.

Sadio, S., (1991) Pédogénèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum, O.R.S.T.O.M., Paris, 283 p.

Siddiqui M. N., Jamil Z., AfsarJ., (2004) Monitoring changes in riverine forests of Sindh Pakistan using remote sensing and GIS techniques. Advances in Space Research, Volume 33, Issue 3, 2004, Pages 333-337

Sidibé, M., (2004) les migrants de l'arachide, La conquête de la forêt classée de Pata. Casamance, Sénégal. IRD. Collection à travers champs. Paris, 250p.

Sow, M., Diallo, A., Diallo, N., Dixon, C. A. et Guissé, A., Formations végétales et sols dans les mangroves des Rivières-du-Sud. In Cormier-Salem, M. C. (1994). Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du Sud. Paris, O.R.S.T.O.M. pp. 51-58.

Thampanya, U., Vermaat, J.E., Sinsakul, S., et Panapitukkul, N., (2006), Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 68, Issues, pp. 75-85.

Tomlinson P. B., (1986) Botany of mangroves. Cambridge, Cambridge University Press. 440p.

Trochain J. (1940) Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal, Librairie Larose, Paris, 433p.

Vasconcelos M.J.P., Mussa Biai J.C., Araujo A., Diniz, M.A., (2002) Land cover change in two protected areas of Guinea-Bissau (1956-1998) Applied Geography, 22 (2), p.139-156, Apr 2002

Viellefons, J. Pataud M.C. (ill.). (1977) Les sols des mangroves et des tannes de basse Casamance (Sénégal) : importance du comportement géochimique du soufre dans leur pédogenèse. ORSTOM. Colection mémoires. Paris, 298p.

Wright, D.R., (2004) The World and a Very Small Place in Africa: A History of Globalization in Niumi, the Gambia. M.E. Sharpe. London, 368p.