



**HAL**  
open science

## Potentiel de l'imagerie multi-capteur dans le suivi des mangroves de l'estuaire du Wouri-Cameroun

Collins Etienne Kana, Chrétien Ngouanet, Alexandra Céleste Tiako Tchanga, René Bernardin Jiofack Tafokou, Guy Charly Nzalla Ngangue, Jean Folack

### ► To cite this version:

Collins Etienne Kana, Chrétien Ngouanet, Alexandra Céleste Tiako Tchanga, René Bernardin Jiofack Tafokou, Guy Charly Nzalla Ngangue, et al.. Potentiel de l'imagerie multi-capteur dans le suivi des mangroves de l'estuaire du Wouri-Cameroun. Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. hal-02189420

**HAL Id: hal-02189420**

**<https://hal.science/hal-02189420v1>**

Submitted on 19 Jul 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Potentiel de l'imagerie multi- capteur dans le suivi des mangroves de l'estuaire du Wouri- Cameroun

KANA Collins Etienne <sup>(1,\*)</sup>, NGOUANET Chrétien <sup>(2)</sup>, TIAKO TCHANGA Alexandra Céleste <sup>(3)</sup>, JIOFACK TAFOKOU René Bernardin <sup>(4)</sup>, NZALLA NGANGUE Guy Charly <sup>(5)</sup>, FOLACK Jean <sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Université de Dschang, Cameroun

<sup>(2)</sup> Institut National de Cartographie (INC), Cameroun

<sup>(3)</sup> Consultante en géomatique

<sup>(4)</sup> High Institute of Environmental Sciences

<sup>(5)</sup> Université de Douala, Cameroun

<sup>(6)</sup> ENVIREP, Cameroun

<sup>(\*)</sup> Auteur correspondant: KANA Collins Etienne, ckana71@yahoo.fr

## Résumé

Reconnues pour leurs services environnementaux et notamment la séquestration du carbone, les mangroves du littoral camerounais restent assez mal documentées, précisément en ce qui concerne leurs superficies actuelles et leur répartition spatio-temporelle. La présente étude se propose d'évaluer le potentiel de la combinaison de l'imagerie optique et radar, de haute et très haute résolution spatiale, dans la délimitation et le suivi des mangroves autour de l'estuaire du Wouri. Les résultats indiquent qu'en l'absence d'une signature spectrale spécifique à la mangrove, permettant de l'isoler des autres peuplements forestiers littoraux, la classification orientée- objet combinant l'interférométrie Land Use (ILU) sur image radar (TerraSAR-X Stripmap) et des images SPOT 6 paraît efficace dans le renforcement de leur détectabilité. Aussi, le seuillage sur l'indice d'humidité de la transformation *tasseled cap* permet d'obtenir des résultats valides. Ces deux méthodes ont permis d'estimer à près de 910 km<sup>2</sup> la superficie actuelle des mangroves dans la zone d'étude. Ces mangroves ont connu une régression spatiale dont la vitesse varie localement au cours des trente dernières années: Autour de la métropole urbaine Douala, la régression a été de 7454,55 ha (soit 52% de leur superficie initiale), du fait des aménagements urbains et de la périurbanisation anarchique. Dans le site de Tiko par contre, leurs superficies sont passées de 11310,36 à 11203,41 ha, soit une régression de 106 ha seulement, au profit des faciès de dégradation, des cultures et accessoirement de l'habitat.

**Mots clés :** imagerie multi capteur, mangroves, suivi, dynamique récente, estuaire du wouri, Cameroun

## Abstract

Recognized for their environmental services and especially carbon sequestration, Cameroon's coastal mangroves remain poorly documented, precisely with regard to their current area and their spatial/temporal distribution. The present study aims to evaluate the potential of the combination of optical and radar imagery, with high and very high spatial resolution, in the delimitation and monitoring of mangroves around the Wouri estuary. The results indicated that in the absence of a mangrove-specific spectral signature isolating it from other littoral forest, the object-oriented classification combining the interferometry Land Use (ILU) on a radar image (TerraSAR- X Stripmap) with SPOT 6 images appear effective in enhancing their detectability. Also, the threshold on the moisture index of the tasseled cap transformation gave valid results. These two methods estimated the current area of mangroves in the study area at nearly 910 km<sup>2</sup>. These mangroves have experienced a spatial regression whose speed varies locally over the last thirty years: Around the urban area of Douala, the regression was 7454.55 ha (nearly 52% of their initial area), because of the urban development and anarchic peri-urbanization. In the Tiko site, on the other hand, their areas dropped from 11310.36 to 11203.41 ha, meaning a regression of only 106 ha, in favor of degradation coverts, crops and incidentally built-up area.

**Keywords:** *multi sensor imagery, mangroves, monitoring, recent dynamics, Wouri estuary, Cameroon*

## 1. INTRODUCTION

Les quatre dernières décennies sont marquées par la prise de conscience au niveau international sur la nécessité de limiter les concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère et de conserver les ressources biologiques dans la perspective d'un développement durable. A la suite de la Convention Cadre des Nations Unies pour les Changements Climatiques (CCNUCC) élaborée en 1992 et du Protocole de Kyoto signé en 1997, divers mécanismes de réduction de l'empreinte carbone du développement économique ont vu le jour (mécanismes de développement propre, mise en œuvre conjointe). C'est dans cette dynamique qu'est lancée entre 2005 et 2008, l'initiative internationale REDD (devenue REDD+ en 2011) visant à limiter les émissions de GES atmosphériques par la réduction de la déforestation et le renforcement des stocks de carbone forestier.

Les mangroves en général et celles de l'Afrique centrale en particulier, dans cette perspective, méritent une attention particulière : en plus des différents services écosystémiques qui leur sont reconnus depuis longtemps (enrichissement des ressources halieutiques côtières, stabilisation des côtes contre l'érosion, gisement de ressources floristiques et fauniques pour les communautés riveraines, etc.), les mangroves apparaissent depuis peu comme l'un des plus importants puits de carbone forestier. Des études récentes indiquent que cet écosystème peut séquestrer jusqu'à 1560 tonnes de carbone/ha dont 65% sous terre (Howard *et al.* 2017; ONU-REDD, 2017, André *et al.*, 2018). Le *blue carbon*, terme utilisé pour désigner le carbone côtier et marin, apparaît comme un potentiel longtemps négligé et souvent sous-estimé (Alongi, 2018; Atwood *et al.*, 2017; Donato *et al.*, 2011; Jardine et Siikamäki, 2014).

L'enjeu de la conservation des mangroves a suscité l'adhésion par le Cameroun à un certain nombre de Conventions (Conventions sur la Diversité Biologique, Conventions Ramsar et d'Abidjan) et l'élaboration d'outils réglementaires et opérationnels sur la gestion durable des écosystèmes côtiers (Plan d'Action National de Protection de l'Environnement Marin et Côtier contre les pollutions d'origine terrestre, le Plan d'Action National de Gestion des Zones Marines, etc.). En dépit de cette volonté politique, les mangroves du Littoral camerounais continuent de subir de nombreuses pressions liées à l'expansion urbaine, au développement économique (agro-industries, infrastructures industrielles, activités portuaires, exploration et exploitation des hydrocarbures, exploitation forestière artisanale, pêche non contrôlée, etc.) et à des pollutions multiples.

Du fait de ces pressions multiformes, la dynamique spatiale et temporelle des mangroves du Cameroun n'est pas suffisamment renseignée. Leur superficie évolutive sont l'objet d'incertitudes et des questions latentes : 250 000 ha (MINEF, 2010), 225 500 ha (FAO, 2007) ou encore à 400 000 hectares (Wafo 2009). L'UNEP (2007) évalue la superficie des mangroves à 195 700 ha et note une diminution de 28% par rapport aux surfaces évaluées en 1980. Plus récemment encore, le taux de perte des mangroves en Afrique Centrale a été évalué à 1,77 % annuellement depuis 2000. Ainsi, les superficies de mangrove détruites entre 2000 et 2010 sont estimées à 77 107 ha (PNUE/DEPI, 2015).

Cette variabilité des estimations conduit à s'interroger à la fois sur la pertinence des chiffres, la fiabilité des techniques de mesure et la variabilité locale de la vitesse de dégradation. De nombreuses études mettant à contribution le traitement d'images aérospatiales dans le suivi des mangroves au Cameroun sont disponibles. Certaines sont consacrées au développement méthodologique (Tonye et Akono, 2011 ; Onana et al., 2003), d'autres sont surannées, ou utilisent des images optiques toujours altérées par la forte nébulosité en environnement équatorial côtier (Afa, 1985 ; Din, 1995).

C'est pour combler les lacunes des données actuelles d'évaluation spatiale de la mangrove du littoral camerounais que la présente étude se propose d'évaluer le potentiel de l'imagerie optique et radar. De manière spécifique, il s'agit de :

- caractériser les mangroves du Littoral camerounais par imagerie satellite,
- suivre leur évolution spatiale récente,
- déduire les facteurs locaux de la dynamique observée.

Le choix est porté sur les mangroves de l'estuaire de Wouri, deuxième massif en superficie, après le bloc de la péninsule de Bakassi et devant celui de Kribi-Campo (Figure 1).

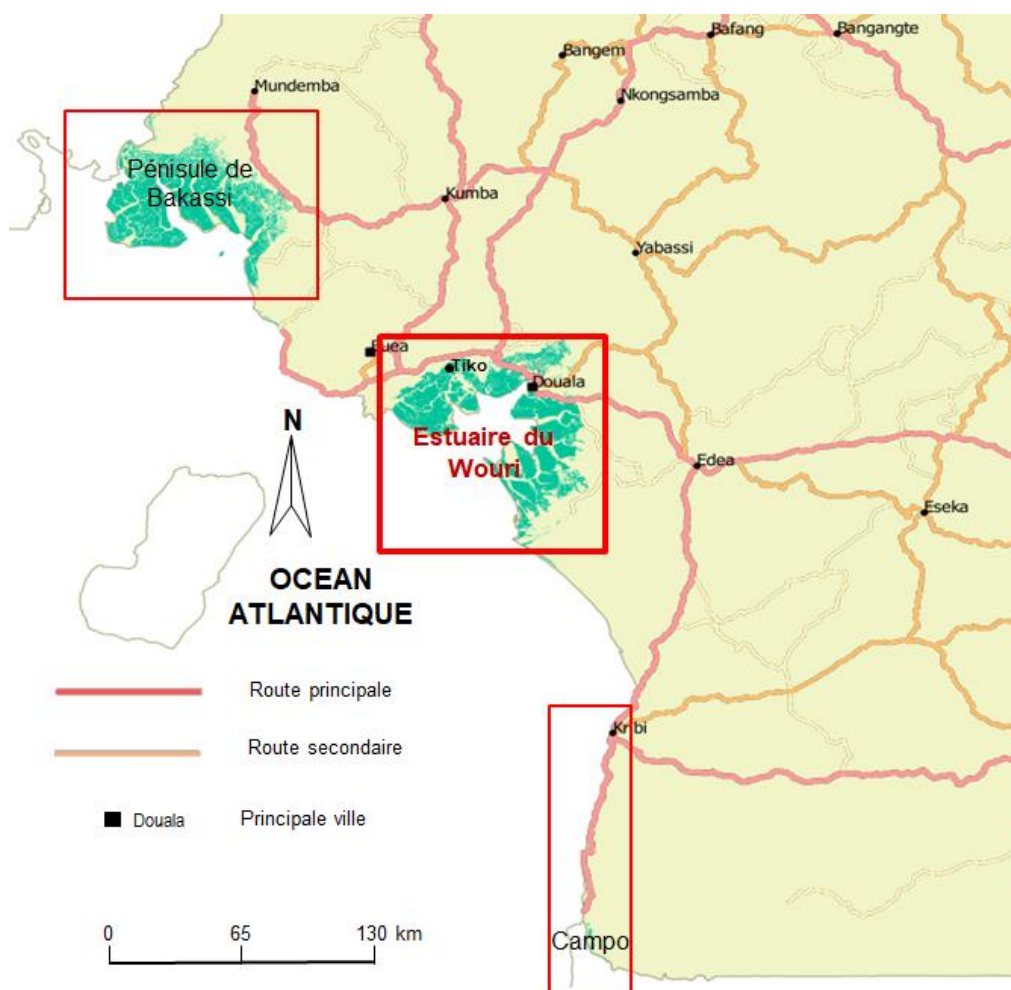


Figure 1 : Les grands blocs de mangroves sur la côte camerounaise

C'est un vaste delta marécageux, d'altitude inférieure à 10 mètres, où confluent de nombreux cours d'eau (*Wouri, Moungo et Dibamba*). C'est dans cet estuaire que les Européens installent les premiers comptoirs commerciaux dès le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. Pendant le protectorat allemand (1884-1914), un port y est construit pour favoriser l'accostage des navires marchands. La construction de deux lignes de chemin de fer, (l'une vers Nkongsamba et l'autre vers Edéa), et des routes bitumées accélère les échanges avec l'arrière-pays et renforce l'attractivité de la cité de Douala. La ville devient la principale agglomération du pays et s'accroît rapidement, passant de 23 000 en 1910 à 130 000 en 1955 et puis à 1 931 977 en 1987. A quarante de kilomètres à l'Ouest de Douala, se trouve la ville de Tiko, qui doit son essor à un petit port assurant les échanges de courte distance, (entre le Cameroun et de Nigéria) et à l'agriculture industrielle. La mangrove est cernée de toute part par les grandes plantations industrielles de palmier à huile et d'hévéa qui prospèrent dans cette zone basse et très humide (plus 3 500 mm de pluies par an, réparties sur toute l'année).

Bien que parcourue par de nombreuses criques, l'estuaire du Wouri est donc incontestablement le massif de mangrove qui subit une forte pression anthropique liée d'une part à la présence de Douala, ville millionnaire (2,8 millions d'habitants : BUCREP 2010) et principal pôle industrialo-portuaire d'Afrique centrale et d'autre part, à la coexistence d'une multitude d'activités à forte empreinte spatiale (plantations industrielles d'hévéa de la *Cameroon Développement Corporation (CDC)*, exploitation artisanale du bois et du sable, activités minières, etc.). Cette diversité des facteurs de pression impose la mise au point d'un protocole de traitement d'images apte à déceler les indicateurs d'impact sur les couverts forestiers.

## **2. DONNEES ET METHODES**

La mise au point d'un dispositif méthodologique a pris en compte deux contraintes spécifiques liées à l'environnement côtier du Cameroun : la forte couverture nuageuse, particulièrement contraignante pour les systèmes de télédétection passifs ; la complexité des mangroves en elles-mêmes, souvent en peuplements purs ou en associations, en général proches des autres couverts forestiers littoraux d'un point de vue radiométrique. De ce fait, la confrontation des données issues de l'imagerie de très haute résolution spatiale et des observations de terrain s'est avérée indispensable. De plus, la forte nébulosité de l'environnement de l'étude a imposé l'utilisation conjointe des données optiques et radar.

### **2.1. Les données**

C'est une masse importante d'images de haute résolution et la très haute résolution spatiale, optiques et radar qui a été mobilisée pour l'étude (Tableau 1).

En plus des 46 photographies aériennes très anciennes (datant de la période 1949 à 1970) couvrant quelques secteurs autour de Tiko et de Douala, une quinzaine de scènes d'images satellitaires ont été mobilisés pour l'étude. Chaque type de donnée a suivi des traitements spécifiques, en fonction des objectifs visés.

Tableau 1 : Données utilisées

Satellite/ capteur	Produit	Résolution spatiale	Date d'acquisition	Utilité pour l'étude
Photographies aériennes	panchromatique	0,5 m	Entre 1949 et 1980	Identification des mangroves par photo-interprétation ; validation des résultats des traitements d'images
GeoEye	multi spectrale	0,5 m	2017	
SPOT7	multi spectrale	6 m	06/01/2016	Traitements pour la discrétisation des mangroves et l'analyse diachronique des paysages
SPOT4	multi spectrale	20 m	13/12/2000 28/01/2001	
TerraSAR-X	ScanSAR (radar) StripMap (radar)	18,5 m	26/08/2017	
		3 m	11/11/2014	
			30/08/2017	
Landsat 1	MSS	60 m	06/06/1975	
Landsat 5	TM	30 m	21/12/1986	
			12/12/1986	
			12/04/1987	
Landsat 8	OLI	30 m	06/01/2016	
			26/01/2016	

## 2.2. Les traitements

L'utilisation des techniques classiques de photo-interprétation (ton, la forme, la texture, le patron, la taille, l'association) a permis de repérer des mangroves sur des photographies aériennes anciennes (Figure 2). Des berges des criques vers l'intérieur, on peut distinguer en fonction du ton et de la texture, au moins deux faciès correspondant soit à des groupements floristiques différents, soit à des faciès de dégradation.



Figure 2 : Repérage des mangroves sur photographie aérienne ancienne

Les techniques d'interprétation visuelle des images GeoEye récentes (2017) ont permis d'apprécier l'extension spatiale des couverts de mangroves sur plusieurs points d'intérêt non nuageux, et de disposer de ce fait des données de validation des méthodes automatiques ou semi automatiques.

Les opérations de classification supervisée et non supervisée des bandes brutes des différentes images de haute résolution spatiale se sont avérées peu aptes à discriminer les mangroves des autres forêts littorales. Différents indices de végétation et d'humidité ont été calculés, mettant à contribution différentes bandes de Landsat (Tableau 2).

Tableau 2 : Les différents indices calculés

Code	Nom de l'indice	Formule
Wetness Index	Indice d'humidité 1 (Transformation Tasselep Cap)	$(\text{Bleu} * 0,1511) + (\text{Vert} * 0,1973) + (\text{Rouge} * 0,3283) + (\text{PIR} * 0,3407) + (-0,711 * \text{MIR1}) + (-0,4559 * \text{MIR2})$
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$\text{PIR} - \text{Rouge} / \text{PIR} + \text{Rouge}$
NDWI	Normalized Water Index	$\text{Vert} - \text{PIR} / \text{Vert} + \text{PIR}$
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index	$\text{Vert} - \text{MIR2} / \text{Vert} + \text{MIR2}$
NDMI	Normalized Difference Moisture Index	$\text{PIR} - \text{MIR1} / \text{PIR} + \text{MIR1}$

L'approche pixel, appliquée aux bandes brutes ou aux néo canaux, a permis de regrouper les pixels individuellement en fonction de leur caractéristique radiométrique, contenue dans les valeurs d'une ou plusieurs bandes spectrales. Les différentes classifications ont été régulièrement validées par l'interprétation visuelle des fragments d'images contemporaines GeoEye (Figure 3).

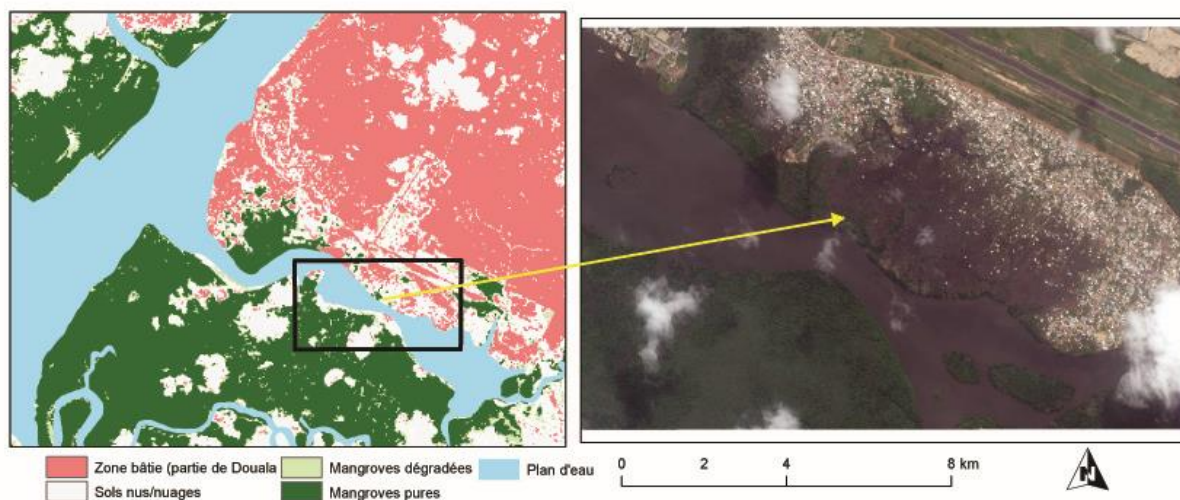


Figure 3 : Validation des classifications par l'imagerie GeoEye



L'information spectrale à elle seule étant souvent juger peu efficace à discriminer les différentes classes d'occupation des sols (Sparfel et *al.*, 2008), il s'est avéré utile de tester aussi l'approche paysage ou orientée objet (Blaschke, , 2001). Celle-ci a permis d'enrichir l'information spectrale par la prise en compte d'autres caractéristiques telles que la taille, la forme, le voisinage, etc.

L'approche orientée objet s'est faite en deux étapes : la première a consisté en une segmentation par regroupement des pixels sur la base de l'homogénéité locale, mesurée par la ressemblance entre les objets contigus; la seconde étape était la classification des segments d'images sur la base de règles de décision, en utilisant les critères d'appartenance à des niveaux de segmentation imbriqués (Figure 4).

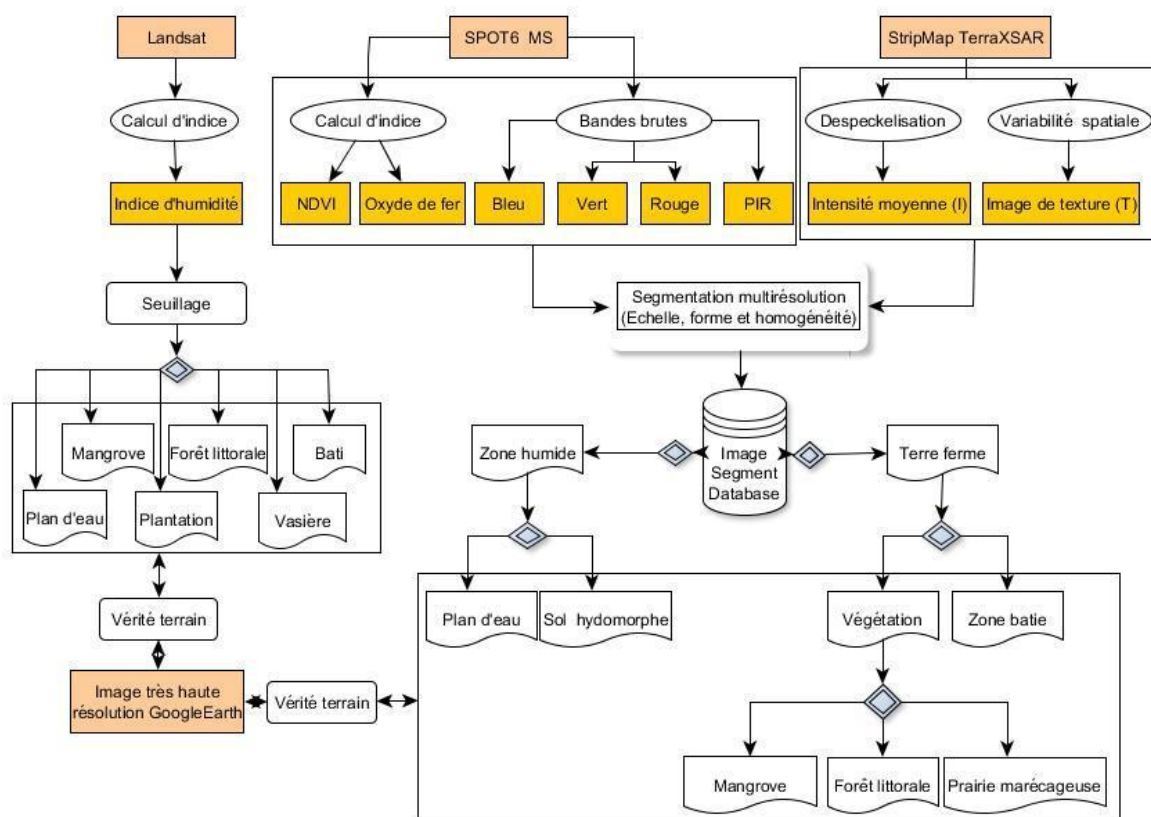


Figure 4 : Schéma synthétique de la méthodologie

L'approche paysage a utilisé principalement les images SPOT 6 (bandes brutes et néo canaux) et TerraSAR-X Stripmap. L'image radar mono date étant difficilement exploitable pour la cartographie de l'occupation du sol, il a fallu au préalable créer des compositions colorées fausses par l'*interferometric land use* (ILU). C'est une technique qui s'appuie sur l'image de cohérence à laquelle on associe la moyenne et la différence d'intensité de signal entre les acquisitions radar de périodes différentes (radar TerraSAR-X Stripmap d'octobre 2014 et d'août 2017). Cette technique offre des résultats intéressants permettant de différencier les formes d'occupation du sol (Ngouanet, 2009). De façon générale,

l'intensité du signal rétrodiffusé par les mangroves est toujours plus élevée que celle des autres végétations, ce qui permet de les différencier plus facilement (Tonye et *al.*, 2001).

Rendue difficile par la présence des nuages sur toutes les scènes disponibles, le suivi dans le temps de la dynamique spatiale des mangroves s'est limité à l'analyse diachronique des fragments d'image Landsat de deux dates (1986 et 2016), couvrant les alentours de Douala et de Tiko, qui sont centres urbains à dynamique spatiale rapide de la zone de mangrove de l'estuaire du Wouri.

La classification séparée des données images a été suivie par la génération des statistiques spatiales. Elle a été enrichie par la tache urbaine de Douala, extraite sur des données de deux autres périodes (1975 et 2001). La déduction des facteurs de la dynamique spatiale des mangroves s'est faite par exploration visuelle de la matrice de transition entre les formes d'occupation du sol et enquêtes de terrain (visites de sites à forte dynamique et entretiens semi-directifs avec les populations riveraines). L'application de toutes ces méthodes a permis de disposer des résultats en rapport avec les différents objectifs visés par l'étude.

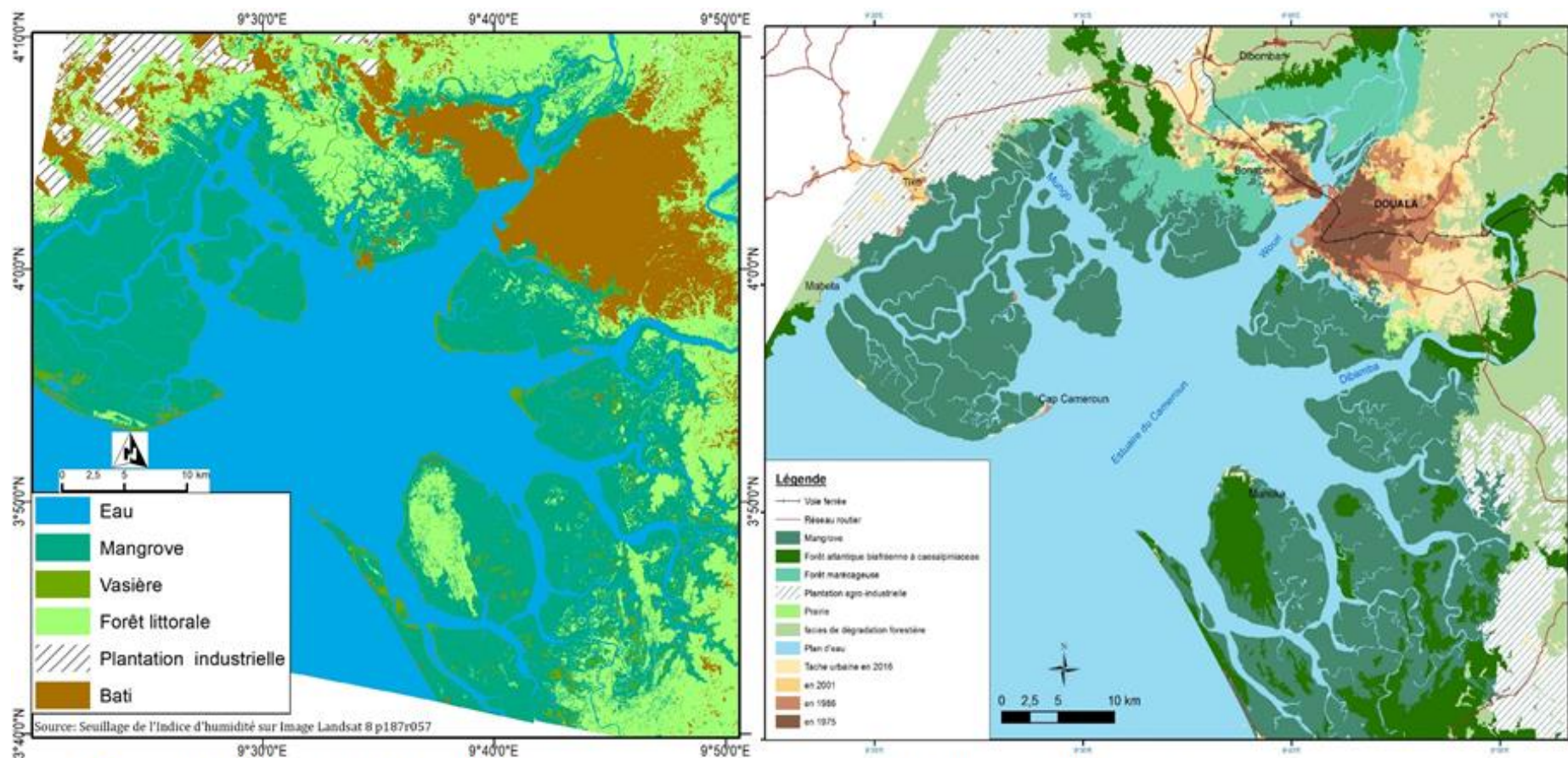
### **3. RESULTATS**

Les principaux résultats obtenus se rapportent à la délimitation des mangroves et à leur dynamique spatiale récente.

#### **3.1. Délimitation des mangroves de l'estuaire du Wouri**

Pour la caractérisation de l'état actuel des mangroves autour de l'estuaire du Wouri, les différentes classifications ont été validées par l'imagerie de très haute résolution spatiale. La classification par l'approche orientée objet a permis de générer des classes de l'occupation du sol, mettant en évidence les zones de mangroves. Ces classes ont été considérées comme données de référence pour l'évaluation des traitements suivant l'approche pixel. Parmi ces derniers, seul le seuillage de l'indice de l'humidité a permis de générer une couverture de mangrove quasi-identique à celle des données de référence (Figure 5).

Les deux méthodes ont permis de disposer une configuration similaire des zones de mangrove, en isolant les formes types de couvert et notamment les autres forêts littorales bien visibles au sud de l'estuaire du Wouri. L'analyse des superficies comparées issues des deux méthodes confirment bien la similarité. En effet, les données de référence estiment les superficies des mangroves à 910 km<sup>2</sup> (Tableau 3), contre 916,5 km<sup>2</sup> pour le seuillage de l'indice d'humidité, soit une différence nette de 6,5 km<sup>2</sup> en valeur absolue et de 0,7% en valeur relative.



a) Seuillage à partir de l'indice d'humidité

b) Approche orientée- objet

Figure 5 : Mise en évidence des mangroves par seuillage de l'indice d'humidité et classification par approche orientée-objet

Tableau 3 : Classes d'occupation des sols en 2016

Occupation du sol	Superficie en km <sup>2</sup>
Mangrove actuelle	910
Plantation agro-industrielle	311
Prairie	15
Facies de dégradation forestière	488
Forêt atlantique biafréenne à <i>césalpiniacées</i>	292
Forêt marécageuse	125
Plan d'eau	1 751
Zone urbaine en 2016	264
en 2001	132
en 1986	99
en 1975	48
Total général	4 158

L'intersection des deux surfaces au moyen d'outils d'analyse spatiale a permis d'identifier la rive gauche du Wouri (aux alentours de Bonabéri) comme zone de fort gain pour les superficies issues du seuillage de l'indice d'humidité. La mangrove y côtoie pourtant la tâche urbaine aisément indentifiable sur les deux traitements.

### 3.2. Dynamique récente des mangroves

Sur l'image Landsat de 2001, il a été possible de générer la limite extérieure de la couverture de mangrove, qui a été par la suite superposée aux classes d'occupation des sols de 2016 (Figure 6).

Les résultats indiquent deux principales formes de dégradation :

- le recul de la mangrove du fait de l'extension urbaine, particulièrement observable dans la périphérie sud de la ville de Douala et sur la rive gauche du Wouri à Bonabéri, et
- une transition des mangroves vers les forêts marécageuses à l'Ouest de la zone.

En l'absence de scènes entières de bonne qualité (sans couverture nuageuse) couvrant toute la zone d'étude, le traitement des fragments d'images Landsat acquises en 1986 et en 2016 et couvrant les zones de Douala et de Tiko a permis de disposer des informations spatiales (Figure 7) et des données chiffrées (Figure 8) sur la dynamiques des mangroves dans ces deux sites d'intérêt.

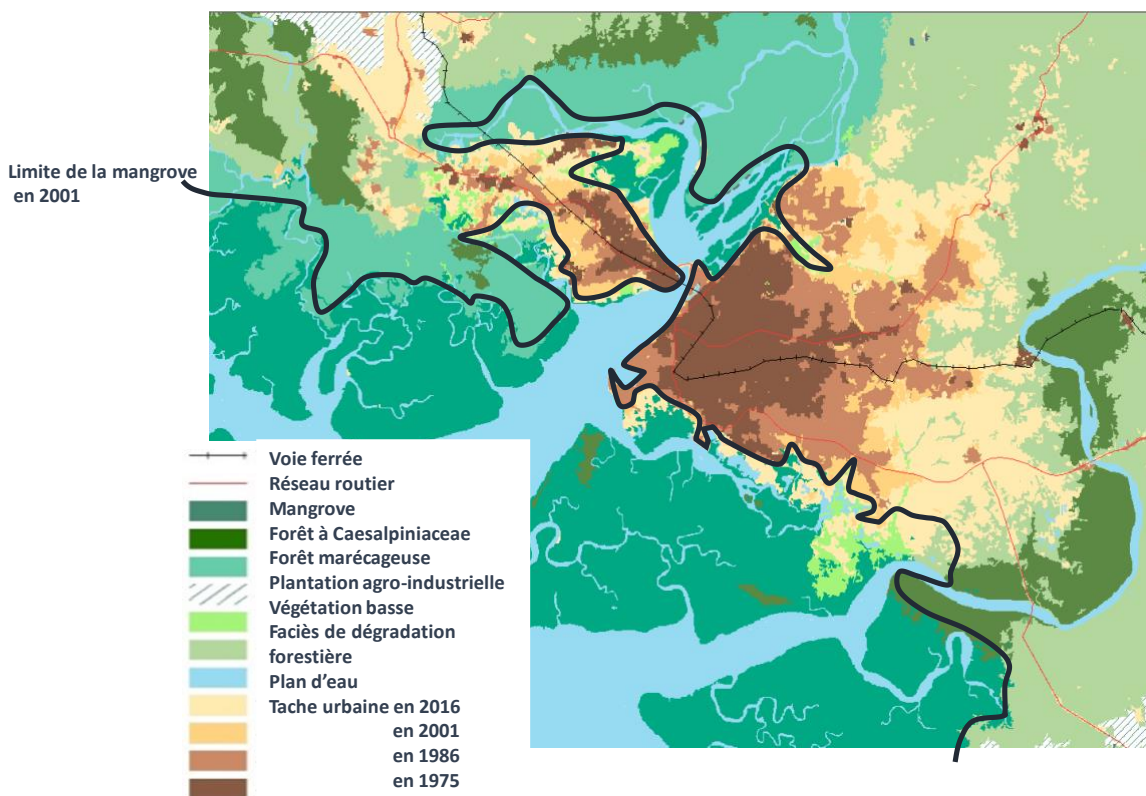


Figure 6 : Superposition de la limite extérieure de la mangrove en 2001 sur les classes d'occupation du sol de 2016

Il ressort de la Figure 7 ci-dessous que l'extension de la tache urbaine de Douala s'est faite au détriment de la mangrove vers l'ouest et le sud. L'aire urbaine est ceinturée par une couronne de plus en plus large des faciès de dégradation de la mangrove, liés à l'exploitation du bois et à une agriculture d'appropriation des espaces à bâtir dans un avenir proche.

Dans le site de Tiko par contre, l'extension de l'espace urbain n'a eu que très peu d'impact sur la mangrove environnante. Elle s'est fait au détriment des zones antérieurement agricoles. Les fronts de dégradation des mangroves en fines bandes perpendiculaires s'observent entre Misselele et Mudeka à l'est de la ville de Tiko. Ils soulignent les passages empruntés vers les pêcheurs, les exploitants de bois et de sable pour se rendre dans les criques. Les données chiffrées sur l'évolution des formes d'occupation du sol confirment la relative stabilité des mangroves dans le site de Tiko (Figure 8)

La Figure 8 présente une régression de la mangrove d'environ 7454,55 ha (soit 52%) de leur superficie initiale au profit des aménagements urbains (habitat, aménagement de l'aéroport et du port, construction du deuxième pont sur le Wouri) et des activités périurbaines (agriculture, exploitation du bois et du sable). Dans le site de Tiko par contre, la superficie des mangroves passe de 11310,36 à 11203,41 ha, soit une régression de 106 ha au profit des faciès de dégradation, des cultures et accessoirement de l'habitat entre les deux dates

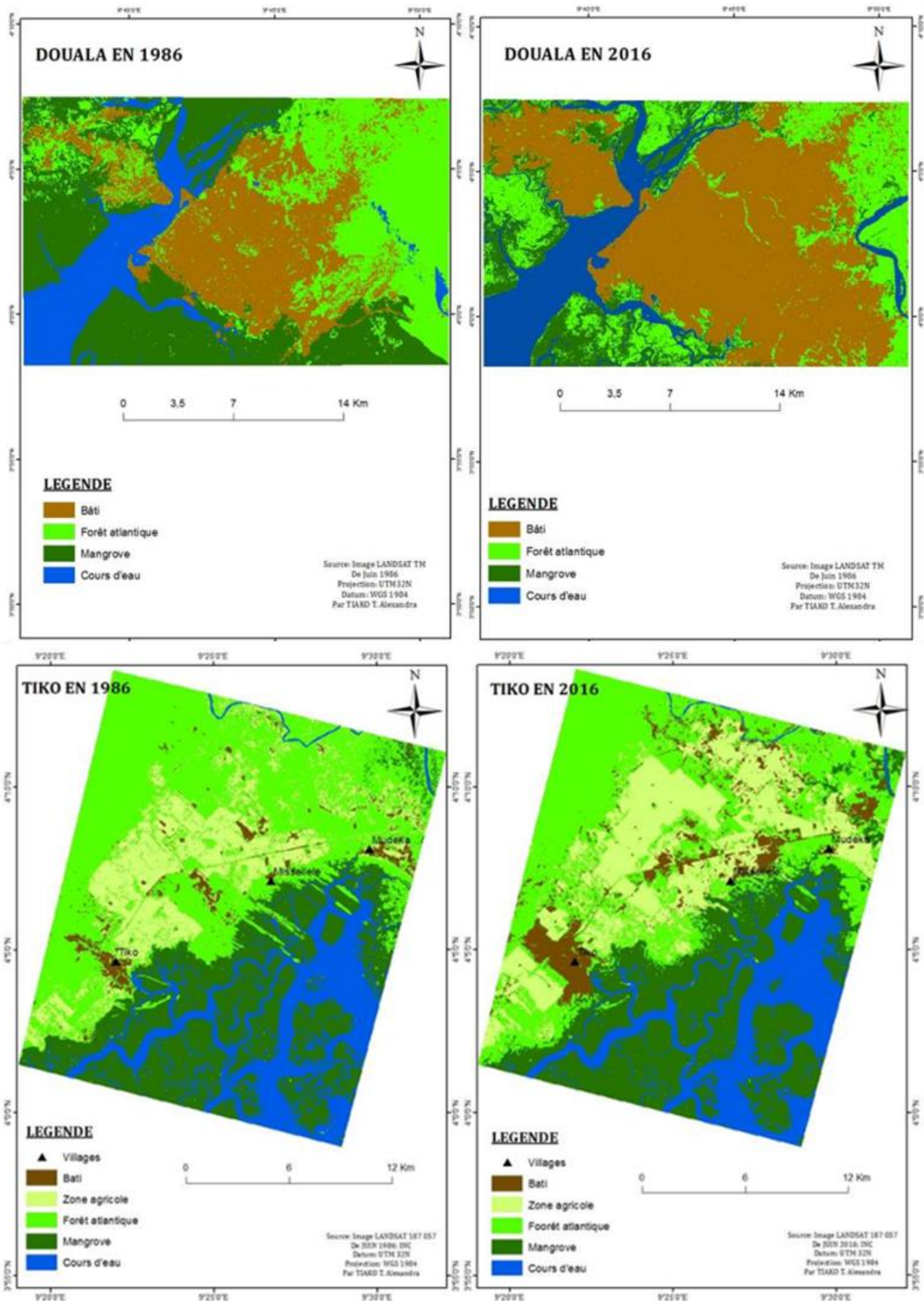


Figure 7 : Dynamique de l'occupation du sol sur les sites de Douala et Tiko entre 1986 et 2016

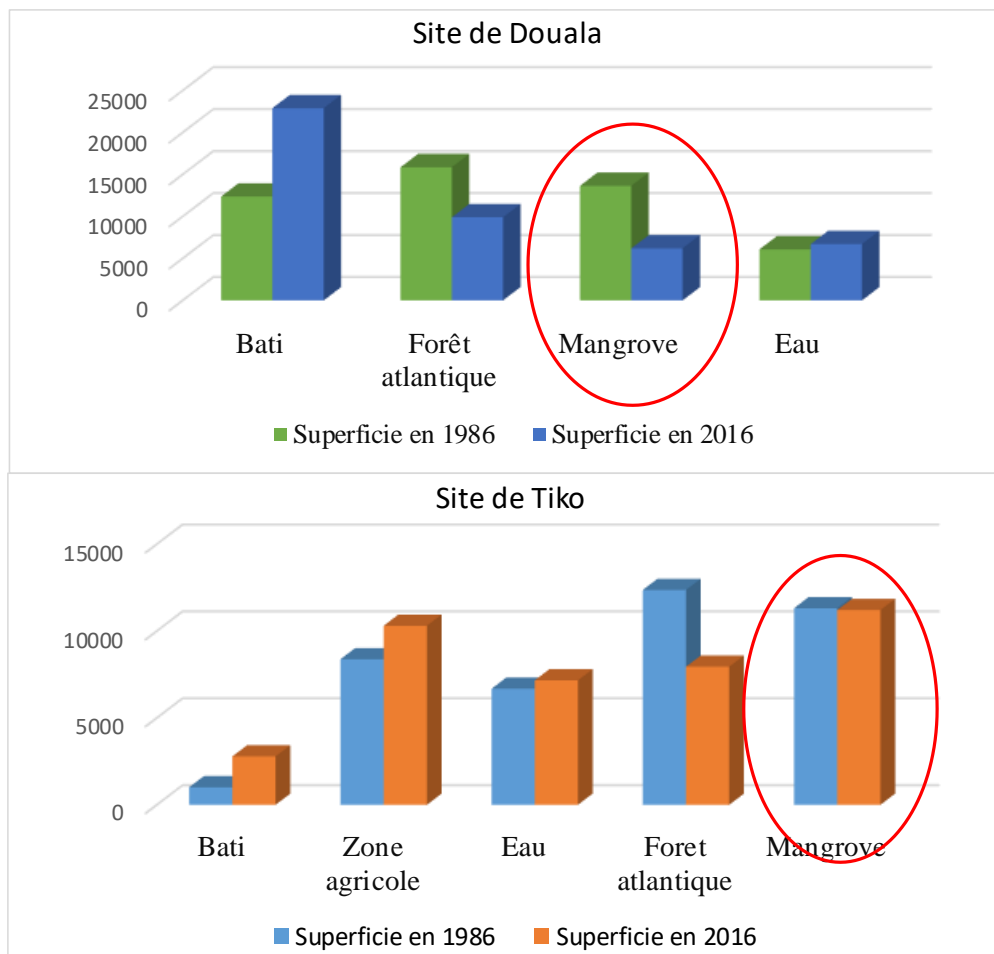


Figure 8 : Statistiques sur l'occupation du sol dans les sites de Douala et Tiko entre 1986 et 2016

#### 4. DISCUSSION ET CONCLUSION

La présente étude se situe dans le sillage de nombreuses autres initiatives de suivi des couverts forestiers en général et de mangroves en particulier (Baltzer et *al.*, 1995 ; Din, 1995 ; Tonye et Akono, 2001 ; Ngouanet et *al.*, 2009, Giri et *al.*, 2011 ). Elle confirme le potentiel de l'imagerie satellitaire dans la délimitation des mangroves. La classification suivant l'approche pixel des bandes brutes des images a engendré cependant des confusions entre les mangroves et d'autres forêts littorales, liées à l'absence d'une signature spectrale spécifique à chaque couvert. Les espaces de mangrove renferment elles-mêmes une hétérogénéité, liée à la densité, à la hauteur et à la composition floristique ; ce qui complique davantage la définition des critères de leur reconnaissance sur des données spatiales. L'imagerie de haute et très haute résolution spatiale s'avère indispensable pour leur identification (Din, 1995).

En raison de la forte nébulosité qui limite la disponibilité des images de bonne qualité en zone équatoriale humide, le système radar offre un palliatif intéressant pour la cartographie de l'occupation du sol (Ngouanet et *al.*, 2009). De façon générale, l'intensité du signal rétrodiffusé par les mangroves est toujours plus élevée que celles des autres végétations, ce qui permet de les différencier plus

facilement (Baltzer et *al.*, 1995 ; Tonye & Akono, 2001 ; Ngouanet et *al.*, 2009). L'utilisation exclusive du radar ne permet cependant ni de bien sérier les multiples faciès, encore moins dresser des classifications détaillées nécessaires au suivi des transitions. Ces lacunes peuvent être palliées par l'utilisation combinée des images optiques multi spectrales (Spot, Landsat) et radar.

L'information spectrale à elle seule ne permet pas toujours de discriminer les différentes classes d'occupation des sols, du fait notamment de l'inadéquation entre l'emprise du pixel et celle des objets recherchés. L'intérêt de la classification suivant l'approche orientée-objet réside dans l'application des règles de décision pour classifier les segments de l'image suivant des niveaux hiérarchiques emboîtés (Ngouanet, 2009).

Parmi les différents néo canaux calculés (NDVI, NDWI, NDMI), seul l'indice d'humidité issue de la transformation « *tasseled cap* » a permis de mieux isoler les mangroves des autres types de forêts. En combinant à la fois six bandes de l'image Landsat, cet indice apparaît comme l'un des plus composites, probablement sensible à la fois à l'humidité de la végétation et à celle des sols. La différence entre de 0,7% en valeur relative observée sur les superficies des mangroves suite à l'application des deux méthodes (approche orientée objet et seuillage de l'indice de l'humidité) réside très probablement dans le décalage temporel d'un an entre les données Landsat (26/01/2016) et une des images (notamment TerraSAR-X : 30/08/2017) prises en compte dans l'approche orientée objet. Ce décalage temporel implique une dégradation des mangroves non prise en compte, sur ces fronts d'urbanisation particulièrement actifs

Entre 1986 et 2016, les mangroves de l'estuaire du Wouri, dont la superficie actuelle est estimée à 910 km<sup>2</sup>, ont régressé essentiellement autour de Douala (de 75 km<sup>2</sup>), du fait principalement de l'urbanisation anarchique, développement des infrastructures de transport (extension du port, construction du deuxième pont sur le Wouri). C'est un des points chauds de la dégradation des mangroves mise en évidence par diverses études (Nzalla Ngangue, 2013; PNUE/DEPI, 2015). La relative stabilité des mangroves de la zone de Tiko n'est pas liée à une certaine prise de conscience sur la nécessité de préserver ces forêts. C'est davantage la construction d'un camp du Bataillon d'Intervention Rapide(BIR) en amont de la mangrove pour la sécurisation du port de Tiko a eu pour effet de limiter les mouvements des populations en direction des criques. D'autres massifs de mangroves repérables au sud de la ville de Douala doivent leur maintien à d'innombrables criques qui les rendent inaccessibles

Le remplacement des mangroves par d'autres types de végétation forestière autour de Tiko est un phénomène particulièrement intéressant mais, difficile à expliquer en l'absence des données environnementales (sur la salinité des eaux, la fréquence et l'extension des marées) sur les deux périodes. Des observations actuelles de terrain montrent que des travaux d'aménagement des terrains (drainage des eaux, remblais pour la construction des routes et des ouvrages d'art) modifient les paramètres hydrologiques dont dépend le maintien des mangroves. Il s'en suit une modification du cortège floristique avec notamment l'introduction du palmier nipa, suivie progressivement par d'autres



espèces de la forêt biafréenne. Sur un autre plan, le secteur ouest des mangroves est essentiellement rural. Du fait d'importantes ponctions foncières opérées par la Cameroon Development Corporation (CDC) pour la culture industrielle d'hévéa et de palmier à huile, les populations riveraines se tournent vers les terrains de mangrove pour la pratique de l'agriculture itinérante de petite taille avec jachère et l'exploitation artisanale du bois ou du sable. Ces activités conduisent davantage à la dégradation qualitative des forêts qu'à la déforestation.

Les facteurs de dégradation des mangroves dans les deux sites sont liés à une certaine anarchie dans l'occupation de l'espace. On note l'extension des quartiers spontanés et précarisés par la récurrence des risques d'inondation, la coupe abusive du bois, l'installation des carrières de sable et des champs agricoles. L'insalubrité orchestrée par la difficulté de gestion des déchets de production (vieux filets de pêche, matériaux de construction, ordures ménagères, etc.) participe à l'obstruction des chenaux d'écoulement des eaux. Toutefois, les mangroves conservent un bon potentiel naturel de reconquête des mangroves sur les terrains perdus en l'absence des pressions anthropiques, si on en juge par l'abondance des jeunes pousses dans les terrains nouvellement défrichés. De plus, l'avancée du front de la mer observée à l'île de Manoka pourrait favoriser l'extension de l'environnement favorable à la mangrove. En zone périurbaine, le matériel de coupe de bois, qui reste la machette essentiellement, rassure sur la conscience environnementale des populations et la possibilité d'inverser les tendances de dégradation si des mesures de sensibilisation et de dissuasion sont prises.

En somme, l'utilisation des satellites à résolution spatiale très moyenne présentent une grande incertitude en ce qui concerne la discrétisation des faciès de dégradation des mangroves. Une meilleure intégration des images de très haute résolution spatiale dans le dispositif de suivi permettrait de mieux cerner ces différents faciès de dégradation. Aussi, un essai de modélisation de la rétraction spatiale des mangroves, associant les moteurs de déforestation et des contraintes spécifiques permettrait de mieux alerter les détenteurs d'enjeux sur le devenir de ces précieux écosystèmes.

## **Remerciements**

Les auteurs expriment leurs sincères remerciements au projet OSFACO et à l'ONG "Environment Resource Protection (ENVIREP)" qui, dans le cadre d'une convention de cofinancement, ont mobilisé les ressources matérielles et financières nécessaires à la réalisation de cette étude.

## **Références bibliographiques**

Afa F. D., 1985. *The mangroves of the Woury estuary*. PhD Thesis of Department of Science, University of Yaoundé, 232 pages.

- Alongi, D.M. (2018) Blue carbon. Coastal sequestration for climate change mitigation, SpringerBriefs on climate studies, 87 pages, ISBN 978-3-319-91697-2, doi.org/10.1007/978-3-319-91698-9
- André, S. R., Twiller, R.R., Castañeda-Moya, E., Riul, P., Cifuentes-Jara, M., Manrow-Villalobos, M., Horta, P.A., Simonassi, J.C., Fonseca, A.L., Pagliosa, P.R. (2018). «Global controls on carbon storage in mangrove soils». *Nature Climate Change*. Vol. 8, n°6, pp: 534-538, doi: [10.1038/s41558-018-0162-5](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0162-5)
- Atwood, T. B., Connolly, R.M., Almahasheer, H., Carnel, P.E., Duarte C.M., Ewers Lewis, C.J., Irigoien, Kelleway, J. Lavery, P.S., Macreadie, P.I., Serrano, O. Sanders, C.J., Santos, I., Steven, A.D, Lovelock, C. (2017) Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nat. Clim. Change* **7**, 523–528
- Baltzer F, Rudant JP, Kuete M, Bilong P, Monteillet J, Abossolo, Amougou A, Din, N, Tonye E, Abata T., 1995. Etude des mangroves de Douala (Cameroun) par imagerie radar et contrôle de terrain. Rapport, Orsay, 22 pages.
- Blaschke, T., (2001). “Object based image analysis for remote sensing”. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. *Zeitschrift fur Geoinformationssysteme*, Vol. 14, No. 6, pp. 12-17.
- Din N., 1995. *Cartographie et dynamique des mangroves du Cameroun par Analyse d'images SPOT*. Toulouse: Université Paul Sabatier, Rapport de stage, 57 p. + annexes .
- Donato, D. C. Kauffma, J.B., Murdiyarso, D. Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M. (2011) Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. In *Nat. Geosci.* 4:293–297 , | DOI: 10.1038/NGEO112
- Dzalla Ngangue G. C., (2013). *La mangrove de l'estuaire du Wouri (Douala-Cameroun) : enjeux de l'anthropisation d'un écosystème humide tropical et impacts environnementaux*. Thèse de doctorat PhD., Université de Douala. 447p.
- FAO, 2007. « The world's mangroves 1980-2005 » in *FAO Forestry Paper* No. 153. Rome.
- Giri, C. Ochieng, L.L, Zhu, Z. Singh, A., Loveland, J. Masek, J., Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. in *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20: 154–159 , doi 10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x
- Jardine, S. L. & Siikamäki, J. V. (2014) A global predictive model of carbon in mangrove soils. *Environ. Res. Lett.* **9**: 104013.
- Howard, J. Sutton-Grier, A., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., Pidgeon, E., Simpson, E. (2017). «Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation». *Ecological Society of America*. Vol. 15, n°1. pp: 42-50, doi:10.1002/fee.1451

- MINEP, 2010. Etudes préliminaires de la deuxième phase du projet de Conservation et de Gestion participative des Ecosystèmes de Mangrove au Cameroun, Rapp Final Marché 00096/M/MINEP/DAG/ SG/SDBMM/SM/2010, 125pp
- Ngouanet C., Ojuku T. & Dzalla N. G. C., 2009. « Mapping and monitoring urban growth on wetlands in humid tropical context using earth observation technology : case study of mangrove zones around Douala in Cameroon ». *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Cape Town, South Africa.
- Onana, V. D. P., Trébossen, H., Rudant, J.-P., Tonyé, E. et Nziengui, M., 2003. « Cartographie automatique des limites mangroves / mer et des chenaux intérieurs dans les images radar à synthèse d'ouverture par fusion d'informations issues des des données de cohérence et d'amplitude » in *Téledétection* 3(2-3-4): 265-279.
- PNUE-DEPI (2015). Mangroves d'Afrique Centrale: des puits de carbone aux multiples atouts: une évaluation pour la REDD+, Rapport DEPI/1862/NA, Programme ONU-REDD, ISBN : 978-807-3426-3.
- Sparfel, L., Gourmelon, F. et Le Berre, I., 2008. « Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière » in *Revue Téledétection*, vol. 8, n°4, p. 237-256.
- Soullillou, J. (2018) *Douala : un siècle en images*, L'Harmattan, Paris, 121 p. (ISBN 978-2-343-13815-2)
- Tonye E. et Akono A. (s.d.), 2001. « Application de la réalité terrain et de l'imagerie radar à la cartographie des mangroves de la région de Douala (Cameroun) » in *AS actualité scientifique : la réalité de terrain en téledétection: pratique et méthode*. Ed. AUPELF-UREF.
- UNEP, 2007. Mangroves of Western and Central Africa. UNEP-Regional Seas Programme /UNEP-WCMC. 88pp
- Waffo, 2009. *Menaces sur la mangrove au Cameroun*. Mémoire de Maitrise de Géographie. Université de Yaoundé 1, 120 pages.